

**Committente** Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente

**Oggetto** Costo di generazione dell'energia elettrica da biomassa solida

**Contratto** Delibera ARERA 129/2023

**Note** /

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta di RSE.

**N. pagine** 12                      **N. pagine fuori testo** /

**Data** 11/12/2023

**Elaborato** Enrico Patrucco

**Verificato** Luigi Mazzocchi

**Approvato** Luigi Mazzocchi

[Mod. RAita V. 05]

**Ricerca sul Sistema Energetico – RSE S.p.A.**

Società con unico socio soggetta alla direzione ed al coordinamento di GSE S.p.A.

Sede Legale - 20134 Milano - Via R. Rubattino, 54

Tel. +39 023992.1 - Fax +39 023992.5370 - PEC rse@legalmail.it

Reg. Imprese di Milano, P.IVA e C.F. 05058230961

R.E.A. di Milano n. 1793295

Cap. Soc. € 1.100.000 i.v.

*Indice*

<b>1</b>	<b>SOMMARIO.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>COSTI VARIABILI.....</b>	<b>4</b>
3.1	Costo del combustibile .....	4
3.2	Costo del trasporto.....	6
3.3	Costi di gestione e smaltimento ceneri.....	7
3.4	Costo di Manutenzione straordinaria.....	8
<b>4</b>	<b>COSTI FISSI .....</b>	<b>8</b>
4.1	Costo di manutenzione ordinaria.....	8
4.2	Costo del personale .....	8
<b>5</b>	<b>GENERAZIONE DI CALORE .....</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>12</b>

**STORIA DELLE REVISIONI**

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	11/12/2023	23012231	Prima emissione

**1 SOMMARIO**

Il documento contiene i risultati di un'analisi dei costi di esercizio sostenuti dalla generazione elettrica in impianti alimentati da biomasse solide.

**2 PREMESSA**

ARERA ha incaricato RSE di eseguire uno studio in merito ai costi di produzione dell'energia elettrica generata da biomassa solida.

I costi oggetto di interesse ai fini dello studio sono i costi di acquisto del combustibile, come pure i costi fissi e variabili di esercizio. Si ritiene opportuno differenziare i costi di produzione per taglia e in funzione della possibilità o meno di produzione combinata energia elettrica-calore. Lo scopo del presente documento è quello di fornire un metodo di valutazione del costo di produzione dell'energia elettrica con aggiornamento periodico dello stesso. I valori numerici presentati hanno solo valore esemplificativo.

### **3 COSTI VARIABILI**

Tale valore è rappresentativo di tutti i costi di approvvigionamento e gestione della biomassa, ivi compresi il costo del materiale, la logistica nazionale, lo stoccaggio, le movimentazioni in sito e lo smaltimento ceneri. I costi variabili aumentano in base all'energia prodotta dall'impianto e possono essere approssimati con un andamento lineare.

#### **3.1 Costo del combustibile**

Nella generazione elettrica l'uso della biomassa solida è in larga parte associabile alla combustione del cippato legnoso. Il termine cippato indica scaglie di legno sminuzzato delle dimensioni di alcuni centimetri ed è un prodotto ottenuto dalla frammentazione di legna vergine di vario tipo utilizzando appositi trituratori. Dall'analisi di dati statistici riferiti alla produzione nazionale elettrica del 2021 per gli impianti incentivati, è stato rilevato che questo combustibile rappresenta circa il 60% della biomassa solida consumata per la generazione energetica da unità di produzione con potenzialità nominale inferiore a 10 MW<sub>e</sub>; la restante parte dei consumi è costituita dal recupero, su base locale, di scarti della produzione agricola e agroalimentare, prevalentemente dalla lavorazione del riso. Al fine del presente studio, si è ritenuto opportuno considerare in modo unificato tutta la generazione energetica come derivante dallo sfruttamento di cippato da legna vergine, che risulta essere la fonte energetica con valore economico e commerciale più elevato. Lo sfruttamento di biomassa di natura differente, in particolare quella basata su sottoprodotti da lavorazioni agroalimentari, dà luogo a costi per unità di energia simili a quelli del cippato o di poco inferiori; questo confronto è stato eseguito considerando i dati pubblicati e regolarmente aggiornati dall'associazione Granaria Milano [1]. Se a ciò si aggiunge che l'utilizzo di scarti e sottoprodotti è ritenuta una pratica efficiente dal punto di vista della sostenibilità, un eventuale piccolo vantaggio economico derivante dall'equiparare il costo di tali fonti a quello del cippato può essere ritenuto accettabile. La generazione di elettricità partendo da questa fonte energetica sarà, quindi, valorizzata in modo equivalente alla generazione da cippato legnoso.

