

Sostenibilità economica e ambientale degli impianti per la produzione di biogas da reflui zootecnici: un caso di studio nel Comune di Pontinia

Andrea Cappelli, Marco Centra, Silvano Simoni

Abstract

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF PLANTS FOR THE PRODUCTION OF BIOGAS FROM LIVESTOCK WASTE: A CASE STUDY IN THE MUNICIPALITY OF PONTINIA. The presence in the municipality of Pontinia of an intensive livestock activity has led to assess the possibility to realize a biogas production plant, aimed at the generation of electricity and thermal energy.

From an economic point of view various process scenarios were analyzed. An economic feasibility analysis was carried out, demonstrating that the maximum economic benefit of the production may be fostered with a biomethane production. The work also addressed the issue of improving the sustainability of biogas production plants, in order to amend their social acceptability.

KEYWORDS: Biogas, Anaerobic Digestion, Biowastes, Economic and Environmental Assessment, LCA

1. Introduzione

Il territorio del Comune di Pontinia (Provincia di Latina) è caratterizzato da un'economia prevalentemente agro-industriale, con presenza di un'intensa attività zootecnica a prevalenza di capi bovini e bufalini. L'intero territorio della provincia di Latina conta circa 91.000 capi (SERVIZIO VETERINARIO DI LATINA, 2015); di questi oltre il 30% è residente nel comune oggetto di studio. Ciò ha indotto alla valutazione della possibile realizzazione di un impianto di trattamento anaerobico dei liquami e letami prodotti dalle diverse aziende presenti sul territorio (nonché della paglia da lettiera) anche alla luce del miglioramento degli impatti a livello socio-economico e ambientale che l'utilizzo di *biowastes* per la produzione energetica comporta (CAPPELLI ET AL., 2015b).

L'applicazione in Italia della 'Direttiva Nitrati' (DIRETTIVA 91/676/CEE) limita lo spargimento sul terreno dei nitrati provenienti dagli allevamenti zootecnici, imponendo un trattamento specifico di denitrificazione dei liquami per ridurre la concentrazione in azoto, il cui costo risulta essere decisamente elevato. Pertanto il recupero economico derivante dalla produzione di energia consentirebbe di ammortizzare la maggiore spesa della denitrificazione, ma anche di tutti gli altri organi elettromeccanici (separatore S/L, miscelatori, elettrovalvole, pompe) che caratterizzano l'intero processo di digestione anaerobica.

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 di altri componenti con cattivi odori.

Il presente lavoro riguarda l'analisi di fattibilità tecnico-economica di un impianto di co-digestione di liquami e letami bovini/bufalini, impiegando la paglia da lettiera come biomassa 'erbacea'. Si è determinato il quantitativo di reflui bovini e bufalini prodotti da 5.313 capi (secondo le modalità previste dal D.M. 7 Aprile 2006) necessari ad alimentare un impianto caratterizzato da una potenza elettrica di circa 850 kW (FABBRI, PICCININI, 2011).

Lo studio ha riguardato il dimensionamento dell'impianto, la valutazione economico-finanziaria dell'investimento e la stima dell'alternativa più remunerativa tra tutte le finalizzazioni di processo ipotizzate. Si è inoltre proceduto ad un approfondimento in merito al miglioramento della sostenibilità ambientale dei processi produttivi, finalizzato anche ad una migliore accettabilità sociale degli impianti.

2. La sostenibilità ambientale degli impianti per la produzione di biogas da reflui zootecnici e altri *biowastes*

Negli ultimi anni si è sviluppato un ampio dibattito, anche politico, sull'opportunità di costruire impianti per la produzione di biogas in aree rurali e industriali, spesso sfociato in vere e proprie contestazioni agli impianti stessi da parte dei cosiddetti 'comitati no biogas', per i quali numerose ipotetiche criticità impedirebbero di considerare sostenibile la produzione di questo biocarburante¹. Nondimeno il biogas rappresenta il prodotto finale della trasformazione di *biowastes* che altrimenti dovrebbero essere considerati rifiuti, e

¹ Si veda, a puro titolo di esempio, il sito dal titolo "sgonfiailbiogas - no biomasse no biogas senza se e senza ma", all'indirizzo sgonfiailbiogas.blogspot.it.

dunque necessiterebbero di essere smaltiti a norma di legge o stoccati in discarica, raffigurando pertanto un'ulteriore pressione sull'ambiente e un aggravio economico per chi li genera (produzioni zootecniche e casearie, industrie alimentari, attività di macellazione, ecc). Il loro impiego in un processo di produzione energetica consente invece di trasformare un problema ambientale in una risorsa (CAPPELLI ET AL., 2015b), garantendo la possibilità di produrre energia rinnovabile e altri sottoprodotti (fertilizzanti, ammendanti) il cui utilizzo sostituisce quello di equipollenti risorse non rinnovabili. Appare evidente, tuttavia, che ogni impianto vada valutato a sé in funzione delle condizioni ambientali al contorno e della ricetta di alimentazione al digestore, analizzando l'intera filiera produttiva onde definirne con chiarezza le pressioni ambientali generate ed i relativi impatti.

