

# COPERTURA DEL FABBISOGNO ENERGETICO DI UNA FORNACE MEDIANTE UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI BIOGAS

A. Fichera, I.D. Guglielmino, A. Pagano

DIIM - Università degli Studi di Catania, Viale A. Doria 6, 95125 Catania, Italy  
[afichera@diim.unict.it](mailto:afichera@diim.unict.it) [apagano@diim.unict.it](mailto:apagano@diim.unict.it)

## SOMMARIO

Lo studio analizza i vantaggi energetici e la fattibilità tecnico-economica di un impianto di digestione anaerobica di biomassa in grado di soddisfare il fabbisogno di biogas di una fornace per la cottura di laterizi. L'impianto di produzione di laterizi presenta due distinte utenze termiche: la fornace e l'essiccatoio. La richiesta di potenza elettrica è suddivisa tra i macchinari per la lavorazione delle materie prime e per la formatura dei laterizi e quelli per la movimentazione. La fornace, attualmente alimentata con gas naturale, è dotata di un sistema di recupero che trasferisce all'essiccatoio il calore rilasciato dai laterizi in uscita dalla sezione di cottura del forno. Il fabbisogno annuale di energia dell'impianto è pari a 90.446.996 MJ/anno, prevalentemente rappresentato dalla richiesta di energia termica, pari a 80.405.972 MJ/anno, cui si somma una richiesta di potenza elettrica pari a 2.789.173 kWh/anno. Carichi energetici di questa entità rappresentano la maggiore voce di costo per l'azienda, quantificabile in circa il 60% dell'intero costo di produzione.

Sono stati considerati diversi scenari di autoproduzione energetica mediante digestione anaerobica delle biomasse, ipotizzando per ciascuno scenario diverse taglie e tecnologie di impianti di digestione anaerobica. Sono state inoltre condotte numerose analisi di sensitività al fine di valutare l'influenza sul NPV e sul tempo di pay back dei principali parametri in gioco. I risultati ottenibili da alcuni degli scenari ipotizzati appaiono estremamente incoraggianti, in termini sia di NPV sia di tempo di pay back dell'investimento richiesto.

## INTRODUZIONE

La diffusione di fonti rinnovabili di energia è fondamentale per un futuro energeticamente sostenibile. Le biomasse, tra le varie fonti rinnovabili, posseggono un elevato potenziale per quanto attiene sia la sostituzione dei combustibili fossili [1-2] sia il raggiungimento degli obiettivi di abbattimento dei gas serra previsti ai protocolli di Kyoto. Com'è noto, il raggiungimento di tali obiettivi è stato incentivato dalla legislazione nazionale ed europea mediante incentivi alle aziende che risparmiano energia o la producono da fonti rinnovabili.

Nel contesto suddetto, cui si dà solo un breve cenno, è chiaro come il ricorso alle fonti rinnovabili sia particolarmente promettente per tutte le aziende particolarmente *energivore*, per le quali gli incentivi consentono ampi margini di riduzione dei costi della bolletta energetica. Un esempio di tali aziende è rappresentato dal comparto di produzione dei laterizi, un settore che utilizza grandi quantità di gas naturale ed energia elettrica. Per questo comparto, il ricorso a tecnologie di digestione anaerobica delle biomasse appare particolarmente appetibile. A ciò si aggiunga che l'uso di biomasse non contaminate, prodotte a livello locale da aziende del comparto agricolo ed agro-industriale, consente di valorizzare gli scarti e, dunque, rappresenta un potenziale volano di rilancio anche di queste ultime. L'assenza di contaminanti consente infatti di ottenere, in uscita dal processo di digestione anaerobica, compost di qualità, dotato di valore economico e dunque capace di abbattere in parte i costi di produzione di biogas.

