



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE TECNOLOGIE AGRARIE

PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOMASSE.

Inquadramento normativo e potenzialità produttive.

ENERGY PRODUCTION FROM BIOMASS.

Regulatory framework and production potential.

Studente:

LORENZO CAMILLETTI

Relatore:

PROF. ESTER FOPPA PEDRETTI

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

SOMMARIO

ELENCO DELLE TABELLE	5
ELENCO DELLE FIGURE	6
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI	7
INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI	8
1. SVILUPPO DELLA NORMATIVA EUROPEA SULLE FONTI ENERGETICHE RINNOVABILI.....	10
1.1 Pubblicazione dei Libri Verdi e Libri Bianchi, emanazione dell direttiva 2001/77 CE	10
1.2 Decreto legislativo n°387 del 2003: attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili.....	12
1.3 Direttiva 2009/28/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili.....	13
1.4 Normativa di recepimento. D.lgs. 28/2011.....	15
1.5 New Green Deal e normativa annessa 2018/2001/UE.....	17
2. TIPOLOGIA DI BIOMASSA AD USO ENERGETICO.....	20
2.1 Inquadramento della biomassa ad uso energetico	20
2.2 Parametri di inquadramento della biomassa.....	21
2.3 Biomasse utilizzabili per la digestione anaerobica.....	24
2.3.1 La biomassa di origine animale.....	24
2.3.2 La biomassa di origine vegetale.....	31
3. VALUTAZIONE DEL POTENZIALE METANIGENO DELLA BIOMASSA DI ORIGINE AGRICOLA	42
3.1 Metodo BMP	43
3.2 Resa in metano delle diverse tipologie di biomasse utilizzate in D.A.....	46
3.2.1 Resa in metano dei diversi effluenti zootecnici.....	46
3.2.2 Resa in metano delle differenti colture dedicate.....	51

3.2.3 Resa in metano dei principali sottoprodotti.....	55
4. CONCLUSIONI.....	61
BIBLIOGRAFIA	63

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 2.1-1 tipologia di biomasse.....	20
Tabella 2.2-1 massa volumica.....	22
Tabella 2.2-2 umidità di alcuni residui.....	22
Tabella 2.2-3 C/N di alcuni residui.....	23
Tabella 2.2-4 relazione di massima tra C/N e umidità e trasformazioni energetiche.....	23
Tabella 2.3-1 caratteristiche chimiche dei liquami prodotti da diverse specie zootecniche.....	27
Tabella 2.3-2 contenuto in s.s. e % di s.o dei principali letami.....	27
Tabella 2.3-3 caratteristiche di alcuni sottoprodotti di origine animale.....	30
Tabella 2.3-4 resa in biogas di alcuni materiali organici di origine animale in DA.....	30
Tabella 2.3-5 resa in biogas e metano delle diverse componenti organiche.....	31
Tabella 2.3-6 valori dei principali parametri usati per valutare la resa in biogas di alcuni reflui zootecnici.....	31
Tabella 2.3-7 principali valori di riferimento di alcune colture dedicate alla DA.....	35
Tabella 2.3-8 principali caratteristiche dei residui colturali utilizzati in DA.....	36
Tabella 2.3-9 principali valori di riferimento di alcuni sottoprodotti utilizzabili in DA....	41

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 2.2-1 Classificazione delle deiezioni zootecniche in base al contenuto di s.s.....	25
Figura 2.3-2 Schema della reazione della fotosintesi clorofilliana.....	32
Figura 3.1-1 Schema BPM test statico progettato da CRPA.....	45
Figura 3.2-1 Test BMP di un liquame bovino fresco.....	48
Figura 3.2-2 Test BMP per un solido separato da un liquame bovino con uso di paglia.....	49
Figura 3.2-3 Test BMP per un solido separato da un liquame bovino con uso di segatura	49
Figura 3.2-4 Test BMP insilato di mais.....	52
Figura 3.2-5 Produzione specifica CH ₄ di vinaccia tal quale e cavitata.....	56
Figura 3.2-6 Produzione specifica di metano di sansa denocciolata.....	57
Figura 3.2-7 Produzione specifica di metano di patè di sansa.....	58

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

FER	fonte energetica rinnovabile
F.O.R.S.U	frazione organica rifiuti solidi urbani
DA	digestione anaerobica
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
UNI	Ente Nazionale Italiani di Unificazione
CEI	Comitato Elettrotecnico Italiano
SOA	sottoprodotto di origine animale
Capac	consorzio agricolo piemontese per agro-forniture e cereali
Mipaaf	ministero delle politiche agricole alimentari e forestali
BMP	biochemical methane potential
SV	solidi volatili
SS	sostanza secca
DM	decreto ministeriale
NDFD	neutral detergent fiber digestibility

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

Nel XX secolo c'è stata una crescita esponenziale delle attività industriali e commerciali, che per il loro sostentamento hanno richiesto una sempre maggiore quantità di energia. Ciò ha portato ad una richiesta esponenziale di fonti energetiche non rinnovabili, andando a ridurre in modo sostanziale la loro disponibilità con le modalità di estrazione meno costose, con un conseguente aumento dei prezzi e, soprattutto, comportando una serie di problemi legati ai cambiamenti climatici. Attualmente costituiscono un grave problema ambientale e, negli ultimi decenni, sia a livello Europeo che a livello mondiale si sta cercando una soluzione, ed una importante risposta la si può trovare nelle fonti energetiche rinnovabili (FER). Ad oggi, l'importanza delle fonti rinnovabili è entrata nella consapevolezza di ampi strati della popolazione mondiale, in concomitanza alla divulgazione di studi scientifici sui cambiamenti climatici connessi all'uso di fonti di energia fossili. Il riscaldamento globale, infatti, rappresenta ormai un fenomeno inconfutabile, come dimostrano l'incremento della temperatura media di aria e oceani, lo scioglimento dei ghiacciai e l'innalzamento del livello del mare. Secondo l'Intergovernmental Panel on Climate Change

(IPCC), le attività umane rappresentano una delle principali cause di tale riscaldamento, in particolare ha dimostrato che l'aumento delle emissioni a livello globale è iniziato dall'epoca pre-industriale, con una crescita molto elevata negli ultimi 50 anni. Infatti, dal 1970 al 2010, per quanto riguarda l'emissione della sola CO_2 , si è avuto un incremento del 80% (1).

Le strade percorribili e le risorse naturali a cui attingere per ottenere una produzione energetica ambientalmente sostenibile sono molteplici, sicuramente la più conosciuta tra le FER è l'energia solare, ma sono presenti anche le energie eolica, geotermica, idroelettrica e a biomassa.

Quest'ultima produce bioenergia dalle biomasse, ovvero da prodotti organici principalmente vegetali e in piccola parte di origine animale. Ha una correlazione molto stretta con il settore agricolo, andando a riscoprire quel rapporto di funzionalità tra agricoltura e fonti energetiche, messo da parte dall'avvento delle fonti energetiche fossili. Infatti, ad oggi, le fonti energetiche di origine agricola più utilizzate sono le biomasse, prodotte da colture dedicate o residuali, impiegate in modi differenti a seconda delle loro proprietà.

Sicuramente negli ultimi anni maggiore interesse è dato dalle biomasse utilizzabili per la produzione di biogas.

Lo scopo della tesi è quello di descrivere le diverse tipologie di biomassa ottenute dal settore agricolo, utilizzabili per la produzione di biogas tramite digestione anaerobica e confrontarle in base al loro rendimento.

Capitolo 1

SVILUPPO DELLA NORMATIVA EUROPEA SULLE FONTI ENERGETICHE RINNOVABILI.

All'inizio degli anni novanta del secolo scorso in Europa sono iniziati degli studi e una successiva presa di coscienza dei problemi legati ai cambiamenti climatici creati dall'attività umana, dando così inizio alla diffusione delle energie rinnovabili.

L'Unione Europea è stata una delle prime istituzioni a livello mondiale che ha cercato di affrontare e trovare soluzioni alle questioni relative alla dipendenza dall'importazione di fonti energetiche, all'impatto di tali fonti sull'ambiente e sulla salute umana e alle garanzie, per i consumatori, di energia sicura, pulita e a prezzi accessibili.

1.1 Pubblicazione dei Libri verdi e Libri bianchi, emanazione della direttiva 2001/77 CE.

Il primo atto che l'Unione Europea ha effettuato riguardante la disciplina e la promozione delle fonti rinnovabili, è stata la pubblicazione del Libro Verde "Energia per il futuro: Le fonti energetiche rinnovabili" pubblicato nel 1996. Tale libro avvia un dibattito sulla scelta di una strategia dell'Unione Europea e lo sviluppo di un piano di azione inteso ad aumentare la penetrazione di mercato delle fonti energetiche rinnovabili.

Con questo documento, la Commissione europea fornisce un segnale politico per incoraggiare interventi a favore della promozione delle fonti rinnovabili. Il Libro Verde pone degli obiettivi ben precisi, come quello di aumentare il contributo delle fonti energetiche rinnovabili sul totale energetico dell'Unione europea, riuscendo ad aumentare il contributo di queste fonti dal 6% dell'allora 1996 al 12% nel 2010. Il rafforzamento della cooperazione tra gli Stati membri e il rafforzamento delle strategie relative a diverse politiche comunitarie hanno avuto implicazioni con lo sviluppo di fonti energetiche rinnovabili che è stato accompagnato dall'introduzione di meccanismi di valutazione e monitoraggio del raggiungimento degli obiettivi (2).

In seguito al dibattito introdotto con il Libro Verde del 1996, è stato promulgato il Libro Bianco “Energia per il futuro: le fonti energetiche rinnovabili” del 1997, in cui la Commissione conferma gli obiettivi fissati dal Libro Verde, presentando una strategia generale per conseguirli.

Con il Libro Bianco la Commissione Europea presenta un piano costituito da cinque punti con durata quinquennale: 1) l’integrazione del mercato interno dell’energia; 2) la gestione della dipendenza energetica; 3) la sicurezza degli approvvigionamenti energetici; 4) la promozione di uno sviluppo sostenibile; 5) la tutela e il rispetto dell’ambiente (3).

Inoltre, si pone il settore agricolo come punto chiave per la strategia Europea nell’aumento dell’utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili, mettendo in luce la diffusione di nuove attività e nuove forme di reddito presso le aziende agricole, come la produzione di biomassa per scopi energetici. Si fa riferimento anche ad una futura politica di sviluppo rurale in cui, la Commissione incoraggerà gli Stati membri a conferire una priorità elevata ai progetti di energia rinnovabile nei loro programmi a favore delle aree rurali (4).

Nei primi anni 2000, si registra in Europa un aumento della produzione energetica da fonti rinnovabili e in parallelo l’aumento del prezzo del petrolio. Così si ritorna a discutere, in ambito comunitario, di sicurezza degli approvvigionamenti energetici attraverso la pubblicazione di un ulteriore Libro Verde sulla sicurezza dell’approvvigionamento energetico del 2000, in cui si prevede che nei successivi trenta anni circa, l’Europa avrebbe potuto subire un incremento dal 50% al 70% della dipendenza energetica da paesi extra-UE.

Successivamente alla pubblicazione del Libro Verde, del Libro Bianco e all’apertura della conferenza ONU sui cambiamenti climatici nel 1997 a Tokyo, in cui venne poi redatto l’omonimo protocollo, la Comunità Europea emanò la direttiva 2001/77 CE, incentrata sulla promozione dell’energia elettrica, prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell’elettricità. Tale normativa è stata redatta tenendo in considerazione diverse tematiche. All’epoca il potenziale energetico derivante da fonti rinnovabili era sottoutilizzato dalla Comunità, di conseguenza si riconobbe che era necessario promuovere in via prioritaria le fonti energetiche rinnovabili. A favore di questa disposizione fu considerato che le FER contribuiscono alla protezione ambientale, favoriscono uno sviluppo sostenibile essendo un importante volano per l’occupazione locale, producono un impatto positivo sulla coesione sociale (5).

La normativa definisce le fonti energetiche rinnovabili come:

“le fonti energetiche rinnovabili non fossili (eolica, solare, geotermica, del moto ondoso, idraulica, biomassa, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas)”.

Particolare attenzione si riporta alla biomassa definendola come:

“la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani”.

Successivamente si pongono quattro obiettivi indicativi per ogni Stato membro; il primo obiettivo fa presente che ogni Stato deve adottare delle misure appropriate atte a promuovere l'aumento di consumo di elettricità, prodotta da fonti energetiche rinnovabili; il secondo obiettivo indica che ogni Stato membro deve adottare una relazione e pubblicarla ogni cinque anni, nella quale si riportano gli obiettivi nazionali sull'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili dei successivi dieci anni; il terzo obiettivo dichiara che, gli Stati sono tenuti ogni due anni a pubblicare una relazione contenente un'analisi del raggiungimento degli obiettivi indicativi nazionali. Nel quarto e ultimo punto si riporta che gli obiettivi nazionali devono essere compatibili con l'obiettivo globale del 12 % del consumo interno lordo di energia rinnovabile, entro il 2010. In particolare, con una quota del 22,1 % di elettricità prodotta da fonti energetiche rinnovabili, sul consumo totale di elettricità della Comunità.

Ogni Stato membro deve far sì che l'energia prodotta da fonti energetiche rinnovabili sia garantita come tale, applicando delle garanzie di origine, nella quale si specificano la fonte energetica da cui è stata prodotta l'elettricità, le date e i luoghi di produzione.

Infine, gli Stati devono mettere in vigore, tramite una normativa di recepimento, le disposizioni legislative, regolamentari e amministrative, necessarie per conformarsi alle disposizioni della direttiva. Nel caso specifico, la data ultima fissata è stata entro il 27 ottobre 2003 (5).

1.2 Decreto legislativo n°387 del 2003: attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili.

Il Presidente della Repubblica il 29 dicembre del 2003 ha emanato il decreto legislativo n°387. Le finalità di questo decreto sono incentrate nel promuovere un maggiore contributo delle fonti energetiche rinnovabili, per la produzione di energia elettrica nel mercato italiano e comunitario. Tramite lo sviluppo di impianti di microgenerazione elettrica che utilizzano fonti rinnovabili, in particolare per gli impieghi agricoli e per le aree montane.

Nel decreto, inoltre, sono state redatte delle disposizioni specifiche per la valorizzazione energetica delle biomasse, dei gas residuati dai processi di depurazione e del biogas. Una commissione di esperti nominata dal Ministero delle politiche agricole e forestali, ha

predisposto una relazione in cui sono indicati: i distretti produttivi nei quali è prodotta la biomassa, le condizioni tecniche, economiche, normative ed organizzative e le modalità di valorizzazione della biomassa stessa. Si sono dovute indicare; le aree agricole, comprese quelle a rischio idrogeologico, dove è possibile intervenire con la messa a dimora di colture da destinare a scopi energetici; le aree agricole in cui sono prodotti residui agricoli non destinati all'attività di riutilizzo; le condizioni per la promozione degli impianti cogenerativi di potenza elettrica inferiore a 5 MW (6).

Per avere un incremento nell' utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili, è necessario promuovere la ricerca e la diffusione delle suddette fonti. Infatti, il Ministero delle attività produttive, in concerto con il Ministero dell'ambiente e il Ministero delle politiche agricole e forestali, hanno stipulato un accordo di programma quinquennale con l'ENEA. Questo accordo è necessario per l'attuazione di misure a sostegno della ricerca, della diffusione delle fonti rinnovabili e dell'efficienza negli usi finali dell'energia. L'accordo si snoda principalmente su tre obiettivi generali, l'introduzione nelle imprese di piccole e medie dimensioni di componenti, processi e criteri di gestione che consentano il maggiore utilizzo di fonti rinnovabili. La formazione di tecnici specialisti e la ricerca per lo sviluppo di impianti che producono massimo 50 MW di potenza elettrica.

In collaborazione con la Conferenza unificata, è stato necessario effettuare una ripartizione degli obiettivi nazionali tra le regioni, tenendo conto delle risorse di fonti energetiche rinnovabili sfruttabili in ciascun contesto territoriale. Inoltre, le regioni possono adottare misure per promuovere l'aumento del consumo di elettricità da fonti rinnovabili nei rispettivi territori, aggiuntive rispetto a quelle nazionali (6).

1.3 Direttiva 2009/28/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili.

La direttiva 2009/28/CE del 23 aprile 2009 "Sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili" presenta la modifica e la successiva abrogazione della direttiva 2001/77CE (7).

La normativa introduce una disciplina unitaria destinata a regolare tutti i possibili utilizzi delle fonti energetiche rinnovabili, quindi sostituisce di fatto la direttiva precedente.

La parte introduttiva della direttiva è composta da ben 97 "considerando", i quali possono essere riassunti principalmente in quattro indicazioni fondamentali: 1) il rispetto degli impegni assunti con il protocollo di Kyoto, attraverso la riduzione delle emissioni di gas serra oltre il 2012; 2) la promozione della sicurezza degli approvvigionamenti energetici; 3) la promozione

dell'innovazione e dello sviluppo tecnologico; 4) la creazione di nuova occupazione legata alla produzione di energia da fonti rinnovabili.

La normativa dichiara di raggiungere la quota del 20% di energie da fonti rinnovabili nel totale dell'energia prodotta in tutta l'UE, e del 10% nel settore dei trasporti, entro il 2020. Tali obiettivi sono poi distribuiti e diversificati per ogni Stato membro, sottoforma di obiettivi nazionali generali, da raggiungere attraverso l'adozione di misure idonee. Si deve assicurare che la propria quota di energia da fonti rinnovabili, sia uguale o superiore alla quota indicata dalla direttiva stessa. L'Italia ha avuto come obiettivo per la quota di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale di energia pari al 17 %.

Mentre per quanto riguarda la quota da rispettare per i trasporti, essa è uniforme per tutti gli Stati comunitari.

Tali obiettivi nazionali generali, devono essere coerenti con l'obiettivo posto dalla Comunità, la quale pone una soglia del 20% di energia ottenuta da fonti rinnovabili nel consumo finale di energia nel 2020.

