

● DUE IMPIANTI A CONFRONTO

# Gassificatore in segheria, quale scegliere?

Il costo di investimento dell'impianto di gassificazione con uso di quattro motori Stirling è maggiore rispetto a quello del gassificatore con uso di motori endotermici, che risulta però meno affidabile, perché soggetto alle sollecitazioni dovute all'utilizzo di syngas e perché risente della qualità del combustibile utilizzato

di **D. Dell'Antonia, D. Maroncelli, A. Tomassetti, R. Gubiani**

**N**egli ultimi anni, tra le grandi sfide tecnologiche hanno acquistato sempre maggiore rilievo quelle che riguardano l'energia e l'ambiente e che richiedono, anche per il nostro Paese, azioni sempre più urgenti volte a incentivare lo sviluppo delle fonti di energia alternativa. Attualmente, in Italia, l'energia fornita da tutte le fonti rinnovabili, incluse idroelettrico e biomasse, si attesta su un valore intorno al 8,3% (15,9 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio - Mtep), rispetto al consumo interno lordo di energia (192 Mtep).

Sulla base di queste considerazioni, l'utilizzo delle biomasse agroforestali può contribuire ad aumentare l'impiego delle fonti rinnovabili per la produzione di energia, in considerazione anche delle direttive comunitarie che l'Italia deve attuare (pacchetto 20-20-20). Della naturale produttività delle foreste italiane, attualmente solo 1/3 è utilizzato a fini economici e altrettanto limitato è il ricorso alle colture agrarie da biomassa (annuali, biennali, short rotation forestry).

Le biomasse adatte a questo scopo, peraltro, non richiedono terreni con elevati apporti di fertilizzanti, prodotti chimici, ecc., e di conseguenza possono essere coltivate anche in aree non particolarmente fertili o in aree marginali. Recenti stime hanno infatti riportato che il contributo annuo delle biomasse in Italia potrebbe essere di 24-30 Mtep.

La presenza di un'elevata frammentazione agricola e i problemi legati al territorio montano rendono però poco conveniente lo sfruttamento delle biomasse per la produzione contemporanea di energia elettrica e termica (cogenerazione). Questo è da ricondurre in parte all'impiego di tecnologie adatte a elevate potenze (> 1 MWe), che richiedono una notevole quantità di biomassa per il loro funzionamento (turbine a vapore od Organic rankine cycle) e in parte alla difficoltà



Gassificatore con motore endotermico

di trovare utenze che utilizzino il calore in modo costante tutto l'anno. Per questa ragione c'è una ricerca per trovare nuove soluzioni tecnologiche che possano rendere convenienti impianti di taglie medio-piccole (100-250 kWe), che avrebbero maggiori applicazioni nelle realtà agricole e forestali. Una di queste tecnologie è ad esempio legata all'utilizzo di impianti di gassificazione per la produzione contemporanea di energia elettrica e termica, che consentirebbe, peraltro, alle aziende agroforestali di diversificare la propria produzione, dando una maggiore stabilità del reddito grazie alla possibilità di usufruire degli incentivi di 280 euro/MWh per la generazione di energia elettrica da fonti rinnovabili (legge 23 luglio 2009, n. 99).

Tale tecnologia, oltre alla generazione diretta di energia, consente anche la produzione del biochar (carbone vegetale ottenuto mediante pirolizzazione di materiale organico). Il prodotto può essere distribuito al terreno per ottenere il sequestro del carbonio atmosferico e migliorare la fertilità. Infatti, i primi studi su tale argomento hanno dimostrato un aumento della fertilità e delle produzioni, grazie alla presenza della sostanza organica nel terreno che permette una migliore gestione degli elementi nutritivi.

## La gassificazione

**La gassificazione è il processo di conversione termochimica di una massa organica in un combustibile gassoso, il syngas, che può essere bruciato direttamente in motori a combustione per la produzione di energia elettrica e calore.**

Il processo avviene a temperature elevate in presenza di una percentuale inferiore di ossigeno rispetto alla normale combustione.

Il syngas è una miscela di gas costituita per il 50% circa da azoto e per il restante 50% da monossido di carbonio, idrogeno, metano e anidride carbonica (tabella 1).