Il presente studio si propone di valutare la convenienza energetica ed economica di un impianto di produzione di

biogas per il soddisfacimento del fabbisogno di energia di un impianto per la produzione di laterizi situata nella Sicilia orientale, in provincia di Catania. Il soddisfacimento di tale fabbisogno rappresenta per l'azienda il costo più rilevante, suddiviso in una relativamente ridotta richiesta di energia elettrica per gli impianti di lavorazione, movimentazione e formatura dei pezzi in argilla, ed in una elevata richiesta di gas, attualmente gas naturale, per l'alimentazione della fornace per la cottura dei laterizi. L'analisi delle possibilità di soddisfacimento dei suddetti fabbisogni mediante autoproduzione di energia, ed in particolare di sostituzione delle fonti di origine fossile con fonti rinnovabili reperibili nel territorio circostante, assume dunque particolare interesse. È opportuno sottolineare, per l'applicazione specifica, il grande potenziale offerto dalla biomassa non contaminata, dunque "pulita", presente in abbondanza nell'area in cui l'impianto è collocato, caratterizzata da una forte vocazione agricola ed agro-industriale. Tra le diverse tecnologie di conversione della biomassa prese in considerazione è stata preferita la digestione anaerobica poiché in grado di fornire biogas direttamente utilizzabile in fornace, con lievi modifiche all'impianto già esistente, o facilmente convertibile in energia elettrica mediante un impianto turbogas [3-4-5].

Gli scenari ipotizzati per l'utilizzo del biogas prodotto dalla digestione anaerobica delle biomasse possono essere schematizzati come segue:

- alimentazione della fornace, con soddisfacimento della sola richiesta di energia termica;
- alimentazione di un impianto turbogas per il soddisfacimento della sola domanda di energia elettrica;

- alimentazione di un impianto cogenerativo in grado di soddisfare sia l'utenza elettrica sia quella termica.

Al fine di tracciare un quadro completo, sono state inoltre condotte alcune analisi di sensitività rispetto ad alcuni parametri di natura economica, quali il prezzo di acquisto della biomassa o il prezzo di vendita del compost.

Nell'analizzare gli scenari proposti sono state prese in considerazione le misure economiche previste a livello italiano per supportare la diffusione delle fonti rinnovabili di energia. Tali misure di supporto costituiscono, senza dubbi, dei fattori critici per la fattibilità economica di gran parte degli scenari considerati.

## L'IMPIANTO PER LA COTTURA DEI LATERIZI

L'impianto di produzione di laterizi oggetto di studio può essere suddiviso in quattro unità di processo:

- alimentazione e processamento delle materie prime (principalmente argilla e acqua) con l'obiettivo di ottenere un materiale omogeneo
- formatura dei mattoni (di forme diverse a seconda delle esigenze)
- asciugatura dei laterizi in una camera di essiccazione
- cottura dei laterizi all'interno della fornace.

La fornace propriamente detta consiste in un tunnel suddiviso in tre zone: di riscaldamento, nella quale la temperatura viene innalzata fino a 600°C, di cottura, che avviene ad una temperatura media di circa 800 °C, e raffreddamento, in cui la temperatura viene abbassata fino a 50°C. La fornace opera a ciclo continuo durante le 24 hours [6].

Nell'impianto ci sono due utenze termiche: la fornace e la camera di essiccazione. In aggiunta, deve considerarsi la richiesta di energia elettrica richiesta dalle macchine di formatura, trasporto e manipolazione dell'argilla.

Attualmente la fornace è alimentata a gas naturale, mentre un sistema di recupero del calore di scarto da quest'ultima provvede al soddisfacimento della richiesta termica della camera di essiccazione.

Sulla base dei dati storici sui consumi termici ed elettrici, la richiesta di energia termica annuale media è stata stimata in 80.405.972 MJ/anno, a fronte di una richiesta di energia elettrica pari a 789.173 kWh/anno. Ciò indica che la richiesta di energia termica rappresenta lo 89% della richiesta totale di energia. I costi sostenuti per il soddisfacimento delle richieste energetiche sono state messe in relazione ai costi complessivi dell'azienda, portando all'osservazione che la richiesta di energia rappresenta circa il 60% del costo totale di produzione. In particolare, il 65% del costo dell'energia è determinato dalla richiesta di gas naturale che alimenta la fornace, mentre il rimanente 35% è rappresentato dal costo dell'energia elettrica.