Strumento imprescindibile per tale caratterizzazione è la Valutazione del Ciclo di Vita (LCA – *Life Cycle Assessment*) che consente di definire il carico ambientale ed energetico di un prodotto, processo o attività

identificando e quantificando energia e materiali utilizzati ed emissioni rilasciate all'ambiente, per valutarne l'impatto, per identificare e valutare le opportunità di miglioramento. La valutazione comprende l'intero ciclo di vita del prodotto, processo o attività, passando dall'estrazione e trasformazione delle materie prime, fabbricazione del prodotto, trasporto e distribuzione, utilizzo, riuso, stoccaggio, riciclaggio, fino alla dismissione² (SETAC, 1993).

La LCA è dunque uno strumento oggettivo di verifica degli impatti generati da un processo produttivo; l'applicazione della metodologia consente altresì di comparare processi differenti il cui obiettivo sia quello di produrre la stessa 'unità funzionale' (una certa quantità di biogas o di energia, nel caso in specie), dimostrando quale dei diversi processi presenti gli impatti minori a parità di produzione.

Molti studi di LCA sono stati eseguiti al fine di caratterizzare, dal punto di vista ambientale ed energetico, il processo produttivo di biogas da *biowastes* e l'eventuale trasformazione ultima del biogas in biometano (processo di *upgrading*). In questa sede si riportano, a puro titolo informativo, i risultati della LCA comparativa effettuata tra un impianto per la produzione di biogas analogo a quello del presente lavoro, costruito nell'ambito del progetto UE FP7

² Tratto da: Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC, 1993) - Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice'. Atti del Workshop sull'LCA svolto a Sesimbra (Portogallo) dal 31 marzo al 3 aprile 1993. La definizione ufficiale di LCA della Setac è oggi formalizzata nelle norme UNI ISO 14040 e 14044, che rappresentano i riferimenti di standardizzazione per l'applicazione della procedura.

BioWalk4Biofuels; un impianto di biogas da biomasse agricole; un impianto di produzione energetica da combustibile convenzionale. L'analisi è stata implementata a parità di capacità produttiva (CAPPELLI ET AL., 2015a).

I principali risultati dei tre scenari produttivi (normalizzati alla stessa unità funzionale), sono riportati nella figura 1 (Fig. 1) in relazione alle principali categorie di impatto (salute umana, qualità dell'ecosistema, esaurimento di risorse non rinnovabili). La figura mostra come gli scenari A (produzione di biogas da *biomastes* e biomasse algali) e B (produzione di biogas da biomasse agricole) presentano una *performance* ambientale notevolmente superiore a quella raggiunta nello scenario C con l'uso di risorse non rinnovabili. In particolare lo scenario A si dimostra il più performante sia in relazione agli impatti sulla salute umana che sulla qualità dell'ecosistema, presentando in ogni caso un effetto fortemente positivo anche sulla categoria d'impatto relativa all'esaurimento delle risorse non rinnovabili. La produzione di digestato come sottoprodotto di processo genera anch'essa elevati benefici alle categorie d'impatto considerate nello studio, contribuendo per una quota di circa il 45% al miglioramento della performance sulle categorie 'salute umana' e 'qualità dell'ecosistema' (CAPPELLI ET AL., 2015a).

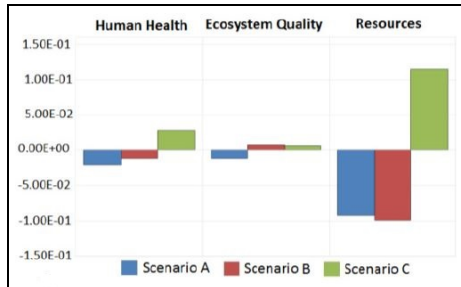


Fig. 1 - Valutazione degli impatti (LCA) per i tre scenari produttivi in relazione alle categorie salute umana, qualità dell'ecosistema, esaurimento delle risorse non rinnovabili (fonte: CAPPELLI ET AL., 2015a).

L'analisi comparativa generale sugli scenari viene riportata nella figura 2 (Fig. 2): si osserva come lo scenario A presenti complessivamente una *performance* ambientale migliore degli altri sistemi produttivi raffrontati, rivelando un miglioramento del 10% rispetto allo scenario B (per il mancato utilizzo di biomassa agricola, con consumo di suolo, in ingresso all'impianto) e un impatto inferiore di 38 volte rispetto allo scenario C (CAPPELLI ET AL., 2015a).

2.1 Il "biogas fatto bene" e le etichettature ecologiche degli impianti produttivi

Quanto riportato nel paragrafo precedente in riferimento alle *performances* ambientali di uno specifico sistema di produzione non può comunque essere

generalizzato a qualsivoglia livello; ogni impianto, in progettazione o già in esercizio, necessita di una valutazione ambientale ed energetica approfondita che ne metta in risalto gli elementi di positività e le eventuali criticità di processo, suggerendo possibili miglioramenti sia in termini di capacità produttive che di prestazioni ambientali.

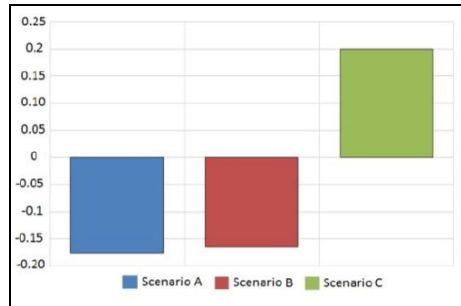


Fig. 2 - Analisi comparativa generale - *single score analysis* - per i tre scenari produttivi (fonte: CAPPELLI ET AL, 2015a).