Per il rispetto degli obiettivi posti dalla commissione e di conseguenza per il conseguimento degli obiettivi generali nazionali, ogni Stato membro può applicare delle differenti misure, come i regimi di sostegno, cioè, una serie di meccanismi intesi a promuovere l'uso delle energie da fonti rinnovabili riducendo i costi, aumentando i prezzi a cui possono essere vendute, o aumentando il volume acquistato di dette energie. Possono comprendere, ma non in via esclusiva anche le sovvenzioni agli investimenti, esenzioni o sgravi fiscali. Inoltre si possono applicare anche delle misure di cooperazione tra vari Stati membri e con paesi terzi. Secondo la normativa ogni Stato membro deve adottare un piano d'azione nazionale per le energie rinnovabili. I piani d'azione hanno fissato gli obiettivi nazionali degli Stati, per la quota di energia da fonti rinnovabili consumata nel settore dei trasporti, dell'elettricità, del riscaldamento e raffreddamento nel 2020. Inoltre si è tenuto conto anche degli effetti di altre misure politiche relative all'efficienza energetica sul consumo finale di energia e le misure appropriate da adottare per raggiungere gli obiettivi nazionali generali. È importante la cooperazione tra le autorità locali, regionali e nazionali per l'ottenimento di un progetto comune, così d'avere una politica nazionale per lo sviluppo delle risorse della biomassa esistenti e per lo sfruttamento di nuove risorse della biomassa per usi diversi (7).

Gli stati membri hanno dovuto poi mettere in vigore la direttiva delle Commissione europea tramite una normativa di recepimento.

1.4 Normativa nazionale di recepimento. D.lgs. 28/2011.

Il decreto è una attuazione nazionale della direttiva 2009/28/CE. Definisce gli strumenti, i meccanismi, gli incentivi e il quadro istituzionale, finanziario e giuridico, utilizzati per il raggiungimento degli obiettivi al 2020. Cioè la quota di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia, fissata per la quota complessiva da fonti rinnovabili al 17%, mentre nel settore dei trasporti è stata fissata pari al 10% del totale (8).

La direttiva al fine di garantire lo sviluppo delle fonti rinnovabili pone come fondamento alcuni principi generali, in particolare il principio di leale collaborazione tra Stato e Regioni per il raggiungimento degli obiettivi nazionali. Successivamente, si mette in evidenza che la costruzione e l'esercizio di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili, devono essere disciplinati secondo delle speciali procedure amministrative semplificate, accelerate e adeguate, sulla base delle specifiche caratteristiche di ogni singola applicazione. Si devono realizzare delle opere funzionali all'immissione e al ritiro dell'energia prodotta da una pluralità di impianti, se non sono già inserite nei preventivi di connessione. Queste opere devono essere effettuate dai gestori di rete, su autorizzazione dalle Regioni; per questo, è importante coordinare i tempi di sviluppo delle reti con lo sviluppo degli impianti di produzione. Il decreto mette in evidenza anche l'aspetto ambientale, ponendo dei punti molto rigidi in modo da evitare l'elusione della normativa di tutela ambientale, del patrimonio culturale e della salute. Per l'individuazione degli impianti, le Regioni valutano, nel caso in cui ci sia la presentazione di più progetti da realizzare, la fattibilità di impianti alimentati a fonti rinnovabili e localizzati nella medesima area o in aree contigue.

Gli impianti alimentati da fonti rinnovabili, dopo un anno dalla data di entrata in vigore del decreto, accedono agli incentivi statali a condizione che rispettino dei requisiti che variano a seconda delle specifiche tecniche del suddetto impianto. Inoltre, UNI e CEI entro 120 giorni dall'entrata in vigore del decreto, trasmettono al Ministero dello sviluppo economico e al Ministero dell'ambiente una rassegna della normativa europea, tra cui i marchi di qualità ecologica, le etichette energetiche ed altri sistemi di riferimento tecnico, creati da organismi europei applicati agli impianti e ai sistemi che utilizzano fonti rinnovabili.

Successivamente questa documentazione deve essere aggiornata con una frequenza biennale, ma tenendo in considerazione i tempi necessari all'adeguamento tecnologico per ogni tipologia di impianto.

Con lo stesso decreto è stato potenziato anche il sistema dei Certificati bianchi, già entrati in vigore nel 2005, quale principale meccanismo di incentivazione dell'efficienza energetica nel settore industriale, delle infrastrutture a rete, dei servizi e dei trasporti, applicati anche a

interventi realizzati nel settore civile e a misure comportamentali. Un certificato equivale al risparmio di un TEP.

Nel decreto si sono stabilite anche delle disposizioni in materia di informazione. Il GSE in collaborazione con l'ENEA, entro 6 mesi dall'entrata in vigore del decreto, hanno dovuto creare un portale, in cui principalmente riportare le informazioni dettagliate sugli incentivi nazionali per le fonti rinnovabili, per la produzione di energia elettrica e sulle modalità di accesso. Le informazioni riportate permettono di orientare tutti i soggetti interessati e, di considerare in modo adeguato la combinazione ottimale delle varie fonti rinnovabili e delle tecnologie annesse (8).

1.4.1 *Regolamentazione della produzione e distribuzione del biometano nel D.lgs.28/2011.*

Nel decreto legislativo n° 28/2011, si tengono in considerazione varie fonti rinnovabili, con le annesse tecnologie, per la produzione di energia elettrica o termica. All'interno della normativa, sono presenti diversi articoli, che illustrano delle disposizioni atte alla promozione dell'utilizzo del biometano. Infatti, sempre la normativa dichiara che, per favorire l'utilizzo del biometano nei trasporti, le Regioni devono prevedere delle specifiche semplificazioni, atte a velocizzare il procedimento di autorizzazione alla realizzazione di nuovi impianti di distribuzione di metano e di adeguamento di quelli esistenti. Per dare precedenza alla realizzazione degli impianti di distribuzione di biometano, queste opere vengono dichiarate "di pubblica utilità", così rivestono un carattere di indifferibilità e di urgenza.

Il decreto stabilisce anche le modalità di collegamento degli impianti di produzione di biometano alla rete del gas. Entro i 3 mesi dall'entrata in vigore del decreto, le Autorità per l'energia elettrica, devono emanare delle direttive relative alle condizioni tecniche ed economiche per l'erogazione del servizio di allaccio degli impianti di produzione di biometano alla rete del gas naturale. Queste direttive stabiliscono le caratteristiche chimiche e fisiche del biometano, con particolare riguardo alla qualità, l'odorizzazione e la pressione del gas, necessarie per l'immissione in rete. Tutto ciò favorisce un ampio utilizzo del biometano stesso, in quanto può essere così iniettato e trasportato senza generare problemi tecnici o di sicurezza. Per avere una massima trasparenza, è necessario che ci sia una pubblicazione da parte dei gestori della rete di tutti i dati relativi alle caratteristiche tecniche degli impianti di immissione del gas nella rete. Si prevede anche la pubblicazione delle condizioni tecniche ed economiche, necessarie per la realizzazione delle eventuali opere di adeguamento delle infrastrutture di rete per l'allaccio di nuovi impianti (8).

Il decreto stabilisce anche una serie di incentivi destinati ai produttori di biometano, sia che venga destinato per la produzione di energia elettrica, oppure che venga immesso nella rete

del gas naturale. Qualora il biometano venga immesso in rete, si ha l'erogazione di uno specifico incentivo, le Autorità per l'energia elettrica e il gas definiscono le modalità con cui avviene l'erogazione delle risorse.

Vengono erogati anche degli incentivi per i proprietari degli impianti di produzione di biogas, aventi lo scopo di assicurare una equa remunerazione dei costi di investimento ed esercizio.

Gli incentivi vengono assegnati tramite dei contratti di diritto privato fra il GSE e il soggetto responsabile dell'impianto, sulla base di un contratto-tipo definito dall'Autorità per l'energia elettrica e il gas. Il produttore dell'energia ha diritto ad un incentivo, la cui durata temporale è pari alla vita media utile dell'impianto. Gli incentivi generalmente restano costanti per tutto il periodo di diritto, ma possono tener conto del valore economico dell'energia prodotta.

Inoltre, sempre per il biogas, gli incentivi possono tener conto della tracciabilità e della provenienza della materia prima con cui viene prodotto. Infatti, sono presenti incentivi destinati a quei produttori che ottengono biogas da rifiuti, da reflui zootecnici, da sottoprodotti agro-alimentari, agroindustriali e forestali. Si possono ottenere incentivi anche se si utilizzano prodotti ottenuti da coltivazioni dedicate non alimentari e per biogas ottenuto da filiere corte. Altri incentivi sono destinati agli imprenditori agricoli, per la realizzazione e l'esercizio di impianti di biogas annessi alla propria azienda agricola, in particolare impianti di micro e mini cogenerazione. Per questi ultimi impianti, che generalmente presentano una potenza elettrica al di sotto di 1 MW, si prevedono degli incentivi pubblici non eccedenti il 40% del costo d'investimento.

La direttiva, inoltre, prevede degli incentivi destinati a interventi di rifacimento, al massimo, per gli incentivi di rifacimento parziale, non superiore al 25% e, per gli interventi di rifacimento totale, al 50% dell'incentivo spettante per le produzioni di nuovi impianti (8).

1.5 New Green Deal e normativa annessa 2018/2001/UE.

Ad oggi nell'Unione Europea il settore energetico è responsabile di oltre il 75% delle emissioni di gas serra, dunque, per i prossimi anni, è fondamentale aumentare la quota di energia rinnovabile nei diversi settori economici. Nel 2020 è stato introdotto il Green Deal, un piano europeo in cui si definisce il percorso dell'UE verso la neutralità climatica entro il 2050. Il piano prevede una profonda decarbonizzazione di tutti i settori dell'economia e una maggiore riduzione delle emissioni di gas serra per il 2030.

La direttiva originaria sulle energie rinnovabili, la 2009/28 CE, stabilì che l'UE doveva soddisfare almeno il 20% del suo fabbisogno energetico totale con energia rinnovabile entro il 2020. Di conseguenza nel dicembre 2018, è entrata in vigore la revisione della direttiva

sulle energie rinnovabili, la 2018/2001/UE. Questa direttiva fa parte di un pacchetto denominato “Energia pulita per tutti gli europei”, volto a mantenere l'UE leader mondiale nelle energie rinnovabili e, più in generale, ad aiutare l'UE a soddisfare i suoi impegni di riduzione delle emissioni ai sensi dell'accordo di Parigi. Con il Green Deal, l'UE aumenta le sue ambizioni climatiche e mira a diventare il primo continente climaticamente neutro entro il 2050. Per raggiungere questo obiettivo, la Commissione si è impegnata a rendere la legislazione esistente adatta a una riduzione delle emissioni del 55% entro il 2030 (9).

La direttiva 2018/2001/UE denominata “sulla promozione dell’uso dell’energia da fonti rinnovabili”, stabilisce un quadro comune per la promozione dell’energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia dell’Unione nel 2030. Inoltre, detta anche delle norme relative al sostegno finanziario per l’energia elettrica da fonti rinnovabili, fissa criteri di sostenibilità e di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra per i biocombustibili a biomassa (10).

Il principale obiettivo posto dalla direttiva, fissa la quota di almeno il 32% di energia ottenuta da fonti rinnovabili sul totale dei consumi entro il 2030 nel territorio dell’Unione.

Inoltre, gli Stati membri devono fissare dei contributi nazionali, elaborando delle politiche volte allo sviluppo di regimi di sostegno, in grado di agevolare collettivamente l’obiettivo vincolante per il 2030. La commissione di conseguenza sostiene gli obiettivi dei singoli Stati introducendo un quadro favorevole, che comprenda un maggior utilizzo dei fondi UE. In particolare, la Commissione europea dovrà intervenire nella riduzione del costo del capitale per i progetti di energia rinnovabile, dovrà realizzare dei progetti per integrare le fonti rinnovabili, sviluppando delle infrastrutture di rete e dovrà rafforzare la cooperazione tra gli stati membri e con paesi terzi.

Per raggiungere la quota prefissata di energie rinnovabili entro il 2030, ogni Stato membro deve effettuare un calcolo per stimare la potenziale quota di energia ottenibile da fonti rinnovabili. Nello sviluppo del calcolo, è necessario tenere conto di tutte le fonti rinnovabili presenti nello Stato, potenzialmente utilizzabili per la produzione di energia. Un ruolo molto importante è occupato dal settore agricolo, per la produzione di biomassa. La direttiva mette in evidenza delle norme specifiche per i combustibili da biomassa ottenuti da colture alimentari e foraggere; ogni Stato membro può fissare un limite inferiore di utilizzo di tale colture e può distinguere i combustibili da biomassa in funzione della loro origine, tenendo conto dell’eventuale impatto del cambiamento indiretto di destinazione dell’uso del suolo. Quindi, è necessario definire dei criteri di certificazione per i combustibili da biomassa a basso rischio di cambiamento di destinazione d’uso del suolo. Contemporaneamente, è necessario

determinare quelle materie prime ad elevato rischio di cambiamento di destinazione d'uso dei suoli, per le quali si osserva una considerevole espansione nelle zone produttive in cui sono presenti terreni con elevate scorte di carbonio.

Nella normativa vengono stabiliti i criteri di sostenibilità e di riduzione delle emissioni di gas serra per l'ottenimento di combustibili da biomassa. Di particolare interesse è l'ottenimento di combustibili da biomassa residuale proveniente dall'agricoltura, intendendo con il termine "residuale" il sottoprodotto di una coltura destinata per l'alimentazione umana o zootecnica. Questa tipologia di biomassa non può essere utilizzata in modo indiscriminato per la produzione di energia, infatti la biomassa residuale ottenuta da terreni agricoli può essere utilizzata solo se le autorità nazionali dispongono di piani di monitoraggio o di gestione dell'impatto sulla qualità del suolo, con particolare attenzione al contenuto di carbonio.

I combustibili da biomassa provenienti dall'agricoltura, non possono essere prodotti come materie prime su terreni che presentano un elevato valore in termini di biodiversità, da terreni erbosi naturali, in cui c'è una composizione naturale delle specie con determinati processi ecologici, su zone umide e su torbiere (10).

Capitolo 2 TIPOLOGIA DI BIOMASSA AD USO ENERGETICO.

2.1 Inquadramento della biomassa ad uso energetico.

Per biomassa, si intende:

“la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall’agricoltura, dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l’acquacoltura, gli sfalci e le potature provenienti dal verde pubblico e privato, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti urbani e industriali” (5).

Nella sua accezione energetica, il termine biomassa indica più specificatamente la materia organica prodotta o residua utilizzabile come fonte di energia in processi di generazione di elettricità, calore o biocombustibili.

Esistono diverse tipologie di biomassa, che vengono utilizzate all’interno di filiere energetiche in modo strettamente connesso al rispettivo inquadramento tecnico e alla normativa che, a diversi livelli gerarchici, disciplina le biomasse e i relativi processi di trasformazione.

La biomassa di origine agraria è ottenuta principalmente da coltivazioni energetiche, che possono essere di tipo arboreo o erbaceo. La biomassa si può ottenere anche da residui organici, prodotti dall’attività agraria, dall’allevamento e dall’agroindustria.

Tabella 2.1-1 tipologia di biomasse. Fonte: Mancini_2011

Provenienza delle biomasse	
<i>Risorse naturali</i>	Vegetali, forestali, acquatiche
<i>Coltivazioni energetiche</i>	<ul style="list-style-type: none">• Arboree (pioppo, robinia, salice, ecc.)• Erbacee (mais, girasole, canna, sorgo da fibra, ecc.)
<i>Residui organici</i>	<ul style="list-style-type: none">• Da processi di trasformazione (scarti ortofrutta, siero, sanse, pannelli esausti)• Agricoli (potature, espiananti, reflui zootecnici)

Secondo la normativa italiana, la biomassa di origine vegetale destinata all'utilizzo energetico viene distinta in:

- biomassa combustibile, descritta dal Decreto Legislativo 152/2006, inquadrata come combustibile e la sua conversione energetica è regolamentata dalla normativa sui combustibili, si tratta sostanzialmente di "biomassa vergine" la quale non ha subito alcun trattamento chimico artificiale.
- biomassa prodotta nell'azienda agricola, viene normata dal D. Lgs. 116/2020 e classificata come rifiuto speciale, in quanto prodotta all'interno di una attività economica.
- sottoprodotto, secondo il D. Lgs. 4 del 16/01/2008, si intende lo scarto e il residuo avviato ad un altro ciclo produttivo. Per essere definito sottoprodotto, il materiale deve essere generato da un processo produttivo, pur non essendone il prodotto principale, l'impiego in altro processo produttivo deve essere certo sin dalla fase della sua produzione e deve essere integrale. Il sottoprodotto deve avere caratteristiche merceologiche e di qualità ambientale tali da garantire che il suo utilizzo non generi un impatto sull'ambiente e, deve avere un valore economico di mercato.

La definizione di "sottoprodotto" ha avuto ottime ripercussioni nell'inquadramento dell'attività di produzione di energia e dei relativi scarti di produzione e alcune biomasse possono essere utilizzate in modo svincolato dal contesto dei rifiuti. Un esempio può essere la filiera del biogas, in cui si ha un ulteriore vantaggio in quanto il digestato stesso può essere gestito senza essere inquadrato come rifiuto. Quindi la normativa che definisce i sottoprodotti, può essere applicata alle deiezioni zootecniche e scarti vegetali derivanti dall'attività agricola, reimpiegati nella stessa azienda o in centri interaziendali per la produzione di energia, calore e biogas (11).

2.2 Parametri di inquadramento della biomassa.

Per classificare le tipologie di biomassa in base al tipo di utilizzo è necessario tenere in considerazione i principali parametri chimico-fisici della biomassa stessa.

Uno dei parametri fondamentali è la massa volumica, è definita come massa nell'unità di volume. È un parametro che influenza sia le caratteristiche fisico-meccaniche, come le variazioni dimensionali e la resistenza alle diverse sollecitazioni, che le qualità chimico fisiche. La massa volumica è una caratteristica variabile per la biomassa, che può variare

soprattutto a seconda del tenore di umidità. Nella pratica si può tenere in considerazione anche la massa volumica apparente, che tiene conto anche degli spazi vuoti presenti nella biomassa.

Tabella 2.2-1 massa volumica.

Biomassa/residui	Massa volumica (kg/m³)	Autore
<i>Paglia frumento</i>	24-121	Mani, 2004
<i>Sanse umide</i>	1090	Nastri, 2002
<i>Letame bovino maturo</i>	700-750	Fioravanti, s.d.

Altro parametro fondamentale è il contenuto idrico, che determina il contenuto di acqua nella biomassa. La sua determinazione è importante perché, oltre a condizionare le caratteristiche chimico-fisiche della biomassa, ne influenza il contenuto energetico. Il contenuto di umidità nella biomassa è molto variabile e ciò influenza in modo netto l'attitudine alla trasformazione energetica.

L'acqua contenuta nella biomassa viene classificata in acqua legata e acqua libera; per acqua legata si intende l'acqua di struttura, immobilizzata nelle strutture cellulari della biomassa, per l'estrazione richiede un'elevata energia. Mentre per acqua libera si fa riferimento all'acqua di imbibizione contenuta nei macro capillari della biomassa, trattenuta da sole forze fisiche e facilmente allontanabile.

