

# STUDIO DI FATTIBILITÀ DI UN IMPIANTO DI DIGESTIONE ANAEROBICA NEL COMUNE DI CASTIGLIONE DEL LAGO

C. Buratti<sup>1</sup>, M. Barbanera<sup>1</sup>, F. Fantozzi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Ricerca Biomasse (CRB), Università degli Studi di Perugia  
Via M.Iorio, 8 – 06128 Perugia  
Tel: 075.5004209 – Fax 075.5153321  
e-mail: cburatti@unipg.it, barbanera@crbnet.it, fanto@crbnet.it

## SOMMARIO

La presenza nel Comune di Castiglione del Lago di un'intensa attività zootecnica (in particolare suinicola) ha indotto a valutare la possibilità di realizzare un impianto a biogas per la produzione di energia elettrica e termica, impiegando come matrici organiche da fermentare liquami e insilato di mais.

Nel presente lavoro sono state considerate le principali aziende zootecniche per la fornitura dei liquami suinicoli e un quantitativo di insilato di mais tale da poter realizzare un impianto di potenza pari a 250 kW elettrici e 380 kW termici. La superficie agricola da destinare alla produzione energetica di silomais è stata quantificata in circa 37 ettari. Lo schema impiantistico prescelto è rappresentato da un modello a sviluppo orizzontale, costituito da due fermentatori primari CSTR, operanti in parallelo e in ambiente mesofilo, e da un fermentatore secondario verticale.

Relativamente alla gestione del digestato in uscita dall'impianto, si è provveduto a quantificare la superficie necessaria per lo spandimento, tenendo conto che la quasi totalità del territorio comunale è classificata come zona vulnerabile (in base alla Direttiva CEE 91/676 sui nitrati). Considerando il limite di 170 kgN/ha, si è determinata una superficie agricola dell'ordine dei 670 ettari.

Dal punto di vista economico sono stati analizzati diversi scenari, sia relativamente all'approvvigionamento del silomais (acquisto o autoproduzione), sia riguardo al sistema di incentivazione. Il bilancio economico maggiormente vantaggioso è stato ottenuto considerando un'autoproduzione del silomais e un'incentivazione tramite tariffa omnicomprensiva secondo quanto previsto dalla Finanziaria 2008.

Lo studio è stato completato con la valutazione dell'impatto ambientale del processo mediante il bilancio dei gas serra, in termini di CO<sub>2</sub> eq, tra lo scenario attuale, in assenza dell'impianto di digestione anaerobica, e quello futuro. I risultati ottenuti hanno evidenziato che la realizzazione dell'impianto di digestione anaerobica consentirebbe di ottenere un risparmio annuo pari a circa 1 230 tCO<sub>2</sub> eq.

## INTRODUZIONE

Il territorio del Comune di Castiglione del Lago (PG) è caratterizzato da un'economia prevalentemente agro-industriale, con presenza di un'intensa attività zootecnica, in particolare suinicola. Ciò ha indotto alla valutazione della possibile realizzazione di un impianto centralizzato di trattamento anaerobico dei liquami prodotti dalle diverse aziende suinicole presenti sul territorio, che potrebbe apportare alcuni benefici all'intero settore.

La recente applicazione in Italia della Direttiva Nitrati [1] limita lo spargimento sul terreno di nitrati provenienti dagli allevamenti zootecnici. Nella maggior parte dei casi questo limite impone un trattamento specifico di denitrificazione dei liquami, per ridurre la concentrazione in azoto, il cui costo risulta essere decisamente considerevole. Pertanto il recupero economico derivante dalla produzione di energia termoelettrica consentirebbe di ammortizzare la maggiore spesa della denitrificazione; inoltre il processo anaerobico e la successiva separazione del digestato renderebbero tecnicamente più facile la realizzazione del trattamento specifico di riduzione dell'azoto.

Un altro importante vantaggio del trattamento anaerobico è rappresentato dal fatto che il materiale fermentato è praticamente inodore, riducendo sia la carica patogena che l'emissione di acidi organici e altri componenti con cattivi

odori.

Il presente lavoro riguarda l'analisi della fattibilità tecnico-economica di un impianto di codigestione di liquami zootecnici, impiegando insilato di mais come biomassa erbacea. Si è determinato il quantitativo di reflui suinicoli prodotti dalle aziende del territorio e si è stimato l'ammontare di insilato di mais necessario ad alimentare un impianto caratterizzato da una potenza elettrica di 250 kW.

Lo studio prevede inoltre il dimensionamento dell'impianto, la definizione della superficie agricola necessaria per lo spandimento del digestato, la valutazione del bilancio economico-finanziario dell'investimento e la determinazione delle ricadute ambientali sul territorio in termini di riduzione delle emissioni di gas serra. Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto, si è provveduto a determinare l'incidenza di tale filiera sul quantitativo complessivo di emissioni di gas serra prodotte nel territorio e desunte dal Piano Energetico Comunale.

## DISPONIBILITÀ DI BIOMASSA E INDIVIDUAZIONE DEL SITO

Utilizzando il censimento degli allevamenti suinicoli redatto dal Comune di Castiglione del Lago è stato possibile identificare le aziende zootecniche presenti sul territorio,

individuandone la posizione geografica e il numero di capi allevati. Sono stati presi in considerazione soltanto i cinque allevamenti di maggiori dimensioni, al fine di ridurre l'incidenza dei trasporti dei reflui zootecnici sulla rete viaria comunale.

