



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Agenzia per la
Coesione Territoriale



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



GOVERNANCE
E CAPACITÀ
ISTITUZIONALE
2014-2020



ENERGIA E SOSTENIBILITÀ PER LA PUBBLICA AMMINISTRAZIONE

TECHNOLOGY BRIEF PER LA PRODUZIONE DI BIOGAS E GAS DI SINTESI DA SCARTI E RIFIUTI DI ORIGINE AGRICOLA, ZOOTECNICA E AGROINDUSTRIALE

PARTE I: BIOGAS, PARTE II: SYNGAS

A. Del Fiore¹, A. Camassa¹, L. Chiarini¹, N. Colonna³, D. Cuna¹, P. De Rossi⁴, D. Matera⁵,

V. Miceli¹, A. Molino², S. Tabacchioni¹

SSPT-BIOAG-SOQUAS¹, SSPT-BIOAG-PROBIO², SSPT-BIOAG³, DUEE-SIST-NORD⁴,
DUEE-SPS-SAP⁵

30/03/2021

Technology Brief per la produzione di biogas e gas di sintesi da scarti e rifiuti di origine agricola, zootecnica e agroindustriale

PARTE I: BIOGAS

A. Del Fiore, A. Camassa, D. Cuna, L. Chiarini, P. De Rossi, V. Miceli, S. Tabacchioni

Abstract

L'applicazione della tecnologia della digestione anaerobia può dare un contributo decisivo alla lotta ai cambiamenti climatici; il Biogas infatti è una fonte energetica rinnovabile e pulita, che può quindi garantire continuità energetica e determinare la riduzione delle emissioni di gas climalteranti in atmosfera e quindi dell'effetto serra.

La produzione di energie rinnovabili da biomasse residuali e reflui zootecnici di filiere agro-industriali rappresenta quindi un contributo fondamentale alla piena adesione a un modello di economia circolare.

Il presente documento costituisce un quadro sintetico dei principali aspetti, tecnici e di sostenibilità ambientale ed economica, caratterizzanti il processo di digestione anaerobia per la produzione di biogas ed energia a partire da matrici residuali di produzioni agricole e agro-industriali.

Nel dettaglio il documento si focalizza sui seguenti aspetti:

- fasi del processo di digestione anaerobica e di produzione di biogas;
- tipologia e caratteristiche delle biomasse utilizzate e potenzialmente utilizzabili;
- principali tipologie impiantistiche di potenziale interesse;
- quadro della attuale diffusione della tecnologia e prospettive di evoluzione

Mettendo in evidenza i benefici ambientali ed economici del biogas derivante da processi di digestione anaerobia il documento può supportare decisori istituzionali nella valutazione di impianti per la produzione di biogas e rappresentare quindi uno strumento efficace per realizzare la finalità di favorirne la diffusione.

Tipologia di prodotto: Technology brief

Settore d'intervento: Economia circolare e simbiosi industriale



INDICE

INTRODUZIONE.....	7
1. BIOGAS E DIGESTIONE ANAEROBIA	9
2. PROCESSO E STATUS DELLA TECNOLOGIA PER LA DIGESTIONE ANAEROBIA.....	12
0.1 IDROLISI.....	12
0.2 ACIDOGENESI	12
0.3 ACETOGENESI	12
0.4 METANOGENESI	12
3. PRINCIPALI TECNICHE DI DIGESTIONE ANAEROBICA	13
3.1 CONTENUTO IN SOSTANZA SECCA O SOLIDI TOTALI DELLE BIOMASSE	14
3.2 TEMPERATURA.....	15
3.3 MODALITÀ DI ALIMENTAZIONE DEL DIGESTORE.....	16
3.4 NUMERO DI STADI /REATTORI	18
3.4.1 PROCESSO MONOSTADIO	18
3.4.2 PROCESSO BI-STADIO.....	18
4. DIGESTORI - TIPOLOGIE	19
5. MATRICI/BIOMASSE PER DIGESTIONE ANAEROBICA.....	21
5.1 ORIGINE DELLE BIOMASSE.....	22
5.2 CARATTERISTICHE DI IDONEITÀ' DELLE BIOMASSE ALLA PRODUZIONE DI BIOGAS.....	25
5.3 ASPETTI LIMITANTI L'USO ENERGETICO DELLE BIOMASSE.....	28
6. EFFICIENZA DEL PROCESSO DI DIGESTIONE ANAEROBIA	30
6.1 PRETRATTAMENTI DELLA BIOMASSA ED OTTIMIZZAZIONE DEL PROCESSO	32
6.2 TIPOLOGIE E DIMENSIONAMENTO DEGLI IMPIANTI A BIOGAS	33
6.3 ELEMENTI DI UN IMPIANTO A BIOGAS	34