Tabella 2.2-2 umidità alcuni residui.

Biomassa/residui	Umidità (%)	Autore
<i>Scarti di frutta</i>	72-81	Nasreen, 2012
<i>Scarti ortofrutticoli</i>	78-82	Nasreen, 2012
<i>Letame bovino</i>	56-85	Xin, 2018
<i>Pollina</i>	73-80	Petric, 2009
<i>Sfalci erba</i>	60-80	Isleib, 2011
<i>Vinacce</i>	50-75	Fregoni, 2005
<i>Sanse esauste</i>	20-30	Fiorino, 2003
<i>Paglia cereali</i>	8,7-13	Moretti, 2010

Il rapporto tra carbonio e azoto (C/N), indica il grado di lignificazione della biomassa, in quanto tale processo di polimerizzazione porta ad un aumento della percentuale di carbonio. Tale rapporto fornisce indicazioni utili riguardo il processo di conversione energetica. Nella biomassa vegetale è direttamente proporzionale al grado di lignificazione, nelle deiezioni zootecniche è legato al processo di digestione della specie e alla sua dieta, dalle modalità di gestione dell'allevamento nel refluo.

Tabella 2.2-3 C/N alcuni residui.

Biomassa/residui	Rapporto C/N	Autore
<i>Biomassa legnosa</i>	100-500	Franco, 2004
<i>Paglia frumento</i>	111	Panero, s.d.
<i>Stocchi mais</i>	52	Panero, s.d.
<i>Pollina</i>	8	Chiumenti, 2002
<i>Sfalci erba</i>	16-22	Panero, s.d.
<i>Scarti mercatali ortofrutta</i>	20	Chiumenti, 2002
<i>Sanse esauste</i>	32	Panero, s.d.
<i>Letame bovino</i>	20-35	Landi, 1999

La composizione della biomassa ha una fondamentale influenza sul tipo di processo di conversione energetica utilizzabile. Le principali caratteristiche della biomassa da tenere in considerazione per effettuare una distinzione in base al tipo di processo sono l'umidità e il rapporto C/N. In linea indicativa, per avere una massima efficienza in un processo biochimico, come la digestione anaerobica, si deve avere una biomassa che presenta un rapporto C/N minore di 30, con una umidità superiore al 30%. Invece, per avere una massima efficienza in un processo termochimico, cioè basato sull'azione del calore, si deve avere una biomassa con un rapporto C/N maggiore di 30 e umidità minore del 30% (12).

Tabella 2.2-4 relazione di massima tra C/N e umidità e trasformazioni energetiche.

Fonte: Vivoli_2008

Tipo di processo	Rapporto (C/N)	Umidità (%)	Processo di conversione	Prodotti principali
<i>Termochimico</i>	> 30	< 30	- Combustione - Gassificazione - pirolisi	- Energia termica - Gas di sintesi - Gas di pirolisi
<i>Biochimico</i>	< 30	> 30	- Digestione anaerobica - Fermentazione - Digestione aerobica	- Biogas - Bioetanolo - Energia termica

Nel processo di digestione anaerobica, il rapporto C/N è un valore fondamentale, in quanto indica il corretto svolgimento dei processi biologici; un contenuto di azoto insufficiente rispetto al carbonio, rallenta il tasso di crescita microbica e tutte le reazioni di trasformazione del substrato in gas (13).

2.3 Biomasse utilizzabili per la digestione anaerobica

Le biomasse che vengono utilizzate nella digestione anaerobica sono numerose, selezionate negli ultimi anni in base alle esperienze di utilizzo. I substrati organici utilizzati nella digestione anaerobica possono essere introdotti singolarmente nel digestore, oppure, come quasi la totalità degli impianti moderni, vengono immessi in miscela ottenendo dei processi di codigestione. Per codigestione, si intende l'utilizzo contemporaneo di diverse tipologie di matrici in diversa proporzione. L'utilizzo di questo sistema ha messo in evidenza una serie di vantaggi nel processo di digestione: migliori rese per unità volumetrica di digestato; effetto sinergico sugli organismi; riduzione dei costi di investimento e di esercizio; effetto diluizione di eventuali composti tossici. La miscelazione di diversi prodotti consente di compensare la fluttuazione stagionale della biomassa, evita sovraccarichi o, al contrario, carichi inferiori alla capacità stessa del digestore e mantiene più stabile e costante il processo. Le biomasse utilizzabili possono essere liquami zootecnici, colture dedicate, residui agricoli, F.O.R.S.U. (14).

La scelta della biomassa da utilizzare in un processo di digestione anaerobica è condotta seguendo differenti logiche gestionali: si può scegliere di dare priorità di utilizzo ad un refluo o rifiuto aziendale e questa logica di gestione è stata una delle ragioni principali che ha spinto e sostenuto la filiera; possibilità di reperire biomasse dedicate, che possono essere prodotte direttamente sullo stesso terreno dell'azienda, oppure acquistate da aziende terze, generalmente situate nelle vicinanze dell'impianto; possibilità di reperire sottoprodotti a costi contenuti, esistono numerose realtà in cui si utilizzano sottoprodotti e rifiuti presenti in modo abbondante, situati nelle vicinanze dell'impianto di digestione, spesso a costi nulli o relativi al solo trasporto. Importante è comunque tenere in considerazione il costo della biomassa utilizzata; infatti, qualunque scelta della matrice organica per il processo di digestione anaerobica deve essere valutata in relazione al suo costo, ed infine, effettuare una valutazione della resa in termini di biogas delle matrici disponibili.

La principale classificazione delle biomasse è in base alla loro origine, animale o vegetale.

2.3.1 *La biomassa di origine animale*

Per la biomassa ad origine animale l'utilizzo a fini energetici è sempre secondario, perché l'animale, essendo un organismo eterotrofo, trae l'energia necessaria al suo ciclo biologico direttamente o indirettamente dalla materia organica da organismi vegetali, di conseguenza, i suoi residui presentano una densità energetica inferiore. Inoltre, le biomasse animali destinate

ad un uso energetico sono residui di altre attività principali, quindi, costituiscono un aspetto secondario del processo produttivo, spesso marginale o problematico. Per molte aziende, la gestione delle deiezioni animali, che un tempo rappresentava una fonte per il mantenimento della fertilità dei terreni, oggi è divenuta una delle problematiche principali. Lo smaltimento dei reflui zootecnici è diventato un problema sempre più grande, perché possono causare non solo il rischio di contaminazione delle acque sotterranee e di eutrofizzazione dei corpi idrici superficiali, ma sono legate anche alle questioni igienico-sanitarie che derivano dalla vicinanza delle aziende zootecniche intensive vicino a insediamenti residenziali o produttivi extra-agricoli.

Uno dei metodi migliori per valorizzare i reflui zootecnici è la digestione anaerobica per la produzione di biogas (14).

Le biomasse di origine animale di interesse ai fini della trasformazione energetica sono essenzialmente le deiezioni e i reflui zootecnici.

Per deiezioni tal quale ci si riferisce solo al sottoprodotto fisiologico degli animali, mentre per reflui zootecnici, si fa riferimento ai prodotti di scarto di un allevamento, risultato della miscela variamente composta da feci, urine, acqua di lavaggio, lettiera, peli e residui alimentari.

I reflui zootecnici si presentano con una composizione estremamente variabile, non solo in funzione alla specie animale che li genera, ma anche in funzione alle modalità di allevamento e di gestione del refluo. Le deiezioni zootecniche dal punto di vista fisico/funzionale, vengono classificate in base al contenuto di sostanza secca: vengono chiamate letami quelle deiezioni che si trovano in forma palabile, mentre i liquami sono quelle deiezioni che si trovano in forma pompabile. Le deiezioni zootecniche per essere definite pompabili devono avere all'incirca un contenuto in sostanza secca inferiore al 20%, mentre, deiezioni che presentano valori in sostanza secca superiori, vengono classificate come palabili (12).



Figura 2.2-1 classificazione delle deiezioni zootecniche in base al contenuto di s.s.

Fonte: Bordoni.

Generalmente tra i reflui zootecnici, i liquami presentano una composizione chimico-fisica mediamente più adatta per i processi a digestione anaerobica, mentre i letami, in virtù del loro elevato contenuto in sostanza secca, devono essere necessariamente utilizzati in processi di codigestione, miscelati con altre matrici più liquide.

Tra i reflui animali, i liquami e letami bovini, i liquami suini e le deiezioni avicole, sono quelli maggiormente impiegati, mentre non si tiene conto dei reflui di ovini e caprini a causa dell'elevato contenuto di sali, i quali potrebbero indurre problemi di concentrazione di cloruro di sodio, e dei reflui prodotti da altri animali domestici, che non sono quantitativamente tali da poter acquisire significatività su scala nazionale.

Il liquame suino è caratterizzato da un contenuto di sostanza secca che varia dell'1 al 6% e una concentrazione di sostanza organica o solidi volatili estremamente variabile. Questa grande variabilità è imputabile alle differenti metodologie di allevamento comunemente presenti sul territorio. Una stabulazione su grigliato con rimozione delle deiezioni tramite lavaggio delle fosse sottogriglia, produce un liquame molto diluito. Al contrario, una rimozione delle deiezioni tramite raschiamento meccanico delle fosse, consente di limitare la diluizione del liquame. La tipologia ed una corretta gestione degli abbeveratoi consente di ridurre ulteriormente gli apporti di acqua nel refluo.

I reflui degli allevamenti dei bovini hanno un contenuto in sostanza secca maggiore, tra l'8 e il 15%, dovuto alla differente gestione dell'allevamento stesso.

In base alla gestione della lettiera si possono ottenere letami con una percentuale di sostanza secca molto variabile. Le stalle più diffuse sono a stabulazione libera, in cui si hanno diverse aree nelle quali i bovini possono muoversi; le zone di riposo sono quelle più ampie, in cui i bovini permangono per maggiore tempo, e possono avere lettiera permanente, lettiera inclinata o cuccette. La lettiera permanente ha una pavimentazione piana addizionata periodicamente con paglia lunga o trinciata, generalmente l'aggiunta di paglia viene effettuata con frequenza settimanale o bisettimanale. L'asportazione della lettiera può avvenire ogni 3-6 mesi, quindi si avranno delle grandi masse di materiale concentrate in un periodo specifico dell'anno e sarà un materiale con una elevata quota di fibra. La lettiera inclinata, grazie all'inclinazione del pavimento e all'azione di calpestamento degli animali, tende a scivolare verso la zona di alimentazione e viene asportata giornalmente tramite sistemi meccanici; si ottiene del materiale costituito da una miscela di paglia e deiezioni. Invece, la stalla con cuccette è caratterizzata dal fatto di avere la zona di riposo suddivisa in posti singoli, in questa tipologia di stalla si può utilizzare come lettiera paglia, oppure possono essere presenti dei materassini,

ed eliminare l'utilizzo della paglia; quindi si otterrà del materiale con una percentuale di sostanza secca inferiore e con un contenuto idrico maggiore.

Ai fini della digestione di un impianto a biogas occorre tenere presente che le ampiezze delle superfici pavimentate hanno effetto sulla qualità degli effluenti, ovvero sul contenuto idrico: la maggiore superficie rende più difficile l'utilizzo di paglia per addensare i liquami e pertanto in questi casi la volumetria degli effluenti è maggiore.

La disponibilità di biomassa per la produzione di biogas in un allevamento di bovini, dipende principalmente dal numero di capi allevati, dalla quantità di paglia utilizzata, dall'efficienza di rimozione degli effluenti e dalla produttività dei bovini, se si tratta di vacche da latte (15).

Tabella 2.3-1 caratteristiche chimiche dei liquami prodotti da diverse specie zootecniche

Fonte: Negli_2010

Specie in allevamento	s.s. %sut.q	Solidi Volatili % s.s	N Tot. kq/t _{ig}	P Tot. kg/t _{iq}	K Tot. Kg/t _{iq}	Cu mg/kg _{ss}	Zn mg/kg _{ss}
<i>Bovini da latte</i>	10-16	75-85	3,9-6,3	1,0-1,6	3,5-5,2	40-70	150-750
<i>Bovini da carne</i>	7-10	75-85	3,2-4,5	1,0-1,5	2,4-3,9	40-70	150-750
<i>Vitelli carne bianca</i>	0,6-2,9	60-75	1,3-3,1	0,1-1,8	0,4-1,7	30-60	600-1100
<i>suini</i>	1,5-6	65-80	1,5-5	0,5-2	1-3,1	250-800	600-1000
<i>ovaiole</i>	19-25	70-75	10-15	4-5	3-7,5	40-130	390-490

Tabella 2.3-2 contenuto in s.s. e % di s.o. dei principali letami

Tipo di materiale	Sostanza totale (%tq)	Solidi volatili (% di s.t.)	Azoto (%tq / %S.t.)	Autore
<i>Letame bovino</i>	5,98	75,85	0,33/5,46	Fabbri, 2012
<i>Liquame suino</i>	4,18	76,30	0,33/7,83	Adani, 2011
<i>Pollina ovaiole</i>	73,00	69,00	2,73/5,13	Guercini, 2011
<i>Lettiera di polli</i>	65,90	82,80	3,11/4,47	Fabbri, 2013
<i>Lettiera tacchini</i>	52,55	58,37	3,10/5,89	Fabbri, 2013

Tra le varie deiezioni avicole, principalmente si ha la pollina di galline ovaiole allevate in gabbia e la pollina di avicoli allevati a terra su lettiera. Le deiezioni di galline ovaiole in gabbia, presentano un tenore di umidità del 70-80%; generalmente questa pollina mentre viene rimossa grazie all'ausilio di nastri trasportatori, viene anche disidratata

da dei ventilatori che portano l'umidità della pollina stessa attorno al 30-40%. La lettiera avicola è costituita da deiezioni prodotte dagli allevamenti avicoli da carne mista al materiale di lettiera, che può essere paglia, trucioli, segatura. Al termine del ciclo di allevamento, gli animali vengono allontanati e la lettiera, frammista di deiezioni viene rimossa. Le caratteristiche degli effluenti avicoli sono variabili e dipendono dalla specie, dalla categoria allevata, dalla tipologia di stabulazione e di alimentazione. Le deiezioni avicole presentano valori di sostanza secca molto elevato se confrontate con le altre tipologie di effluenti, questo riguarda anche la pollina di ovaiole allevate in gabbia. Per quanto riguarda l'azoto, in termini di percentuale sulla sostanza secca, il tenore delle deiezioni avicole non si discosta da quello degli effluenti di altre specie; la differenza si nota quando si tiene in considerazione il valore in percentuale sul tal quale, dove, per effetto dell'elevato tenore in sostanza secca, pollina e lettiera mostrano tenori in azoto dieci volte superiore a quello degli altri reflui zootecnici. L'azoto nelle deiezioni avicole è principalmente sotto forma di acido urico, molecola inorganica facilmente degradabile ad ammoniaca (16).

La reperibilità di questa matrice è estremamente facile negli stati e nelle regioni ad alta vocazione zootecnica, come Germania, Olanda, Lombardia, Emilia Romagna. Al contrario, in alcune regioni del sud Italia dove il settore zootecnico non è molto sviluppato, la reperibilità di queste biomasse è minore. Il valore economico di questa tipologia di matrice è decisamente basso, facendo di essa una delle biomasse d'eccellenza per la digestione anaerobica (17).

Per i reflui zootecnici, i fattori che devono essere maggiormente considerati sono la composizione del materiale e la presenza di elementi tossici per il metabolismo microbico.

La composizione del materiale influisce sulla velocità di degradazione, che presenta valori decrescenti rispettivamente per: proteine, grassi, cellulosa e lignina. Quindi un liquame bovino a maggior contenuto cellulosico, presenta una velocità di degradazione inferiore rispetto ad un liquame suino più ricco in grassi. Per elementi tossici del metabolismo microbico spesso si fa riferimento a micronutrienti, quali sodio, potassio, calcio, magnesio, ammonio, zolfo, i quali, se presenti in eccesso possono indurre tossicità. Inoltre, anche metalli pesanti come rame, cromo, zinco, piombo possono creare danni al metabolismo se presenti in concentrazioni superiori a 1 mg/l.

I reflui zootecnici, presentano degli aspetti positivi e negativi, relativi al loro utilizzo nei processi di digestione anaerobica.

Gli aspetti positivi sono il basso costo o nullo della matrice, la reperibilità in ambiti territoriali limitrofi all'impianto: nei numerosi distretti zootecnici italiani, è necessario che le distanze siano ridotte per ridurre al massimo il costo del trasporto. Inoltre, si ha la possibilità di

valorizzare degli scarti e integrare il reddito dell'azienda zootecnica. Si determina una condizione più agevole per il digestato, quando si prevedono spandimenti in suoli non aziendali, inoltre, si ha una stabilizzazione con riduzione delle emissioni maleodoranti. Ed infine, con i reflui si ha la possibilità di utilizzare nei processi di codigestione differenti matrici, anche residuali, in miscela.

I principali aspetti negativi del utilizzo dei reflui zootecnici, sono le basse rese metanogene, la riduzione dell'apporto nei suoli della componente carboniosa, la possibilità di formazioni di croste fluttuanti nel digestore con reflui troppo pagliosi, come con i letami.(18)

Nelle biomasse animali, vengono compresi anche i residui carnei e di macellazione. Si tratta di sottoprodotti dell'attività di trasformazione delle produzioni animali, i quali vengono prodotti con regolarità e che possono essere distinti dai rifiuti per diversi motivi. I sottoprodotti di origine animale, ai sensi del Reg. CE 1774/02, sono tutti quei prodotti di origine animale non destinati al consumo umano e che, nel rispetto del Reg., sono stati sottratti dalla normativa dei rifiuti. La lavorazione di carne comporta la produzione di una grande quantità di rifiuti e sottoprodotti che, in linea indicativa, rappresentano circa il 40-50% del peso vivo dell'animale. La grande quantità di residui in gioco comporta elevati costi gestionali e di smaltimento, di conseguenza l'industria della carne si è orientata a minimizzare il problema attraverso un loro reimpiego economico, però non tutti gli scarti sono utilizzabili alla digestione anaerobica, ma solo quelli non utilizzabili nell'alimentazione umana e non classificabili come pericolosi per la salute umana. I principali sottoprodotti utilizzabili per produrre biogas sono: grassi, sangue, contenuto gastro enterico, interiora; tali residui possono essere addizionati come co-substrati nella digestione di liquami zootecnici. I sottoprodotti di origine animale vengono classificati in 3 categorie:

- 1° categoria; materiale specifico a rischio, deve essere incenerito.
- 2° categoria; contenuto del tubo digerente stallatico, può essere utilizzato in impianti per la produzione di biogas.
- 3° categoria; ossa, grasso, sangue e sequestri ispettivi, è destinata ad impianti di incenerimento oppure di trasformazione dove è sottoposta a pastorizzazione a 70 °C per almeno 60 minuti.