Per quanto riguarda la localizzazione dell'impianto a biogas, il Comune di Castiglione del Lago ha individuato due possibili siti; la prima soluzione (a) è quella in località Lacaioli (Fig. 1), dove attualmente è presente un impianto di compostaggio dei rifiuti. Il secondo sito (b) si trova in località Pineta (Fig. 2); attualmente è presente un appezzamento di terreno dismesso, situato a pochi metri da una cabina elettrica ENEL, che potrebbe facilitare l'allaccio dell'impianto alla linea elettrica nazionale.

In Tab. 1 sono riportati, per ciascuna azienda, il numero di capi allevati e le distanze dai due siti considerati.



**Figura 1:** Sito in località Lacaioli.



**Figura 2:** Sito in località Pineta.

**Tabella 1:** Allevamenti considerati nello studio di fattibilità.

Azienda n.	Località	Capi allevati	Distanza (km)
1	Pozzuolo	3 000	Sito a: 14.7
			Sito b: 18.7
2	Casamaggiore	2 000	Sito a: 9.4
			Sito b: 10.2
3	Casamaggiore	2 900	Sito a: 11
			Sito b: 11.9
4	Badia	1 300	Sito a: 7
			Sito b: 7.5
5	Sanfatucchio	1 300	Sito a: 5.7
			Sito b: 3.8

La potenza dell'impianto è stata determinata in considerazione di quanto previsto dalla Legge Finanziaria 2008 [2], per la quale ai fini dell'installazione e gestione di impianti da fonte rinnovabile per i quali non sia previsto il rilascio di alcuna autorizzazione non si applicano le procedure previste per il rilascio dell'autorizzazione unica, ma una semplice denuncia di inizio attività (DIA). È questo anche il caso degli impianti la cui capacità di generazione elettrica sia inferiore a 250 kW per gas di discarica, gas residuati da processi di depurazione e biogas.

Volendo massimizzare la potenza elettrica dell'impianto senza tuttavia superare il valore di 250 kW per poter usufruire della procedura semplificata, si è visto che la disponibilità di reflui zootecnici nel Comune non consente il raggiungimento di tale potenza. Inoltre il processo di digestione anaerobica risulta notevolmente migliorato se ai reflui sono aggiunti in co-digestione altri componenti come l'insilato di mais. Quest'ultimo, in particolare, consente sia di migliorare le caratteristiche e la stabilità dello stesso sia di aumentare notevolmente la producibilità di biogas.

È stato pertanto determinato il quantitativo di trinciato di mais necessario per raggiungere una potenza elettrica complessiva dell'impianto pari a 250 kWe.

## DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI DIGESTIONE ANAEROBICA

I cinque allevamenti presi in considerazione presentano una capacità complessiva pari a 10500 capi, che si considerano da ingrasso e di peso medio di 95 kg l'uno. In tabella 2 sono riportati i parametri necessari alla determinazione della potenza elettrica ottenibile da questa prima matrice considerando un motore a combustione a ciclo Otto [4].

**Tabella 2:** Parametri, relativi ai liquami, per la determinazione della potenza termica ed elettrica dell'impianto.

Liquame prodotto	89 800 kg/giorno
Percentuale di sostanza secca dei liquami	4.5%
Sostanza secca dei liquami	4 490 kg/giorno
Frazione organica della sostanza secca dei liquami	90%
Sostanza organica dei liquami	4 040 kg/giorno
Resa in biogas	0.45 m <sup>3</sup> /kg sostanza secca organica
Biogas prodotto	1 640 m <sup>3</sup> /giorno
Potenza elettrica ottenibile con liquami	142 kWe
Potenza termica ottenibile con liquami	216 kWt

Si è stimato inoltre che per poter raggiungere la potenza elettrica complessiva di 250 kWe sono necessari circa 1250 m<sup>3</sup>/giorno di biogas da silomais, ottenibili con circa 6780 kg/giorno di biomassa. In tabella 3 sono elencati i parametri presi in esame per tali calcoli [4, 5].

Inoltre, assumendo una resa del silomais pari a 600 q/ha [6] e un funzionamento annuo dell'impianto pari a 333 giorni/anno, si ricava che gli ettari necessari da coltivare a mais sono circa 37 [6].

Considerando che l'impianto lavora 7500 ore all'anno, l'energia elettrica complessivamente producibile è pari a 1875 MWh/anno, mentre quella termica risulta essere 2850 MWh/anno. Si ipotizza inoltre che l'impianto consumi per il proprio funzionamento circa il 42% dell'energia termica prodotta (1197 MWh/anno) e l'8% di quella elettrica (150

MWh/anno).

**Tabella 3:** Parametri, relativi all'insilato di mais, per la determinazione della potenza termica ed elettrica dell'impianto.

Percentuale di sostanza secca dell'insilato	33%
Frazione organica della sostanza secca dell'insilato	95%
Resa in biogas	0.585 m <sup>3</sup> /kg sostanza secca
Potenza elettrica ottenibile con insilato	108 kWe
Potenza termica ottenibile con insilato	164 kWt

### Caratteristiche dell'impianto

L'impianto di digestione anaerobica proposto è rappresentato da un modello a sviluppo orizzontale, specificamente concepito per la fermentazione di substrati ad alto tenore di sostanze solide e di substrati galleggianti [7].