A tal proposito, anche al fine di migliorare l'accettabilità sociale degli impianti, è invalsa la necessità di definire criteri qualitativi e quantitativi che creino meccanismi di premialità per gli impianti più sostenibili.

Il Consorzio Italiano Biogas, ad esempio, ha recentemente elaborato un documento programmatico ("Il biogas fatto bene") sottoscritto dalle principali associazioni del settore agro-energetico, nel quale vengono indicati gli elementi metodologici che possono contribuire ad accrescere la sostenibilità ambientale e sociale degli impianti produttivi di biogas e delle attività ad essi propedeutiche. Combinando tecnologie per la digestione anaerobica ed altre buone pratiche industriali e agricole, il Consorzio ritiene sia possibile ottenere una produzione energetica sostenibile, garantendo al contempo una positiva ricaduta economica su tutti i comparti coinvolti (agricoltura, zootecnia, industria) ed una accresciuta sostenibilità ambientale degli stessi ³.

Un'eventuale certificazione di processo ottenuta con i criteri succitati ricade fra le etichettature ecologiche di tipo II (UNI ISO 14021), cioè quelle che riportano auto-dichiarazioni ambientali da parte di produttori, importatori o distributori di prodotti, senza che vi sia l'intervento di un organismo indipendente di verifica e certificazione.

Per una migliore accettabilità sociale degli impianti biogas sarebbe tuttavia auspicabile l'ottenimento di etichettature ecologiche di tipo I (UNI ISO 14024), basate su un sistema di criteri selettivi, definito su base scientifica, che tiene

³ Da *Biogasdoneright* – digestione anaerobica e sequestro di carbonio nel suolo < https://www.consorziobiogas.it/wp-content/uploads/2016/12/biogasdoneright_-ITA.pdf>.

conto degli impatti ambientali dei prodotti o servizi lungo l'intero ciclo di vita, di importanti aspetti inerenti la salute e la sicurezza dei consumatori e, ove di pertinenza, dei principali aspetti sociali ed etici degli stessi processi produttivi. L'ottenimento di tali etichettature (*Ecolabel* UE, *Nordic Ecolabel* dei paesi scandinavi e *Blaue Engel* tedesco, perfettamente equivalenti tra loro) prevede un rigido meccanismo di verifica e certificazione da parte di un ente indipendente e rappresenta un indiscusso attestato di eccellenza, non solo a livello ambientale.

Sebbene l'*Ecolabel* UE (l'etichettatura più diffusa in Italia) non annoveri fra i gruppi di prodotto certificabili i sistemi per la produzione di energia, tale occorrenza è offerta dal *Nordic Ecolabel* (*Nordic Ecolabelling of Fuel and biogas for heating and industrial use* 2016): questa certificazione⁴, ottenibile anche nei paesi dell'Unione Europea, rappresenterebbe una rilevante opportunità per il fiorentino mercato del biogas italiano e garantirebbe l'eccellenza ambientale, energetica e sociale del processo produttivo, privando i detrattori di questa tecnologia dei principali argomenti su cui fondano la propria critica.

3. Disponibilità della biomassa ed individuazione del sito

Il controllo dei carichi zootecnici nel territorio assume particolare importanza al fine di contenere l'impatto ambientale delle attività agricole e zootecniche.

A partire dal numero di capi residenti in tutto il territorio provinciale, è stata calcolata la quantità di liquame, letame e paglia (con l'azoto in essi contenuto), applicando quanto descritto dal D.M. 7 Aprile 2006, con l'obiettivo di valutare l'effettiva compatibilità tra la realtà territoriale e quella produttiva attraverso la definizione della Superficie Agricola Utilizzata (SAU) necessaria per consentire un corretto smaltimento degli effluenti zootecnici prodotti dai singoli comuni (ISTAT 2010).

Dall'analisi effettuata, si evince che la situazione della sostenibilità zootecnica non è particolarmente critica, ovvero non ci sono zone dove la produzione di azoto è eccedentaria rispetto al limite di 170 kgN/ha anno; tutti i comuni posseggono le risorse per gestire il problema dello spandimento degli effluenti zootecnici.

La localizzazione dell'impianto è stata prevista nella zona industriale di Mazzocchio (Comune di Pontinia), in corrispondenza dell'ASI (Area per lo Svi-

⁴ Al mese di maggio 2017 solo quattro impianti di produzione di biogas risultano aver ottenuto una etichettatura ecologica di tipo *Nordic Ecolabel*. Il primo impianto ad ottenere la certificazione nel mese di febbraio 2017 è localizzato a Vejle, in Danimarca; gli altri sono localizzati in Svezia, Finlandia e Islanda.

luppo Industriale) attraverso uno studio di prossimità realizzato con lo scopo di minimizzare gli impatti ambientali legati alle attività di trasporto dei reflui. Tali impatti rappresentano invero una delle maggiori criticità del ciclo di vita di un impianto per la produzione di biogas (CAPPELLI ET AL., 2015a) e le relative attività necessitano pertanto di una adeguata pianificazione e razionalizzazione al fine di limitare le pressioni indotte a livello locale (emissioni di particolato) e globale (emissioni di CO₂). A tal fine, dunque, è stato preso in considerazione un raggio di 10 km dal sito produttivo ipotizzato ove risultano residenti 5.313 capi di bestiame (SERVIZIO VETERINARIO DI LATINA, 2015).