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



*Agenzia per la
Coesione Territoriale*



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



GOVERNANCE
E CAPACITÀ
ISTITUZIONALE
2014-2020



ENERGIA E SOSTENIBILITÀ
PER LA
PUBBLICA AMMINISTRAZIONE

7.	<u>DIFFUSIONE DEGLI IMPIANTI A BIOGAS IN ITALIA</u>	<u>36</u>
8.	<u>VANTAGGI DI UN IMPIANTO A BIOGAS</u>	<u>38</u>
9.	<u>VALUTAZIONI ECONOMICHE E INCENTIVI.....</u>	<u>38</u>
	<u>SITOGRAFIA.....</u>	<u>41</u>

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 Schema Semplificato di Sistema di Cogenerazione/Trigenerazione	11
Figura 2 Schema generale del processo di digestione anaerobica	13
Figura 3 Processo di digestione anaerobia in funzione del contenuto in ST delle biomasse	14
Figura 4 – Valori di Temperatura dei Processi di digestione anaerobia.....	15
Figura 5 Processo di digestione anaerobia e modalità di alimentazione del substrato	17
Figura 6 Processo di digestione anaerobia e numero di stadi	19
Figura 7 - Reattori discontinui e semicontinui	20
Figura 8 – Reattori continui: PFR e CSTR	21
Figura 9 - Biomasse impiegate per la digestione anaerobia a scopi energetici	23
Figura 10 - Residui agricoltura e agroindustria	29
Figura 11 (a, b) - Schemi semplificati impianti a Biogas	35
Figura 12 – Ripartizione degli impianti a Biogas in Italia in funzione dei substrati di alimentazione.....	36
Figura 13 – Produzioni regionali di energia elettrica da impianti a biogas a cogenerazione	37

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Composizione percentuale media biogas	10
Tabella 2- Rese medie in biogas e biometano delle principali classi di composti organici	24
Tabella 3 – Resa produttiva in biogas delle principali biomasse impiegate	27
Tabella 4 - Confronto tra biomasse vegetali e animali	28
Tabella 5 – Disponibilità biomasse residuali agro-industriali	30
Tabella 6 - Indicatori di stabilità del Processo di Digestione Anaerobia	32
Tabella 7 - Incentivazioni fiscali impianti biogas a cogenerazione	39

INTRODUZIONE

Il Piano d'azione per lo sviluppo di un'Economia Circolare¹ varato dalla Commissione Europea nel 2015, per sostenere le imprese e i consumatori europei nella transizione dall'economia lineare ad un modello di economia circolare basata su una gestione sostenibile delle risorse, comprende un insieme di misure finalizzate alla riduzione della produzione di rifiuti in tutte le fasi della filiera, attraverso l'incremento del riciclo e del riuso e lo sviluppo di un mercato per le materie prime secondarie, che permettano di "chiudere", rendendolo perfettamente circolare, il ciclo di vita dei prodotti.

L'effetto atteso dall'applicazione di queste misure è la riduzione degli impatti ambientali (su suolo, acque, atmosfera) e l'aumento della sostenibilità globale dei sistemi produttivi oltre a benefici economici, in termini di aumento dei posti di lavoro e della competitività.

Nell'ambito del Piano d'azione risulta quindi strategica la Digestione anaerobica, una tecnologia che permette la valorizzazione energetica delle biomasse residuali agricole e agro-industriali attraverso la loro conversione in biogas.

La produzione di biogas ha un grande potenziale di impiego nel ridurre l'inquinamento ambientale: avvenendo in ambiente chiuso, non determina emissione di metano in atmosfera e rispetto ai combustibili fossili, contribuisce in maniera trascurabile all'impoverimento dello strato di ozono.

¹ Il nuovo Piano d'azione per l'economia circolare (Commissione europea, 11 marzo 2020) è uno dei principali strumenti del Green Deal europeo, il nuovo programma per la crescita sostenibile in Europa, che fissa una tabella di marcia ambiziosa per il conseguimento di un'economia circolare a impatto climatico zero, in cui la crescita economica è dissociata dall'uso delle risorse. Un'economia circolare, riducendo la pressione sulle risorse naturali, è un prerequisito per conseguire l'obiettivo della neutralità climatica entro il 2050, prevista dalla recente Legge europea per il Clima..

L'applicazione della tecnologia della digestione anaerobia può dare un contributo decisivo alla lotta ai cambiamenti climatici; il Biogas infatti è una fonte energetica rinnovabile e pulita, che può quindi garantire continuità energetica e determinare la riduzione delle emissioni di gas climalteranti in atmosfera e quindi dell'effetto serra.

La produzione di energie rinnovabili da biomasse residuali e reflui zootecnici di filiere agro-industriali rappresenta quindi un contributo fondamentale alla piena adesione a un modello di economia circolare.

Il presente documento costituisce un quadro sintetico dei principali aspetti, tecnici e di sostenibilità ambientale ed economica, caratterizzanti il processo di digestione anaerobia per la produzione di biogas ed energia a partire da matrici residuali di produzioni agricole e agro-industriali.