## DEFINIZIONE DEGLI SCENARI

Al fine di valutare e confrontare la fattibilità di scenari differenti è stato definito un modello apposito che calcola il Net Present Value (NPV) ed il pay back time (Tpb) dell'investimento, secondo la definizione classica di tali grandezze [7]:

$$NPV = \sum_{k=1}^n \frac{R_k - C_k - I_k}{(1+i)^k} + \frac{V_r}{(1+i)^n} \quad (1)$$

in cui  $R_k$  è il ricavo annuo,  $C_k$  il costo annuo,  $I_k$  l'investimento annuo,  $V_r$  è il valore residuo dell'impianto alla fine del periodo di osservazione,  $i$  è il tasso di sconto ed  $n$  è il numero di anni di osservazione dell'investimento. In tal modo è possibile attualizzare e sommare i flussi di cassa annuali per valutare il valore attuale netto (NPV) dell'investimento alla fine del periodo di osservazione, fissato nel presente studio pari a 10 anni (ipotizzando  $V_r=0$ ). Il tempo di payback,  $Tpb$ , rappresenta l'intervallo dall'inizio dell'investimento in corrispondenza del quale il valore attuale netto dell'investimento passa da negativo a positivo, dunque oltre il quale l'investimento comincia ad essere remunerativo. Nel modello il tasso di sconto è stato calcolato attraverso la relazione seguente [8]:

$$i = \frac{BOT_n + RI}{(1 - TAS)} \quad (2)$$

dove  $BOT_n$  è il tasso di interesse pagato sui buoni ordinari del tesoro italiano,  $RI$  rappresenta il rischio di investimento per l'azienda, e  $TAS$  è il tasso di tassazione nazionale. L'equazione (2) tiene conto di investimenti alternativi che l'azienda potrebbe scegliere, prederendo o un rendimento del capitale sicuro e specificato, che può essere preso come riferimento, o investendo in un impianto alternativo i cui profitti sarebbero soggetti a tassazione.

Nel presente studio, l'investimento totale è dato dalla somma del costo del digestore anaerobico e da quello necessario per adattare l'impianto attuale all'alimentazione con biogas. In aggiunta, per alcuni degli scenari analizzati va considerato anche il costo dell'impianto turbogas.

L'investimento totale è stato sensibilmente ridotto ipotizzando di beneficiare del contributo conto capitale, pari al 40%, che il Governo Italiano mette a disposizione per supportare la diffusione di impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili (D. Lgs. 488/92) [9].

I risparmi ottenibili attraverso l'autoproduzione energetica sono stati considerati equivalenti a profitti. Tali risparmi derivano dalla somma dei risparmi sui consumi di gas naturale e/o energia elettrica, meno i costi di gestione dell'impianto di digestione anaerobica, calcolati come percentuale dell'investimento. Devono inoltre essere considerati i profitti derivanti dalla vendita dei Certificati Verdi (CV) e dei Titoli di Efficienza Energetica (TEE) [10]. In particolare, ogni anno le aziende che producono energia da fonti rinnovabili vengono ricompensate da un numero di CV proporzionale all'energia rinnovabile prodotta nell'anno precedente, che vengono poi essere venduti agli operatori del settore energetico che producono o distribuiscono energia prodotta da fonti tradizionali. In maniera analoga, un certo numero di TEE vengono riconosciuti alle aziende che abbiano conseguito risparmi di energia o che abbiano sostituito fonti fossili con fonti tradizionali.

Il costo del gas naturale e dell'elettricità è stato calcolato sulla base dei costi storici sostenuti dall'azienda. Il costo medio per il gas naturale è pari a 0.22 €/Nm<sup>3</sup>, mentre quello dell'energia elettrica è di 0.096 €/kWh.

In mancanza di dati più attuali, sono stati considerati i prezzi dei CV e dei TEE riconosciuti alle aziende nell'anno 2002 pari rispettivamente a 0.084 €/kWh e a 0.0046 €/MJ [10]. Eventuali ricavi provenienti dalla vendita di compost di qualità e costi per il reperimento della biomassa sono stati considerati in alcuni scenari.