Il cippato, preso come fonte energetica di riferimento, è un combustibile fortemente influenzato dai costi di trasporto, avendo un contenuto energetico per unità di volume piuttosto basso rispetto ai combustibili fossili liquidi e solidi. Conseguentemente, il mercato che si viene a creare ha peculiarità molto diverse di territorio in territorio in base alla strutturazione delle imprese forestali presenti e alla conformazione del territorio che ne influenza la logistica. La rilevazione dei prezzi del cippato legnoso viene effettuata in modo sistematico e con aggiornamenti frequenti da parte del Sistema delle CCIAA a livello provinciale o sopra provinciale. Come riferimento per la definizione del prezzo standard della fonte energetica si ritiene opportuna la consultazione del portale della Camera di Commercio di Milano Monza Brianza Lodi [2]; la fonte di prezzo indicata raccoglie un campione rilevante di consumatori e produttori professionali che operano nel settore dei biocombustibili, da cui è possibile ricavare dati standardizzati estendibili a livello nazionale. Il prezzo di riferimento per la valutazione del costo di acquisto della biomassa, espresso in €/ton, sarà rilevato come valor medio tra le seguenti voci:

- Capitolo biocombustibili solidi, item 80: merce franco partenza - cippato di legno vergine con corteccia ad uso industriale – origine da segheria con umidità t.q. del 40%. L'unità di misura per questa indicazione di prezzo è €/mst; per ricondurre il valore all'unità di misura di riferimento (€/ton) si utilizza di un fattore di conversione convenzionale pari a 0,265 mst/ton, come riportato a piè pagina nello stesso listino pubblicato dalla CCIAA;

- Capitolato biocombustibili solidi, item 90: merce franco partenza - cippato di legno vergine con corteccia ad uso industriale – origine da pioppo con umidità t.q. del 50%;
- Capitolato biocombustibili solidi, item 100: merce franco partenza - cippato di legno vergine con corteccia ad uso industriale – origine da manutenzione patrimonio boschivo con umidità t.q. del 45%.

Per ognuna delle voci indicate si richiede la rilevazione del prezzo minimo e massimo, da cui si ricaverà il prezzo medio di riferimento. In Tabella 3.1 si riporta, esclusivamente a titolo esemplificativo, un rilevamento e relativo calcolo puntuale del prezzo di riferimento della fonte energetica considerata.

**Tabella 3.1 - Esempio di rilevazione dei prezzi dalla CCIAA di Milano Monza Brianza Lodi.**

Indicazione nel listino prezzi della CCIAA	U.M.	da euro	a euro	media in €/ton
Item 80 – da segheria u.t.q. 40%	€/mst	18,00	22,00	75,47
Item 90 – da pioppo u.t.q. 50%	€/ton	40,00	50,00	45,00
Item 100 – da manutenzione patrimonio boschivo u.t.q. 45%	€/ton	60,00	80,00	70,00
<b>Prezzo medio di riferimento</b>	<b>€/ton</b>	-	-	<b>63,49</b>

La rilevazione del prezzo è eseguita per cippato con umidità (u.t.q.) nell'intorno del 40-50%. I biocombustibili solidi con questo contenuto idrico sono i più utilizzati per la produzione di energia elettrica in quanto garantiscono il minimo prezzo di acquisto per unità energetica alimentata in centrale. Ciò è confermato da quanto riportato nel rapporto redatto dall'Associazione Italiana Energia Agroforestali (AIEL) sulla variazione del prezzo dei biocombustibili [3] e dall'Osservatorio Prezzi aggiornato mensilmente dalla stessa AIEL [4]. Il livello di contenuto idrico considerato è corrispondente a un mix di cippato di qualità compresa tra B e A2 secondo quanto riportato dalla normativa UNI EN ISO 17225-4 [5]. Seguendo queste osservazioni si è ritenuto opportuno considerare il cippato con contenuto di umidità nell'intervallo 40-50% come riferimento standard per stimare il costo medio della fonte energetica consumata.