# I due gassificatori

## 1° caso

Nel primo caso è stato individuato un impianto della potenza elettrica nominale di **140 kWe**, costituito da:

- **un gassificatore updraft** (cioè la biomassa è immessa nella parte alta del reattore e si muove verso il basso, mentre il gas si muove dal basso verso l'alto) **che produce gas combustibile a partire da cippato**; in questo modo è possibile evitare l'impiego dei sistemi di filtraggio e utilizzare biomassa con elevato contenuto di umidità;
- **quattro generatori di calore** dove il gas viene bruciato (essi sono a diretto contatto con le testate dei motori Stirling);
- **quattro motori Stirling** della potenza elettrica unitaria di 35 kWe;
- **un accumulatore termico** (costituisce un volano termico che permette l'accumulo di acqua calda).

Il funzionamento dell'impianto avviene in modo automatico: la biomassa caricata dall'alto all'interno del reattore, viene sottoposta a particolari condizioni (elevata temperatura con limitato apporto di ossigeno) che consentono la gassificazione del materiale introdotto. Il gas di sintesi viene poi estratto nella parte superiore del reattore e utilizzato per alimentare il motore Stirling che, oltre all'elettricità, produce calore in grado di riscaldare l'acqua contenuta all'interno dell'accumulatore.

## 2° caso

Nel secondo caso l'impianto ha una potenza elettrica nominale di **250 kWe** ed è composto da:

- **un gassificatore** (costituito da un reattore di gassificazione downdraft e da un sistema di filtrazione elettrostatica del syngas; in un reattore downdraft la biomassa è introdotta nella parte superiore, mentre il gas esce dalla parte bassa del reattore dato che biomassa combustibile e gas si muovono nella stessa direzione);
- **un essiccatoio** per la riduzione dell'umidità della biomassa in ingresso al reattore che utilizza il calore dei fumi del motore endotermico;
- **due gruppi elettrogeni con motori diesel** della potenza nominale di 125 kWe.

A differenza dell'impianto precedentemente descritto, il syngas prodotto viene estratto nella parte inferiore del reattore e successivamente viene fatto confluire attraverso una serie di filtri elettrostatici che consentono l'abbattimento delle impurità. Successivamente il gas viene iniettato all'interno della camera di combustione del motore endotermico al termine della fase di compressione del pistone, con una piccola quantità di gasolio che permette l'accensione della miscela.

**TABELLA 1 - Composizione dei syngas prodotti con la gassificazione (percentuale attesa)**

Componente costitutivo del syngas	Gassificatore	
	updraft con motore Stirling	downdraft con motore esotermico
Monossido di carbonio (CO)	20	20
Idrogeno (H <sub>2</sub> )	4	15
Metano (CH <sub>4</sub> )	5	3
Anidride carbonica (CO <sub>2</sub> )	16	10-15
Azoto (N <sub>2</sub> )	52	50
Altri gas inerti	3	-

**TABELLA 2 - Rendimento e potenza dei gassificatori**

Componente energetica	Gassificatore con motore endotermico			Gassificatore con motore Stirling		
	rendimento (%)	potenza (kW)	energia (*) (MWh/anno)	rendimento (%)	potenza (kW)	energia (*) (MWh/anno)
Energia elettrica	17,5	140	980	24	250	1.750
Energia termica	70	560	3.920	45	480	3.360
Dispersioni	12,5	100	700	31	295	2.065
<b>Totale</b>	<b>100</b>	<b>800</b>	<b>5.600</b>	<b>100</b>	<b>1.025</b>	<b>7.175</b>

(\*) 7.000 ore/anno di funzionamento dell'impianto.

L'energia elettrica prodotta viene immessa in rete per un totale di 980 MWh/anno nel caso del motore endotermico e di 1.750 MWh/anno nel caso del motore Stirling.



Motore endotermico alimentato a syngas

## Studio di fattibilità

Nell'ambito del presente articolo, si è cercato di individuare le migliori soluzioni tecnologiche per la realizzazione di un impianto di gassificazione in una azienda che si occupa di lavorazione di legname.

Lo studio di fattibilità ha preso in considerazione due differenti tipologie di impianti di gassificazione, allo scopo di

scegliere la migliore tecnologia. Mediante l'analisi dei dati relativi al rendimento termico ed elettrico degli impianti e alle ore di funzionamento (7.000 ore/anno), è stato possibile stimare l'energia complessivamente producibile dai gassificatori. La componente elettrica viene totalmente immessa in rete (incentivata con tariffa onnicomprensiva di 280 euro/MWh elettrico), mentre la restante

componente termica può venir utilizzata per soddisfare i fabbisogni energetici dell'azienda (tabella 2).