Infine sono state effettuate delle analisi di sensitività con l'obiettivo di valutare l'influenza dei principali parametrici.

quali il costo della biomassa, il prezzo di vendita del compost, il valore di mercato di CV e TEE, il potere calorifico inferiore del biogas, la resa in biogas ed i costi gestione del digestore anaerobico. Ai fini dell'analisi di sensitività, il costo della biomassa ed il prezzo di vendita del compost sono stati unificati in un unico parametro, definito come segue:

$$\Delta = p_{comp} * R - c_{biom} \quad (4)$$

dove  $p_{comp}$  indica il prezzo di vendita del compost,  $c_{biom}$  il costo della biomassa ed  $R$  è la resa in compost per unità di di biomassa digerita. Quando  $\Delta$  è negativo, il costo complessivamente sostenuto per l'acquisto della biomassa è maggiore dei ricavi ottenuti dalla vendita del compost, e viceversa.

## RISULTATI

Sono stati ipotizzati diversi scenari, tutti comunque basati sulla produzione di biogas in un impianto di digestione anaerobica. In particolare, si è supposto che la produzione di biogas soddisfi:

- la richiesta di energia termica della fornace;
- la richiesta di energia elettrica mediante utilizzo in un apposito impianto turbogas;
- entrambe le richieste in cogenerazione.

Nei tre scenari proposti si è ipotizzato di alimentare il digestore con un flusso di biomassa pari a 10.000 ton/anno, che corrisponde al soddisfacimento solo di una frazione della richiesta energetica dell'azienda. Si è infine considerato anche il caso di soddisfacimento totale dei fabbisogni dell'azienda, stimando anche la corrispondente capacità del digestore.

### Soddisfacimento di una frazione della domanda energetica

I parametri utilizzati per la valutazione degli scenari descritti nel presente paragrafo sono riportati in Tab. 1.

scenario	B10000therm	B10000elect	B10000cog
investment cost [€]	300.000	500.000	500.000
deductions 488/92 [€]	120.000	200.000	200.000
natural gas saving [€/year]	89.000	-	56.000
electric energy saving [€/year]	-	115.000	115.000
TEE send [€/year]	66.000	-	42.000
ROC send [€/year]	-	100.000	100.000

Tab. 1 Parametri usati per l'analisi degli scenari

La tecnologia di digestione anaerobica considerata è caratterizzata da bassi investimenti ed una resa di media di biogas pari a 71.8 m<sup>3</sup> per tonnellata di biomassa trattata. Conseguentemente, l'impianto per la digestione di 10.000 ton/anno di biomassa considerato in questa fase è in grado di soddisfare circa il 18% della domanda complessiva di energia termica della fornace. Il flow chart che schematizza questo scenario è mostrato a sinistra in Fig. 1. Il tempo di payback calcolato per questo scenario (*B10000therm*) è pari a 2 years, con un NPV al decimo anno pari a 555.000 €. Entrambi questi dati indicano la convenienza di questo investimento, così come è possibile desumere anche dall'analisi della Fig. 2.

Considerando ancora un flusso di biomassa pari a 10.000 ton/anno, l'alternativa di alimentare un impianto turbogas per produrre energia elettrica permette di far fronte al 43% della richiesta elettrica (scenario *B10000elect*, schematizzato nel flow chart destro di Fig. 1). In questo caso il *Tpb* si attesta di nuovo ai 2 anni, come nel caso precedente, ma si osserva una crescita del NPV al decimo anno che raggiunge i 794.000 €

Ciò deriva dall'aumento dei risparmi conseguiti con l'autoproduzione di energia elettrica rispetto al caso di autoproduzione di energia termica.