Si riporta che la fonte di prezzo utilizzata come riferimento è stata confrontata, in fase di stesura della presente relazione, con i dati reperibili dai portali di CCIAA collocate in altre regioni caratterizzate da elevata produzione elettrica da biomassa legnosa, come ad esempio:

- CCIAA di Alessandria [6], con riferimento al listino settimanale dei prezzi all'ingrosso dei prodotti agricoli della provincia – Capitolo 1.6, item: cippato di legno ad uso energetico (franco partenza) - umidità massima 40/45%;
- CCIAA di Bolzano [7], con riferimento alla rilevazione mensile dei prezzi all'ingrosso – Capitolo 5 (sottoprodotti del legno) valor medio degli items da 5.1.1.040 a 5.1.1.090.

Data la limitata differenza osservata tra il prezzo riportato dalle fonti alternative rispetto a quanto indicato nel portale di riferimento, ovvero quello della CCIAA di Milano Lodi Monza Brianza, l'informazione reperibile da quest'ultima è da ritenersi sufficientemente accurata come indicazione del prezzo standard per la biomassa legnosa.

Per il calcolo della porzione di costo di produzione associabile all'acquisto del combustibile ( $c_F$ ) si fa riferimento alla seguente equazione (Eq. 1):

$$c_F = \frac{p_F}{\eta_E} [\text{€/MWh}, e] \quad \text{Eq. 1}$$

Dove:

- $p_F$  : Prezzo di acquisto del cippato legnoso, da aggiornare periodicamente [€/ton]  
 $\eta_E$  : Efficienza elettrica netta dell'impianto [MWh, e/ton]

Nella precedente equazione, l'efficienza elettrica dell'impianto ( $\eta_E$ ) è da intendersi come valore medio nel periodo di riferimento; essa è quindi calcolata come indicato di seguito (Eq. 2):

$$\eta_E = \frac{E}{F} [\text{MWh}, e/\text{ton}] \quad \text{Eq. 2}$$

Dove:

- $E$  : Produzione netta di energia elettrica nel periodo di riferimento [MWh, e]  
 $F$  : Consumo di biomassa solida nel periodo di riferimento [ton]

Per i calcoli riportati a titolo di esempio nella presente relazione è stato preso come riferimento un prezzo del cippato pari a 63,59 €/ton; questo prezzo, riportato esclusivamente a titolo esemplificativo per l'applicazione della metodologia di calcolo, è soggetto ad aggiornamento periodico attraverso le modalità precedentemente elencate. Per il calcolo del costo di generazione è opportuno fare una distinzione tra impianti di taglia differente. Partendo dai dati comunicati da operatori del settore è stato possibile differenziare le installazioni tra quelle di taglia medio-piccola ( $P < 3 \text{ MW}, e$ ), con potenza media di circa 1 MW,e, e installazioni di taglia maggiore (potenza tra 3 e 10 MW,e), con potenza media di circa 4,6 MW,e. Gli impianti riconducibili a queste due categorie hanno mostrato rispettivamente rendimenti medi pari a 0,27 e 0,57 MWh,e/ton, come riportato in Tabella 3.2. Ipotizzando per la biomassa di riferimento un potere calorifico inferiore (PCI) medio di 2,67 MWh/ton, valore tipico per un cippato di qualità compresa tra B e A2 [4], i rendimenti indicati corrispondono a efficienze pari rispettivamente a circa 10% e 21%. Questi valori, da considerarsi in termini di produzione netta e prestazioni medie stagionali, risultano pienamente in linea con quanto riportato dalla letteratura tecnico-scientifica [8, 9].

**Tabella 3.2: Classi di impianto a biomassa solida considerate e rendimenti di riferimento.**

Range di Potenza	Potenza media	$\eta_E$ di riferimento
$P < 3 \text{ MW}, e$	1 MW,e	0,27 MWh,e/ton
$P \geq 3 \text{ MW}, e (< 10 \text{ MW}, e)$	4,6 MW,e	0,57 MWh,e/ton

Ai valori riportati di efficienza d'impianto e costo del cippato corrispondono valori del costo di produzione associabile al consumo di combustibile pari a 235,52 €/MWh,e per impianti di potenza inferiore a 3 MW,e e pari invece a 111,56 €/MWh,e per gli impianti di taglia maggiore. Si sottolinea che i dati relativi alle prestazioni di produzione derivano da comunicazioni con gli operatori e le loro associazioni e che l'analisi è stata limitata a impianti con potenza elettrica netta inferiore a 10 MW,e.