Le informazioni su questa materia sono ancora molto parziali. Sulla base dei dati disponibili, si evidenzia un interesse per questi materiali, legato sia alle interessanti percentuali di sottoprodotto rispetto alla materia prima lavorata, che all'alta resa in biogas e all'elevata percentuale di metano presente in esso. Anche le informazioni ufficiali sulla disponibilità di questi sottoprodotti sono ancora limitate, nel gennaio del 2002 il Ministero della Salute ha

affidato all'Istituto Zooprofilattico Sperimentale dell'Abruzzo e del Molise, il compito di progettare, realizzare e gestire la Banca Dati Nazionale informatizzata dell'anagrafe zootecnica; attualmente in Banca Dati sono censiti tutti gli allevamenti presenti nel nostro Paese, che detengono bovini, bufalini, ovini, caprini, suini ed avicoli. I dati registrati nell'anagrafe zootecnica sono direttamente inseriti dall'allevatore per tutti gli eventi degli animali in vita e dal responsabile del mattatoio per quello che riguarda la macellazione. I principali dati che vengono inseriti nella banca sono: 1) il numero di capi mensili macellati per provincia; 2) le classi d'età e sesso dei capi macellati; 3) il peso vivo e peso morto dei capi. L'obiettivo della banca dati è quello di valutare e quantificare la disponibilità di matrici organiche di scarto provenienti dall'industria di macellazione, che possono essere economicamente e logisticamente impiegabili in processi di digestione anaerobica; e cercare di localizzare le aree di origine e destinazione al fine di fornire alcune indicazioni sulle possibili connessioni con gli impianti di biogas a gestione integrata e creare un database aggiornato e quanto più attendibile possibile.

Tabella 2.3-3 *caratteristiche di alcuni sottoprodotti di origine animale.*

sottoprodotti	Sostanza secca (%)	Solidi volatili (% su s.s.)	Produzione biogas (m³/t_{s.v.})	CH₄ (% su biogas)	Autore
<i>Contenuto ruminale</i>	18-20	90-94	650-800	60-65	Ragazzoni, 2011
<i>Sangue suino</i>	6-20	93-95	650-850	60-70	Bordoni,
<i>Scarti di macellazione</i>	20	45	538	60-65	Barboni, 2014
<i>uova rotte</i>	21-25	95-97	600-850	60-65	Bordoni,

Il potenziale energetico dei sottoprodotti della macellazione, è in rapporto diretto con il loro contenuto in sostanza organica, e con la composizione della stessa. Attraverso processi metabolici, come la digestione anaerobica, danno luogo alla formazione di combustibili ad alto potere calorifico (19).

Tabella 2.3-4 *resa in biogas di alcuni materiali organici di origine animale in DA.*

Fonte: Reale_2009

Materiali organici	Digestione anaerobica (m³ di biogas / t_{s.v.})
<i>Deiezioni animali (bovini, suini, avicoli cunicoli)</i>	200 - 500
<i>Scarti di macellazione (contenuto stomacale,</i>	550 - 1000

grassi, sangue, ecc...)

Nella filiera del biogas, la resa in biogas e la percentuale di metano in esso contenuto, sono strettamente correlate alla composizione percentuale delle diverse molecole organiche di cui il materiale originario è costituito. Le principali componenti organiche, di cui la biomassa di origine animale è costituita sono: i carboidrati, le proteine e i grassi.

Ciascuna di queste tre componenti organiche, presentano una resa in biogas specifica, in quanto, durante le varie fasi di digestione anaerobica hanno una scomposizione molecolare differente:

- Carboidrati: $C_6 H_{12} O_6 \rightarrow 3 CO_2 + 3 CH_4$
- Grassi: $C_{12} H_{24} O_6 + 3 H_2 \rightarrow 4,5 CO_2 + 7,5 CH_4$
- Proteine: $C_{13} H_{25} O_7 N_3 S + 6 H_2 O \rightarrow 6,5 CO_2 + 6,5 CH_4 + 3 NH_3 + H_2$ (20).

Tabella 2.3-5 resa in biogas e metano delle diverse componenti organiche.

Fonte: Labartino_2010

Substrato	Biogas (m ³ /kg)	CH ₄ in biogas (%)	CH ₄ (m ³ /kg)
Carboidrati	0,75	50	0,37
Proteine	0,61	65	0,40
Grassi	1,02	63	0,64

Tabella 2.3-6 valori dei principali parametri usati per valutare la resa in biogas di alcuni reflui zootecnici. Fonte: Reale_2009

Biomassa	Solidi totali (% su t.q.)	Solidi volatili (% su s.t.)	Media m ³ biogas/t _{s.v.}
Liquame bovino	8	76	230
Letame bovino	18	75	250
Liquame suino	6	78	355
Pollina	32	75	400
Letame equino	28	75	300
Letame ovino	27	80	370

2.3.2 La biomassa di origine vegetale

La biomassa di origine vegetale, si presenta nelle più svariate forme, l'utilizzo a fini energetici ha seguito la storia dell'uomo ed aveva assunto una rilevanza via via crescente, fino a che non hanno iniziato ad affermarsi gli idrocarburi e i loro derivati. L'uso della biomassa vegetale, è sempre stato correlato alla sua effettiva presenza in modo abbondante sul territorio.

I principali costituenti della biomassa vegetale sono, lignina, cellulosa ed emicellulosa.

La lignina è un polimero di acidi fenolici con struttura molto complessa e idrofoba, la quale conferisce rigidità e rende anche impermeabili i tessuti che servono da sostegno alle piante o che servono al trasporto di acqua e sali minerali, corrisponde al 15-30% del peso secco della biomassa. La cellulosa, ha la funzione di struttura dei vegetali ed è un polimero di molecole di glucosio, corrisponde al 30-45% del peso secco della biomassa. Mentre, l'emicellulosa è un polisaccaride presente principalmente nelle pareti delle cellule vegetali, con funzione "cementante" delle parti lignificate, rappresenta il 20-35% del peso secco della biomassa. Oltre a queste componenti sono presenti, in quantità significative e dipendenti dal vegetale, estratti, come resine, grassi, oli, cere, amido, zuccheri, sostanze tanniche e pigmenti. In quantità relativamente piccole, materiale inorganico, come calcio, magnesio, zinco, e metalli pesanti.

La base dell'efficienza energetica delle biomasse vegetali è nel meccanismo fotosintetico.

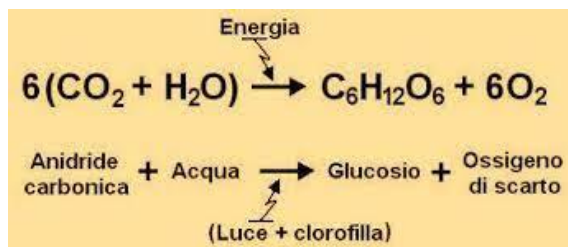


Figura 2.3-1 schema della reazione della fotosintesi clorofilliana

Le biomasse di origine vegetale, sono considerate neutre per quanto attiene l'effetto serra, poiché l'anidride carbonica rilasciata durante la combustione viene riassorbita dalle piante stesse mediante il processo di fotosintesi. La CO₂ prodotta dalla combustione del metano ricavato dalla digestione anaerobica permette di pareggiare il bilancio dell'anidride carbonica emessa in atmosfera: infatti la CO₂ emessa dalla combustione del biogas è la stessa CO₂ fissata dalle piante, oppure assunta dagli animali in maniera indiretta tramite le piante, al contrario di quanto avviene per la CO₂ emessa ex-novo dalla combustione dei carburanti fossili. Lo zucchero prodotto dal processo fotosintetico presenta un'energia di legame di 470 kJ e la sua sintesi, a partire da CO₂, richiede 8 fotoni che hanno un contenuto energetico di 1665 kJ. Il rapporto tra l'energia di legame del glucosio e l'energia dei fotoni, necessaria a sintetizzarlo è pari al 28,2%, ed esprime il rendimento con cui la radiazione assorbita nella fotosintesi viene convertita in energia chimica. In realtà, l'efficienza complessiva con cui viene catturata l'energia solare dalle biomasse, è inferiore al valore precedentemente indicato, in quanto si verificano una serie di inefficienze, le quali, riducono il rendimento della reazione fotosintetica, la massima efficienza di sintesi effettiva è del 7,2%.

I valori di rendimento misurati in laboratorio su alcune piante C₄, come il mais, e su piante C₃, come barbabietola da zucchero, sono compresi tra 2,7 e 4,6%. Mentre, il rendimento

fotosintetico delle colture coltivate in pieno campo è inferiore, con media annuale compresa tra 1 e il 2%. Le ragioni di una produttività reale decisamente più bassa, rispetto a quella registrata in laboratorio, sono molteplici, come: l'effettiva disponibilità di acqua e nutrienti è normalmente al di sotto del fabbisogno legato al potenziale fotosintetico, stress biotici e abiotici, la componente genetica del vegetale e la frazione di luce incidente effettivamente assorbita è, normalmente, significativamente inferiore ai massimi ipotizzati (12).

La biomassa di origine vegetale impiegata nella digestione anaerobica può essere ottenuta da colture dedicate, da residui colturali, oppure da sottoprodotti dell'agroindustria.

L'utilizzo delle colture dedicate in codigestione si è diffuso nel corso degli ultimi anni. Inizialmente la biomassa derivante dalle colture dedicate, era disponibile solo in casi di sovrapproduzione, provenienti da terreni marginali, parzialmente coltivati. Con l'evoluzione della filiera, grazie soprattutto agli incentivi, sono sempre di più utilizzate sia nei grandi che nei piccoli impianti. Nei grandi impianti, la biomassa da colture dedicate viene utilizzata in una logica di aumento dei ricavi, vengono impiegate, in particolare, in processi di digestione anaerobica dei rifiuti. Nei piccoli impianti, invece, la biomassa da colture dedicate, serve a migliorare l'efficienza globale del processo, effettuando una standardizzazione della miscela in ingresso e a raggiungere più opportune economie di scala.

Oggi, nelle aree agricole a elevata vocazione produttiva di colture industriali o cerealicole in cui la zootecnia è poco rappresentata, la trasformazione industriale di colture dedicate in biogas, con relativa conversione in energia elettrica, è diventata una realtà tecnicamente sostenibile. La principale coltura dedicata alla DA è il mais, una coltura che presenta un ciclo primaverile-estivo, è una pianta C4, quindi possiede uno schema fotosintetico molto efficiente, capace di produrre grandi quantità di sostanza organica soprattutto in condizioni di forte luminosità e temperatura. Il mais per essere utilizzato nella DA viene raccolto allo stadio di maturazione cerosa, perché la pianta presenta un contenuto di umidità maggiore con una percentuale di sostanza secca inferiore e un contenuto in solidi volatili maggiore, quindi con una resa in termini di biogas maggiore. Le principali problematiche dell'utilizzo del mais in DA sono le esigenze sotto il profilo nutrizionale e idrico, soprattutto in aree in cui si hanno terreni scarsamente dotati in elementi nutritivi e acqua; dove per avere una produzione ottimale di biomassa si richiedono delle concimazioni con maggiore frequenza e irrigazione nei mesi estivi, andando ad aumentare notevolmente i costi di produzione della biomassa stessa.

In territori sfavorevoli alla coltivazione del mais, la scelta può ricadere su sorgo, è sempre un cereale C4, quindi con una buona produttività in termini di biomassa, però è una coltura più rustica. Infatti, il sorgo presenta un apparato radicale più profondo ed espanso rispetto al mais,

quindi ha una maggiore capacità di assorbimento di elementi nutritivi ed acqua, comunque in periodi di forte siccità per avere una produzione accettabile si può intervenire con una irrigazione di soccorso. Però la sostituzione integrale del mais non è facile a cause della minore degradabilità organica: la soluzione più conveniente è la co-digestione (21).

Negli ultimi anni sono state effettuate delle prove utilizzando dei cereali autunno-vernini raccolti nello stadio di maturazione cerosa, facendo registrare una elevata resa di metano per ettaro, pari al 76% di quella ottenibile da insilato di mais, e il minor costo di produzione per ettaro. Questi cereali vernini, si caratterizzano anche per alcune peculiarità che ne impongono un'integrazione calibrata nella dieta dell'impianto di biogas. La capacità di meccanizzazione deve essere adeguata alla superficie di raccolta e al tempo utile di trinciatura: una raccolta tardiva può portare a un prodotto troppo secco che può essere causa di difficoltà di insilamento e di conseguenti problemi di miscelazione del digestore. Ne consegue che più viene ritardata la raccolta, minore deve essere la lunghezza di trinciatura. La percentuale di inserimento nella dieta, in linea generale, è dell'ordine

del 20-30% della capacità metanigena dell'impianto (22).

Durante lo studio sull' utilizzo dei cereali autunno-vernini in DA, particolare attenzione è ricaduta su triticale per le sue caratteristiche specifiche; è un ibrido artificiale tra la segale e il frumento. Le varietà commercialmente disponibili sono quasi sempre un ibrido di seconda generazione, ottenuto cioè incrociando due varietà di triticale. Il triticale è interessante ai fini delle produzioni energetiche perché presenta una pianta vigorosa, alta ma poco suscettibile all'allettamento, con spiga lunga, grossa e con molte cariossidi anche se a basso peso specifico. L'epoca di semina consigliata sono i mesi di ottobre-novembre. Per la produzione di trinciato da destinare all'insilamento e quindi alle produzioni energetiche la raccolta viene effettuata a maggio, quando le piante hanno raggiunto il 30% di sostanza secca (23).

L'impiego della barbabietola da zucchero nella digestione anaerobica ha dato risultati incoraggianti, l'impiego nei digestori può essere: solo radici di bietola; o pianta completa trinciata, con radici, colletto e foglie. Un punto di forza della barbabietola è l'ampio periodo di semina, che può essere effettuata in un periodo autunnale e primaverile, con possibilità di anticipare a gennaio. Questo ci permette di avere durante l'anno un lungo periodo in cui si ha a disposizione biomassa fresca, garantendo buone caratteristiche qualitative all'atto della digestione anaerobica, inoltre rende non necessario lo stoccaggio e i problemi ad esso connesso, come la perdita di prodotto, questioni logistiche e organizzative. Uno dei principali problemi dell'utilizzo di barbabietola nei digestori è dato dalla presenza di terra nella matrice da digerire; perché il materiale precipita sul fondo delle vasche e, accumulandosi riduce

progressivamente il volume del digestore. La terra inoltre crea problemi di forte usura ai sistemi di pompaggio, a tal proposito si è messa a punto una tecnica di pulizia delle bietole a monte del digestore (24).

Tabella 2.3-7 principali valori di riferimento di alcune colture dedicate alla DA

substrati	Sostanza secca (%)	Solidi volatili (% di s.s.)	Azoto (% di s.s.)	Autore
<i>silomais</i>	32,9	94	1,46	Soldano,2008
<i>Insilato di sorgo</i>	20	90,5	1,6	Balestri,2012
<i>Segale</i>	32	91	1,4	Borghi,2014
<i>Barbabietola da zucchero</i>	21-30	94-95	1-2	Scaglione,2013
<i>Erbasilo</i>	25-35	70-95	2-3,4	Bordoni,
<i>Trifoglio</i>	19-21	79-81	2,6-3,8	Bordoni,
<i>frumento</i>	29-33	91	1,4	Borghi,2014

Effettuando un confronto tra la biomassa da colture dedicate e i reflui zootecnici, si nota che le colture dedicate presentano una percentuale di solidi volatili con valori di 10-15 punti percentuali superiori ai reflui zootecnici. Ciò è dovuto al fatto che si tratta di matrici organiche vergini, non predigerite dagli animali durante la loro alimentazione.

Le colture dedicate presentano degli aspetti positivi e negativi, relativi al loro utilizzo nei processi di digestione anaerobica.

I principali aspetti positivi sono, la possibilità d'uso in opportune miscele, ai fini della standardizzazione delle caratteristiche delle matrici in ingresso del digestore. Sono colture diffuse e con facile adottabilità nell'azienda agraria, facile reperibilità in ambienti limitrofi e con relativa facilità di stoccaggio. Si ha un aumento delle rese in biogas per unità di volume del reattore, infine, si crea la possibilità di uno sbocco più agevole per il digestato, quando i suoli da cui derivano le colture dedicate fanno parte dell'impresa energetica.

Gli aspetti negativi sono, l'aleatorietà del costo di opportunità per le notevoli variazioni del mercato delle materie prime, necessità di pretrattamenti e di attrezzature adatte allo scopo. A livello del reattore, si ha la possibile formazione di croste flottanti, e un sensibile aumento del digestato da gestire, quindi del carico di azoto da smaltire per unità di superficie. Infine, si potrebbe avere da parte di aziende agro-energetiche, l'utilizzo di ampie superfici di suolo per la coltivazione di colture dedicate, sottraendole alla coltivazione di colture destinate al consumo umano (18).

Una problematica della biomassa ad origine agricola, ed in particolare delle colture dedicate è la stagionalità. Normalmente, la biomassa viene raccolta in un determinato periodo dell'anno,

quindi è necessario mettere in atto dei sistemi di conservazione della biomassa stessa, in modo tale che sia utilizzabile per un ampio arco temporale. Il principale sistema di conservazione della biomassa prodotta da colture dedicate è l'insilamento, il quale avviene quasi ed esclusivamente in platea. Una volta che si ha la biomassa trincia viene accumulata, schiacciata e coperta con teli, successivamente si va a creare un ambiente anaerobico, attraverso i fenomeni di respirazione provocati dalle cellule vegetali ancora vitali, le quali, utilizzano il poco ossigeno presente. A seguire, si ha una acidificazione della biomassa, attraverso fenomeni fermentativi operati principalmente dai batteri lattici a carico degli zuccheri solubili, trasformandoli in acido acetico. Di conseguenza, si ha un abbassamento del pH a valori di 3,8/4, tutte le attività biologiche all'interno della massa sono inibite e l'insilato è conservabile per lungo tempo. È importante che l'abbassamento del pH sia rapido, se questo non avviene, si instaurano ceppi batterici non desiderati, provocando delle alterazioni microbiche negative (25).

Il settore delle colture alimentari, riveste un'importanza notevole per la stima di biomassa utilizzabile per la produzione di biogas in Italia. Le colture alimentari producono un'enorme quantità di residui agricoli, dovuta al fatto che spesso lo scarto risulta essere preponderante rispetto alla produzione, cosa questa, che le rende ampiamente interessanti per la valorizzazione energetica con DA (26).