In tabella 1 (Tab. 1) sono riportati i parametri utilizzati per il calcolo degli effluenti prodotti dai capi considerati, come descritto dal D.M. 7 Aprile 2006.

Tab.1 - Parametri utilizzati per il calcolo degli effluenti

| Categoria | Stabulazione | Liquame m ³ /t p.v./anno | Letame t/t p.v./anno | Paglia kg/t p.v./d |
|------------------|---------------------|---|--------------------------------|------------------------------|
| Vacche | Fissa | 9 | 26 | 5 |
| | Libera | 16,43 | 18,5 | 3,5 |
| Rimonta | Fissa | 5 | 22 | 5 |
| | Libera | 12 | 16,17 | 6,67 |
| Vitelli | Fissa | 4 | 22 | 10 |

Ne consegue che il *biowaste* annuo prodotto dai suddetti capi risulta essere così come riportato nella seguente tabella (Tab. 2).

Tab. 2 - *Biowaste* prodotto da 5.313 capi analizzati

| Liquame t/anno | Letame t/anno | Paglia t/anno |
|-----------------------|----------------------|----------------------|
| 19.113,52 | 38.522,94 | 2.873,85 |

Il processo di digestione anaerobica risulta notevolmente migliorato se, ai reflui, sono aggiunti in co-digestione altri componenti come la paglia della lettiera. Quest'ultima, in particolare, consente sia di migliorare le caratteristiche e la stabilità dello stesso, sia di aumentare notevolmente la produzione di biogas, grazie al suo elevato potere metanigeno.

4. Dimensionamento dell'impianto di digestione anaerobica

In tabella 3 (Tab. 3) sono riportati i parametri necessari alla determinazione della potenza elettrica ottenibile da liquame e letame bovino/bufalino considerando due motori a combustione denominati 'a ciclo Otto' (PICCININI ET AL., 2008). Se agli effluenti si aggiunge anche il contributo della paglia, come già accennato, è possibile incrementare la producibilità del biogas e,

conseguentemente, la potenza dell'impianto.

Tab. 3 - Parametri per la determinazione della potenza termica ed elettrica dell'impianto

| | |
|------------------------------|----------------------------------|
| Liquame prodotto | 52,37 t/giorno |
| Sostanza Secca | 9% |
| Solidi Volatili | 80% |
| Resa biogas | 300 m ³ /t s.v. |
| Letame prodotto | 105,54 t/giorno |
| Sostanza Secca | 25% |
| Solidi Volatili | 70% |
| Resa biogas | 250 m ³ /t s.v. |
| Biogas prodotto | 6.141,16 Nm ³ /giorno |
| Potenza elettrica ottenibile | 567,20 kWe |
| Potenza termica ottenibile | 671,69 kWt |

In tabella 4 (Tab. 4) sono elencati i parametri presi in esame per tali calcoli.

Tab. 4 - Parametri relativi alla paglia per la determinazione della potenza termica ed elettrica complessiva dell'impianto

| | |
|------------------------------|----------------------------------|
| Paglia utilizzata | 7,87 t/giorno |
| Sostanza Secca | 85% |
| Solidi Volatili | 85% |
| Resa biogas | 500 m ³ /t s.v. |
| Biogas prodotto | 3.038,57 Nm ³ /giorno |
| Potenza elettrica ottenibile | 280,65 kWe |
| Potenza termica ottenibile | 332,34 kWt |
| Potenza elettrica impianto | 847,85 kWe |
| Potenza termica impianto | 1.004,03 kWt |

Ipotizzando che l'impianto lavori per 8.200 ore all'anno, l'energia elettrica complessivamente producibile è pari a 6.952,37 MWh/anno, mentre quella termica risulta essere 8.233,07 MWh/anno. Si ipotizza, inoltre, che l'impianto consumi per il proprio funzionamento circa il 45% dell'energia termica prodotta e l'8% di quella elettrica.

4.1 Caratteristiche dell'impianto

L'impianto di digestione anaerobica proposto è costituito da un fermentatore primario e da un fermentatore secondario, pertanto la produzione di biogas avviene in due fasi distinte. Nel primo digestore si completano le prime tre fasi del processo di digestione anaerobica (idrolisi, acidogenesi, acetogenesi), mentre la fase di metanogenesi avviene nel digestore secondario (PICCININI ET AL., 2008).

I fermentatori, denominati CSTR (*Continuously Stirred Tank Reactors*), sono dei

moduli orizzontali che lavorano ‘a umido’ caratterizzati da un tenore di solidi non superiore al 10%. Le vasche mantengono una temperatura di esercizio costante e prossima ai 40°C, tale da favorire la crescita di batteri e microrganismi ‘mesofili’ e sono mantenute completamente miscelate mediante opportuni sistemi di agitazione. I liquidi sono raccolti in una vasca di pre-miscelazione e convogliati da una pompa nel fermentatore primario. Il materiale palabile inizialmente viene raccolto all’interno di una platea di conferimento solidi; da qui, tramite l’utilizzo di una ruspa, viene inviato al sistema di alimentazione (vasca).