Esso è costituito da un fermentatore primario e da un fermentatore secondario, pertanto la produzione di biogas avviene in due fasi distinte. Nel caso specifico si è optato per la separazione del volume destinato al digestore primario in due parti, ottenendo due digestori in parallelo.

I fermentatori principali, denominati CSTR, sono dei moduli orizzontali che lavorano in ambiente mesofilo. La presenza di una coclea miscelatrice orizzontale consente di mescolare ininterrottamente l'intero volume nei contenitori. I liquidi sono raccolti in una vasca di premiscelazione e convogliati da una pompa nei fermentatori principali. Le materie solide sono brevemente triturate e poi mescolate e immagazzinate in un apposito miscelatore.

All'uscita dal fermentatore primario, il substrato passa in quello secondario, dove viene completato il processo di digestione in ambiente termofilo. Il fermentatore secondario è un classico fermentatore verticale, dotato di agitatore a immersione. La copertura del fermentatore con pellicola elastica consente di immagazzinare biogas già prima del recupero. Inoltre un getto d'aria nel serbatoio di biogas attiva la desolfurazione biologica del biogas. Sarebbe opportuno considerare anche l'installazione di un separatore solido-liquido (rotovaglio) ancor prima dei fermentatori primari; tale scelta è giustificata anche dal fatto che in tutti gli allevamenti attualmente presenti nel Comune di Castiglione del Lago non è presente alcun meccanismo di separazione della frazione grossolana.

In uscita dal fermentatore secondario si ha il digestato, una miscela che andrebbe a sua volta vagliata. Una soluzione possibile è quella delle centrifughe ad asse orizzontale, che garantiscono la separazione di un fango sufficientemente concentrato e richiedono spazi ridotti; in particolare esse possono essere utilizzate in caso di separazione di materiale sia grossolano sia fine.

In figura 3 è riportato uno schema semplificato dell'impianto di digestione anaerobica. I liquami provenienti dai cinque allevamenti passano per un separatore solido-liquido (vaglio rotante), prima di essere immessi nei digestori; il substrato raggiunge i digestori primari, mentre la frazione grossolana può essere subito usata come ammendante o trasportata ad un eventuale impianto di compostaggio. Nei reattori è immesso anche l'insilato di mais. Il biogas prodotto sia dai digestori primari che dal secondario viene trasportato tramite tubazioni al cogeneratore. Il circuito dell'acqua parte dal cogeneratore a circa 120°C e raggiunge i digestori primari cedendo calore o tramite scambiatori di calore (acqua-fango)

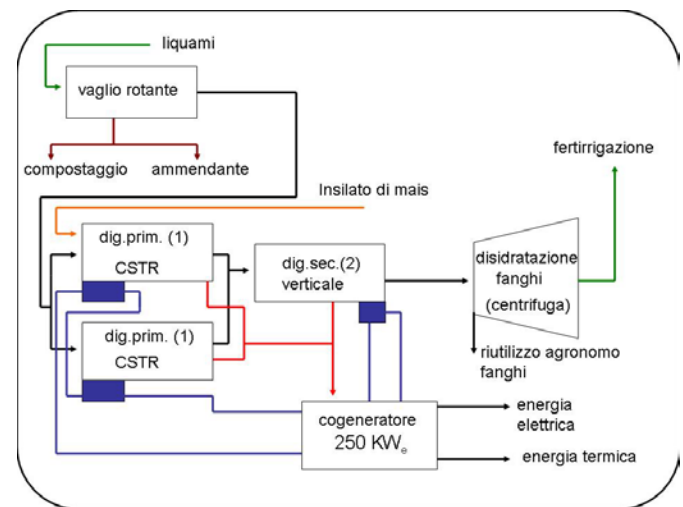
oppure mediante immissione diretta in serpentine all'interno dei digestori.

### Dimensionamento dei fermentatori

Nei fermentatori sono immessi 89 800 kg di reflui suinicoli e 6780 kg di silomais al giorno, equivalenti rispettivamente a circa 145 m<sup>3</sup>/giorno di liquami e 11 m<sup>3</sup>/giorno di silomais [4].

Il volume totale può essere calcolato tramite una relazione [8] che tiene conto sia della portata giornaliera totale da trattare nei digestori sia della temperatura media di lavoro al loro interno, pari a 35 °C.

In questo modo si ottiene un volume totale dei digestori di circa 2400 m<sup>3</sup>. Il digestore primario costituisce circa i 2/3 del volume totale e quindi circa 1600 m<sup>3</sup>; dal momento che sono previsti due fermentatori primari, il loro volume sarà pari a 800 m<sup>3</sup> ciascuno, che è pari anche al volume del digestore secondario.



**Figura 3:** Schema dell'impianto di digestione anaerobica.

### GESTIONE DEL DIGESTATO

Attualmente il liquame viene stoccato in vasconi a cielo aperto, in prossimità degli stabilimenti, per un periodo di tempo di circa sei mesi dopodiché viene distribuito sui terreni attraverso la tecnica della fertirrigazione.

I campi destinati a tale scopo attualmente ricoprono una superficie di circa 157.6 ha, pari a circa l'1% della superficie totale del territorio del Comune di Castiglione del Lago; occorre comunque sottolineare che una frazione non quantificabile dei liquami viene smaltita fuori dal territorio comunale.