Tabella 2.3-8 principali caratteristiche dei residui colturali utilizzati in D.A.

Residui colturali	s.t. sul totale (%)	s.v sui s.t.	m³biogas /t_{s.v.}	Autore
<i>Colletti barbabietole</i>	15	80	350-400	Piccinini, 2004
<i>Foglie di rapa</i>	15	80	375	Piccinini, 2004
<i>Paglia</i>	87	87	390	Fabbri,2008
<i>Stocchi e tutolo di mais</i>	86	72	500	Fabbri,2008

Queste biomasse derivano principalmente da colture erbacee, e le parti da sfruttare sono quelle non edibili o trasformabili. Spesso, si riutilizzano derrate alterate dalla presenza di micotossine, prodotti del metabolismo secondario di alcune specie fungine in grado di colonizzare le colture in campo e le derrate stoccate, presentando un'elevata tossicità per uomini e animali, non sono destinabili a nessun uso diretto.

Soprattutto nel nord Italia con l'elevata presenza di attività zootecniche e con il conseguente aumento degli impianti a biogas per la gestione dei reflui zootecnici, è fortemente cresciuta

l'attenzione alla raccolta e alla valorizzazione dei sottoprodotti, nell'ottica di aumentare il reddito ottenibile dalla maiscoltura a beneficio delle aziende agricole. Nella filiera produttiva del mais da granella, il principale sottoprodotto che viene reimpiegato nella digestione anaerobica è il tutolo, senza brattee o parti di stocco; fornisce un materiale suscettibile di diversi utilizzi che, a differenza degli altri sottoprodotti, non compromette in modo significativo né il reintegro della sostanza organica nel terreno né il sistema produttivo del mais da granella. Il recupero del tutolo rappresenta, quindi, una strategia alternativa che permette di sfruttare e valorizzare la coltura del mais senza penalizzarne gli impieghi tradizionali. L'impiego dei tutoli di mais per uso energetico nei biodigestori non può prescindere dagli aspetti di conservazione, essendo la raccolta concentrata nel periodo autunnale in un arco di tempo di circa 40-60 giorni, mentre l'utilizzo potenziale è distribuito nel corso dell'anno. Per la conservazione del tutolo trinciato, che proviene dal campo con un'umidità compresa tra 25 e 60%, l'insilamento è la migliore soluzione. Durante l'insilamento i tutoli mantengono le loro caratteristiche nutritive pressoché inalterate, inoltre, l'insilamento del tutolo nelle trincee aziendali può essere effettuato miscelando a strati sovrapposti il trinciato di mais di secondo raccolto. La problematica più grande nel utilizzo dei tutoli è la raccolta stessa, in quanto le normali mietitrebbie non separano i tutoli da altri residui; in Piemonte la "Capac", in collaborazione con un'azienda esperta nella progettazione e costruzione di macchine agricole, hanno messo a punto un kit applicato alla mietitrebbiatrice, il quale permette di separare e tritare il tutolo e per essere infine accumulato in un cestone a parte (27).

La paglia è un sottoprodotto costituito dai fusti di frumento, ed ottenuta dalla trebbiatura del frumento stesso. La paglia può essere utilizzata in un processo di DA, però per le sua composizione necessita di pre-trattamenti; è costituita da fibra lunga, che presenta pareti cellulari con lignina, emicellulosa e cellulosa, ciò riduce notevolmente la fermentazione effettuata dalla flora microbica nel digestore, con aumento dei tempi di ritenzione e con una resa inferiore in termini di biogas. Inoltre, crea delle problematiche di gestione del reattore, in quanto il materiale fibroso, che tendenzialmente è più leggero di altri materiali, tende risalire in superficie e formare delle croste flottanti. Quindi per aumentare la flessibilità impiantistica, ed avere la possibilità di utilizzare questa tipologia di sottoprodotti, sono stati introdotti dei sistemi di pre-trattamento, con lo scopo di velocizzare la fase idrolitica e rendere maggiormente disponibili determinati composti organici. I pre-trattamenti applicati possono essere diversi: si hanno trattamenti chimico-fisici, come l'estrusione, la macinazione e

ultrasuoni; oppure si possono utilizzare metodi con composti chimici, con l'utilizzo di acidi (acido solforico, nitrico) o basi (idrossido di sodio, ammoniaca); anche trattamenti termici.

I principali benefici conseguibili con i pretrattamenti sono legati alla riduzione della pezzatura del materiale organico, alla solubilizzazione di composti organici complessi, al contenimento dei tempi di degradazione, alla riduzione della viscosità del digestato e alla conseguente facilità nella miscelazione interna al digestore, oltre all'aumento dell'omogeneità del digestato e alla migliore pompabilità (28).

La digestione anaerobica viene anche utilizzata per la gestione di granelle non più destinabili all'alimentazione umana e animale perché contaminate da aflatossine, durante DA si ha un abbattimento medio di circa il 91% della quantità di aflatossine originarie, quindi il digestato ottenuto a fine processo può essere gestito in modo convenzionale. Il Ministero della Salute, d'intesa con il Mipaaf ha redatto delle linee guida per la gestione della granella contaminata da aflatossine; prevedendo oltre alla distruzione, anche l'utilizzo a fini energetici. Ad oggi, non esistono limiti di legge sulla concentrazione di aflatossine della granella da destinare al processo di digestione anaerobica e allo spandimento in campo del digestato che ne deriva (29).

Un altro ruolo importante, nella produzione di biomassa utilizzabile nella digestione anaerobica, è occupato dall'agroindustria. L'agroindustria è un settore estremamente vario nel quale si producono moltissimi scarti e reflui organici, che possono essere destinati alla digestione anaerobica. I sottoprodotti più utilizzati sono, il siero di latte, contenente proteine e zuccheri, dall'industria casearia, i reflui dall'industria che processa succhi di frutta o che distilla alcol e gli scarti dell'industria olearia, scarti dell'ortofrutta, vinacce. Anche la resa in biogas, come il ventaglio di matrici, è molto varia, alcuni tipi di sottoprodotto, se contengono proteine, grassi o amido, hanno una buona resa in biogas, altri invece, come il siero di latte, portano a produzioni di biogas molto modeste. La reperibilità generale di queste biomasse è buona, ma risulta particolarmente vincolata alla vicinanza geografica dell'impianto ad una linea industriale che generi un sottoprodotto utilizzabile. Spesso l'impiego di matrici a bassa produzione specifica di biogas, come il siero di latte o i residui ortofrutticoli è preferito in ragione della maggiore quantità disponibile. Anche il valore economico di questa tipologia di matrice è molto vario: ad esempio, alcuni scarti dell'agroindustria, come gli scarti del pane o dei biscotti, essendo utilizzabili come mangimi nel settore zootecnico, possono diventare economicamente non sfruttabili. È spesso difficoltosa la gestione in impianto di queste biomasse, se utilizzate pure o miscelate in modo scorretto si possono presentare problemi al

digestore. Ad esempio, il siero di latte può dare problemi di acidità, prodotti troppo zuccherini portano alla formazione di schiume (17).

L'Italia è una delle principali nazioni produttrici di vino al mondo, quindi ogni anno vengono prodotte migliaia di tonnellate di vinacce da smaltire, in passato sono state effettuate delle prove nel impiego nella digestione anaerobica, con risultati non eccellenti in termini di resa. Il potenziale metanigeno della vinaccia tal quale è limitato dall'elevata presenza di lignina, che rende difficoltosa l'aggressione da parte della flora batterica presente nel digestore, per ovviare al problema è possibile utilizzare la cavitazione idrodinamica. Si tratta di un processo di destrutturazione della matrice, che rende le vinacce più digeribili, aumentandone il potere metanigeno e, quindi, la produzione di biogas. Inoltre il processo di cavitazione idrodinamica riesce a rompere la corteccia dei vinaccioli presenti nella vinaccia, permettendo ai batteri di digerire anche l'olio presente nei semi. Oltre all'aumento della digeribilità della sostanza organica della massa, interessanti sono anche i benefici gestionali dell'uso di una matrice pretrattata, che essendo omogenea non dà origine a sedimenti e nemmeno accumulo e stratificazioni all'interno dell'impianto. Però, la cavitazione per essere realizzata richiede un surplus di elettricità, che potrebbe però essere compensato dalla riduzione dei consumi energetici per la miscelazione della massa e dall'aumento del biogas prodotto, oltre che dal risparmio derivante dal minore utilizzo di matrici provenienti da colture dedicate (30).

Altro sottoprodotto importante per la produzione di biogas in Italia è la sansa d'oliva, ridotto l'interesse per la produzione di olio di sansa in Italia, sono potenzialmente disponibili dai 2,5 ai 3 milioni di tonnellate all'anno di sanse che hanno dimostrato di comportarsi bene all'interno del digestore anaerobico. La sansa è un materiale costituito da parti di polpa, dai noccioli e dalle pellicole della buccia, che essendo ottenuta da un processo di estrazione esclusivamente meccanico non contiene additivi né sostanze chimiche estranee, ma solo composti organici e inorganici naturali. Prima della sua immissione nel digestore conviene separare il nocciolino, che è un buon combustibile solido, mentre la sansa denocciolata può essere centrifugata per dividere la parte polposa da quella fibrosa, con indubbi vantaggi anche sul fronte della gestione delle acque di vegetazione, ma la convenienza di questo trattamento dipende dalla possibilità di valorizzare la parte fibrosa al di fuori della digestione anaerobica. I residui del processo di estrazione dell'olio di oliva sono le acque di vegetazione e la sansa vergine umida. La loro produzione è fortemente stagionale e, generalmente, si rende disponibile da ottobre a febbraio, con un picco nel mese di novembre. A seconda del processo di estrazione degli oli vergini di oliva si possono ottenere: acque di vegetazione e sanse vergini

più o meno umide, se si effettua una estrazione con il processo a tre fasi; oppure solo sanse vergini molto umide con un processo a due fasi (31).

Come tutti i settori produttivi, anche l'industria lattiero-casearia origina prodotti di scarto, questo settore è infatti una delle maggiori fonti di reflui industriali in Europa. Tra i prodotti di scarto delle attività lattiero-casearie il siero di latte è noto per le grandi quantità prodotte e l'elevato contenuto organico, si presenta come un liquido torbido di colore giallo-verdastro e contiene tutti gli elementi solubili che non hanno partecipato direttamente alla coagulazione durante il processo di produzione dei formaggi, che sono principalmente il lattosio, le sieroproteine ed i sali solubili, unitamente al grasso. La composizione di questo prodotto è molto variabile e dipende da numerosi fattori, come la qualità e la composizione del latte, le tecniche di produzione del formaggio, l'utilizzo di lieviti e acidi, nonché le condizioni di lavorazione, come la temperatura. In passato il principale metodo di smaltimento del siero, che in assenza di utilizzi "alternativi" costituiva un costo e un punto di criticità per i produttori, erano gli allevamenti suini. Negli ultimi anni il siero del latte viene valorizzato anche nella digestione anaerobica per la produzione di biogas, soprattutto grazie alla crescente conoscenza del processo ed allo sviluppo di digestori sempre più efficienti. La digestione anaerobica del siero di latte è un processo efficiente che permette di conseguire ottimi risultati, in particolare si osservano percentuali di degradazione della sostanza organica sempre superiori al 63% e nella quasi totalità dei casi maggiori dell'85% (32).

Tra le varie filiere agroalimentari, l'industria di trasformazione del pomodoro, di cui l'Italia è il primo produttore europeo, comporta la produzione di considerevoli quantità di sottoprodotti. Nel dettaglio, parte del materiale che arriva all'industria di trasformazione è scartato e non ulteriormente processato a causa di danni meccanici o biologici e a causa di una maturazione incompleta; oltre a ciò, dal pomodoro trasformato vengono eliminati semi e buccette. Complessivamente, i residui rappresentano circa il 2-5% della massa in ingresso all'industria di trasformazione, la parte predominante è costituita dalle buccette mentre la quota legata ai pomodori scartati è variabile in funzione della stagione. Nonostante numerosi studi abbiano dimostrato come, da semi e buccette, possano essere estratti composti con un elevato valore poiché utilizzabili in cosmetica o a fini nutrizionali, la gestione di questi sottoprodotti rappresenta generalmente un problema e un costo per le aziende di trasformazione. Tra le diverse soluzioni adottabili per la loro gestione, la DA appare come una delle più efficaci anche perché capace di mitigare l'impatto ambientale del processo. Differente è la gestione dei sottoprodotti nel momento in cui arrivano nell'impianto di biogas: i pomodori scartati devono essere introdotti subito nel digestore, in quanto è un materiale ricco in acqua e quindi poco

conservabile; mentre, per quanto riguarda buccette e semi possono essere anche insilati e utilizzati e impiegati gradualmente durante l'anno (33).

Tabella 2.3-9 principali valori di riferimento di alcuni sottoprodotti utilizzabili in D.A.

substrati	Sostanza secca (%)	Solidi volatili (%)	Azoto (%)	Autore
<i>Res. lavorazione</i>				
<i>Succhi di frutta</i>	25-45	90-95	1-1,2	Bordoni,
<i>Scarti ortofrutta</i>	9,7-18,5	92-95,7	1,4-2,2	Bordoni,
<i>Melasso</i>	75-85	78-95	1-2	Scaglione, 2013
<i>Buccette pomodoro</i>	28,1 ± 5,5	92,1 ± 2,6	3,1-3,2	Bacenetti,2015
<i>Siero</i>	6,7-6,9	87-91	1,7-1,9	Dinuccio,2010
<i>Trebbie birra</i>	26	70-80	4-5	Adani,2008
<i>Sansa umida</i>	26	94,5	3,15	Mantovi,2013
<i>Vinacce</i>	42,3	95,3	1,6	Nicolini,2013
<i>Scarti patate</i>	17-30	91-97	3,8	Adani,2008

I sottoprodotti presentano degli aspetti positivi e negativi, relativi al loro utilizzo nei processi di digestione anaerobica. Gli aspetti positivi sono: l'abbattimento del costo di produzione del biogas, e l'aumento delle rese in biogas per unità di volume di reattore. Mentre, gli aspetti negativi sono: la difficoltà di gestione o di stoccaggio, in quanto si ha un aumento della complessità gestionale, e necessità di pre-trattamenti, con relative attrezzature specifiche allo scopo. All'interno del digestore si possono creare croste flottanti, si ha un aumento del digestato da gestire e quindi dell'azoto (18).

Capitolo 3 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE METANIGENO DELLA BIOMASSA DI ORIGINE AGRICOLA

La digestione anaerobica è una filiera bioenergetica che permette di sfruttare con elevata efficienza indistintamente biomasse vegetali, animali, di scarto, dedicate, umide o secche, producendo biogas; ottimale per la conversione in energia elettrica, termica o utilizzabile per autotrazione. Il processo anaerobico dà luogo, inoltre, alla produzione di un sottoprodotto liquido, il digestato, che ha delle caratteristiche chimico-fisiche dipendenti dal tipo di matrici utilizzate per il processo, ma comunque simili a quelle di un effluente zootecnico. Può trovare collocazione agronomica nelle immediate vicinanze dell'impianto con un riciclo virtuoso degli elementi fertilizzanti di origine organica, affrancando in parte l'azienda agricola dall'acquisto di concimi di sintesi. In tal modo gli impianti di codigestione con matrici vegetali, effluenti e sottoprodotti di diversa origine, possono raggiungere elevate efficienze anche a ridotte potenze, realizzando filiere locali con brevi percorrenze nel trasporto delle biomasse e dei fertilizzanti, dalle zone di produzione a quelle di utilizzo. Affinché però, gli impianti di digestione anaerobica possano funzionare con buona efficienza e alta redditività è cruciale che in fase di progettazione siano identificate le biomasse che si intendono utilizzare e dimensionare adeguatamente l'impianto. Le biomasse in quanto tali sono costituite da tre macro componenti: 1) acqua; 2) solidi volatili; 3) ceneri. Solo i solidi volatili possono essere trasformati in biogas con rese che dipendono a loro volta dal tipo di molecole che la formano, una quota di questa sostanza organica è definita "recalcitrante", ovvero resistente agli attacchi della microflora batterica anaerobica. Quindi, solo una quota dei prodotti che vengono caricati ha un valore "energetico", il resto rappresenta una "zavorra" che il conduttore dell'impianto deve gestire con il digestato. Per permettere che la quota convertibile della biomassa caricata possa essere utilizzata in modo efficiente è però necessario conoscere tutte queste componenti e considerarle nel dimensionamento del digestore, nel tipo di miscelazione e di caricamento da adottare e nella volumetria necessaria per lo stoccaggio (34).

3.1 Metodo BMP

Il “Potenziale Metanigeno Massimo” o BMP è un parametro che consente di misurare la massima quantità di metano producibile da una determinata matrice organica sottoposta a digestione anaerobica ed è espresso come Nm^3/kg di SV, ovvero normal metri cubi di biogas per kg di solidi volatili.

L’analisi BMP può essere eseguita seguendo due procedimenti: il procedimento dinamico e quello statico. L’analisi di BMP in modo dinamico prevede l’utilizzo di mini-digestori da laboratorio alimentati in continuo ed è il metodo che maggiormente si avvicina alle rese che possono effettivamente essere ottenute in scala reale. Questa metodologia prevede di utilizzare piccoli digestori di volume indicativo di 10-50 litri, miscelati e riscaldati, che possono essere caricati e scaricati tutti i giorni in modo da simulare il carico organico e il tempo di ritenzione voluti. In questo caso la produzione di biogas viene misurata in continuo e, vista la bassa portata oraria di biogas, la metodologia per la quantificazione della produzione di biogas deve essere particolarmente accurata. Con il metodo dinamico è possibile cambiare le condizioni di esercizio in continuo e, quindi, verificare cosa accade modificando improvvisamente una dieta, oppure cosa succede apportando una variazione di temperatura, piuttosto che valutare l’efficienza di additivi nel migliorare la resa energetica. Inoltre, la possibilità di scaricare ogni giorno parte del digestato permette di controllare le condizioni di equilibrio acido-basico, la composizione chimica e la presenza di eventuali fattori inibenti; analizzando e pesando tutti i componenti delle biomasse caricate e scaricate è possibile, infine, elaborare un bilancio di massa dei diversi composti e verificarne la degradabilità.