Si è infine analizzata la possibilità di recuperare il calore di scarto dell'impianto turbogas; in questo caso è possibile soddisfare una frazione pari allo 11% dell'energia termica e del 43% di quella elettrica. Il flow chart di questo scenario (scenario *B10000cog*) è mostrato in Fig. 3. Il tempo di payback dell'investimento scende in questo caso ad un anno con un sensibile incremento del NPV al decimo anno, che raggiunge i 1.368.000 €

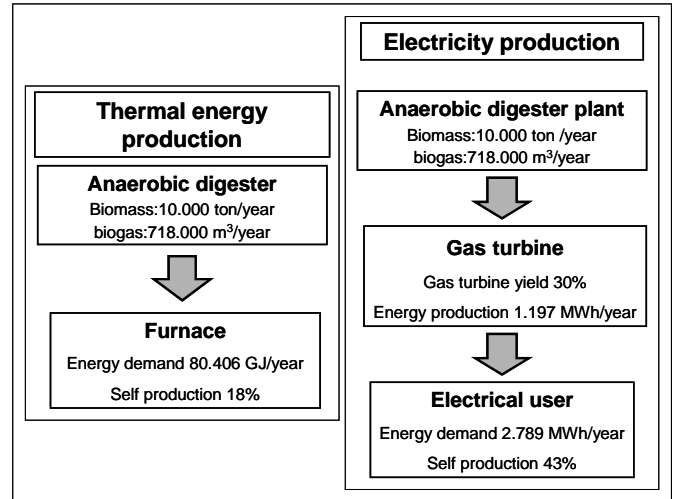


Fig. 1 Flow chart degli schemi di autoproduzione di energia termica (a sinistra) ed elettrica (a destra).

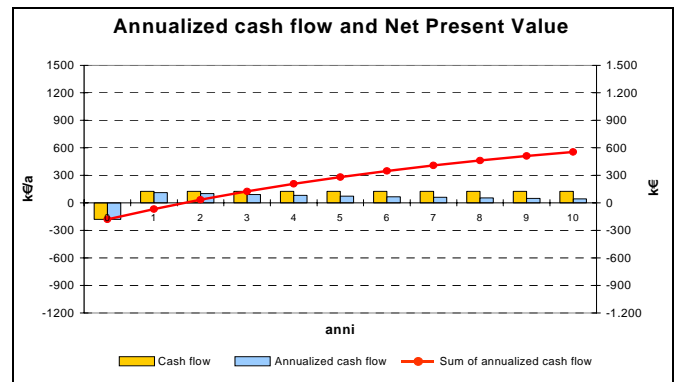


Fig. 2 NPV e flussi di cassa per lo scenario *B10000therm*

In tutti gli scenari sin qui riportati sono stati considerati i ricavi derivanti dalla vendita di TEE e di CV (questi ultimi solo nel caso di produzione di energia elettrica), nonché il contributo statale pari al 40% in conto capitale. Si è invece posto pari a zero il valore del parametro  $\Delta$  definito in precedenza, nell'ipotesi che la biomassa non costituisca un costo e che il compost prodotto non rappresenti un ricavo (o, equivalentemente, che i costi sostenuti per l'acquisto della biomassa vengano bilanciati dalla vendita del compost). L'analisi di sensitività rispetto al parametro  $\Delta$ , riportata in Fig. 4, mostra come una diminuzione di quest'ultimo causi l'aumento del *Tpb*, a svantaggio della fattibilità economica dell'investimento che viene progressivamente ridotta fino ad annullarsi.

I risultati ottenuti dalle analisi di sensitività condotte rispetto agli altri parametri (TEE, CV, resa di biogas, potere calorifico, costi di gestione del digestore), non riportati per brevità, hanno evidenziato come le variazioni di questi parametri entro

i valori per essi normalmente ipotizzabili non influenzano sensibilmente la convenienza economica dell'investimento.