### 3.2 Costo del trasporto

I prezzi del cippato indicati precedentemente non comprendono il costo del trasporto. I costi legati al trasporto della materia prima, valutati in €/t, sono stati calcolati in base alle seguenti ipotesi riferite alle distanze tra stabilimento e impianti con ritorno a vuoto. Tali valori comprendono sia il costo legato al combustibile che

il costo del personale. Il costo legato al trasporto del combustibile viene considerato facendo l'ipotesi che un autotreno che trasportando 20 tonnellate di cippato legnoso percorra una distanza di 100 km fra andata e ritorno, con un consumo di 3 km/l [10]. Il costo del personale viene valutato considerando un impiego di durata pari a 5 ore con un costo di 50 €/h secondo le tariffe del Confartigianato; si ritiene opportuno che il costo del personale venga aggiornato annualmente sulla base degli indici ISTAT [11] pubblicati online. Il costo del combustibile (gasolio) viene pubblicato dal Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica [12] ed è aggiornato mensilmente. Il costo del gasolio è calcolato al netto dell'IVA e inclusivo di accise, per le quali si applica una scontistica accessibile a veicoli di massa complessiva a pieno carico superiore a 7,5 tonnellate secondo quanto indicato dall'Agenzia delle Dogane e dei Monopoli [13]. Nell'Eq. 3 si riporta il metodo di calcolo della porzione del costo di produzione legato al trasporto del cippato:

$$c_{tr} = \frac{1}{\eta_E} \left( \frac{p_{gas} L_{aut}}{1000 m_{aut} cS_{aut}} + \frac{p_{pers} t_{aut}}{m_{aut}} \right) [\text{€/MWh}, e] \quad \text{Eq. 3}$$

Dove:

- $\eta_E$  : Efficienza elettrica netta dell'impianto [ $MWh, e/ton$ ]
- $p_{gas}$  : Costo del gasolio per autotrazione comprensivo di accise (dati MASE) [ $\text{€/1000 litri}$ ]
- $m_{aut}$  : Capacità di carico di riferimento dell'autotreno, pari a 20 [ $ton$ ]
- $cS_{aut}$  : Consumo specifico di gasolio, pari a 3 [ $km/l$ ]
- $L_{aut}$  : Chilometraggio di riferimento andata-ritorno, pari a 100 [ $km$ ]
- $p_{pers}$  : Tariffa oraria del lavoro dipendente specializzato (con aggiornamento ISTAT) , pari a 50 [ $\text{€/h}$ ]
- $t_{aut}$  : Tempo impegnato per il trasporto, pari a 5 [ $ore$ ]

A titolo esemplificativo, si riporta lo sviluppo della precedente equazione applicando i dati di prezzo del gasolio riferiti a Ottobre 2023. Il costo netto medio del combustibile per autotrazione è risultato pari a 932,13 €/1000 litri, a cui si aggiungono accise, già scontate, per un valore di 403,22 €/1000 litri. Da ciò risulta un costo specifico del trasporto pari a 14,73 €/ton. Ipotizzando valori di rendimento pari a quelli di riferimento indicati in Tabella 3.2, si ottiene un costo aggiuntivo di produzione legato al trasporto pari a 54,54 €/MWh,e per impianti di potenza inferiore a 3 MW,e e pari invece a 25,83 €/MWh,e per gli impianti di taglia maggiore.

### 3.3 Costi di gestione e smaltimento ceneri

Ai fini di una valutazione di massima sulla produzione di ceneri è stato considerato un combustibile solido avente caratteristiche fondamentali cautelative e nella fattispecie un contenuto di ceneri ( $cen_{\%}$ ) pari all'1,5% rispetto alla massa tal quale; questo contenuto in ceneri è assimilabile a cippato di qualità intermedia tra B e A2 secondo la normativa UNI EN ISO 17225-4 [5]. Attraverso comunicazioni con gli operatori, si è stimata la tariffa di smaltimento delle ceneri ( $p_{cen}$ ) nella misura di 250 €/ton; i valori qui riportati possono considerarsi invariati rispetto alla taglia dell'impianto e al combustibile utilizzato. Nell'Eq. 4 si riporta il metodo di calcolo della porzione del costo di produzione legato allo smaltimento delle ceneri:

$$c_{cen} = \frac{cen_{\%} p_{cen}}{\eta_E} [\text{€/MWh}, e] \quad \text{Eq. 4}$$