All’uscita del fermentatore primario, il substrato e il biogas prodotto passano in quello secondario, dove viene completato il processo di digestione anaerobica. In uscita dal digestore secondario si hanno i due prodotti della digestione: il biogas e il digestato. Il primo viene inviato al cogeneratore per la produzione di energia elettrica, il secondo ad un separatore solido/liquido con la finalità di abbattere l’azoto al campo (per la parte liquida) tramite un reattore SBR (*Sequencing Batch Reactor*) dove si effettua una nitro-denitro (MASOTTI, 1987) e di utilizzare la parte solida come ammendante in agricoltura grazie al suo elevato potere fertilizzante, accumulandola temporaneamente in un container.

In figura 3 (Fig. 3) è riportato uno schema semplificato dell’impianto di biogas in questione.

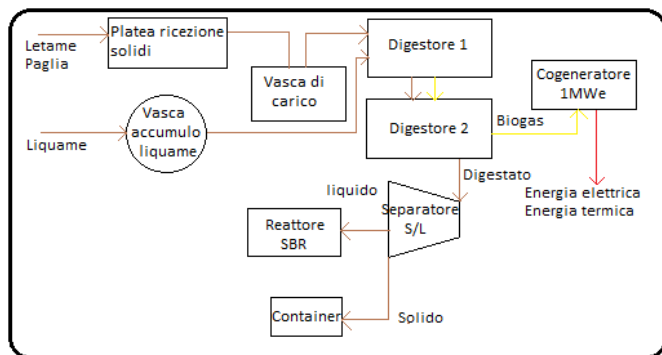


Fig. 3 - Schema dell’impianto produttivo

4.2 Dimensionamento dei componenti dell’impianto

Il materiale palabile in arrivo all’impianto si stima in 113,42 t/giorno e andrebbe accumulato in un fabbricato chiuso dotato di platea. La superficie interna dovrebbe essere di almeno 450 m² tale da garantire un tempo di stoccaggio di almeno tre giorni e un’agevole movimentazione di una ruspa dedicata al prelievo dei solidi per l’invio ad un’ulteriore vasca di carico contenente una pompa tritratrice, in grado di separare eventuale materiale inerte contenuto presumibilmente nella paglia, ed un nastro trasportatore per convogliare il ma-

teriale al digestore primario. Il liquame andrebbe accumulato in una vasca di 1.000 m³, dimensionata, anche in questo caso, per far fronte ad eventuali eccedenze.

Il volume complessivo di digestione sarebbe di circa 8.000 m³, calcolato utilizzando la seguente relazione (FABBRI 2010):

$$V = \frac{Q \cdot SS \cdot SV}{COV}$$

$$Q = \text{carico giornaliero} \left(\frac{t}{d} \right)$$

$$SS = \text{solidi totali (\%TQ)}$$

$$SV = \text{solidi volatili (\%SS)}$$

$$COV = \text{carico organico volumetrico} \left(\frac{kg_{sv}}{m^3 \text{ giorno}} \right)$$

$$V = \text{volume digestore (m}^3\text{)}$$

Il volume finale sarà ottenuto imponendo un COV (Carico Organico Volumetrico) pari a 3,5 kg_{sv}/m³ giorno che restituirà tempi di ritenzione idraulica (HRT) accettabili, di poco superiore ai 20 giorni. Entrambi i fermentatori presentano un raggio di circa 10 m ed un'altezza di 6 m.

La quantità di digestato prodotta potrà essere ricavata nel seguente modo:

$$P_{\text{digestato}}(t) = P_{\text{biomassa}}(t) - (V_{\text{biogas}}(m^3) \cdot \rho_{\text{biogas}} \left(\frac{kg}{m^3} \right))$$

Con un peso pari a 56.675,11 t/anno, si stima che la componente liquida corrisponda al 75% del peso totale e quella solida il 25%; di conseguenza il reattore SBR avrà una superficie di 40 m², mentre il container sarà da 10 m².

5. Analisi economica

La valutazione dell'investimento dell'intera filiera di gestione degli effluenti zootecnici dell'impianto è stata condotta considerando i costi di investimento iniziali, i costi di manutenzione e di esercizio dell'impianto, i ricavi derivanti dalla vendita dell'energia elettrica (o del biometano ottenuto, a seconda dello scenario a cui si fa riferimento, come di seguito riportato) e del fertilizzante solido. In questo studio non si è fatto riferimento alla vendita dell'energia termica. Per quanto riguarda la valutazione della convenienza dell'investimento,

sono stati determinati alcuni parametri economici e finanziari con criteri basati sull'attualizzazione dei flussi di cassa, ossia sui valori monetari positivi e negativi attualizzati attraverso un tasso di sconto deflazionato (THUESEN, FABRYCKY, 1994):

Tempo di ritorno (*PAYBACK* – PB) - 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) - rendimento offerto dal progetto, calcolato sulla spesa iniziale in base ai flussi di cassa generati nei periodi successivi.

5.1 *Analisi dei costi*

Nell'analisi dei costi vengono individuati quattro scenari.