Nello studio si prevede che la quantità di biomassa digerita in uscita dal fermentatore secondario sia stoccata per un breve periodo di tempo in vasconi appositamente isolati; essi tuttavia devono essere dimensionati in modo da contenere il digestato per circa 180 giorni [9], in quanto la fertirrigazione si può effettuare solo in alcuni periodi dell'anno. Sotto tali condizioni il volume della vasca di stoccaggio sarà pari a circa 28 m<sup>3</sup>, che potrà essere suddiviso in più volumi senza comportare alcuna limitazione o spese supplementari.

Successivamente il digestato sarà distribuito sui campi, sottostando ai vincoli disposti dalla normativa regionale [10]. In particolare a livello comunale sono distinte le zone vulnerabili e non vulnerabili da nitrati. Nelle prime la quantità di azoto totale al campo apportato da effluenti di allevamento

non deve superare il valore di 170 kg/ha all'anno, mentre nelle seconde il limite è posto a 340 kg/ha all'anno.

Dal momento che la superficie comunale risulta essere per la maggior parte zona vulnerabile, la superficie dei terreni su cui poter effettuare lo spandimento del digestato è stata determinata assumendo che tutta la superficie comunale fosse classificata come area vulnerabile.

Considerando il quantitativo di azoto presente nei reflui zootecnici e nell'insilato di mais e assumendo che il trattamento di digestione anaerobica non consenta alcuna riduzione del carico di azoto, si è calcolato che la superficie agricola necessaria per lo spandimento del digestato sia pari a circa 670 ha, pari a circa il 4% della superficie del territorio comunale.

## ANALISI ECONOMICA

L'investimento è stato analizzato attraverso un'analisi della redditività attualizzata. In particolare sono stati presi in considerazione i seguenti flussi di cassa:

- Voci passive
  - realizzazione dell'impianto di digestione anaerobica: viene considerato un importo standard per unità di energia elettrica prodotta;
  - produzione/conferimento di matrici organiche: sono inclusi i costi relativi alla produzione o all'acquisto del silomais e al conferimento dei reflui zootecnici dagli allevamenti all'impianto di digestione;
  - manodopera relativa alla gestione delle biomasse vegetali: a differenza degli effluenti zootecnici che, con la sola differenza dei letami, normalmente sono pompabili e già gestiti all'interno dell'azienda, le biomasse vegetali richiedono un impegno di manodopera aggiuntivo;
  - manodopera relativa alla gestione ordinaria dell'impianto: con questa voce si intende il tempo impegnato dal conduttore o dal tecnico specializzato per eseguire tutte le operazioni (escluso il caricamento delle biomasse) di controllo e gestione dell'impianto nel suo complesso;
  - manutenzione ordinaria delle attrezzature connesse al digestore anaerobico: vengono considerate forfettariamente sulla base del costo di investimento delle opere elettromeccaniche;
  - manutenzione straordinaria: viene ipotizzata una spesa straordinaria al termine della vita utile del cogeneratore (generalmente 8 anni) e delle opere elettromeccaniche (generalmente 10 anni), calcolata come percentuale dell'investimento iniziale;
  - imprevisti e spese generali: sono calcolati come percentuale dei costi totali.
- Voci attive
  - vendita energia elettrica al gestore della rete;
  - incentivi per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile;
  - valorizzazione dell'energia termica autoconsumata.

Gli indici di analisi finanziaria impiegati per la verifica della fattibilità economica dell'investimento sono i seguenti:

- Tempo di Ritorno: numero di anni necessario a ripagare il costo sostenuto;
- Valore Attuale Netto (VAN): valore attualizzato, scontato secondo il tasso di interesse, dei redditi futuri (ricavi meno costi) compreso l'investimento iniziale;

- Tasso Interno di Rendimento (TIR): rappresenta il rendimento offerto dal progetto, calcolato sulla spesa iniziale in base ai flussi di cassa generati nei periodi successivi.

## Analisi dei costi

Tra le voci di costo occorre considerare sia i costi fissi (Tab. 4) che quelli variabili (elaborazioni del Centro di Ricerca sulle Biomasse su offerte tecnico economiche di ditte fornitrici di impianti di biogas), la cui stima è determinata in base alle caratteristiche e alla taglia dell'impianto (Tab. 3).

**Tabella 4:** Costi fissi.

Voci di costo	Euro
Progettazione e pratiche autorizzative	20 000
Impianto di produzione del biogas	1 000 000
Impiantistica idraulica ed elettrica	85 000
Opere civili	50 000
Realizzazione strada d'accesso	5 000
Varie ed imprevisti (10% del costo d'impianto)	100 000
<b>Totale</b>	<b>1 260 000</b>

Tra i costi variabili non è stato considerato il costo del personale in quanto si assume che gli addetti impiegati attualmente nella gestione dello stoccaggio dei reflui nelle cinque aziende possano essere occupati nella conduzione del nuovo impianto.

Inoltre si sono presi in considerazione due scenari relativamente all'approvvigionamento del silomais (Caso A), vale a dire l'acquisto da terzi, o l'autoproduzione da parte delle aziende agricole (Caso B).

Per quanto riguarda l'acquisto del silomais si è assunto un costo di 0.30 €/t [11].

Il costo per la produzione di silomais è stato invece desunto da [12], aumentato del 50% per tener conto degli aumenti del costo del carburante che si sono riscontrati negli ultimi anni. Si considera dunque un costo di produzione del silomais di 17 €/t.