Nel caso di **gassificatore combinato con motore endotermico**, parte del calore prodotto viene utilizzata per essiccare la biomassa utilizzata dal gassificatore (10-15% di umidità finale), mentre per il **gassificatore con motore Stirling** non sussistono particolari esigenze relativamente al con-

**TABELLA 3 - Costi degli investimenti per la realizzazione degli impianti di gassificazione e degli essiccatoi**

	Costi (euro)	
	gassificatore con motore endotermico	gassificatore con motore Stirling
Gassificatore	875.000	850.000
Essiccatoio	55.000	110.000
Cippatore	40.000	
Connessione rete elettrica	10.000	
Spese opere civili	30.000	
<b>Totale</b>	<b>1.010.000</b>	<b>1.040.000</b>
Costo gassificatore (euro/kWe)	4.040	7.429

tenuto di umidità del combustibile e quindi tutto il calore può essere riutilizzato in azienda per altre finalità. È stata quindi valutata la possibilità di dotare la segheria di un essiccatoio al fine di permettere l'impiego anche dell'energia termica.

In tal modo parte dei prodotti aziendali potrà essere essiccata direttamente in azienda, evitando così i costi legati al ricorso a ditte terze. In totale è possibile essiccare 1.600 t/anno di tavole (13% del prodotto lavorato) per l'impianto con motore Stirling e circa 700 t/anno di tavole (6% del prodotto lavorato) per il gassificatore con motore endotermico.

Successivamente, in considerazione della disponibilità di sottoprodotti legnosi pari a 1.100 t/anno, è stata calcolata la quantità di biomassa da integrare per il funzionamento dei gassificatori (40% di umidità): 829 t/anno per l'impianto con motore Stirling e 1.817 t/anno per l'impianto con motore endotermico.

### Analisi economica

La prima fase dell'analisi economica ha riguardato la valutazione delle singole voci dei costi e dei ricavi riconducibili all'acquisto e gestione dell'impianto. Il costo complessivo di investimento per l'acquisto e la messa in opera dell'impianto di gassificazione con i quattro motori Stirling (vedi l'*approfondimento* dedicato ai due gassificatori) è pari a 1.040.000 euro, mentre il costo dell'impianto di gassificazione con motori endotermici è di 1.010.000 euro.

In *tabella 3* vengono descritti i costi iniziali che devono essere sostenuti, mentre in *tabella 4* sono riportati i costi delle materie prime utilizzate per il funzionamento degli impianti. In *tabella 5* sono riportati i ricavi e i costi di gestione per

**TABELLA 4 - Costi delle materie prime per il funzionamento dei gassificatori**

Materie prime	Costi (euro/t)	Gassificatore con motore endotermico		Gassificatore con motore Stirling	
		quantità (t)	costi totali (euro)	quantità (t)	costi totali (euro)
Segatura	20	700	14.000	700	14.000
Corteccia e cascami	40	300	12.000	300	12.000
Legno non commerciabile	50	100	5.000	100	5.000
Cippato da integrare	50	1.817	90.850	829	41.450
Gasolio	1.090	7,2	7.848	-	-
<b>Totale</b>	-	<b>2.924</b>	<b>129.698</b>	<b>1.929</b>	<b>72.450</b>

Il costo annuale delle materie prime per far funzionare il gassificatore con motore endotermico è di circa 130.000 euro, di molto superiore ai 72.000 euro che servono per far funzionare il gassificatore con motore Stirling.

**TABELLA 5 - Ricavi e costi di gestione dell'impianto di gassificazione (euro/anno)**

Gassificatore	Ricavi			Costi			Utile
	energia elettrica	energia termica	totale	materie prime	manutenzione	totale	
Con motore endotermico	490.000	21.000	511.000	129.698	86.580	216.278	294.722
Con motore Stirling	274.400	48.000	322.400	72.450	31.900	104.350	218.050

I ricavi sono stati calcolati considerando la tariffa onnicomprensiva di 280 euro/Mwh mentre l'energia termica è contabilizzata come mancati costi per l'essiccazione delle tavole presso ditte terze (30 euro/t).