L’analisi di BMP statico viene condotta in laboratorio cercando di simulare in piccolo quanto avviene in un digestore anaerobico, seguendo la norma UNI EN ISO 11734/2004. Il sistema è composto generalmente da 48/63 reattori di vetro del volume utile di $1,35 \text{ dm}^3$, posti in armadi termostatici alla temperatura di $38 \pm 0,2^\circ\text{C}$, completi di valvole, flussimetri e sistemi di misura del biogas prodotto; i principali sistemi di misura sono di tipo manometrico o volumetrico, inoltre è presente un’unità di controllo dell’intero sistema. La biomassa oggetto di analisi, inizialmente, viene caratterizzata in termini di umidità, sostanza secca e solidi volatili. La metodica prevede l’aggiunta nel reattore di un inoculo, prelevato da un digestore di un impianto di biogas, operante alla stessa temperatura, con lo stesso matrice in esame e costituito da un equilibrato consorzio batterico. La durata del test può variare a seconda della tipologia di sostanza organica: da pochi giorni per substrati prevalentemente zuccherini, ad oltre un mese nel caso di substrati fibrosi e lignocellulosici. In generale il test BMP viene prolungato

fino a quando la produzione del giorno marginale è inferiore all'1% di tutta la produzione accumulata, ovvero quando la curva cumulata di metano raggiunge un asintoto orizzontale. Dall'andamento della curva di produzione si ottengono anche importanti informazioni in merito alla velocità di degradazione della biomassa. Il test BMP statico generalmente viene condotto su ogni singola matrice e l'attendibilità del test dipende dal tipo di inoculo utilizzato, dal grado di sminuzzamento del prodotto e dall'accuratezza della misura. La misura viene fatta in continuo e la curva cumulata della produzione fornisce anche importanti informazioni in merito alla velocità di degradazione.

I principali vantaggi di questo test sono:

- 1) l'affidabilità, è il sistema di valutazione che fornisce a costi accettabili risultati del tutto comparabili con le rese energetiche ottenute in scala reale, permette di valutare anche le caratteristiche delle matrici;
- 2) le informazioni aggiuntive, come la degradabilità complessiva, cioè la % s.o. degradata sul totale caricato, il tempo di massima velocità di degradazione, in cui si hanno i picchi di produzione del biogas, il volume di digestato che residua dal processo di digestione per unità di peso in ingresso;
- 3) la verifica dell'efficacia dei trattamenti della biomassa o del processo e il potenziale metanigeno residuo del digestato (34).

Prima di immettere la biomassa e l'inoculo nei reattori per la prova questi vengono analizzati, come già accennato in precedenza, una delle principali analisi è la valutazione della percentuale di solidi totali e volatili. La misurazione dei solidi totali è fondamentale per poter determinare il contenuto dei solidi volatili, viene effettuata in triplo sia per l'inoculo che per il substrato e condotta essiccando i campioni in stufa a 105°C; facendo la differenza tra peso del campione di biomassa iniziale e finale si ottiene anche il grado di umidità. L'analisi dei solidi volatili viene effettuata sempre in triplo, sia per l'inoculo che per il substrato, condotta per calcinazione a 550°C dei campioni essiccati in precedenza. Il contenuto dei solidi volatili viene determinato dalla perdita di peso. La misura della concentrazione dei solidi volatili dell'inoculo e del substrato è necessaria sia per poter determinare le rispettive quantità da utilizzare per un fissato rapporto substrato/inoculo, sia per poter calcolare il valore del BMP. Per la prova si devono effettuare diversi campioni in cui si hanno tre condizioni: 1) bianco, si ha la presenza del solo inoculo; 2) controllo positivo, con cellulosa microcristallina ed inoculo; 3) substrato di prova con inoculo.

Il numero di reattori usati per l'analisi BPM statico è di almeno 9 (3 bianchi, 3 controlli positivi e 3 substrati di prova).

Durante lo svolgimento del BMP test, si ha la valutazione del biogas prodotto, principalmente attraverso un sistema manometrico e volumetrico. Il biogas prodotto viene accumulato all'interno dello spazio di testa dei reattori durante i vari intervalli, che sono i periodi compresi tra le misurazioni, quando la pressione del biogas nello spazio di testa arriva ad un certo valore, rilevata da un sensore manometrico il biogas viene estratto e lo spazio di testa torna a pressione ambientale. Il biogas, viene analizzato, ottenendo dei valori della sua composizione e del volume ad ogni intervallo. Il biogas estratto ad ogni intervallo poi viene accumulato in un gasometro, che viene svuotato solo al termine della prova; a livello del gasometro è presente un sensore volumetrico che rileva il volume complessivo prodotto dal test di digestione, e si valuta con l'utilizzo di sensori collegati ad un software la composizione complessiva del biogas ottenuto, principalmente si osserva la sua percentuale di metano. Infine, si può effettuare un confronto dei dati ottenuti dalle prove durante gli intervalli con i dati finali; generalmente i risultati delle due prove sono quasi identici, ad eccezione di alcune variazioni nelle prove degli intervalli causato da lievi variazioni del volume dello spazio di testa dei reattori e da piccole variazioni nella composizione del biogas tra gli intervalli di misurazione (35).

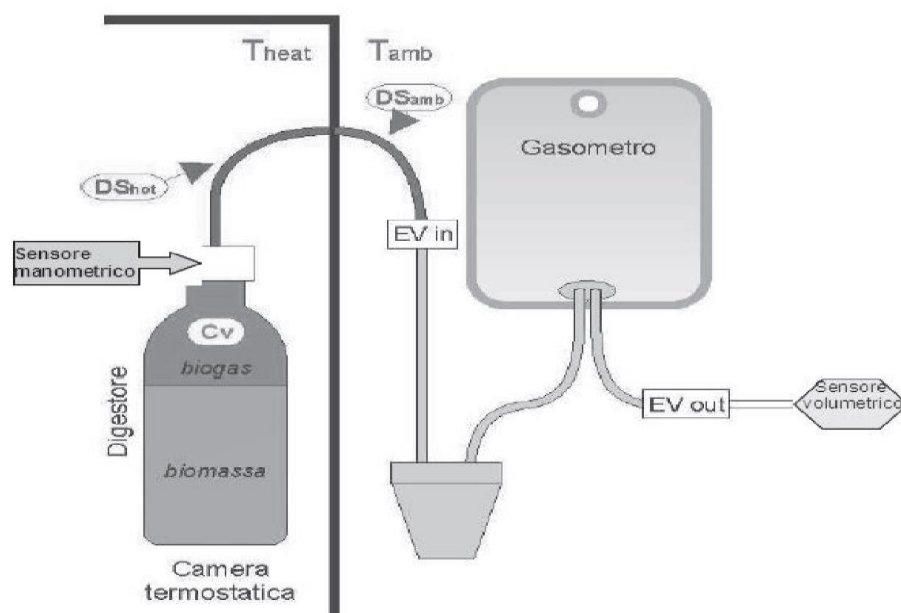


Figura 3.1-1 Schema BMP test statico progettato da CRPA Fonte: Soldano

La composizione del biogas dipende dalla composizione chimica delle sostanze contenute nel substrato e dai parametri fisico-chimici della prova. Il contenuto di metano varia solitamente nell'intervallo compreso tra il 50 e l'80% in volume, mentre il contenuto di CO₂ varia

nell'intervallo del 20-50%. Sono presenti anche basse concentrazioni di idrogeno (10-1.000 ppm), ammoniaca (50-2.000 ppm), idrogeno solforato (50-2.000 ppm) e vari altri gas in tracce. Nel rapporto di conduzione del test devono essere riportati almeno i seguenti aspetti: descrizione del substrato; descrizione dell'inoculo; andamento della formazione di biogas; descrizione qualitativa del processo fermentativo con indicazione del valore percentuale di metano; potenziale metanigeno espresso come Nm³/kg SV.

Dal test BMP è possibile ottenere dei cosiddetti parametri di cinetica, i quali possono essere di grande aiuto per valutare la qualità delle biomasse. Dall'analisi delle curve di produzione si possono facilmente elaborare i seguenti parametri cinetici:

- K max: intervallo di tempo per raggiungere la massima velocità di produzione, espresso in giorni.
- F max: percentuale massima di solidi volatili degradabili.
- F 50%: intervallo di tempo per raggiungere il 50% della produzione, espresso in giorni.
- F 90%: intervallo di tempo per raggiungere il 90% della produzione, espresso in giorni.

Questi parametri sono importanti per valutare la qualità e la stabilità della biomassa, una biomassa molto facilmente degradabile, come ad esempio un composto formato da carboidrati semplici, ha un valore di "K max" più basso di una biomassa difficilmente degradabile come ad esempio una frazione fibrosa.

La velocità media di degradazione della biomassa, si valuta con i coefficienti F50% e F90%, una biomassa molto degradabile ha valori di F50% e F90% più bassi di una biomassa difficilmente degradabile. La conoscenza di questo parametro, pertanto, permette di valutare la compatibilità dimensionale del digestore con la biomassa che si intende utilizzare: una volta noto il tempo di ritenzione idraulico di un impianto è possibile capire se questo è compatibile con i tempi di degradazione ricavati con il test BMP (36).

3.2 Resa in metano delle diverse tipologie di biomasse utilizzate in DA

3.2.1 Resa in metano dei diversi effluenti zootecnici.

Il rendimento in biogas e quindi energetico del processo di digestione anaerobica è molto variabile e dipende dalla biodegradabilità della sostanza organica del substrato trattato. La sostanza organica rappresenta una frazione della sostanza secca di un substrato: nel caso degli

effluenti zootecnici può variare dall'85 al 60% a seconda che si tratti di effluenti appena escreti ovvero di effluenti assoggettati a stoccaggio prolungato. La differenza fra i due valori dipende dai processi di degradazione biologica che avvengono nei liquami ad opera della flora batterica presente. La degradazione può avvenire con diversi tipi di processi, ma nel caso di stoccaggi statici, tipici delle fosse presenti sotto i pavimenti fessurati, la prevalenza è del tipo anaerobico. I processi di digestione anaerobica, infatti, sono già attivi nei liquami appena escreti e la loro permanenza nei ricoveri prima di essere avviati all'impianto di digestione anaerobica può portare a perdite del potenziale metanigeno che possono arrivare anche al 50-60%.

Il fenomeno si osserva in tutti i tipi di effluenti maggiormente utilizzati per la produzione di biogas: bovini e suini. Nel caso degli effluenti bovini il fenomeno è influenzato dal fatto che l'apparato digerente del ruminante contiene già tutti i ceppi batterici, perfettamente equilibrati, caratteristici dei processi di digestione anaerobica. Nel caso degli effluenti suinicoli, invece, è soprattutto la composizione chimica della sostanza organica, che si differenzia per il minore contenuto di frazioni fibrose e quindi per una maggiore fermentescibilità (15).

Altri fattori che influiscono sulla resa metanigena degli effluenti zootecnici sono: il grado di diluizione degli effluenti; il dimensionamento del sistema di riscaldamento nel digestore, generalmente i reattori utilizzati per la digestione dei reflui zootecnici presentano un volume maggiore rispetto a digestori utilizzati per biomasse energetiche, per garantire un'ottima attività batterica; La disponibilità di biomasse negli allevamenti all'ingrasso, che è variabile in funzione del peso vivo mediamente presente; gli autoconsumi per gli ausiliari, gli autoconsumi per gli impianti di piccola taglia e alimentati prevalentemente a effluenti zootecnici sono, nella maggior parte dei casi, percentualmente superiori, rispetto a grandi impianti alimentati a colture dedicate; la presenza di antibiotici.

I valori delle analisi BMP sugli effluenti zootecnici possono essere sintetizzati:

- Letame bovino (deiezioni solide e liquide, con paglia di lettiera e residui alimentari)
 - valore medio BMP ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}$) = 220 – 350
 - $\% \text{CH}_4 = 54,5 - 60$
 - vacche da latte BMP ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}$) = $216,2 \pm 22,8$
 - vacche da latte Parmigiano Reggiano BMP ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}$) = $211,6 \pm 9,9$
 - vitelli da carne BMP ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}$) = $238,1 \pm 19,3$ (37).
- Liquame bovino
 - tal quale BMP ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}$) = 290

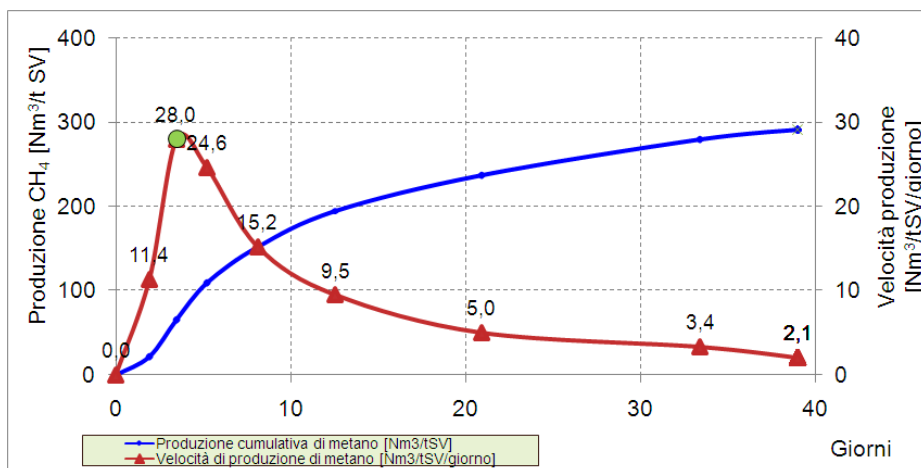


Figura 3.2-1 test BMP di un liquame bovino fresco Fonte: Fabbri_2012

Il ricorso alla tecnica della separazione della frazione solida del liquame viene applicato in aziende zootecniche situate in zone vulnerabili e con eccedenze di azoto rispetto al vincolo imposto dalla direttiva nitrati. Effettuando la separazione della parte solida si ha una tangibile riduzione dell'azoto da collocare sui terreni aziendali: nelle migliori condizioni operative si riesce a trasferire fuori azienda anche il 30% ed oltre dell'azoto dei liquami.

La separazione viene praticata tramite un separatore cilindrico a rulli contrapposti, che presenta una pompa tritratrice che alimenta il separatore. Nel separatore variando la pressione di esercizio varia anche l'efficienza di separazione: con una pressione di 40 bar si ottiene una frazione solida più diluita e un liquame più limpido; mentre con una pressione di 70 bar si è ottiene una frazione solida con una percentuale di sostanza secca maggiore, però con un liquame meno chiarificato e una percentuale in azoto maggiore.

La frazione solida separata dal liquame bovino, generalmente viene destinata alla digestione anaerobica, sono stati condotti dei test di determinazione del BMP delle frazioni solide dei liquami bovini che hanno permesso di quantificare un "valore di sostituzione energetico", rispetto al silomais standard, variabile da 0,28 a 0,34. Ciò significa che utilizzando 1 t di frazione solida separata da liquami bovini si produce una quantità di biogas pari a quella ottenibile da 0,28-0,34 t di silomais (38).

- Frazione solida di un liquame bovino con paglia BMP ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}$) = 240

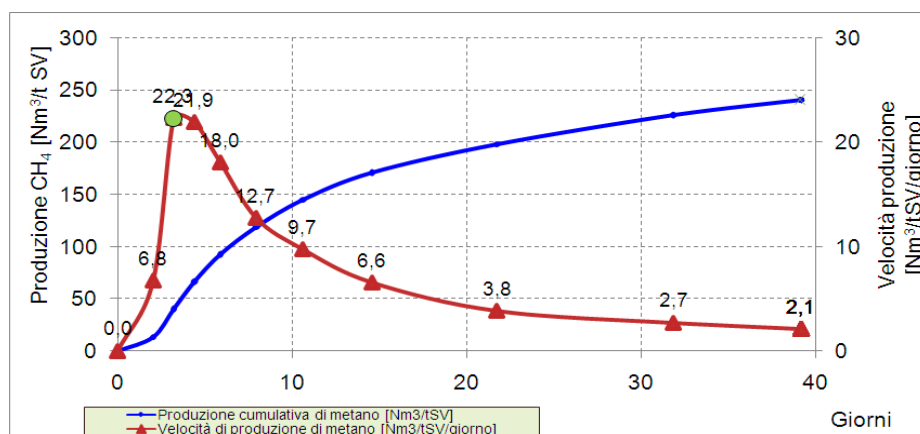


Figura 3.2-2 test BMP per un solido separato da liquame bovino con uso di paglia.

Fonte: Fabbri_2012

- Frazione solida di un liquame bovino con segatura BMP ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}$) = 100

Le differenze sono evidentemente date dalla presenza di lignina e altre frazioni fibrose indegradabili presenti in quota decrescente passando dal liquame tal quale con paglia, al solido separato con paglia e, infine, al solido separato con segatura.

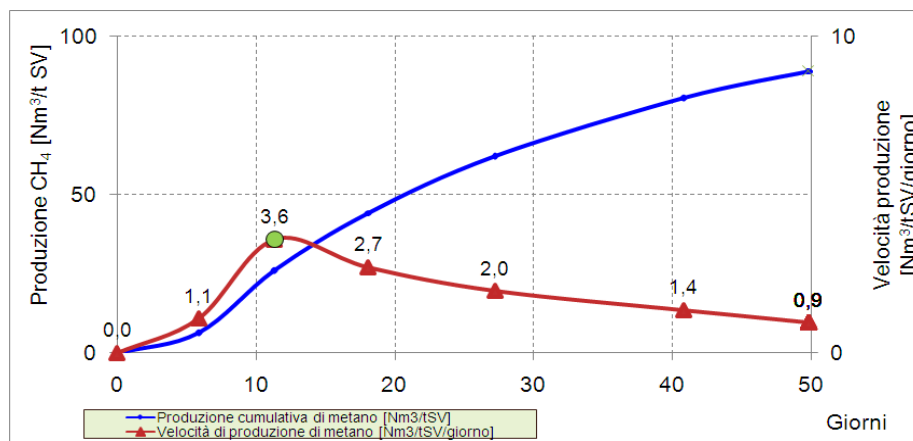


Figura 3.2-3 test BMP per un solido separato da liquame bovino con uso di segatura. Fonte: Fabbri_2012

- Liquame suino

Il liquame suino presenta una degradabilità più veloce rispetto a quello bovino, perché è privo della frazione fibrosa; i liquami suini hanno un'alta qualità, la percentuale di metano nel biogas è superiore al 66% poiché molto ricchi di carboidrati, proteine e lipidi facilmente degradabili. Questi effluenti, infatti, derivano da regimi dietetici di animali monogastrici tipicamente poveri di fibre e ricchi di elementi

con elevata e rapida degradabilità. La resa metanigena del liquame suino in DA dipende in modo considerevole dal sistema di rimozione del liquame stesso: con una rimozione a tracimazione continua si ha una resa in metano inferiore, perché il liquame introdotto nel digestore ha un età di circa 20 giorni; mentre, un sistema di rimozione con il metodo vacuum system, il liquame ha una resa in metano superiore, in quanto viene introdotto nel digestore dopo circa 7 giorni dalla produzione.