**Tabella 5:** Costi variabili.

Voci di costo	€/anno
Acquisto silomais (Caso A)	73 900
Autoproduzione silomais (Caso B)	41 900
Costi amministrativi (Casi A e B)	10 000
Spese di manutenzione ordinaria (0.03 €/kWh) (Casi A e B)	60 000
Materiali (Casi A e B)	35 000
Spese di manutenzione straordinaria (Casi A e B)	10 000
Carburante per autocisterna (Casi A e B) <i>(si è assunto il sito "b" che comporta i maggiori costi)</i>	12 750
Separatore liquido solido (manutenzione) (Casi A e B)	800
<b>Totale Caso A</b>	<b>202 450</b>
<b>Totale Caso B</b>	<b>170 450</b>

Le spese per il carburante sono state calcolate ipotizzando il trasporto del refluo (andata+ritorno a carico vuoto) dalle varie aziende all'ipotetico sito di costruzione dell'impianto tramite un'autocisterna da 35 m<sup>3</sup> di portata (pari a 34.9 t di liquame) (Tab. 6). I consumi (media tra viaggio a pieno carico e ritorno

a carico vuoto) di tale autocisterna sono di 41.4 l/100 km [13]. Il prezzo del carburante è stato calcolato come media annua, prendendo in considerazione i costi del gasolio per autotrazione da Gennaio 2008 fino a Novembre 2008 (Fonte: Ministero Attività Produttive). La media risulta essere pari a 1.37 €/l.

**Tabella 6:** Costo del carburante.

Azienda n.	Liquami prodotti (t/anno)	Numero annuo viaggi	Costo carburante (in €/anno)	
			Sito a	Sito b
1	9 360	268	4 450	5 700
2	6 240	179	1 900	2 050
3	9 050	259	3 250	3 500
4	4 060	116	900	1 000
5	4 060	116	750	500
<b>Costo totale (in €/anno)</b>			<b>11 250</b>	<b>12 750</b>

### Analisi dei ricavi

Nella valutazione dei ricavi (Tab. 7) derivanti dal sistema di incentivazione sono stati confrontati tre scenari:

- tariffa onnicomprensiva secondo la Finanziaria 2008 (scenario 1): l'impianto può accedere ad una tariffa fissa onnicomprensiva, comprendente sia la componente incentivante che l'acquisto dell'energia elettrica, per ogni kWh prodotto e immesso in rete. Secondo la Finanziaria 2008 il valore di tale tariffa è pari 0.30 €/kWh, nel caso di filiera corta;
- tariffa onnicomprensiva secondo il Decreto MSE del 18 Dicembre 2008 [14] (scenario 2): in base a tale Decreto il valore della tariffa onnicomprensiva è di 0.22 €/kWh per impianti di potenza elettrica inferiore a 1 MW;
- Certificati Verdi secondo la Finanziaria 2008 (scenario 3): l'impianto riceve per 15 anni certificati verdi pari al prodotto della produzione netta di energia elettrica da fonti rinnovabili moltiplicata per un coefficiente che, nel caso di filiera corta, assume il valore di 1.8.

**Tabella 7:** Ricavi derivanti dai vari scenari.

Scenari	Ricavi	Euro/anno
Scenario 1	Tariffa onnicomprensiva	517 500
	Vendita energia termica	63 700
	<b>TOTALE</b>	<b>581 200</b>
Scenario 2	Tariffa onnicomprensiva	379 500
	Vendita energia termica	63 700
	<b>TOTALE</b>	<b>443 200</b>
Scenario 3	Certificati Verdi	280 100
	Vendita energia elettrica	133 100
	Vendita energia termica	63 600
	<b>TOTALE</b>	<b>476 800</b>

Inoltre nella voce ricavi rientrano anche la vendita di energia termica al netto dell'autoconsumo (ipotizzando di cederla alle utenze termiche presenti in prossimità

dell'impianto) e, nel caso di incentivazione mediante Certificati Verdi, la vendita di energia elettrica sempre al netto dell'autoconsumo.

Per il calcolo dei ricavi dovuti alla vendita di energia termica è stato considerato un prezzo pari a 0.0385 €/kWh [15]. Invece il prezzo di ritiro dell'energia elettrica è stato assunto pari a 0.071 €/kWh [16], mentre per i Certificati Verdi si è considerato il prezzo di mercato al 2007, vale a dire 82.99 €/MWh [17].

### Analisi finanziaria

Ai fini dell'analisi finanziaria si sono considerati gli scenari 1 e 2, caratterizzati dal massimo e minimo ricavo.

Si possono calcolare gli utili annui come differenza tra i ricavi annui e i costi variabili annui di gestione. Tra questi ultimi è incluso anche l'ammortamento, ipotizzando di stipulare un mutuo per una cifra pari all'intero investimento, ad un tasso di interesse annuo del 6% per otto anni. È stato calcolato che si dovranno pagare rate mensili pari a circa 15300 Euro per otto anni (96 pagamenti) per liquidare l'intera somma del mutuo; l'ammortamento annuo è dunque pari a 183600 Euro. Il calcolo della rata è stato effettuato applicando la formula francese di ammortamento del capitale; essa presenta il vantaggio di prevedere una rata costante (a parità di tasso) durante tutto il rientro del finanziamento.

Dall'analisi della tabella 8 si evince che l'investimento risulta positivo nello scenario 1, con indici più vantaggiosi nel caso di autoproduzione di silomais.