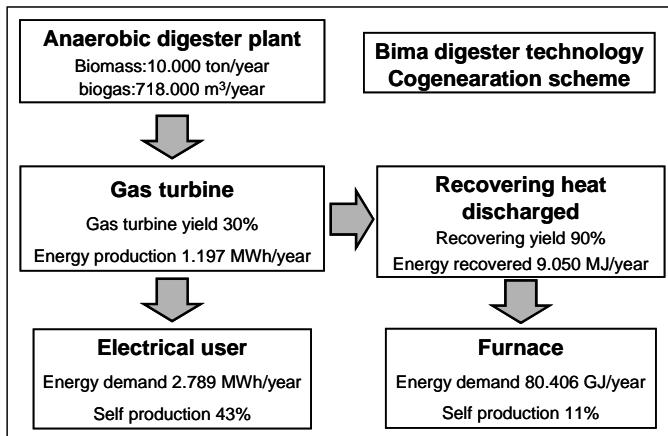


Fig. 3 Flow chart dello schema di autoproduzione elettrica e termica in cogenerazione

### Soddisfacimento dell'intera domanda di energia

I parametri utilizzati per la valutazione degli scenari descritti nel presente paragrafo sono riportati in Tab. 2.

Gli ultimi scenari analizzati ipotizzano che l'impianto di produzione di biogas sia in grado di soddisfare totalmente la domanda energetica dell'azienda. In particolare sono stati considerati tre scenari ulteriori, supponendo che la capacità del di gestore soddisfi: la domanda di energia termica della fornace, la domanda di energia elettrica dell'azienda, o, infine, l'intera domanda di energia termica ed elettrica dell'azienda.

scenario	<i>Btot therm</i>	<i>Btot elect</i>	<i>Btot cog</i>
investment cost [€]	1.490.000	990.000	2.056.000
deductions 488/92 [€]	596.000	396.000	822.000
natural gas saving [€/year]	497.000	-	497.000
electric energy saving [€/year]	-	268.000	268.000
TEE send [€/year]	370.000	-	370.000
ROC send [€/year]	-	235.000	235.000

Tab. 2 Parametri usati per l'analisi degli scenari con completo soddisfacimento dei fabbisogni energetici.

Nel primo caso (scenario *Btot therm*) la capacità del digestore è stata calcolata dover essere pari a 56.000 ton/anno di biomassa, con un investimento complessivo pari 1.490.000 €. Considerando la vendita di TEE ed il contributo governativo pari al 40% del capitale investito, si raggiunge un NPV decennale di 3.684.000 € con un *Tpb* leggermente superiore ad un anno.

La capacità del digestore nel caso di completo soddisfacimento della sola richiesta di energia elettrica è stata valutata in 23.000 ton/anno di biomassa (scenario *Btot elect*). L'investimento complessivo è in tal caso pari a 990.000 €. Considerando nuovamente la vendita di TEE ed il contributo governativo pari al 40% del capitale investito, ed aggiungendo anche la vendita di CV, si ottiene un *Tpb* pari ad un anno e mezzo ed un NPV al decimo anno di 2.015.831 €.

Infine, la capacità del digestore che è necessario prevedere per il soddisfacimento dell'intera richiesta energetica dell'azienda è stata stimata pari a 64.600 ton/anno di biomassa (scenario *Btot cog*), richiedendo un investimento corrispondente di 2.056.000 €. Il tempo di payback dell'investimento è in questo caso pari ad un solo anno, con un NPV al decimo anno che raggiunge i 6.100.000 €.

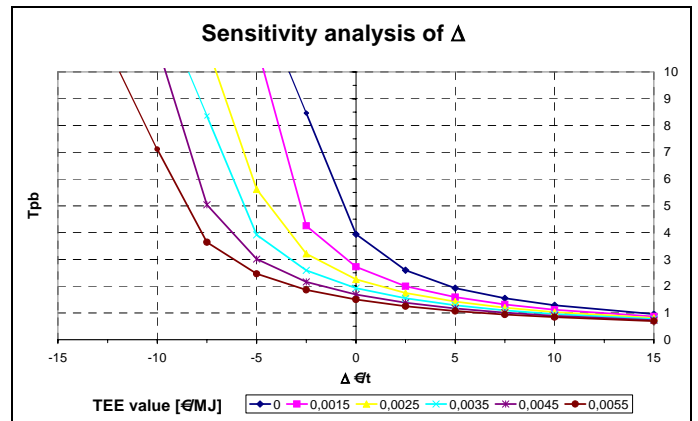


Fig. 1 Analisi di sensitività al variare di  $\Delta$

Anche per questi ultimi scenari sono state effettuate le analisi di sensitività rispetto ai parametri prima indicati, ottenendo anche in questo caso l'indicazione generale che  $\Delta$  è l'unico parametro a giocare una influenza rilevante sia sul *Tpb* sia sul NPV.