- liquame suino valore medio BMP ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}$) = $293,8 \pm 69,4$

- liquame suino da tracimazione BMP ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}$) = 269

- % CH_4 = 68,5

- liquame suino da vacuum system BMP ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}$) = 375

-% CH_4 = 67,2 (37).

- Pollina

- pollina ovaiole valore medio BMP ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{kg SV}$) = 306 ± 74

% CH_4 = $60,4 \pm 4,7$

- pollina ovaiole essiccata valore medio BMP ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{kg SV}$) = 235

- pollina con lettiera valore medio BMP ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{kg SV}$) = 265 ± 59

% CH_4 = $60,1 \pm 1,8$

La pollina utilizzata in DA presenta una buona resa in termini di quantità e qualità di biogas. 1t di pollina di ovaiole sostituisce circa 0,7-1 t di silomais standard. Garantisce un buon apporto di micronutrienti. Elementi minerali indispensabili per le reazioni biochimiche della flora microbica, e presenta un buon potere tampone dovuto all'elevata alcalinità conseguente all'alto tenore di azoto e alla presenza di carbonati. L'elevata presenza di azoto può essere un ostacolo all'attività metanigena dei batteri, in quanto l'azoto presente nella pollina viene facilmente e rapidamente convertito per idrolisi in azoto ammoniacale. Questo è presente in soluzione in due distinte forme: ione ammonio e ammoniaca libera, l'ammoniaca libera rappresenta uno dei principali fattori di inibizione del processo di metanogenesi, che si manifesta già con concentrazioni di ammoniaca libera superiori a 80-100 mg/L. L'utilizzo di pollina deve essere attentamente valutato e gestito nel tempo, controllando il tenore di

alcalinit  totale presente, il tenore di ione ammonio totale, il pH e la temperatura. Quindi, l'uso degli effluenti avicoli   da considerare con favore per gli impianti di digestione anaerobica, soprattutto nei casi in cui la dieta   di tipo monosubstrato, con colture energetiche, in quanto garantisce un ottimo apporto di elementi minerali e capacit  tampone. Gli eccessi di utilizzo non controllati, per , portano spesso all'instaurarsi di inibizioni dei batteri metanigeni (39).

3.2.2 Resa in metano delle differenti colture dedicate

- Insilato di mais

Le caratteristiche del trinciato di una coltura dedicata alla DA sono:

- NDFD: percentuale della fibra neutro detersa che scompare a seguito di fermentazione microbica in un dato intervallo di tempo, per tempi brevi assume un'importanza marginale; per  per l'utilizzo della biomassa nel digestore questo valore viene tenuto in considerazione perch  il tempo di permanenza   pi  lungo rispetto al rumine.

- basso contenuto di lignina: non degradabile, tossica per batteri, lega le emicellulose e le cellulose rendendole non degradabili.

- massima quantit  di amido possibile: spostare in avanti la raccolta, aumentando la sostanza secca. Solitamente il mais viene raccolto a valori di SS tra il 30 – 35%. La scelta del momento di raccolta influisce sulla quantit  di amido accumulata nella granella, e quindi sul contenuto energetico del trinciato.

- taglio corto: dimensione del trinciato pi  corto rispetto a quello destinato per gli allevamenti, circa di mezzo centimetro, variabile in relazione alla sostanza organica.

Indicativamente, per avere una massima resa in metano, la lunghezza di taglio deve essere sotto il mezzo centimetro se la biomassa presenta un grado di SS maggiore del 30%; invece, se la SS   minore del 30%, la lunghezza del trinciato pu  essere maggiore al mezzo centimetro, comunque non si deve superare la lunghezza massima di 0,6 – 0,7 cm

- BMP insilato di mais ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}$) = 322 – 350

- % CH_4 = 53 – 55 (40).

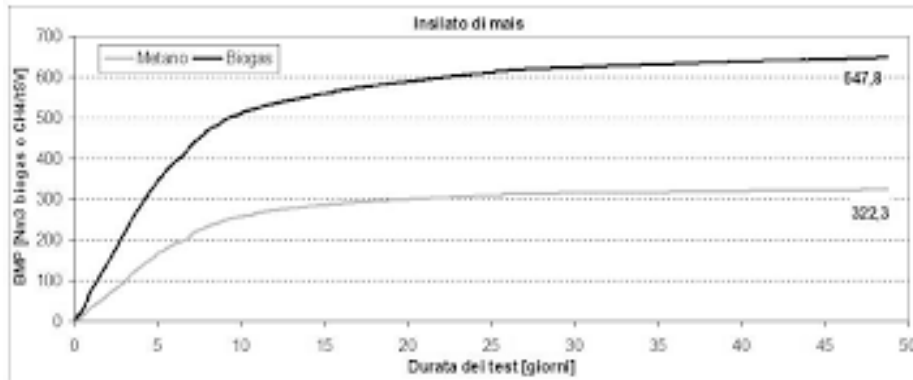


Figura 3.2-4 test BMP insilato di mais. Fonte: Soldano

- Insilato di sorgo

Tenuto conto dell'elevato polimorfismo della specie, per la produzione di trinciato da destinare agli impianti di biogas vengono proposte varietà generalmente classificate a seconda del ideotipo. Tra i più comuni: granella classico, granella a taglia alta, zuccherino, foraggero, da fibra. Il risultato è che le rese possono essere molto variabili e il trinciato può avere caratteristiche compositive diverse a seconda della tipologia di sorgo prescelta e dello stadio fenologico raggiunto alla raccolta, che a sua volta dipende anche dall'epoca di semina.

BMP medio insilato di sorgo ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}$) = 230 – 315

I valori dei BMP medi dell'insilato di sorgo dei vari ideotipi:

- granella: $\text{BMP} (\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}) = 287$
- granella taglia alta: $\text{BMP} (\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}) = 279$
- zuccherino: $\text{BMP} (\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}) = 275$
- foraggero: $\text{BMP} (\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}) = 244$
- fibra: $\text{BMP} (\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}) = 257$

Per i vari ideotipi, le raccolte avvenute in epoca tardiva, da fine settembre alla prima decade di ottobre, nei test BMP si riscontrano degli incrementi della produzione di biogas per kg di SV.

Rispetto l'insilato di mais "standard" (33% SS e ceneri pari a 4% SS) che presenta un BMP di circa $350 \text{ m}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}$, il sorgo presenta dei valori inferiori; la differenza è da imputare principalmente alla maggior degradabilità della sostanza organica del mais insilato rispetto a quella dei trinciati di sorgo. Comunque la scelta del sorgo è

vista generalmente come alternativa al mais, data dal fatto che entrambe sono piante C4 e presenta una maggiore rusticità rispetto al mais. Inoltre, il sorgo a differenza del mais è stato incluso tra le colture del DM 6 luglio 2012, che ha definito il sistema di incentivi per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili non fotovoltaiche. Ciò significa che se si genera energia elettrica per il sorgo non sono previste penalizzazioni, mentre se si produce biometano il sorgo entra nella lista delle materie incentivate alla stregua di un sottoprodotto (41).

- Cereali autunno-vernini

1) - BMP triticale maturazione latte (Nm³ CH₄ / t SV) = 302 ± 14,3

- BMP triticale maturazione cerosa (Nm³ CH₄ / t SV) = 299 ± 12,6

Il valore di BMP alla maturazione cerosa non presenta variazioni significative, invece ci sono evidenti variazioni nei valori medi di SS, che risulta pari al 29,4% alla maturazione latte e nettamente più elevata nella fase di maturazione cerosa, 42,4% circa.

2) Orzo ibrido: i rendimenti energetici non mostrano differenze significative per le due maturazioni.

- BMP maturazione latte (Nm³ CH₄ / t SV) = 305 ± 12,7

- BMP maturazione cerosa (Nm³ CH₄ / t SV) = 296 ± 17,7

Il contenuto di sostanza secca è rispettivamente del 24,9 e 41,6%.

3) Frumento:

- BMP maturazione latte (Nm³ CH₄ / t SV) = 297 ± 5,18

- BMP maturazione cerosa (Nm³ CH₄ / t SV) = 299 ± 10,9

la sostanza secca è aumentata notevolmente tra le due raccolte, da 28,7 a 40,1%.

Nel complesso le rese in metano non sono significativamente differenti per i tre cereali, intorno a 300 Nm³ CH₄/t SV, mentre la sostanza secca si differenzia nelle due fasi di maturazione passando da un valore medio del 28,6% nella fase latte al 41,9% allo stadio di maturazione cerosa.

Le variazioni di resa metanigena, sono causate anche dal metodo di conservazione della biomassa, infatti, l'utilizzo di trinciato trattato con essiccazione e macinazione comporta

mediamente una produzione di metano minore del 9% rispetto allo stesso prodotto insilato e superiore del 6% rispetto a un trinciato fresco.

L'orzo ibrido ha dato, nelle prove condotte, i risultati migliori, seguito da triticale e da frumento: rispetto alla produzione di metano per ettaro mediamente ottenibile da un insilato di mais, circa 6.000 Nm³/ha, sono state raggiunte produzioni pari rispettivamente a circa il 76% per l'orzo ibrido (4.599 Nm³/ha), 70% per il triticale (4.202 Nm³/ha) e 60% per il frumento (3.648 Nm³/ha). la coltivazione di cereali vernini permette di fornire un'ottima biomassa per biogas che consente di abbassare del 37-50% i costi di alimentazione, rispetto al prodotto di riferimento, cioè insilato di mais di primo raccolto e può permettere all'azienda di continuare a coltivare un secondo raccolto a destinazione energetica o alimentare.

Il passaggio da maturazione lattea a maturazione cerosa, soprattutto nel caso del triticale è molto rapido e può concludersi nel corso di pochi giorni: una raccolta che non rispetti i tempi di maturazione corretti porta a stoccare un prodotto troppo secco, con le conseguenti difficoltà di insilamento ed elevate perdite di quote di energia per eccessiva ossidazione (22).

- Barbabietola

Per la valutazione del potere metanigeno della barbabietola sono state condotte delle prove su barbabietole appena raccolte e su barbabietole conservate dopo 60 e 210 giorni di insilamento. I test sono stati eseguiti a una temperatura di 39 °C con un tempo di ritenzione di 35 giorni. Le prove hanno messo in evidenza come la digestione di biomassa fresca porta a una maggiore produzione di biogas, infatti, la bietola intera fresca produce circa 817 Nm³/t di solidi volatili, mentre dopo 60 e 210 giorni d'insilamento ne genera rispettivamente 642 e 616 Nm³/t. Con il processo d'insilamento si ha una minore produzione di biogas, pari al 21,4% dopo 60 giorni e al 24,6% dopo 210 giorni. La concentrazione di metano nel biogas è attorno al 65%.

- BMP barbabietola pianta intera (Nm³ CH₄ / t SV) = 325

La barbabietola tal quale ha mostrato delle ottime rese energetiche, in termini sia di biogas sia di metano. Tali prestazioni energetiche, confortate dal buon andamento del processo conservativo e di digestione, consentono di ipotizzare che la barbabietola può essere usata negli impianti di biogas in sostituzione sia parziale sia totale dell'insilato di mais. Tale ipotesi deve essere avallata da una valutazione economica sui costi e sui

benefici delle due matrici.

Il confronto con l'insilato di mais ha rilevato un maggior contenuto in metano nel biogas prodotto dalla bietola insilata, 63% contro il 55,7% e una potenzialità in termini di Nm³/ha molto competitiva (42).

3.2.3 *Rese in metano dei principali sottoprodotti*

- Vinacce

L'uso della vinaccia senza un adeguato pretrattamento, può causare diversi problemi, soprattutto una bassa resa metanigena a causa della natura chimico-fisica del substrato; la presenza di lignina non consente la valorizzazione energetica della maggior parte della sostanza organica contenuta nella vinaccia.

Il principale pretrattamento è la cavitazione dinamica controllata, che porta alla formazione e al violento collasso di bolle nel liquido trattato, generando condizioni di alte temperature e alte pressioni, sviluppando delle trasformazioni chimico-fisiche sulla biomassa. Durante la cavitazione si raggiungono temperature di 5000°C e pressioni di 2000 atmosfere. La cavitazione porta ad una riduzione particellare ed a una omogeneizzazione del prodotto, aumentando la digeribilità delle fibre fino al 20% in più; di conseguenza, si riduce il tempo di ritenzione, si aumenta la produzione di biometano fino al 20% in più sul totale rispetto al tal quale e si riduce viscosità del digestante fino al 50%.

- Vinaccia non trattata BMP (Nm³ CH₄ / t SV) = 114 ± 6,9

- % CH₄ = 57,6 ± 1,7

- Vinaccia cavitata BMP (Nm³ CH₄ / kg SV) = 168 ± 21,7

- % CH₄ = 59,2 ± 2,1

Dopo il processo di cavitazione della biomassa si è avuto un incremento della resa metanigena pari al 47% (43).

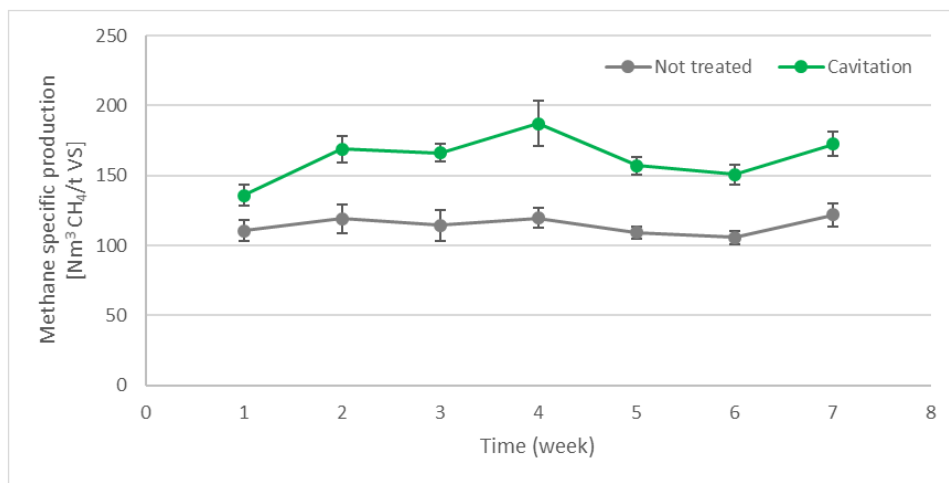


Figura 3.2-5 produzione specifica CH₄ di vinaccia tal quale e cavitata.

Fonte: Labartino_2020

- Buccette di pomodoro

Per incrementare la resa metanigena delle buccette di pomodoro si devono effettuare dei pretrattamenti di tipo meccanico, ma anche biologici; il principale trattamento meccanico oltre alla triturazione con coltelli è la cavitazione. La biomassa non trattata si caratterizza per un contenuto di solidi con diametro maggiore a 3,15 mm pari a circa il 14% del totale, rappresentati principalmente dalla buccia del pomodoro; invece le classi granulometriche maggiormente significative, in termini di peso secco, sono quelle con diametro compreso tra 2-3,15 mm e tra 1-2 mm, rispettivamente con circa il 35% e il 26%, poiché costituite sia buccette che da semi. Con la cavitazione invece la maggior parte delle bucce del pomodoro viene sminuzzata e sfibrata tanto che i solidi con diametro maggiore di 3,15 mm si riducono a circa lo 0,5% del totale e quelli con diametro compreso tra 1 e 3,15 mm si riducono complessivamente dal 61% a circa il 29%.

- Buccette di pomodoro + semi tal quale BMP (Nm³ CH₄ / t SV) = 217

- Buccette di pomodoro + semi cavitate BMP (Nm³ CH₄ / t SV) = 274

Con la cavitazione si ha un incremento della resa in metano pari al 26 %.

Per incrementare maggiormente la resa in metano dopo la cavitazione le buccette possono essere sottoposte ad idrolisi acida, una intensificazione della fase idrolitica provoca l'ottenimento di un substrato organico ricco in acidi grassi volatili e di rapido utilizzo per i microrganismi metanigeni.

- Buccette di pomodoro con semi cavitate + idrolisi BMP (Nm³ CH₄ / t SV) = 306
 Con cavitazione e successiva idrolisi acida si ha un incremento della resa in metano pari al 41% rispetto alla biomassa tal quale (44).

- Sansa d'oliva

la sansa prima di essere destinata alla digestione anaerobica, per incrementare il suo potere metanigeno subisce dei pretrattamenti. Il processo prevede la lavorazione di sansa a due fasi oppure della miscela di acque di vegetazione con sansa a tre fasi, dalla quale si ottengono prima la separazione del nocciolino e poi della parte “polposa” da quella “fibrosa”. Il denocciolatore a umido estrae il nocciolino che viene raccolto in cassoni, successivamente si effettua la gramolatura, ed infine la sansa vergine viene portata all’estrattore nel quale vengono separati la parte fibrosa della sansa, contenente anche il nocciolino fine residuo, la polpa che viene denominata paté, e l’olio residuo.

Le rese in biogas della sansa denocciolata sono buone, da cui un valore di sostituzione rispetto al silomais, in termini puramente energetici, di 0,73 t di sansa denocciolata tal quale per tonnellata di silomais tal quale, mentre la degradabilità della sostanza organica a 35 giorni è risultata di quasi il 60%.

- BMP sansa denocciolata (Nm³ CH₄ / t SV) = 300

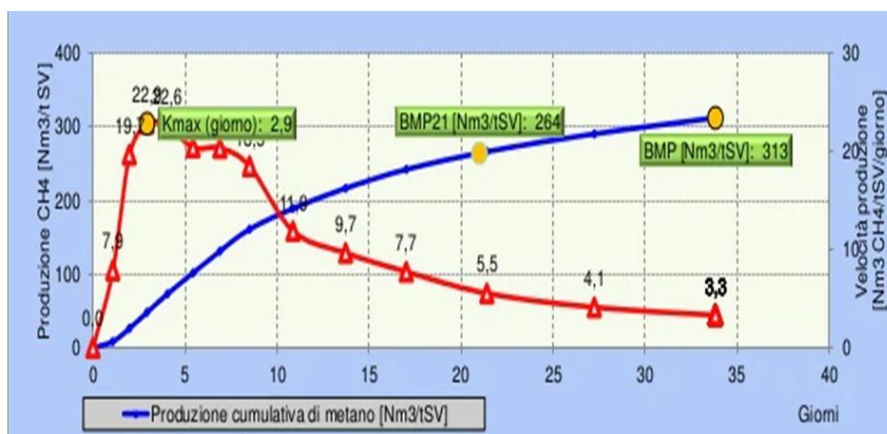


Figura 3.2-6 Produzione specifica di metano di sansa denocciolata. Fonte: Rossi_2014

La centrifugazione della sansa denocciolata permette di concentrare nella parte fibrosa la sostanza organica meno degradabile, elevando la degradabilità della sostanza organica residua nel paté fino a valori dell'80% a 35 giorni. In questo modo le rese in metano per unità di sostanza organica avviata a digestione anaerobica come paté sono più elevate di quelle della sansa denocciolata, anche se il valore di sostituzione rispetto al silomais, in termini puramente energetici, risulta penalizzato e pari a 0,64 t/t a causa della elevata umidità residua del paté.