**Tabella 8:** Indici finanziari.

Scenario	Indici	Acquisto silomais	Autoproduzione silomais
Scenario 1	PBP (anni)	6-7	5-6
	VAN (€)	1 278 400	1 589 200
	TIR (%)	10.2	12.5
Scenario 2	PBP (anni)	11-12	10-11
	VAN (€)	-61 900	248 900
	TIR (%)	-0.5	2.1

### BILANCIO AMBIENTALE

Il bilancio ambientale è stato condotto calcolando la differenza di CO<sub>2</sub> eq emessa tra due scenari, quello attuale (in assenza dell'impianto di digestione anaerobica) e quello futuro (con la realizzazione della filiera), nell'ipotesi di autoproduzione del silomais.

Di seguito sono specificate le ipotesi per la realizzazione del bilancio:

- ip a) si trascurano le emissioni dovute alla produzione del mais; si prevede infatti che la coltivazione del mais sia realizzata sia nello scenario attuale (per scopi alimentari) sia in quello futuro;
- ip b) si trascurano le emissioni legate alla produzione dei macchinari e delle attrezzature impiegati nelle diverse fasi della filiera;
- ip c) si trascurano le emissioni dovute alla combustione del gasolio per il trasporto sia del mais all'impianto sia del digestato sui campi. Infatti nello scenario attuale viene effettuato il trasporto sia del digestato

(da parte delle singole aziende) che dei prodotti agricoli (da parte dei singoli agricoltori); pertanto in prima approssimazione si assume che tali emissioni si bilancino nei due scenari;

- ip d) si assume che siano trascurabili le perdite di biogas dal gasometro;
- ip e) non si considerano le emissioni prodotte dalla combustione del biogas in quanto esso deriva dalla fermentazione di due matrici organiche, il cui ciclo di vita prevede l'assorbimento di CO<sub>2</sub> biogenica tramite il processo di fotosintesi clorofilliana;
- ip f) la valutazione dell'impatto ambientale dei due scenari viene effettuata in termini di CO<sub>2</sub> eq, considerando i seguenti gas serra: CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O (1 tN<sub>2</sub>O = 310 tCO<sub>2</sub>) e CH<sub>4</sub> (1 tCH<sub>4</sub> = 21 tCO<sub>2</sub>).

#### Scenario attuale

In questo scenario le emissioni sono dovute a:

1. stoccaggio liquami in vasconi privi di copertura;
2. produzione di energia termica tramite caldaia a metano;
3. produzione del metano impiegato per la produzione di energia termica;
4. produzione di energia elettrica fornita dalla Rete Nazionale.

Di seguito sono riportati i valori calcolati della CO<sub>2</sub> eq prodotta:

- Stoccaggio liquami in vasconi privi di copertura  
Tale attività comporta l'emissione di CH<sub>4</sub>, la quale può essere determinata applicando la relazione riportata in [18] e assumendo un contenuto di sostanza volatile nel refluo pari a 0.3 kgSV/capo\*giorno. In questo modo si è determinata un'emissione di metano pari a circa 0.083 kgCH<sub>4</sub>/capo\*anno. Moltiplicando tale termine per il numero complessivo dei suini, ossia 10500, si ricava un'emissione complessiva di metano pari a 871.5 kgCH<sub>4</sub>/anno, corrispondenti a 18.2 tCO<sub>2</sub> eq all'anno.
- Produzione di energia termica tramite caldaia a metano  
Nello scenario attuale si considera che l'energia termica, al netto degli autoconsumi, prodotta dall'impianto a biogas sia generata mediante una caldaia a metano. La produzione annua netta di energia termica è 1653 MWh<sub>t</sub>/anno, equivalenti a 5.95 TJ. Da tale valore si ricava l'energia contenuta nel metano (in termini di Potere Calorifico Inferiore) dividendo per il rendimento di una caldaia a metano (assunto pari al 90%). Applicando la relazione riportata in [19], si ottiene un valore di CO<sub>2</sub> eq prodotta pari a 371.8 tCO<sub>2</sub> eq/anno.
- Produzione del metano impiegato per la generazione di energia termica  
L'emissione di CO<sub>2</sub> eq legata al processo produttivo del metano impiegato è stata valutata assumendo il fattore di emissione pari a 3329 kgCO<sub>2</sub> eq/TJ di energia contenuta nel combustibile [20]. Conoscendo il quantitativo di metano consumato, si è determinata un'emissione pari a circa 22 tCO<sub>2</sub> eq/anno.
- Produzione di energia elettrica fornita dalla Rete Nazionale  
Nello scenario attuale si assume che l'equivalente quantitativo di energia elettrica prodotta dall'impianto di

biogas venga prelevato dalla Rete Elettrica Nazionale. In [21] viene riportato il fattore di emissione di CO<sub>2</sub> eq per il mix energetico italiano riferito all'anno 2007, che è pari a 0.496 kgCO<sub>2</sub> eq /kWh. Pertanto le emissioni complessive di CO<sub>2</sub> eq sono pari a 930 tCO<sub>2</sub> eq/anno.

Complessivamente quindi le emissioni di gas serra nello scenario attuale sono pari a 1342 tCO<sub>2</sub> eq all'anno.