SCENARIO 1

Nel primo scenario viene considerato un impianto di biogas generico da 1MWe con separatore solido/liquido del digestato prodotto e abbattimento dell'azoto mediante processi di nitrificazione e denitrificazione ed utilizzo agronomico del digestato solido, nel rispetto della normativa sui nitrati. I costi di investimento sono calcolabili con la seguente relazione (RAGAZZONI, 2013):

$$C = \left(\frac{P}{P_0}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot C_0$$

C = costo da stimare

P = potenza dell'impianto

C₀ e ***P₀*** = valori di riferimento

Tali costi comprendono lavori di scavo, opere civili, ecc. In aggiunta, si deve considerare anche il costo per la nitro-denitro. I costi di gestione, invece, rappresentano circa il 6% dell'investimento iniziale e si ipotizzano più o meno costanti per tutti gli anni dall'entrata in esercizio dell'impianto. A questo si aggiunge il costo di gestione del reattore SBR e quello relativo al conferimento del *biomaste* all'impianto (si è fatto riferimento solo al consumo di carburante per il trasporto): queste spese sono state calcolate ipotizzando il trasporto del liquame (andata più ritorno a vuoto) delle varie aziende residenti in un raggio massimo di 10 km all'ipotetico sito di costruzione dell'impianto, tramite un'autocisterna da 35 m³ di portata. I consumi (media tra viaggio a pieno carico e ritorno a vuoto) sono di 42 l/100km. Il prezzo del carburante è stato impo-

sto a 1,37 €/l.

Lo stesso ragionamento è stato fatto per il trasporto del materiale palabile, con l'unica differenza che viene utilizzato un autocarro da 20t di portata.

SCENARIO 2

Anche in questo scenario si considera un impianto di biogas con produzione di energia elettrica e termica. La differenza con il precedente è che l'energia elettrica prodotta viene utilizzata per alimentare veicoli elettrici impiegati per il conferimento del *biowaste* all'impianto, abbandonando definitivamente la dipendenza dal diesel. In questo scenario i costi di investimento sono maggiori perché bisogna considerare anche il costo di acquisto delle batterie e il costo di trasformazione dei veicoli in *full-electric*; i costi di gestione, invece, risultano molto più bassi perché è stato utilizzato un metodo di trasporto alternativo. L'autocarro per il trasporto del materiale palabile è da 7,5 t di portata.

SCENARIO 3

Il terzo scenario prevede la realizzazione di un impianto di biogas che, attraverso una tecnologia di *upgrading* (PSA), produca biometano che potrebbe essere utilizzato per autotrazione, distribuito tramite una stazione di rifornimento adiacente all'impianto stesso, alimentando veicoli *dualfuel* (MARANGONI ET AL., 2013). I costi di investimento aumentano rispetto ad un impianto generico di digestione anaerobica; questo è dovuto soprattutto ai costi della tecnologia di *upgrading* (PICCININI, BASSI, 2013). Conseguentemente aumentano anche i costi di gestione dell'impianto.

SCENARIO 4

Questo scenario è praticamente identico al precedente, con la differenza che si utilizzano veicoli ibridi al posto dei *dualfuel* per il conferimento del materiale all'impianto.

Nelle tabelle 5 e 6 (Tabb. 5 e 6) sono riportati, a titolo di confronto, i costi di investimento e quelli di gestione relativi a ogni scenario.

5.2 Analisi dei ricavi

Le entrate degli impianti di biogas derivano dalla vendita dell'energia elettrica e termica ed in particolare nell'incentivo riconosciuto dal GSE (Gestore Servizi Energetici) per l'energia elettrica prodotta.

La potenza dell'impianto in questione, essendo di circa 850 kWe, può accedere ad una tariffa base omnicomprensiva del valore di 17,8 € cent/kWh.

Tab. 5 - Costi di investimento non attualizzati

| Scenario 1 (€) | Scenario 2 (€) | Scenario 3 (€) | Scenario 4 (€) |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 3.783.214 | 3.889.214 | 5.393.214 | 5.449.214 |

Tab. 6 - Costi di esercizio

| Scenario 1 (€) | Scenario 2 (€) | Scenario 3 (€) | Scenario 4 (€) |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 345.898 | 322.242 | 679.047 | 667.402 |

Alla tariffa base possono sommarsi, ma non nel caso in questione, alcuni premi aggiuntivi per la Cogenerazione ad Alto Rendimento (CAR) e la rimozione/recupero dell'azoto.

Per quanto riguarda gli scenari dove viene prodotto biometano, le entrate sono date dal biometano vendibile per autotrazione (0,60 €/Nm³ + IVA) e dagli incentivi riconosciuti attraverso i CIC (Certificati di Immissione in Consumo).

Oltre alle suddette entrate, variabili in base allo scenario considerato, si è fatto riferimento ad un ricavo costante per tutti e quattro i casi, vale a dire la vendita del digestato solido utilizzabile come ammendante in agricoltura.

5.3 Analisi finanziaria

L'analisi finanziaria è stata condotta con il fine di ricavare gli indici finanziari più importanti già accennati in precedenza: VAN, TIR e tempo di *PayBack* (THUESEN, FABRYCKY, 1994). Dall'analisi della tabella 7 (Tab. 7) si evince che gli indici più vantaggiosi si hanno per un impianto di biogas generico che produca energia elettrica e termica (scenario 1).