Nel dettaglio il documento si focalizza sui seguenti aspetti:

- fasi del processo di digestione anaerobica e di produzione di biogas;
- tipologia e caratteristiche delle biomasse utilizzate e potenzialmente utilizzabili;
- principali tipologie impiantistiche di potenziale interesse;
- quadro della attuale diffusione della tecnologia e prospettive di evoluzione.

Mettendo in evidenza i benefici ambientali ed economici del biogas derivante da processi di digestione anaerobia il documento può supportare decisori istituzionali nella valutazione di impianti per la produzione di biogas e rappresentare quindi uno strumento efficace per realizzare la finalità di favorirne la diffusione.

1. BIOGAS E DIGESTIONE ANAEROBIA

Il biogas è una miscela di metano (CH_4) e anidride carbonica (CO_2) derivante da un processo di digestione anaerobia² della componente organica (carboidrati, lipidi, proteine) di biomasse³ (colture vegetali, scarti agro-industriali, reflui zootecnici, fanghi di depurazione, FORSU⁴).

La Digestione Anaerobia (DA) è operata da consorzi microbici altamente specializzati comprendenti ceppi batterici metanigeni, in grado cioè di sintetizzare metano, e determina, oltre al biogas la formazione di un residuo, il digestato, con caratteristiche chimico-fisiche simili a quelle di un effluente zootecnico, ricco di potassio, fosforo, e azoto, che se riconosciuto come “digestato equiparato”⁵ può essere utilizzato come fertilizzante o ammendante⁶ di suoli agricoli.

I

Il contenuto in metano del biogas varia a seconda del tipo di sostanza organica digerita e delle condizioni di processo, risultando mediamente compreso tra il 50 e il 70%. (Tab.1).

² processo biologico di degradazione della sostanza organica in condizioni anaerobiche controllate, finalizzato alla produzione di biogas e con produzione di digestato (art. 3 comma 1 lettera del DM 5046 del 25/02/2016).

³ il materiale derivante dalla digestione anaerobica delle matrici e delle sostanze di cui all'art. 22 del DM, comma 1, da soli o in miscela tra loro (articolo 3 del DM n°. 5046 del 25 febbraio del 2016. “decreto effluenti”.

⁴ (FORSU): La frazione organica dei rifiuti urbani.

⁵ digestato equiparato: “prodotto ottenuto dalla digestione anaerobica di sostanze e materiali di cui agli articoli 27 (Produzione del digestato agro-zootecnico) e 29 (Digestato agroindustriale) in ingresso in impianti di produzione di energia elettrica alimentati a biogas e facenti parte del ciclo produttivo di una impresa agricola che, conformemente alle disposizioni per la cessazione della qualifica di rifiuto di cui all'articolo 184-ter del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, rispetti i requisiti e le caratteristiche stabiliti per i prodotti ad azione sul suolo di origine chimica »;

⁶ Nella Legge di Bilancio 2020, sono state definite norme e condizioni per l'utilizzazione agronomica del “digestato equiparato”, ossia il digestato la cui azione sul suolo può essere equiparata a quella di elementi di origine chimica. Queste norme sono state integrate nel D.M. 5046 del 25 febbraio 2016, recante criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e delle acque reflue, nonché per la produzione e l'utilizzazione agronomica del digestato.

Tabella 1 - Composizione percentuale media biogas

COMPOSIZIONE BIOGAS	% (Vol)
Metano (CH₄)	50-70%
Anidride carbonica (CO₂)	30-50%
Azoto (N₂)	<1%
Idrogeno (H₂)	<1%
Ammoniaca (NH₃)	<1%
Solfuro di idrogeno (H₂S)	<1%

Il biogas derivante dalla digestione anaerobia sviluppa un'elevata quantità di calore (5500 kcal/Nm³), valore, espresso come Potere Calorifico Inferiore⁷ medio, (PCI), pari al 69% del PC del metano (8750 kcal/Nm³).

Esso può essere utilizzato, previa desolforazione, per la produzione di calore, o, attraverso sistemi di cogenerazione per la produzione diretta e simultanea di energia elettrica e termica.

Con l'impiego di sistemi di trigenerazione, contenenti elementi ad assorbimento è possibile ottenere, oltre all'energia termica e all'energia elettrica, anche energia frigorifera, utilizzabile per processi di raffreddamento (Fig. 1).

⁷ Potere calorifico inferiore: esprime la quantità di calore che si sviluppa con la combustione completa di 1 kg di biomassa, considerando l'acqua allo stato di vapore a 100 C, ossia considerando la sola quota parte di calore effettivamente utilizzabile) Il PCI si misura in kJ / kcal/kg o kWh/kg.