#### Scenario futuro

In questo scenario si dovranno considerare le emissioni di gas serra derivanti dalla presenza dell'impianto di digestione anaerobica:

1. combustione del gasolio in autocisterna per il trasporto dei liquami;
  2. combustione del gasolio per il trasporto del mais;
  3. produzione del gasolio impiegato per il mezzo di trasporto dei reflui;
  4. produzione di energia elettrica fornita dalla Rete Nazionale per autoconsumo.
- Combustione del gasolio in autocisterna per il trasporto dei liquami  
Assumendo un fattore di emissione per la combustione del gasolio pari a 0.867 kgCO<sub>2</sub> eq/km [13] e considerando il caso più gravoso rappresentato dal sito a, si è determinata un'emissione di circa 39 tCO<sub>2</sub> eq/anno
  - Produzione del gasolio utilizzato per il mezzo di trasporto dei reflui  
L'emissione di CO<sub>2</sub> eq legata al processo produttivo del gasolio consumato (0.7 tCO<sub>2</sub> eq/anno) è stata valutata considerando un fattore di emissione pari a 0.0445 kgCO<sub>2</sub> eq/kg di gasolio.
  - Produzione di energia elettrica fornita dalla Rete Nazionale per autoconsumo  
L'autoconsumo di energia elettrica dell'impianto è pari a 150 MWh/anno, che moltiplicato per il fattore specifico di emissione pari a 0.496 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh, comporta un'emissione complessiva di gas serra di 74.4 tCO<sub>2</sub> eq/anno.

Pertanto le emissioni di gas serra relative allo scenario futuro ammontano complessivamente a 114.1 tCO<sub>2</sub> eq all'anno.

Confrontando i due scenari, si conclude che la realizzazione dell'impianto di digestione anaerobica consente di ottenere un risparmio pari a 1227.9 tCO<sub>2</sub> eq ogni anno (Tab. 9).

**Tabella 9:** Sintesi del bilancio ambientale.

SCENARIO ATTUALE		SCENARIO FUTURO	
Produzione CO <sub>2</sub>	tCO <sub>2</sub> eq/anno	Produzione CO <sub>2</sub>	tCO <sub>2</sub> eq/anno
Energia termica	371.8	Trasporto liquami	39.0
Energia elettrica	930.0	Energia elettrica	74.4
Stoccaggio liquame	18.3	Produzione gasolio	0.7
Produzione metano	22.0		
<b>TOTALE</b>	<b>1 342.0</b>	<b>TOTALE</b>	<b>114.1</b>
<b>CO<sub>2</sub>(evitata) = 1227.9 tCO<sub>2</sub>eq/anno</b>			

## CONCLUSIONI

Nel presente lavoro si è valutata la fattibilità tecnico-economica della realizzazione di un impianto di digestione anaerobica alimentato con reflui suinicoli e insilato di mais, nel Comune di Castiglione del Lago, il cui territorio è caratterizzato da un elevato grado di incidenza agricola e zootecnica.

Lo studio, inserito all'interno del Piano Energetico Comunale, ha riguardato tre diversi aspetti relativi alla scelta della tipologia impiantistica e al suo dimensionamento, alla valutazione della redditività dell'investimento e all'analisi dell'impatto ambientale della filiera in termini di gas serra.

In base alla disponibilità dei reflui suinicoli presenti sul territorio, si è scelto un impianto caratterizzato da una potenza elettrica di 250 kW e una potenza termica pari a 380 kW; la configurazione presa in esame è quella che prevede la presenza di due fermentatori primari, completamente miscelati e riscaldati a sviluppo orizzontale, e un digestore secondario a sviluppo verticale.

Si è inoltre quantificata la superficie agricola necessaria per lo spandimento del digestato, tenendo conto della Direttiva Nitrati. A tale riguardo, dal momento che la quasi totalità del territorio comunale risulta essere classificata come zona vulnerabile, si è ipotizzato che lo spandimento avvenga esclusivamente sotto tali condizioni; sulla base di ciò si è ottenuta un'estensione della superficie agricola pari a circa 670 ettari.

Per quanto riguarda il bilancio economico del progetto sono stati considerati diversi scenari relativi all'autoproduzione o all'acquisto dell'insilato di mais e ai sistemi di incentivazione dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili (Finanziaria 2008 e Decreto MSE). In particolare si è messo in evidenza che l'incidenza di questo secondo aspetto è particolarmente significativa. Infatti, in base a quanto previsto dalla Finanziaria 2008, si è ottenuto che sia nel caso di acquisto che di autoproduzione del silomais l'investimento può ritenersi economicamente fattibile, con tempi di ritorno compresi tra 5 e 7 anni. Attualmente però l'unico decreto attuativo emanato che recepisce la Finanziaria 2008 è il Decreto MSE del 18 Dicembre 2008, il quale riduce in maniera consistente gli incentivi per queste tipologie di impianti, non prevedendo alcuna distinzione tra impianti di piccola e grande taglia; ciò si riflette in un aumento del tempo di ritorno dell'investimento tra i 10 e i 12 anni, con conseguenti effetti negativi sullo sviluppo del settore.

La mancata realizzazione di filiere di questo tipo porterebbe inoltre alla perdita della possibilità di ottenere i relativi benefici dal punto di vista della riduzione delle emissioni di gas serra. Infatti si è calcolato che la filiera presa in esame potrebbe garantire un risparmio annuo in termini di gas serra pari a 1227.9 tCO<sub>2</sub>eq, equivalenti a circa l'1.5% delle emissioni dell'intero territorio del Comune di Castiglione del Lago (81374 tCO<sub>2</sub>eq al 2006).