Tab. 7 - Analisi dei principali indici finanziari

| | scenario 1 | scenario 2 | scenario 3 | scenario 4 |
|------------|------------|------------|------------|------------|
| PB (a) | 2,65 | 2,73 | 2,90 | 3,00 |
| VAN (€) | 18.210.021 | 17.994.904 | 18.290.439 | 18.318.902 |
| TIR (%) | 39,02 | 37,76 | 34,81 | 34,54 |

5.4 Valutazione economica delle alternative

L'analisi economica si conclude con la scelta dell'alternativa economicamente più conveniente e a tal proposito si confrontano tutte le alternative in base alla differenza tra i flussi di cassa.

Per applicare questo criterio decisionale a un gruppo di alternative che si escludono reciprocamente, bisogna procedere come segue:

- elencare le alternative in ordine crescente rispetto al costo iniziale;
- considerare inizialmente, come alternativa ‘attualmente migliore’, quella che presenta il costo iniziale più basso;
- confrontare l’alternativa ‘attualmente migliore’ con quella più ‘ambiziosa’, esaminando le differenze tra i due flussi di cassa (se il valore attuale trovato è inferiore o uguale a zero, l’alternativa ‘attualmente migliore’ rimane invariata e la seconda viene eliminata);
- ripetere il confronto finché ogni alternativa non sia stata considerata.

Il processo decisionale appena descritto mostra che lo scenario 4 rappresenta la scelta ottimale tra tutte le alternative considerate.

6. Considerazioni sul miglioramento della sostenibilità degli impianti

L’analisi economica, se da un lato risulta imprescindibile ai fini della valutazione dell’investimento, dall’altro non offre comunque garanzie sulla oggettiva sostenibilità del processo produttivo. All’opposto l’implementazione della metodologia LCA permette di caratterizzare i carichi energetici e ambientali del processo, non soffermandosi tuttavia sugli aspetti economici, che appaiono comunque fondamentali per una coerente progettazione dell’intervento.

Una possibile integrazione di tali distinte metodologie è rappresentata dall’applicazione del *Life Cycle Costing* (LCC), introdotto concettualmente negli artt. 67 e 68 della Dir. 2014/24/UE (‘costo del ciclo di vita del prodotto’). L’LCC si propone infatti di valutare i costi privati e sociali lungo tutto il ciclo di vita di un prodotto/servizio, dalla produzione, all’utilizzo, alla manutenzione; nella procedura vengono considerate le fasi di sviluppo e progettazione del sistema, il consumo di energia e di altre risorse rinnovabili e non, le esternalità ambientali generate (emissione di GHG, *greenhouse gas*, o di altri inquinanti in atmosfera, suolo, acque) e l’utilizzo dell’energia prodotta, fornendo, nel caso di specie, il reale costo (economico e ambientale) di un impianto per la produzione di biogas.

Per migliorare la sostenibilità degli impianti, e dunque incidere significativamente sull’accettabilità sociale degli stessi, si ritiene necessario procedere con l’applicazione di metodologie LCA e LCC sia in fase di progettazione che in fase di esercizio, con l’obiettivo di un miglioramento continuo dei parametri di processo, che possa altresì condurre all’ottenimento di un’etichettatura ecologica di Tipo I, considerata la massima espressione di eccellenza ambientale, energetica e sociale del processo produttivo.

L’utilizzo di *biowastes*, inoltre è fortemente auspicabile nella ricetta di alimen-

tazione al digestore anaerobico, anche alla luce del significativo beneficio ambientale ed economico che questo comporta a livello locale (CAPPELLI ET AL., 2015b). La stabilizzazione della biomassa trattata, ottenuta grazie all'abbattimento della carica patogena presente nello scarto zootecnico, è un altro punto a favore della sostenibilità degli impianti di digestione, i quali, grazie ai processi termofili e di pastorizzazione presenti in alcune tipologie impiantistiche, permettono un utilizzo sicuro del digestato in uscita.

È da evidenziare, inoltre, la duplice funzione di un impianto di digestione anaerobica, che può permettere il trattamento sia della componente solida che della componente liquida dello scarto ricevuto. È importante ricordare che lo scarto liquido rende necessario, negli allevamenti, un trattamento specifico per essere immesso in fogna (qualora ci sia) o per essere immesso in un recettore idrico (MASOTTI, 1987). L'impianto di digestione anaerobica ipotizzato nel presente studio è caratterizzato da una specifica depurazione della componente liquida in uscita dall'impianto che ne permette lo scarico in qualsiasi corpo recettore o fognatura, generando in tal modo un significativo beneficio ambientale.

Interessanti evoluzioni del processo di digestione anaerobica mirano ad effettuare, tramite il processo di *stripping*, la rimozione del 70% di ammoniaca dalla componente liquida del digestato per il successivo impiego nella formulazione di prodotti di arricchimento dei terreni. Il risultato è duplice: vi è un evidente recupero di una preziosa matrice organica, di primaria importanza per la fertilizzazione mirata del terreno, ed un beneficio economico derivante dalla vendita del prodotto. La cattura dell'ammoniaca tramite il processo in continua sopra richiamato permette la sintesi del solfato di ammonio che è l'elemento base per la produzione dei fertilizzanti.