ENERGIA E SOSTENIBILITÀ
PER LA
PUBBLICA AMMINISTRAZIONE

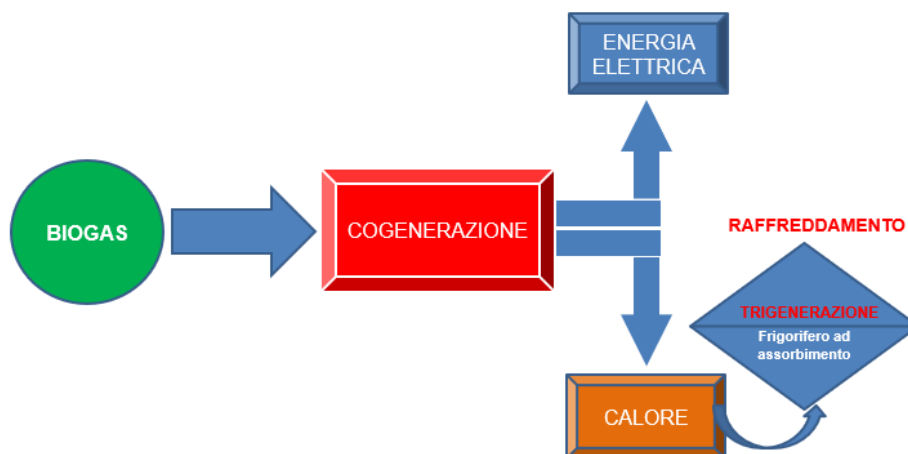


Figura 1 Schema Semplificato di Sistema di Cogenerazione/Trigenerazione

L'energia prodotta per cogenerazione può essere in parte impiegata per soddisfare le esigenze energetiche dell'impianto a biogas o di altri processi aziendali, e, per quanto concerne la componente elettrica, ceduta alla rete elettrica di distribuzione.

Il Biogas può essere inoltre sottoposto a processo di raffinazione e purificazione (upgrading) per l'ottenimento di Biometano⁸, gas contenente metano in percentuale superiore al 95 %, forma energetica pulita e rinnovabile, con composizione analoga a quella del metano di natura fossile. Il biometano è idoneo all'immissione in rete o all'utilizzo come carburante per il trasporto.

⁸ "Gas ottenuto a partire da fonti rinnovabili avente caratteristiche e condizioni di utilizzo corrispondenti a quelle del gas metano e idoneo alla immissione nella rete del gas naturale": articolo 2, DLgs 28/2011.
Data ultima revisione: 08/04/2021



2. PROCESSO E STATUS DELLA TECNOLOGIA PER LA DIGESTIONE ANAEROBIA

Il processo di digestione anaerobica consta di quattro macro-fasi:

2.1 IDROLISI

fase iniziale di degradazione delle molecole organiche complesse della matrice organica in composti più semplici (aminoacidi, mono, di-saccaridi, acidi grassi);

2.2 ACIDOGENESI

si completa la degradazione dei composti generati nella fase precedente, con formazione di acidi grassi a catena corta (propionico, butirrico e valerico), e di sottoprodotti quali ammoniaca, anidride carbonica e acido solfidrico;

2.3 ACETOGENESI

gli acidi grassi a catena corta vengono convertiti in acido acetico (composto prevalente) e acido formico. Aumentano contemporaneamente le concentrazioni di anidride carbonica e idrogeno quali sottoprodotti;

2.4 METANOGENESI

fase finale del processo di degradazione della sostanza organica, caratterizzata dalla formazione di **metano**, quale prodotto principale, oltre che di anidride carbonica e acqua.

La **metanogenesi** rappresenta la fase limitante del processo di digestione anaerobia, ed è fortemente condizionata dalla concentrazione di acido acetico generatosi nelle fasi precedenti della reazione. Se presente in eccesso tale acido determina infatti una diminuzione del pH⁹ a livelli inibenti il processo di digestione (inibizione da substrato).

⁹ Valori ottimali del pH sono compresi tra 7 e 7,5.
Data ultima revisione: 08/04/2021

Il mantenimento di un rapporto bilanciato tra biomasse già digerite (digestato) e biomasse non digerite all'interno dell'ambiente di reazione costituisce un prerequisito per una gestione ottimale di questa fase.