Dove:

- $cen_{\%}$  : Contenuto di ceneri del cippato legnoso – fissato a 1,5 [%]
- $p_{cen}$  : Costo specifico di smaltimento delle ceneri – fissato a 250 [ $\text{€/ton}$ ]
- $\eta_E$  : Efficienza elettrica netta dell'impianto [ $MWh, e/ton$ ]

Ipotizzando valori di rendimento pari a quelli di riferimento indicati in Tabella 3.2, si ottiene un costo aggiuntivo di produzione legato alla gestione delle ceneri pari a 13,89 €/MWh,e per impianti di potenza inferiore a 3 MW,e e pari invece a 6,58 €/MWh,e per gli impianti di taglia maggiore. I costi di stoccaggio e movimentazione del cippato non vengono generalmente direttamente esplicitati dagli operatori, e sono perciò considerati inclusi nel costo del personale, citato di seguito.

### 3.4 Costo di Manutenzione straordinaria

I costi di manutenzione straordinaria comprendono tutte quelle spese che non rientrano nella normale gestione di un impianto ma sono spese/accantonamenti annui destinati ad affrontare gli “imprevisti” sotto forma di guasti e sostituzioni. Tali costi dipendono dalla taglia dell’impianto. Sulla base dei dati forniti dagli operatori, è stato possibile approssimare la porzione di costi di produzione associati alla manutenzione straordinaria con andamento lineare crescente avente estremi 10 €/MWh,e per impianti da 1 MW,e e 19 €/MWh,e per impianti da 10 MW,e. Considerando una taglia media di 1 MW,e per impianti di piccola taglia e di 4,6 MW,e per impianti di taglia media, si ottengono costi aggiuntivi di produzione pari rispettivamente a 10,0 e 13,6 €/MWh,e.

## 4 COSTI FISSI

Questa categoria contabile è rappresentativa dei costi sostenuti dagli impianti a biomassa solida per manutenzione ordinaria e costo del personale; ogni costo fisso è ricondotto all’unità di energia elettrica prodotta.

### 4.1 Costo di manutenzione ordinaria

Tali costi comprendono le ordinarie operazioni di gestione dell’impianto.

Sulla base dei dati forniti dai produttori, i costi di manutenzione ordinaria sono stimabili attraverso un andamento lineare crescente con estremi di 5 €/MWh,e per un impianto da 1 MW,e e 14 €/MWh,e per un impianto da 10 MW,e. Richiamando le due tipologie di impianto fin ora considerate, con potenzialità di 1 MW,e e 4,6 MW,e, i costi aggiuntivi di produzione sono pari rispettivamente a 5,0 e 8,6 €/MWh,e.

### 4.2 Costo del personale

Per la stima del costo del personale ( $c_{pers}$ ) si considera un costo orario unitario di 50 €/h (importo medio orario degli operai, tariffario Confartigianato). Si ipotizzano 6500 ore di produzione elettrica equivalente, valore ipotizzato indipendente dalla taglia dell’impianto, e 1650 ore lavorate mediamente all’anno per dipendente. Il costo del personale viene aggiornato sulla base degli indici ISTAT [11] presenti online. Il metodo di calcolo della porzione di costo di produzione elettrica associabile al personale ( $c_{pers}$ ) è riportato in Eq. 5:

$$c_{pers} = \frac{1650 p_{pers} N_{pers}}{P_E h_{EQ,E}} [\text{€/MWh}, e] \quad \text{Eq. 5}$$

Dove:

- $p_{pers}$  : Tariffa oraria del lavoro dipendente specializzato [€/h]
- $N_{pers}$  : Numero di dipendenti occupati [-]
- $P_E$  : Potenza elettrica nominale netta dell’impianto [MW, e]



$h_{EQ,E}$  : Ore di produzione elettrica equivalente annuale [h/anno]

Il numero di dipendenti occupati nella gestione di un impianto dipende dalla taglia dello stesso; da comunicazioni con gli operatori, risulta che per un impianto di taglia ridotta (1 MW,e) sia opportuno considerare  $N_{pers} = 3$ , mentre per un impianto di taglia intermedia (4,6 MW,e) si possono considerare dieci addetti impiegati a tempo pieno in situ. La porzione di costo di produzione imputabile al compenso del personale è quindi rappresentata da un andamento lineare passante per i seguenti punti: 38,08 €/MWh,e per impianti da 1 MW,e e 27,59 €/MWh,e per impianti da 4,6 MW,e. In Figura 4.1 si riporta l'andamento proposto per rappresentare questa voce di costo in funzione della taglia dell'impianto.