I risultati ottenuti negli ultimi tre scenari sono riassunti in Tab.3.

scenario	<i>Tpb</i> [years-months]	NPV [€]	digester capacity [ton/year]	thermal energy satisfaction	electric energy satisfaction
<i>B10000therm</i>	1 - 8	555.343	10.000	17,87%	-
<i>B10000elect</i>	1 - 11	793.663	10.000	-	42,92%
<i>B10000cog</i>	1 - 2	1.368.235	10.000	11,26%	42,92%
<i>Btot therm</i>	1 - 4	3.684.043	56.000	100%	-
<i>Btot elect</i>	1 - 6	2.015.831	23.000	-	100%
<i>Btot cog</i>	1 - 1	6.104.056	64.590	100%	100%

Tab. 2 Schema riassuntivo dei risultati per gli scenari con totale soddisfacimento dei fabbisogni energetici.

### Conclusioni

Nel presente studio si è analizzata la possibilità di utilizzare un impianto per la produzione di biogas mediante digestione anaerobica di biomassa al fine di soddisfare il fabbisogno di energia di una azienda produttrice di laterizi. La tecnologia di digestione anaerobica ipotizzata è relativamente semplice e richiede investimenti relativamente contenuti.

Sono stati analizzati differenti scenari al fine di trovare una soluzione ottimale. In aggiunta sono state condotte delle analisi di sensitività al fine di quantificare l'influenza sulla convenienza dell'investimento dei parametri principali.

Per tutti gli scenari proposti, le analisi sono state condotte tenendo conto del contributo governativo pari al 40% del capitale investito, della vendita dei titoli di efficienza energetica e, nel caso degli scenari che prevedevano produzione di energia elettrica, della vendita dei certificati.

I risultati ottenuti hanno sostanzialmente dimostrato la convenienza economica di tutti gli scenari ipotizzati, ed in particolare degli schemi con produzione combinata di energia elettrica e termica. Ciò dimostra come la digestione anaerobica della biomassa rappresenti una tecnologia promettente per il raggiungimento dell'indipendenza energetica di impianti simili a quello considerato nel presente studio, ovvero in impianti in cui si faccia uso diretto di un combustibile sostituibile con biogas.

### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. P. McKendry, Energy production from biomass (part 1): overview of biomass, *Bioresouce Technology*, 2002; 83: 37-46.

2. V. Nallathambi Gunaseelan, Anaerobic digestion of biomass for methane production: a review, *Biomass and Bioenergy*, 1997; 13: 83-114.
3. L. De Baere, Anaerobic digestion of solid waste: state-of-the-art, *Water science and Technology*, 2000, 41 (3): 283-290.
4. G. Lissens, P. Vandevivere, L. De Baere, E.M. Biey, W. Verstrete, Solid waste digestors: processed performance and practice for municipal solid waste digestion, *Water science and Technology* 2001, 44 (8): 91-102.
5. E. Facincani E., Tecnologia ceramica. I laterizi, *Gruppo Editoriale Faenza Editrice*, 1992.
6. O. Adeoti, M.O. Ilori, T.O. Oyebisi, L.O. Adekoya, Engineering design and economic evaluation of a family sized-biogas project in Nigeria, *Technovation*, 2000; 20: 103-108.
7. A. Gulisano, Finanza operativa, *Etaslibri*, 1995.
8. PON Programma Operativo Nazionale, *Guida alle agevolazioni della graduatoria speciale della legge 488/92 Ambiente*, IPI Istituto per la Promozione Industriale, Settembre 2003.
9. GRTN, *Energia elettrica da fonti rinnovabili; Bollettino dell'anno 2002*, Roma, Luglio 2003.