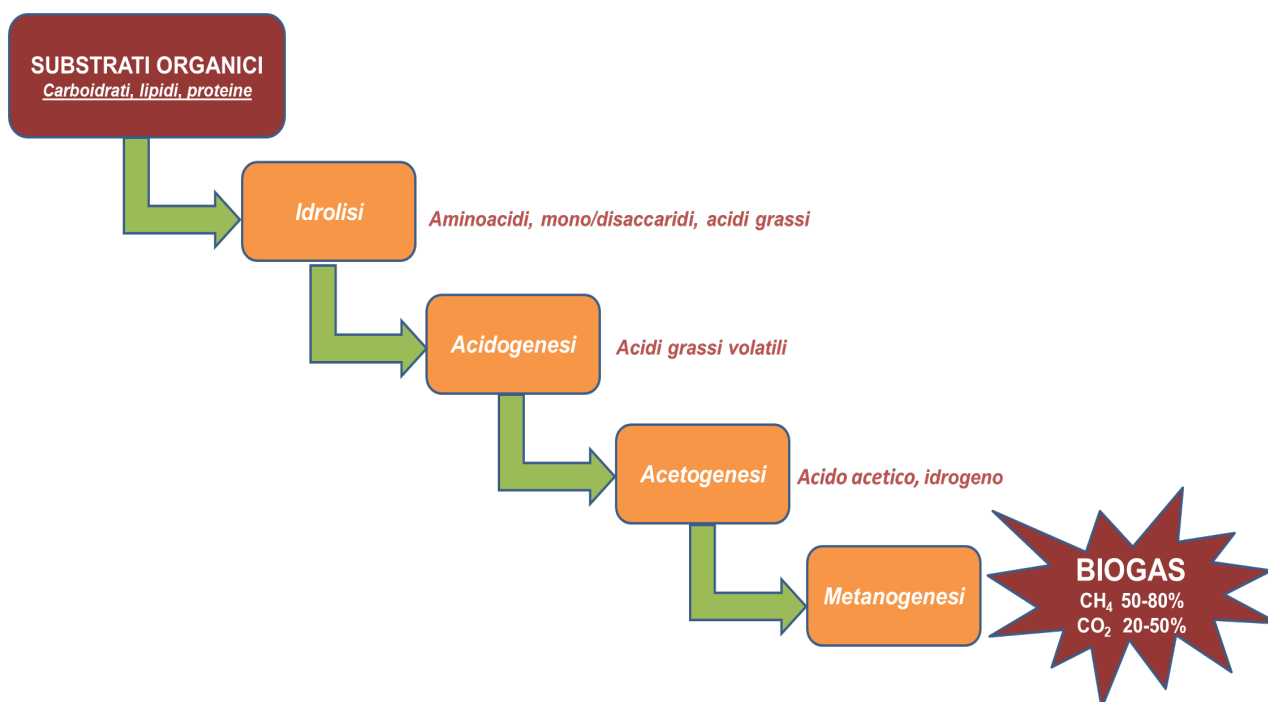


Figura 2 Schema generale del processo di digestione anaerobica

3. PRINCIPALI TECNICHE DI DIGESTIONE ANAEROBICA

Le tecnologie di digestione anaerobia possono essere classificate secondo diversi criteri, di seguito ne vengono riportati i principali

3.1 CONTENUTO IN SOSTANZA SECCA O SOLIDI TOTALI DELLE BIOMASSE

Il contenuto in sostanza secca (SS) o solidi totali (ST) (g/kg o %p/p) delle biomasse utilizzate nel processo rappresenta uno dei principali criteri di classificazione del processo di digestione anaerobia e permette di definire 3 differenti modalità di processo (Fig. 3):

- Digestione a umido

per biomasse con un contenuto in solidi totali < 10 %

- Digestione a semisecco

per biomasse con un contenuto in solidi totali compreso tra 10 e 20%

- Digestione a umido

per biomasse con un contenuto in solidi totali > 20 %



Figura 3 Processo di digestione anaerobia in funzione del contenuto in ST delle biomasse

3.2 TEMPERATURA

Uno dei parametri principali che regolano i processi di digestione anaerobia è la temperatura, e la sua corretta gestione è fondamentale al fine di avere processi efficienti e rese significative in biogas.

Ogni processo deve essere condotto a valori di temperatura favorevoli la crescita e le attività metaboliche dei ceppi microbici utilizzati.

Relativamente a questi ultimi, nello specifico per i processi di digestione anaerobia possono essere impiegati (Fig. 4):

- ceppi batterici psicrofili, attivi a T inferiori a 25 °C, in reazioni condotte in condizioni termiche di psicrofilia (digestori non termostatati)
- ceppi batterici mesofili, attivi a T comprese tra 25 °C e 45 °C, in condizioni di mesofilia (proprie dei più comuni processi di digestione anaerobia)
- ceppi batterici termofili, attivi a T superiori a 45 °C, in condizioni di termofilia (garantiscono alte efficienze di reazione).



Figura 4 – Valori di Temperatura dei Processi di digestione anaerobia



La temperatura influisce significativamente sulla durata del processo, determinando tempi, espressi come tempi medi di residenza della biomassa (HRT)¹⁰, compresi tra 20 e 40 giorni in condizioni di mesofilia, e inferiori generalmente ai 20 giorni in regime di termofilia.

I processi in condizioni di psicrofilia, condotti normalmente a temperatura non controllata, si caratterizzano per durata superiore a 50 giorni.

Gli impianti di digestione anaerobia operano comunemente in condizioni termiche di mesofilia o termofilia.

Le reazioni mesofile sono più lente rispetto a quelle termofile, possono essere però più facilmente standardizzate e comportano consumi energetici più bassi.

Le reazioni termofile si caratterizzano invece per efficienza e rese di produzione del biogas maggiori, ma comportano alti consumi energetici che possono influire su aspetti di sostenibilità economica.

3.3 MODALITÀ DI ALIMENTAZIONE DEL DIGESTORE

I processi possono essere classificati secondo la modalità di alimentazione del digestore in 3 differenti tipologie (Fig. 5):

- Discontinui (Carica singola - Batch o Semicontinua - Fed-Batch)
- Continui

¹⁰ Tempo medio di residenza idraulico: (HRT) rapporto tra il volume del reattore considerato e la portata di alimentazione al reattore. $HRT \text{ (giorni)} = Q \text{ (m}^3\text{/giorno)}/V \text{ (m}^3\text{)} = V/Q$, volume del reattore, Q, portata al reattore.