- BMP paté di sansa (Nm³ CH₄ / t SV) = 432

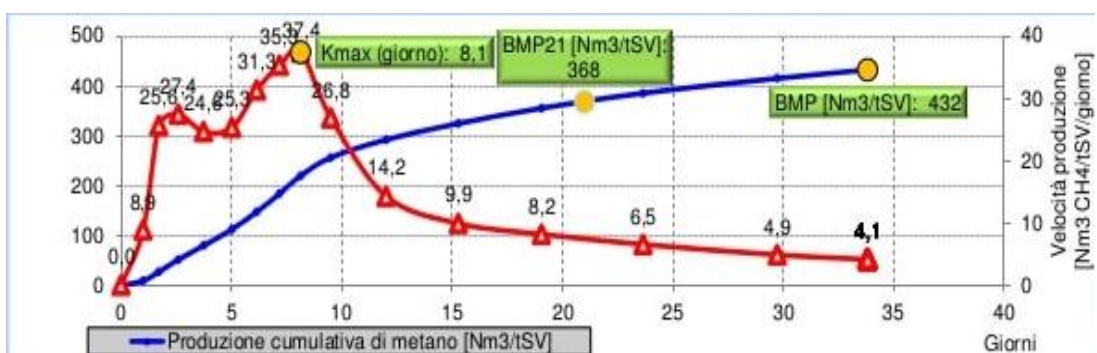


Figura 3.2-7 produzione specifica di metano di paté di sansa. Fonte: Rossi_2014

La parte fibrosa separata, stante il suo tenore di sostanza secca più elevato, mantiene un valore di sostituzione rispetto al silomais, in termini puramente energetici, di 0,54 t/t pur avendo una produzione di metano più bassa rispetto alla sansa denocciolata e al paté, in quanto la degradabilità della sua sostanza organica fatica a raggiungere il 40% a 35 giorni.

- BMP parte fibrosa della sansa (Nm³ CH₄ / t SV) = 181

La denocciolatura, oggi, è un passaggio fondamentale, che deve precedere l'avvio della sansa vergine ai digestori anaerobici, invece le successive fasi di gramolatura e centrifugazione sono da valutare in base alla convenienza. La convenienza a utilizzare in digestione anaerobica il paté da sansa piuttosto che la sansa vergine denocciolata è legata sostanzialmente a un'ottimizzazione della filiera nel suo insieme, che la rende interessante anche per i frantoi con processo a tre fasi. Questi riescono così a smaltire

le acque di vegetazione, fornendo agli utilizzatori un sottoprodotto a elevata degrabilità in digestione anaerobica.

In passato la sansa nella DA generalmente veniva utilizzata tal quale, e la resa variava a seconda del processo di estrazione dell'olio.

- BMP sansa 2 fasi ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}$) = 201

- Bmp sansa tal quale 3 fasi ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}$) = 193 (31).

- Scarti di origine animale

Le possibilità offerte dalla digestione anaerobica si scontrano, tuttavia, con la constatazione che gli scarti da macello sono generalmente considerati substrati difficili, dato il loro alto contenuto di proteine e lipidi. La digestione delle proteine rilascia ammoniaca, che inibisce l'attività dei microorganismi anaerobici già a concentrazioni comprese tra 0,1 e 1,1 kg/Nm^3 . Oltre a ciò, i lipidi mostrano una forte tendenza a produrre schiume e generare acidi grassi a catena lunga che rallentano il processo a causa del maggior tempo necessario per la loro digestione; occorre quindi, che i substrati contenenti alte quantità di lipidi siano dosati accuratamente per non consentire l'accumulo di acidi grassi a catena lunga all'interno del digestore. A causa di tali considerazioni, è generalmente consigliabile mescolare gli scarti di macello con altre tipologie di materiale, come i liquali o letami, al fine di ottimizzare il substrato. Dalle analisi BMP effettuate si è visto, che la produzione di biogas nei reattori da laboratorio è iniziata dopo circa 3 – 5 giorni e si mantiene per 30 – 35 giorni.

- BMP medio SOA ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}$) = 230 – 620

Valori BMP situati attorno a $620 \text{ Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}$, generalmente sono ottenuti da SOA che hanno subito un pretrattamento; come la pastorizzazione a 70°C , che fa incrementare la resa metanigena.

- BMP contenuto ruminale ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}$) = 266

- % CH_4 = 57,8

- BMP sangue bovino ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}$) = 329

-% CH_4 = 76,6

-BMP carne in pezzi da 50 mm ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t SV}$) = 550 (45).

- Residui lavorazione caseifici
 - 1) Siero del latte: - BMP (Nm³ CH₄ / t SV) = 375 – 500
 - 2) Permeato di lattosio (sottoprodotto ricavato dall'ultrafiltrazione del siero di latte, recuperando le proteine).
 - BMP (Nm³ CH₄ / t SV) = 350 – 400

- Bucce di patate
 - BMP (Nm³ CH₄ / t SV) = 260 – 380

Utilizzate soprattutto in codigestione, nel tempo può creare delle problematiche alle parti meccaniche del digestore, se si utilizza un prodotto molto contaminato con terra.

- Sottoprodotti industria molitoria
 - 1) Crusca: - BMP (Nm³ CH₄ / t SV) = 290 – 380
 - 2) Farinaccio: - BMP (Nm³ CH₄ / t SV) = 320 – 390 (46).

3.2.4 Resa in metano dei principali residui colturali

- Tutolo di mais
 - BMP (Nm³ CH₄ / t SV) = 250 ± 20
 - CH₄ = 52 ± 0,7

- Stocchi di mais

Il BMP varia in funzione di tempo e delle modalità di raccolta della granella, nonché del tempo intercorso tra raccolta della granella e degli stocchi.

 - BMP (Nm³ CH₄ / t SV) = 150 – 246

- Paglia di frumento
 - BMP (Nm³ CH₄ / t SV) = 205

- Residui barbabietola
 - BMP foglie + colletti freschi (Nm³ CH₄ / t SV) = 326
 - BMP foglie + colletti insilati (Nm³ CH₄ / t SV) = 251 (47).

Capitolo 4 CONCLUSIONI

Il quesito della tesi è quello di descrivere le diverse tipologie di biomassa ottenute dal settore agricolo, utilizzabili per la produzione di biogas tramite digestione anaerobica e confrontarle in base al loro rendimento energetico su volume di materiale.

Consultando la letteratura scientifica si è potuto risalire al BMP delle principali biomasse utilizzate in DA: per quanto riguarda gli effluenti zootecnici, presentano un potere metanigeno relativamente basso; però la DA per questi prodotti in aziende zootecniche, è il metodo migliore per la gestione durante la fase di maturazione, in quanto si ha un abbattimento delle emissioni di gas serra e si ha un ritorno economico da una materia di scarto.

Gli effluenti zootecnici sono importanti per aumentare il grado di umidità del substrato nel digestore. Il valore di sostituzione energetico dei reflui zootecnici varia da 0,28 a 0,34 rispetto a silomais standard ed è influenzato principalmente da umidità e quota fibrosa; valori più elevati si ottengono con pollina che presenta un valore di sostituzione compreso tra 0,7 e 1.

Le colture dedicate producono una biomassa ottima in termini di rendimento energetico. Il mais è la coltura principe della DA, però negli ultimi anni si ha avuto in decremento del suo utilizzo, in quanto presenta degli alti costi di produzione e necessita di grandi quantità di acqua per avere delle rese ad ettaro soddisfacenti. Ad oggi, si tende ad impiegare specie più rustiche come il sorgo o cereali autunno-vernini; che presentano una resa metanigena lievemente inferiore e tenendo in considerazione le minori spese di produzione della biomassa, non si hanno ripercussioni negative sul bilancio economico. Il problema generale delle colture dedicate è l'occupazione di suolo, in quanto si coltivano ampie superfici di colture non destinate alla alimentazione umana; questo problema è stato parzialmente risolto con l'utilizzo di specie a ciclo breve, effettuando delle colture intercalari.

I sottoprodotti dell'agroindustria sono molto interessanti per quanto riguarda l'elevata resa metanigena e il basso costo, il principale fattore limitante nell'utilizzo di questa biomassa è il trasporto. Si ha convenienza nell'impiego solo se provengono da aree vicine all'impianto di DA, in quanto si ha il rischio di avere un costo di trasporto troppo alto rispetto al valore del substrato, soprattutto se effettuato da aziende terze.

I sottoprodotti sono ottimi se impiegati in un regime di co-digestione, in cui si osserva un rilevante incremento di biometano prodotto; alcuni sottoprodotti sono difficili da gestire tal quale, perché presentano delle caratteristiche chimico-fisiche particolari e quindi prima di essere introdotti nel digestore devono subire dei pretrattamenti. Per valutare l'utilizzo di un eventuale sottoprodotto nella digestione anaerobica, come prima cosa si deve stimare l'effettiva quantità di prodotto che può essere acquistato dalle agroindustrie limitrofe all'impianto di digestione; successivamente, se il prodotto necessita di un pretrattamento e nell'impianto non si hanno macchine specifiche, si deve tenere in considerazione il costo d'impianto e di esercizio nelle nuove macchine, e valutare l'ammortamento dell'investimento fatto dato dall'incremento di metano prodotto.

Alcuni sottoprodotti non sono presenti tutto l'anno e inoltre data la loro bassa conservabilità devono essere utilizzati nel breve tempo, come la sansa d'oliva; mentre altre materie possono essere conservate, perché presentano una maggiore stabilità.

I residui colturali nelle aree agricole sono presenti in elevate quantità, presentano un basso costo e una elevata conservabilità; però hanno una resa in biometano abbastanza ridotta soprattutto per quei substrati con una elevata quota di fibra non digeribile, come i residui della raccolta dei cereali. Generalmente questi residui vengono pretrattati prima della loro immissione nel digestore, sono risultati interessanti per la resa metanigena gli scarti della raccolta di barbabietola, però sono presenti in aree limitate, data dalla riduzione dell'industria saccarifera nel territorio Italiano.

BIBLIOGRAFIA

1. Sannino, G., 2019. Energia e cambiamento climatico. Energia Ambiente e Innovazione, ENEA Magazine, pp. 106-109.
2. comunicato stampa UE 21/11/96; Energia per il futuro: le fonti energetiche rinnovabili
3. COM (97) 599, quadro generale, in: Energia per il futuro: Le fonti energetiche rinnovabili, Libro bianco per una strategia e un piano di azione della Comunità, pp. 4-6.
4. COM (97) 599, Politica agraria comune e politica di sviluppo rurale, in: Energia per il futuro: Le fonti energetiche rinnovabili, Libro bianco per una strategia e un piano di azione della Comunità, p. 20.
5. direttiva 2001/77/CE sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità.
6. D.lgs. n°387/03; attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità.
7. direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.
8. D.lgs. n°28/11, Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE
9. Green Deal europeo: La Commissione propone di trasformare l'economia e la società dell'UE al fine di concretizzare le ambizioni in materia di clima. Comunicato stampa Commissione europea 14/07/2021.
10. direttiva 2018/2001/UE, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili (rifusione)
11. Papili, R., 2020. L'economia circolare nella normativa vigente: opportunità per una nuova agricoltura. Confagricoltura.

12. Bordoni, A., Biomassa animale e vegetale. In: Biomasse ad uso energetico, principali aspetti per la valorizzazione energetica delle biomasse coltivate e residuali. Assessorato all' agricoltura - Regione Marche, pp. 22-42.
13. Wilkie, A., 1986. Enhancement of anaerobic methanogenesis from napiergrass. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
14. Reale, F., Stolica, R., Gaeta, M., Ferri, M., Sarnataro, M. & Vitale, V., 2009. Reflui zootecnici, in: Analisi e stima quantitativa della potenzialità di produzione energetica da biomassa digeribile a livello regionale. Studio e sviluppo di un modello per unità energetiche. ENEA, pp. 24-25.
15. Fabbri, C., Piccinini, S., 2012. Il biogas nella stalla bovina da latte, in: Bovini da latte e biogas, linee guida per la costruzione e gestione di impianti, CRPA s.p.a. Direzione Agricoltura della Regione Emilia-Romagna. pp. 11-17
16. Santacroce, F.C., Agostinetto, L., Dalla Venezia, F., Rumor, C., 2014. La digestione anaerobica delle deiezioni agricole. Progetto Nitrant – Veneto Agricoltura.
17. La digestione anerobica di rifiuti e biomasse: rassegna delle potenzialità specifiche di produzione di biogas. Programma di Sviluppo Rurale della Regione Lombardia 2007-2013
18. Bordoni, A., Le biomasse utilizzabili per la digestione anaerobica. In: Filiera del biogas, aspetti salienti dello stato dell'arte e prospettive. Assessorato all'agricoltura - Regione Marche, pp. 11-18
19. Reale, F., Stolica, R., Gaeta, M., Ferri, M., Sarnataro, M. & Vitale, V., 2009. Scarti di macellazione, in: Analisi e stima quantitativa della potenzialità di produzione energetica da biomassa digeribile a livello regionale. Studio e sviluppo di un modello per unità energetiche. ENEA, pp. 109-112.
20. Labartino, N., 2010. La digestione anaerobica. CRPA seq-Cure.
21. Evert, R.F., Eichhorn, S.E., 2013. Fotosintesi, luce e vita, in: La biologia delle piante di Raven. Zanichelli, p. 164.
22. Fabbri, C., Soldano, M., 2015. Biogas, potenziale energetico dei cereali autunno-vernini. L'Informatore Agrario, pp. 61-64.
23. Paina, A., Piccinini, S., Rossi, L., 2010. Biomasse dedicate per la conversione energetica, in: Studio sull'utilizzo di biomasse combustibili e biomasse rifiuto per la produzione di energia. ISPRA, pp. 124-125.

24. Ciuffreda, G., Rossi, L. & Bellettato, G., 2010. Barbabietola nel digestore, un'alternativa all' insilato di mais. *L'informatore Agrario*, pp. 11-14.
25. Valli, R., Corradini, Battini, F., 2005. Tecniche di conservazione dei foraggi, in: *Coltivazioni erbacee e arboree*. Edagricole, pp. 216-217.
26. Reale, F., Stolica, R., Gaeta, M., Ferri, M., Sarnataro, M. & Vitale, V., 2009. Analisi delle potenzialità sul territorio nazionale italiano, in: *Analisi e stima quantitativa della potenzialità di produzione energetica da biomassa digeribile a livello regionale*. Studio e sviluppo di un modello per unità energetiche. ENEA, p. 17.
27. Blandino, M., Calcagno, M., Ferrero, C., Fabbri, C., Vanzetti, C. & Reyneri, A., 2013. Tutolo, sottoprodotto del mais a uso energetico. *L'Informatore Agrario*, pp. 11-15.
28. Fabbri, C., 2013. Pre – trattamento delle biomasse per migliorare le performance. *I supplementi di Agricoltura*, CRPA, Regione Emilia – Romagna, pp. 94-96.
29. Soldano, M., Fabbri, C., Gallucci, F. & Piccinini, S., 2019. Mais contaminato da aflatossine per la produzione di biogas. *Biogas Informa*, pp. 56-58.
30. Labartino, N., 2020. Più biogas dalle vinacce con la cavitazione idrodinamica. *Agrimpresa*, p.11.
31. Mantovi, P., Fabbri, C. & Soldano, M., 2013. Si ottimizza la filiera del biogas se la sansa viene pretrattata, *L'informatore agrario*, pp. 39-42.
32. Galliani, M., 2019. Del latte non si butta via niente. *Ruminantia*.
33. Bacenetti, J., Negri, M., Duca, D., Fusi, A. & Fiala, M., 2015. Digerire le buccette di pomodoro riduce l'impatto ambientale. *Terra e vita*, pp. 26-28.
34. Soldano, M., Fabbri, C., Labartino, N. & Piccinini, S., Valutazione del potenziale metanigeno di biomasse di scarto dell'industria agroalimentare. CRPA s.r.l..
35. Holliger, C., 2020. Requirements for Measurement and Validation of Biochemical Methane Potential (BMP). Technical University of Denmark.
36. Fabbri, C., Soldano, M., Moscatelli, G., & Piccinini, S., 2012. Biomassa, come si calcola il suo valore economico. *L' Informatore Agrario*, pp.13-17.
37. Rossi, L., 2014. Liquami e letami suini e produzione di biogas: come ottimizzare l'approccio. CRPA Reggio Emilia.

38. Mantovi, P., Bonazzi, G., & Gandolfi, A., 2015. Prove di produzione di biogas con separato solido di liquami. *L'Informatore Agrario*, pp. 57-60.
39. Fabbri, C., Piccinini, S., 2013. Pollina per biogas, buone rese ma attenzione ai dosaggi. *L'Informatore Agrario*, pp. 15-17
40. Alfieri, M., 2019. Trinciato di mais: caratteristiche e qualità. CREA, Centro di Ricerca Cerealicoltura e Colture Industriali, Bergamo.
41. Mantovi, P., 2015. Varietà di sorgo a confronto per la produzione di biogas. *L'Informatore Agrario*, pp. 65-68.
42. Fabbri, C., Soldano, M., 2019. Barbabietola, i vantaggi della semina autunnale. *Terra e vita*, pp. 44-47.
43. Labartino, N., Piccinini, S., 2019. Il processo di cavitazione idrodinamica controllata aumenta il potenziale energetico delle vinacce. CRPA, GOI Cavin.
44. Garuti, M., Giuliano, A., Soldano, M., Fabbri, C., Guzzinati, R., Petta, L. & Piccinini, S., 2018. Valorizzazione energetica di buccette e semi di pomodoro. *L'informatore Agrario*, pp. 67-70.
45. De Pascalis, L., 2021. La produzione di gas combustibile da scarti di macello. www.tekneco.it – Focus di Ingegneria dell'Innovazione.
46. Scaglione, D., Malpei, F., 2013. Aspetti tecnici inerenti alla caratterizzazione e al campionamento dei sottoprodotti. Politecnico di Milano, La Fabbrica della Bioenergia.
47. Soldano, M., Garuti, M., Fabbri, C., 2018. Verso il biometano avanzato: biomasse e potenzialità. *Biogas Informa*, pp. 52-54.