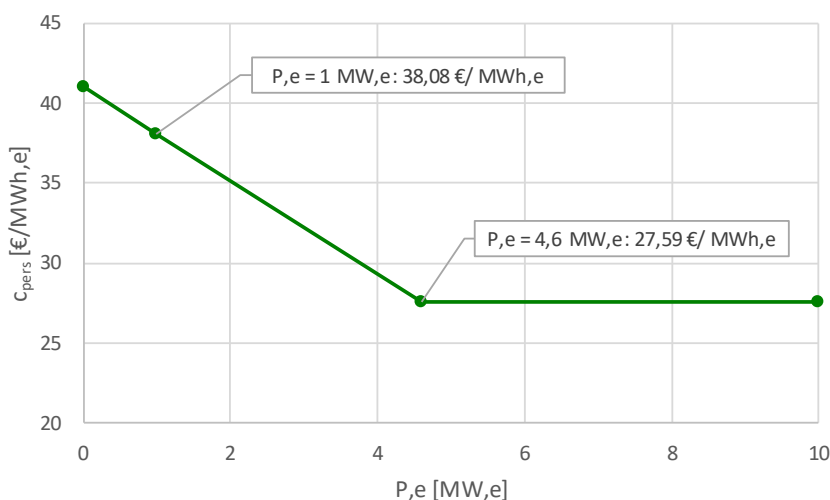


Figura 4.1 – Andamento dei costi del personale rispetto alla taglia dell'impianto.

## 5 GENERAZIONE DI CALORE

Molti impianti di produzione di elettricità da biomassa solida sono adibiti anche alla contestuale produzione e vendita di energia termica; i ricavi conseguenti alla commercializzazione di questo secondo vettore energetico dovranno essere scorporati dai costi di produzione dell'energia elettrica per evitare una doppia remunerazione della produzione. Non tutti gli impianti alimentati a biomassa solida hanno la possibilità di essere allacciati ad una rete di teleriscaldamento per sfruttare la remunerazione derivante dalla vendita di calore cogenerato. Verrà quindi fatta una distinzione fra impianti non cogenerativi e impianti cogenerativi, che generalmente si contraddistinguono anche per differente potenzialità di produzione.

Per gli impianti non cogenerativi, di pura generazione elettrica, il ricavo da calore risulta essere 0 €/MWh. Per gli impianti cogenerativi è stato considerato come ragionevole un costo di vendita del calore pari a 100 €/MWh,th, assimilabile al costo evitato di produzione del calore per l'utente medio del servizio di vendita calore [14]. I ricavi dalla vendita di calore devono essere ricondotti all'unità di energia elettrica prodotta; essi variano in base alle efficienze termiche ed elettriche degli impianti e alla loro locazione geografica. In generale, il ricavo da calore dovrà essere scorporato dai costi di produzione dell'energia elettrica in misura pari a quanto indicato nella seguente equazione (Eq. 6):

$$r_H = \frac{H}{E} p_H [\text{€/MWh}, e] \quad \text{Eq. 6}$$

Dove:

$r_H$  : Ricavo specifico dalla vendita di calore [€/MWh, e]

- $E$  : Produzione netta di energia elettrica nel periodo di riferimento [MWh, e]  
 $H$  : Produzione netta di energia termica nel periodo di riferimento [MWh, e]. Questo flusso energetico è limitato esclusivamente al calore effettivamente ceduto ai clienti termici.  
 $p_H$  : Prezzo di vendita dell'unità di calore [€/MWh, th]

Lo sviluppo dell'Eq. 6 può essere generalizzata in funzione delle prestazioni di generazione (Eq. 7):

$$r_H = \frac{\eta_{TH} h_{EQ,TH}}{\eta_E h_{EQ,E}} p_H [\text{€/MWh, e}] \quad \text{Eq. 7}$$

Dove:

- $r_H$  : Ricavo specifico dalla vendita di calore [€/MWh, e]  
 $\eta_{TH}$  : Efficienza termica dell'impianto [MWh, th/ton]  
 $h_{EQ,TH}$  : Ore di produzione termica equivalente annuale [h/anno]  
 $\eta_E$  : Efficienza elettrica netta dell'impianto [MWh, e/ton]  
 $h_{EQ,E}$  : Ore di produzione elettrica equivalente annuale [h/anno]  
 $p_H$  : Prezzo di vendita dell'unità di calore [€/MWh, th]

Partendo da comunicazioni con operatori del settore, si è ipotizzato un utilizzo del calore corrispondente a 2500 ore di produzione annuale equivalente, valore limitato al solo periodo termico convenzionale e riferibile alla zona climatica E. Per la generazione elettrica è stata invece considerata una produzione equivalente di 6500 h/anno. Questi valori sono allineati a quanto riportato dall'Associazione Italiana Riscaldamento Urbano (AIRU) per gli impianti collegati a reti di teleriscaldamento [15] e risultano pressoché indipendenti rispetto alla taglia dell'impianto.

La configurazione cogenerativa più diffusa corrisponde a impianti di potenzialità elettrica pari a 1 MW,e; attraverso comunicazioni con operatori del settore è stata stimata l'efficienza termica netta nel periodo di riscaldamento nella quantità di 1,32 MWh,th/ton. Sommando questo termine con quanto riportato in Tabella 3.2 è possibile definire l'efficienza totale di produzione in regime cogenerativo, che risulta pari a 1,59 MWh/ton per gli impianti di piccole dimensioni (< 3 MW,e).

Gli impianti di dimensioni maggiori (> 3 MW,e) sono raramente progettati per l'assetto cogenerativo. Per stimare le prestazioni operative di questa tipologia impiantistica, si propone di considerare un'efficienza totale equivalente a quella stimata per gli impianti di dimensioni minori, pari a 1,59 MWh/ton. L'efficienza termica derivante è equivalente alla porzione complementare di questa quantità rispetto all'efficienza elettrica come definita in Tabella 3.2.

In Tabella 5.1 si riporta una schematizzazione riassuntiva delle ipotesi considerate per le prestazioni di generazione e il valore risultante del ricavo specifico dalla vendita di calore.

**Tabella 5.1: Classi di impianto a biomassa solida considerate, rendimenti di riferimento ed effetto dei ricavi da calore.**

Range di Potenza	$\eta_E$ di riferimento	$\eta_{TH}$ di riferimento	$r_H$
P < 3 MW,e	0,27 MWh,e/ton	1,32 MWh,th/ton	188,03 €/MWh,e
P ≥ 3 MW,e (< 10 MW,e)	0,57 MWh,e/ton	1,02 MWh,th/ton	68,83 €/MWh,e

## 6 CONCLUSIONI

Di seguito si riporta una sintesi della valutazione esemplificativa dei costi di generazione elettrica da biomassa solida, effettuata mediante il metodo sopra descritto, per due tipologie impiantistiche: una installazione di piccola taglia (1 MW,e) in assetto cogenerativo (CHP) e una installazione di taglia media (4,6 MW,e) alternativamente in assetto cogenerativo o di pura produzione elettrica.

**Tabella 6.1: Riepilogo dei costi di generazione da biomassa solida per tre tipologie impiantistiche.**

	Costo del combustibile €/MWh,e	Costo del trasporto €/MWh,e	Costo di gestione cenere €/MWh,e	Manutenzione straordinaria €/MWh,e	Manutenzione Ordinaria €/MWh,e	Costo del personale €/MWh,e	Ricavo da calore €/MWh,e	Costo di generazione €/MWh,e
	$c_F$	$c_{tr}$	$c_{cen}$	$c_{xord}$	$c_{ord}$	$c_{pers}$	$r_H$	$c_E$
<b>P = 1 MW,e CHP</b>	235,52	54,54	13,89	10,00	5,00	38,08	188,03	<b>168,99</b>
<b>P = 4,6 MW,e NON-CHP</b>	111,56	25,83	6,58	13,60	8,60	27,59	0,00	<b>193,77</b>
<b>P = 4,6 MW,e CHP</b>	111,56	25,83	6,58	13,60	8,60	27,59	68,83	<b>124,94</b>