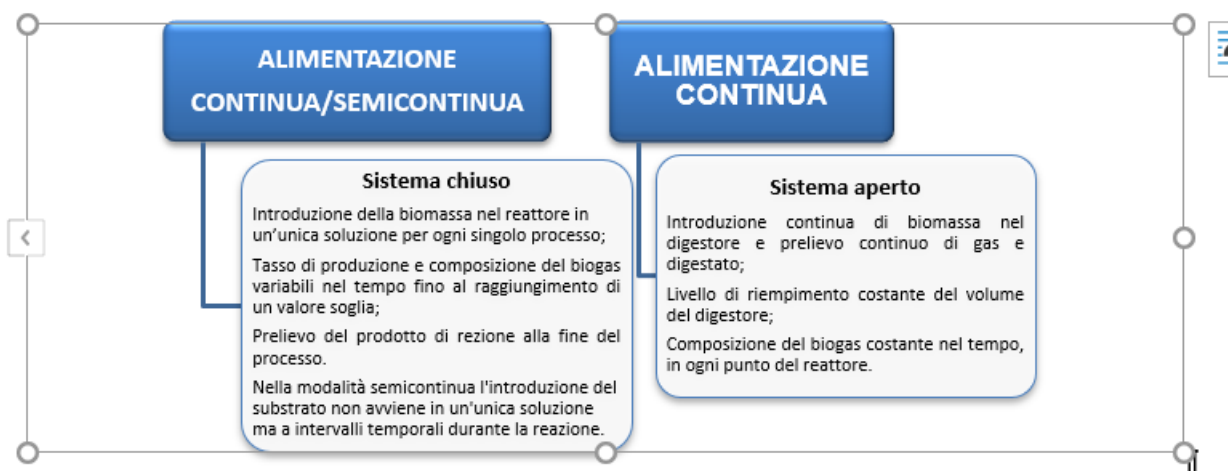


Figura 5 Processo di digestione anaerobia e modalità di alimentazione del substrato

Un processo discontinuo o “batch” prevede l'alimentazione del digestore con la biomassa in un'unica soluzione e lo scarico del reattore (con rimozione del biogas e del digestato) alla fine della reazione, con l'esaurimento della biomassa e l'accumulo di composti tossici, inibenti la crescita microbica, nell'ambiente di reazione.

La modalità di alimentazione semicontinua o “fed-batch” si basa invece sull'aggiunta continua di substrato colturale durante la reazione.

I processi discontinui e semicontinui sono esempi di sistemi chiusi, caratterizzati da basso livello di difficoltà impiantistica e quindi poco costosi, ma, soprattutto i discontinui, con basse efficienza e rese.

Un processo ad alimentazione continua si caratterizza invece per l'introduzione continua di biomassa durante la tutta la reazione e per il contemporaneo allontanamento del biogas e dei composti inibenti via via formantisi.

Al contrario del discontinuo, il processo continuo è un esempio di sistema aperto che permette di aumentare significativamente la resa e l'efficienza della reazione.



3.4 NUMERO DI STADI /REATTORI

Un processo di digestione anaerobia può essere svolto in un unico reattore (Processo monostadio) o in due digestori impiegati in sequenza (Processo bi-stadio).

3.4.1 Processo monostadio

Nei processi monostadio tutte le fasi della digestione anaerobia si svolgono in un unico digestore. Tali processi sono comunemente utilizzati per la digestione di substrati molto diluiti quali i reflui zootecnici.

3.4.2 Processo bi-stadio

Nei processi bi-stadio vengono utilizzati 2 digestori, il primo (1° stadio) per le fasi di idrolisi, acidogenesi, e acetogenesi, il secondo (2° stadio) invece, per la fase di metanogenesi.

I reattori utilizzati nel primo stadio hanno comunemente volumi minori rispetto a quelli utilizzati nel secondo stadio, e si caratterizzano quindi per tempi di reazione minori.

I processi bi-stadio possono essere ottimizzati con maggiore facilità, modulando le condizioni operative in funzione delle differenti cinetiche di crescita esistenti dei ceppi attivi nella fase finale del processo rispetto a quelli coinvolti nelle prime fasi.

Il loro impiego permette quindi un aumento (mediamente pari al 20%) della resa globale del processo di digestione rispetto ad un processo monostadio.¹¹

Rappresentano una modalità di processo idonea per matrici poco stabili, ad elevata acidità, quali ad esempio alcuni scarti delle produzioni agroindustriali (siero e scotta di latte, sansa di olive, pastazzo di agrumi).

¹¹ Manuali e Linee Guida 1/2001 ANPA-Dipartimento Prevenzione e Risanamento Ambientali Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane.