## BIBLIOGRAFIA

1. Direttiva CEE 91/676 12 Dicembre 1991, "relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole", Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee del 31/12/1991;
2. Legge 24 Dicembre 2007, n. 244, "Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (Legge Finanziaria 2008)", Gazzetta Ufficiale n. 300 del

- 28/12/2007;
3. V. Francescato, E. Antonini, Energia elettrica e calore dal biogas, ARSIA, 2007;
4. CRPA, Energia dal biogas, AIEL, 2008;
5. M. Invernizzi, Introduzione al biogas: gli aspetti tecnologici: motori impiegati, rendimento e costi in funzione alla potenza, Workshop "Progettare per il biogas, le tecnologie per lo sviluppo in Europa", Centro Servizi Multisetoriale e Tecnologico, Brescia, 2008,
6. F. Bonciarelli, U. Bonciarelli, Coltivazioni erbacee, Edagricole, 1992;
7. S. Piccinini, Energia dal biogas prodotto da effluenti zootecnici. biomasse dedicate e di scarto, CRPA (Centro Ricerche Produzioni Animali), 2007;
8. A. Guadagni (CUR.), Prontuario dell'Ingegnere, Hoepli, 2003;
9. Deliberazione della Giunta Regionale 6 Settembre 2006, n. 1492, "Direttiva tecnica regionale: «Utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento; delle acque reflue provenienti dalle aziende di cui all'art. 101, comma 7, lettere a), b) e c) del D.Lgs. 152/06 e da piccole aziende agroalimentari; dei fanghi provenienti dagli impianti di depurazione di cui al D.Lgs. 99/92; dei reflui delle attività di piscicoltura» - Approvazione.", Bollettino Ufficiale della Regione Umbria n. 43 del 13 Settembre 2006;
10. Deliberazione della Giunta Regionale 7 Dicembre 2005, n. 2052, "Programma di azione per le zone vulnerabili da nitrati di origine agricola - Approvazione", Bollettino Ufficiale della Regione Umbria n. 54 del 28 Dicembre 2005;
11. C. Fabbri, Biogas: un'opportunità per le aziende agricole, Convegno "Biogas: un'opportunità di crescita per le aziende agricole", EIMAEnergy 2008, Bologna;
12. S. Piccinini, L. Tosi, Esperienze di gestione di impianti di biogas, Rivista "L'Informatore Agrario", n. 1 2006;
13. M. Spielmann, T. Kägi, P. Stadler, O. Tietje, Life Cycle Inventories of Transport Services - Final Report Ecoinvent 2000 No. 14, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2003;
14. Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico 18 Dicembre 2008, "Incentivazione della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili. ai sensi dell'articolo 2. comma 150, della legge 24 dicembre 2007, n. 244", Gazzetta Ufficiale n. 1 del 02/01/2009;
15. G. Comodi, P. Pierpaoli, S. Vagni, Impianto alimentato a biogas da discarica - Lo studio relativo ai meccanismi dei certificati Verdi, Rivista "La Termotecnica", Dicembre 2008;
16. Delibera AEEG 34/05, "Modalità e condizioni economiche per il ritiro dell'energia elettrica";
17. S. Alaimo, Situazione attuale e prospettive future del mercato dei Certificati Verdi, Convegno "Certificati Verdi: novità della Finanziaria 2008, situazione attuale del mercato e prospettive future" TIS Innovation Park. Bolzano, 2008;
18. IPCC, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 4 - Emission from livestock and manure management, 2006;
19. IPCC, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 2 - Energy, 2006;
20. M. Faist Emmenegger, T. Heck, N. Jungbluth, Erdgas - Final Report Ecoinvent 2000 No. 6-V, Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2003;
21. Rapporto Ambientale Enel 2007 - Tabella Indicatori del



Bilancio Ambientale in Italia;

22. N. Jungbluth, Erdöl - Final Report Ecoinvent 2000 No. 6-IV, Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf, 2003.

## SUMMARY

The intensive zootechnic activity (mostly pig farming) spread in the Commune of Castiglione del Lago brought to evaluate the feasibility of a biogas plant, employing pig manure and corn silage, to produce thermal energy and electricity.

In this paper the main zootechnic farms (in terms of heads breed) were taken in account for manure supplying and a quantity of corn silage was considered, so to obtain an electric power of 250 kW and a thermal power of 380 kW. The agricultural surface used for corn silage cultivation was quantified in 37 hectares.

The plant scheme chosen was characterized by two primary horizontal digesters (CSTR), working in parallel and mesophilic conditions, and a secondary vertical digester.

For the management of the digested slurry the agricultural surface necessary to its spreading was estimated in 670 ha, taken into account that municipal territory is mostly classified as vulnerable zone (according to Nitrates Directive CEE 91/676), with a limit of 170 kgN/ha.

For the economic analysis some scenarios were analyzed, regarding both corn silage supplying (purchase or self handling) and incentive system. The most profitable economic balance was obtained with corn silage self handling and all inclusive tariff according to the law Finanziaria 2008.

The study was completed with the environmental impact assessment of the bioenergy chain, in terms of CO<sub>2</sub> eq emissions, comparing the actual scenario, without biogas plant, with the future more suitable scenario. Results showed that the construction of biogas plant could allow to obtain an yearly reduction of 1227.9 tCO<sub>2</sub> eq.