### GLOSSARIO

**Pirolizzazione.** Operazione con la quale si trasforma o decompone un composto o un prodotto attraverso il processo della pirolisi. Per pirolisi si intende il processo di decomposizione termochimica di materiali organici, ottenuto mediante l'applicazione di calore e in completa assenza di ossigeno. Un materiale se riscaldato in presenza di ossigeno subisce una combustione che genera calore e produce composti gassosi ossidati; invece riscaldando un materiale senza ossigeno, questo subisce la scissione dei legami chimici originari con formazione di molecole più semplici.

**Biochar.** È un carbone vegetale, sottoprodotto della pirolisi, a elevatissimo contenuto di carbonio (90%).

**Motore Stirling.** La combustione è

esterna e le parti maggiormente riscaldate dal calore non sono a contatto con le parti in movimento. I componenti scorrevoli e di rotazione non sono quindi particolarmente sollecitati e hanno esigenze di manutenzione ridotte. Dal punto di vista costruttivo il motore è più semplice, con rumorosità e vibrazioni minori rispetto a un motore a combustione interna.

**Motore endotermico.** È un particolare motore termico nel quale avviene la combustione di una miscela composta da un combustibile e un comburente (aria) all'interno di una camera di combustione. Il calore prodotto è trasformato in lavoro meccanico, mentre il prodotto della combustione è espulso attraverso un impianto di scarico. ●

il funzionamento degli impianti di gassificazione con i relativi utili annui.

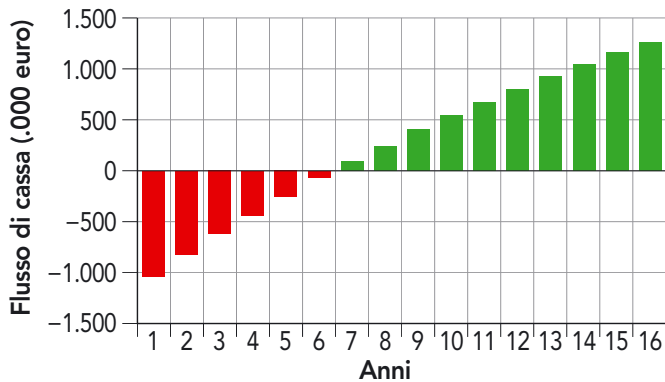
I costi di manutenzione e manodopera per l'impianto con motori Stirling incidono per una quota annua di 31.900 euro, rispetto al gassificatore con motori endotermici, dove la spesa prevista è di 86.580 euro. La differenza è dovuta all'elevata

manutenzione a cui va incontro un motore endotermico alimentato con gas di sintesi. Per questa ragione si è considerato il costo di 45 euro/MWh prodotto per la manutenzione full service fornita dalla ditta che produce l'impianto di gassificazione con motore endotermico.

I ricavi per la vendita dell'energia elettrica

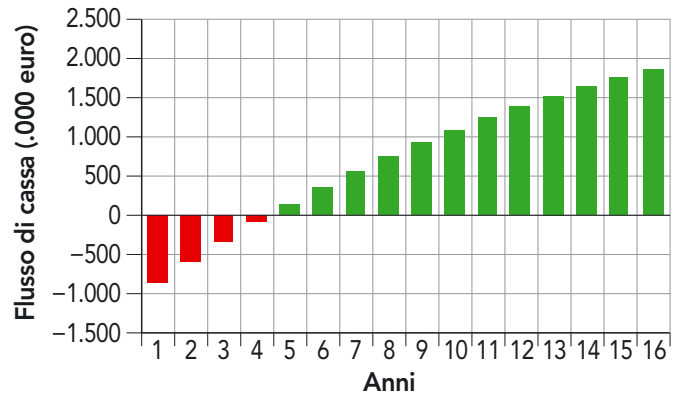


**GRAFICO 1 - Flussi di cassa dell'impianto di gassificazione con uso di motori Stirling nei 15 anni di durata dell'investimento**



Il tempo di recupero dell'investimento con l'uso di quattro motori Stirling è di 6 anni, trascorsi i quali il valore attuale netto inizia a essere positivo fino a raggiungere l'ammontare di 1.239.611 euro.