In Figura 6 sono schematizzati gli aspetti distintivi delle due modalità di processo

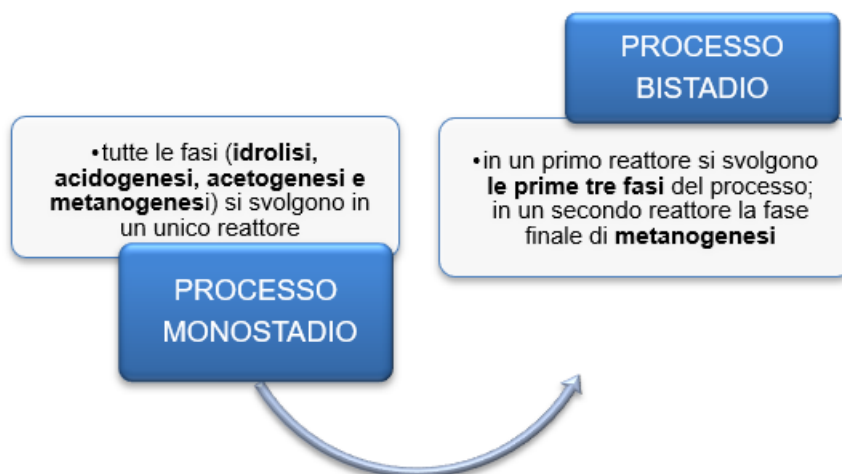


Figura 6 Processo di digestione anaerobia e numero di stadi

4. DIGESTORI - TIPOLOGIE

Le reazioni avvengono in digestori, reattori ermeticamente chiusi e controllati che preservano la biomassa dall'ossigeno atmosferico e garantiscono il mantenimento di temperature costanti, favorendo il processo di decomposizione della biomassa e la formazione di biogas.

Le applicazioni più diffuse prevedono l'impiego sia di reattori discontinui (batch o semicontinui), che di reattori continui (cfr. par. 3.3).

Esistono 2 tipologie principali di reattori continui, che differiscono tra di loro per il grado di miscelazione della biomassa operato al loro interno durante la digestione:

- reattori a miscelazione continua (Continuous Stirred Tank reactor, CSTR)
- reattori con flusso a pistone (Plug and Flow Reactor, PFR)

Nei reattori CSTR la miscela di reazione ha, per effetto di una continua miscelazione, composizione omogenea in ogni punto all'interno del reattore, uguale a quella del prodotto in uscita, e costante nel tempo.

Nei reattori PFR con flusso a pistone, comunemente utilizzati nelle digestioni a secco, la miscela di reazione ha composizione non omogenea ma costante nel tempo. La miscelazione all'interno del reattore è efficacemente ottenuta mediante il ricircolo del biogas generato.

La perfetta miscelazione all'interno dei digestori garantita nei due sistemi descritti è fondamentale perché rende omogenea la temperatura della miscela di reazione e favorisce l'attività dei ceppi microbici, permettendo così di ottimizzare la produzione di biogas.

I reattori continui hanno applicazioni sia in reazioni a secco che in quelle a umido; sono quindi adattabili a substrati differenti, con differenti proprietà chimico-fisiche, a differenza dei reattori batch, poco flessibili e comunemente impiegati per reazioni a secco.

Le caratteristiche principali dei sistemi descritti sono sintetizzate in Figura 7 (sistemi discontinui) e in Figura 8 (sistemi continui).