## 7 BIBLIOGRAFIA

- [1] «Granaria Milano - ultima rilevazione dei prezzi,» Associazione Granaria Milano, [Online]. Available: <https://www.granariamilano.it/>. [Consultato il giorno Ottobre 2023].
- [2] «Portale PiuPrezzi - Microportale Energetici e Affini,» CCIAA Milano Lodi Monza Brianza, [Online]. Available: <https://shop.piuprezzi.it/product/prezzi-milano/ingrosso/energetici-e-affini/ingrosso-capitolo-singolo-energetici-e-affini/>. [Consultato il giorno Ottobre 2023].
- [3] «Agri for Energy - Mercati & Prezzi, Edizione Marzo 2023,» [Online]. Available: [https://www.aielenergia.it/public/pubblicazioni/196\\_A4E\\_1-2021\\_M\\_P\\_ia.pdf](https://www.aielenergia.it/public/pubblicazioni/196_A4E_1-2021_M_P_ia.pdf). [Consultato il giorno Ottobre 2023].
- [4] «Energia dal Legno - Prezzo del cippato a settembre 2023,» Associazione Italiana Energie Agroforestali - AIEL, [Online]. Available: <https://energiadalleghno.it/prezzo-del-cippato-a-settembre-2023/>. [Consultato il giorno Ottobre 2023].
- [5] «UNI EN ISO 17225-4:2021 Biocombustibili solidi - Classificazione e specifiche del combustibile - Parte 4: Classificazione del cippato di legno,» UNI, [Online]. Available: <https://store.uni.com/uni-en-iso-17225-4-2021>. [Consultato il giorno Ottobre 2023].
- [6] «Camera di Commercio Alessandria - Pioppi, legna da ardere e cippato,» [Online]. Available: [http://www.al.camcom.gov.it/PriceLists/Pub/Item?id\\_level\\_2=8](http://www.al.camcom.gov.it/PriceLists/Pub/Item?id_level_2=8). [Consultato il giorno Ottobre 2023].
- [7] «RILEVAZIONE DEI PREZZI DEL COMMERCIO ALL'INGROSSO,» Camera di commercio, industria, artigianato e agricoltura di Bolzano - Istituto di ricerca economica, [Online]. Available: <https://www.wifo.bz.it/it/temi/rilevazioni-dei-prezzi/prezzi-all-ingrosso.html>. [Consultato il giorno Ottobre 2023].
- [8] «Technology Data for Generation of Electricity and District Heating,» Danish Energy Agency, [Online]. Available: <https://ens.dk/en/our-services/projections-and-models/technology-data/technology-data-generation-electricity-and>. [Consultato il giorno Ottobre 2023].
- [9] A. Algeri; P. Morrone, «Energy analysis of Organic Rankine Cycles for biomass applications,» *Thermal Science*, 2015.
- [10] «CO2 emissions from trucks in the European Union: An analysis of the 2020 reporting period,» 2023 INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION, [Online]. Available: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2023/07/hdv-co2-emissions-eu-2020-reporting-2-jul23.pdf>. [Consultato il giorno Ottobre 2023].
- [11] «INDICE DEI PREZZI AL CONSUMO PER LE RIVALUTAZIONI MONETARIE,» ISTAT, [Online]. Available: <https://www.istat.it/it/archivio/30440>. [Consultato il giorno Ottobre 2023].
- [12] «Statistiche energetiche e minerarie: prezzi medi mensili dei carburanti e combustibili,» Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica, [Online]. Available: <https://dgsaie.mise.gov.it/prezzi-mensili-carburanti?pid=2>. [Consultato il giorno Ottobre 2023].
- [13] «Benefici per il gasolio da autotrazione,» Agenzia delle Dogane e dei Monopoli, [Online]. Available: <https://www.adm.gov.it/portale/dogane/operatore/accise/benefici-per-il-gasolio-da-autotrazione>. [Consultato il giorno Ottobre 2023].
- [14] «DELIBERAZIONE 2 NOVEMBRE 2022 547/2022/R/TLR, Allegato A: "ESITI DELL'INDAGINE CONOSCITIVA SULL'EVOLUZIONE DEI PREZZI E DEI COSTI DEL SERVIZIO DI TELERISCALDAMENTO",» ARERA, Novembre 2022.
- [15] «AIRU - Associazione Italiana Riscaldamento Urbano - Annuario 2022,» [Online]. Available: <https://www.airu.it/eventi-airu/#ANNUARIO>. [Consultato il giorno Ottobre 2023].