**GRAFICO 2 - Flussi di cassa dell'impianto di gassificazione con uso di motori endotermici nei 15 anni di durata dell'investimento**



Il tempo di recupero risulta pari a 4 anni e al quindicesimo anno il valore attuale netto risulta essere di 1.765.196 euro.

ca sono stati calcolati considerando la tariffa onnicomprensiva di 280 euro/MWh, mentre l'energia termica è stata contabilizzata come mancati costi per l'essiccazione delle tavole presso ditte terze (30 euro/t).

Dopo aver determinato le voci di costi e ricavi sono stati calcolati i flussi di cassa previsti per i 15 anni di durata dell'investimento (periodo durante il quale rimane valida la tariffa di 280 euro/MWh per la vendita dell'energia elettrica). Mentre i proventi derivanti dalla vendita di energia elettrica non subiscono variazioni, le restanti voci sono soggette a inflazione e sono state calcolate, quindi, per ciascuno dei 15 anni considerati, come costi-ricavi differiti nel tempo utilizzando un tasso di interesse pari alla media degli indici per le rivalutazioni monetarie del periodo 1992-2009 (2,8%).

Successivamente sono stati calcolati i flussi di cassa e dopo averli attualizzati, usando un tasso di interesse pari al 4%, è stato determinato il **valore attuale netto (van)** dei due impianti (grafici 1 e 2).

Al termine dell'analisi economica è emerso che il tempo di recupero dell'investimento per l'impianto di gassificazione con uso di quattro motori Stirling è di 6 anni, trascorsi i quali il valore attuale netto inizia ad assumere valore positivi.

Per l'impianto di gassificazione con uso di motori endotermici il tempo di recupero risulta essere pari a 4 anni.

## Analisi ambientale

I principali benefici ambientali dovuti alla realizzazione dell'impianto di gassificazione sono le emissioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) evitate e la produzione

della carbonella come sottoprodotto da distribuire sui terreni agrari.

Il totale delle emissioni di CO<sub>2</sub> evitate ammontano a 1.659 t/anno per un gassificatore con motore endotermico e a 1.883 t/anno per un gassificatore con motori Stirling, permettendo di risparmiare le emissioni di circa 600-650 abitazioni che utilizzano il gasolio per il riscaldamento domestico. La carbonella può essere prodotta solo con il gassificatore con motore endotermico e corrisponde a circa 175 t/anno (10% in peso della biomassa secca in entrata).

## Quale conviene realizzare

Dal punto di vista tecnico l'impianto di gassificazione con uso di motori Stirling risulta più affidabile in quanto non soggetto alle sollecitazioni dovute a utilizzo di syngas durante il suo normale

funzionamento. I motori endotermici invece risentono in maniera significativa della qualità del combustibile utilizzato e le incognite legate ai loro reali tempi di revisione restano comunque elevate.

In riferimento agli aspetti ambientali, l'utilizzo di impianti di gassificazione a biomassa per la produzione di energia permette di diminuire le emissioni di anidride carbonica in atmosfera e di attuare il sequestro del carbonio distribuendo la carbonella prodotta sul terreno agricolo.

A conclusione di tale studio si può inoltre evidenziare che i costi di investimento risultano in entrambi i casi estremamente onerosi per l'azienda. Il costo di investimento, in riferimento alla potenza installata, dell'impianto di gassificazione con uso di quattro motori Stirling (7.429 euro/kWe) risulta essere maggiore rispetto a quella del gassificatore con uso di motori endotermici (4.040 euro/kWe). L'analisi economica del valore attuale netto ha evidenziato che l'installazione dell'impianto di gassificazione con motore endotermico permette il recupero dell'investimento in un tempo minore rispetto al gassificatore con motore Stirling.

**Daniele Dell'Antonia**  
**Daniele Maroncelli**  
**Alessandra Tomassetti**  
**Rino Gubiani**

Dipartimento di scienze agrarie e ambientali  
 Università di Udine

## APPROFONDIMENTO

### Cos'è il Valore attuale netto

Il Valore attuale netto (Van) è una metodologia tramite cui si definisce il valore attuale (al momento della realizzazione dell'impianto) di una serie attesa di flussi di cassa (ricavi-costi) per ogni anno considerato nell'investimento.

Questo strumento permette di individuare il numero di anni necessari per recuperare l'investimento iniziale sostenuto.

Per commenti all'articolo, chiarimenti o suggerimenti scrivete a: [redazione@informatoreagrario.it](mailto:redazione@informatoreagrario.it)