7. Conclusioni

Gli effluenti zootecnici, nella provincia di Latina, possono essere considerati una risorsa naturale utilizzabile per la produzione di energia rinnovabile. Il territorio suddetto presenta un potenziale massimo di produzione di biogas da effluenti zootecnici di circa 40 milioni Nm³ biogas/anno. Il biogas prodotto può essere utilizzato in cogenerazione per la produzione di energia elettrica e termica, oppure raffinato a biometano ed utilizzato per autotrazione come biocarburante o immesso nella rete del gas naturale.

In relazione alla valutazione economica quattro scenari produttivi sono stati analizzati, consentendo di verificare come alternativa 'attualmente migliore' la

produzione e vendita di biometano (scenario 4) che presenta un tempo di ritorno degli investimenti pari a 3 anni, con un tasso di sconto del 3%, un VAN positivo di € 18.318.902,12 ed un TIR del 34,54%.

La produzione di biogas da soli effluenti zootecnici nel territorio del Comune di Pontinia permette di ottenere risultati molto interessanti sia in termini energetici che economici. Non sono poi da sottovalutare i benefici ambientali derivanti dalla riduzione degli impatti sia a livello locale che globale, come pure il contenimento dell'impatto olfattivo giustificato da un ottimale impiego agronomico del digestato rispetto agli effluenti zootecnici non sottoposti a digestione anaerobica.

Dal punto di vista socio-ambientale, al fine di migliorare la sostenibilità degli impianti e incidere significativamente sull'accettabilità sociale degli stessi, si riterrrebbe inoltre opportuno procedere con le seguenti attività:

- applicare al processo produttivo le metodologie LCA e LCC sia in fase di progettazione che in fase di esercizio, con l'obiettivo di un miglioramento continuo dei parametri di processo, che possa altresì condurre all'ottenimento di una etichettatura ecologica di Tipo I, considerata la massima espressione di eccellenza ambientale, energetica e sociale del processo produttivo;
- realizzare uno studio di prossimità per la localizzazione dell'impianto, con lo scopo di minimizzare gli impatti ambientali legati alle attività di trasporto dei reflui, dal momento che queste raffigurano delle significative criticità; l'uso di *biowastes* 'a km 0' nella ricetta di alimentazione del digestore anaerobico determina ricadute positive, a livello locale, anche in termini economici, consentendo la valorizzazione energetica di materiale altrimenti considerabile come rifiuto;
- stabilizzare il biowaste trattato abbattendone la carica patogena attraverso processi termofili e di pastorizzazione che permettano un utilizzo sicuro del digestato in uscita. Trattare inoltre sia la componente solida che liquida dello scarto ricevuto.

Riferimenti bibliografici

- CAPPELLI A., GIGLI E., ROMAGNOLI F., SIMONI S., BLUMBERGA D., PALERNO M., GUERRIERO E. (2015), "Co-digestion of macroalgae for biogas production: an LCA-based environmental evaluation", *Energy Procedia*, Vol. 72, pp. 3-10, June 2015, Elsevier.
- CAPPELLI A., GIGLI E., ROMAGNOLI F. (2015) "Socio-economic impacts due to the exploitation of local biowaste before and after B4B Project", *documento ufficiale del progetto FP7 Bionvalk4Biofuels*, in *Deliverable* n. 7.14, Participant Portal dell'Unione Europea, maggio 2015.

- FABBRI C. (2010), “Elementi di valutazione per lo studio di fattibilità di impianti biogas”, in *Atti dei Seminari sulle filiere agro-energetiche*, Bologna, novembre 2010.
- FABBRI C., PICCININI S. (2011), “Biogas – “Metodi di valutazione del potenziale metanigeno”, *Bollettino del Centro Ricerche Produzioni Animali*, n. 5/2011, pp. 1-4, Reggio Emilia, maggio 2011.
- DIRETTIVA 91/676/CEE del 12 dicembre 1991, “Protezione delle acque dall’inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole”. Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee del 31/12/1991.
- MARANGONI A., D’ADAMO I., MATTIROLO P. (2013), “Il Biometano. Potenzialità, Economics e Prospettive di Sviluppo”, in *Osservatorio Agroenergia*, Althesys, Milano.
- MASOTTI L. (1987), *Depurazione delle acque. Tecniche ed impianti per il trattamento delle acque di rifiuto*, Calderini Editore, Bologna.
- PICCININI S., BONAZZI G., FABBRI C. ET AL. (2008), *Energia dal biogas: prodotto da effluenti zootecnici, biomasse dedicate e di scarto*. AIEL - Associazione Italiana Energie Agroforestali, Legnaro (Padova).
- PICCININI S., BASSI C. (2013), *Principi base e tecnologie dell’upgrading*, Consorzio Italiano Biogas, Milano.
- RAGAZZONI A. (2013), “Biogas, analisi della redditività al variare di taglia e dieta”, in *L’Informatore Agrario*, novembre 2013, Supplemento, Edizioni L’Informatore Agrario, Verona.
- THUESEN G. J., FABRYCKY W. J. (1994), *Engineering Economy*. Il Mulino, Bologna.

Banche dati

- ISTAT, VI Censimento generale dell’Agricoltura, 2010 <<http://dati-censimentoagricoltura.istat.it/Index.aspx>>.
- SERVIZIO VETERINARIO DI LATINA, Dati ASL, 2015.