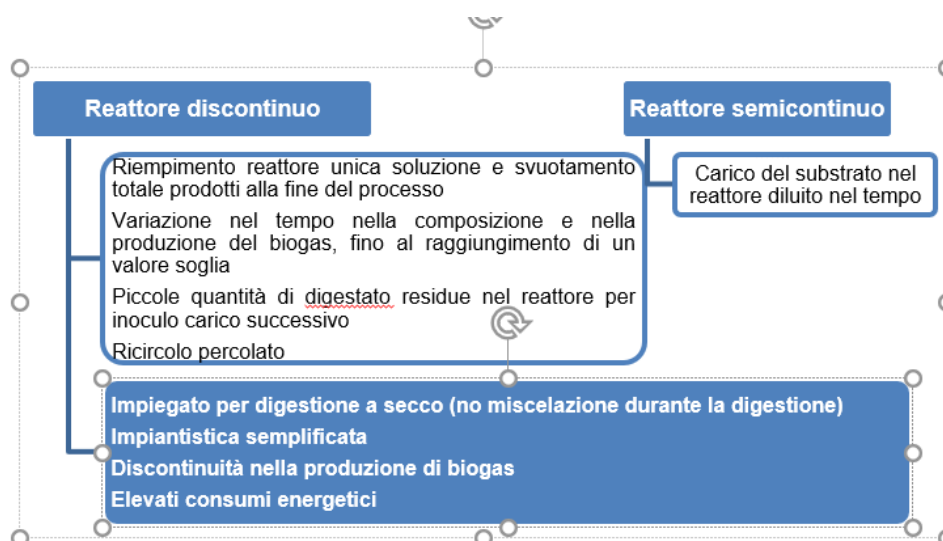


Figura 7 - Reattori discontinui e semicontinui



ENERGIA E SOSTENIBILITÀ
PER LA
PUBBLICA AMMINISTRAZIONE

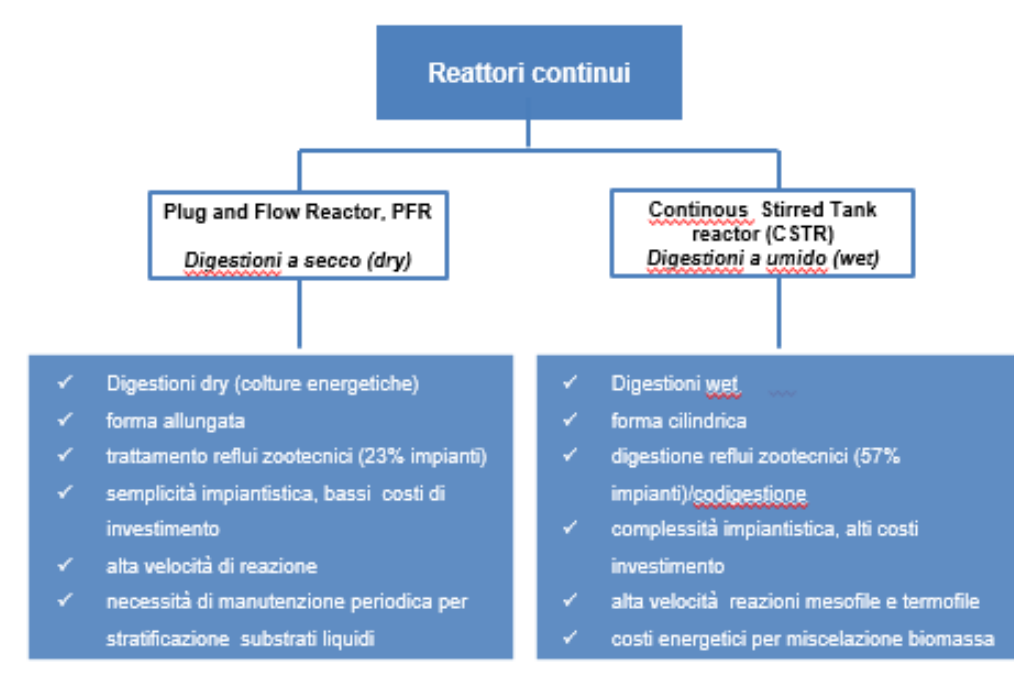


Figura 8 – Reattori continui: PFR e CSTR

5. MATRICI/BIOMASSE PER DIGESTIONE ANAEROBICA

Il biogas generato in un processo di digestione anaerobia è il prodotto della degradazione della componente organica della “biomassa.”

La definizione di biomassa quale “frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), 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 industriali e urbani” è riportata all'art. 2, lettera e) del D.lgs. 28/2011¹².

¹² “Attuazione della Direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, che modifica e abroga le precedenti direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE”.
Data ultima revisione: 08/04/2021



Le biomasse residuali, comprendenti numerose tipologie di matrici organiche di origine vegetale o animale, eterogenee per composizione, possono essere utilizzate per la produzione di biogas solo se soddisfano i criteri e le condizioni indicati all'art. 184 bis del Decreto legislativo n.152 del 3 aprile 2006 (Testo Unico Ambientale) perché ne sia consentita la gestione come sottoprodotti e non come rifiuti).

Per quanto concerne nello specifico i residui agro-industriali¹³ uno strumento prezioso ai fini di tale valutazione è rappresentato dall'allegato 1 (Biomasse residuali destinate all'impiego per la produzione di energia) del Decreto n. 264 del 13 ottobre 2016 del Ministero dell'Ambiente)¹⁴, nel quale sono indicate le norme principali che ne disciplinano l'uso, i trattamenti e le attività che, considerate normali pratiche industriali, ne rendono possibile l'attribuzione alla categoria dei sottoprodotti e quindi all'impiego per la produzione di biogas.

5.1 ORIGINE DELLE BIOMASSE

Nei processi di digestione anaerobia possono essere impiegate biomasse dedicate, quali colture energetiche vegetali, biomasse residuali (di origine animale o vegetale) della produzione primaria (Agricoltura e Zootecnia) e delle trasformazioni agroindustriali (Fig. 9).

¹³ Residuo di produzione (di seguito «residuo»): ogni materiale o sostanza che non è deliberatamente prodotto in un processo di produzione e che può essere o non essere un rifiuto- Art. 2 , Decreto 13 ottobre 2016 , n. 264 .

¹⁴ “Regolamento recante criteri indicativi per agevolare la dimostrazione della sussistenza dei requisiti per la qualifica dei residui di produzione come sottoprodotti e non come rifiuti”.



ENERGIA E SOSTENIBILITÀ
PER LA
PUBBLICA AMMINISTRAZIONE

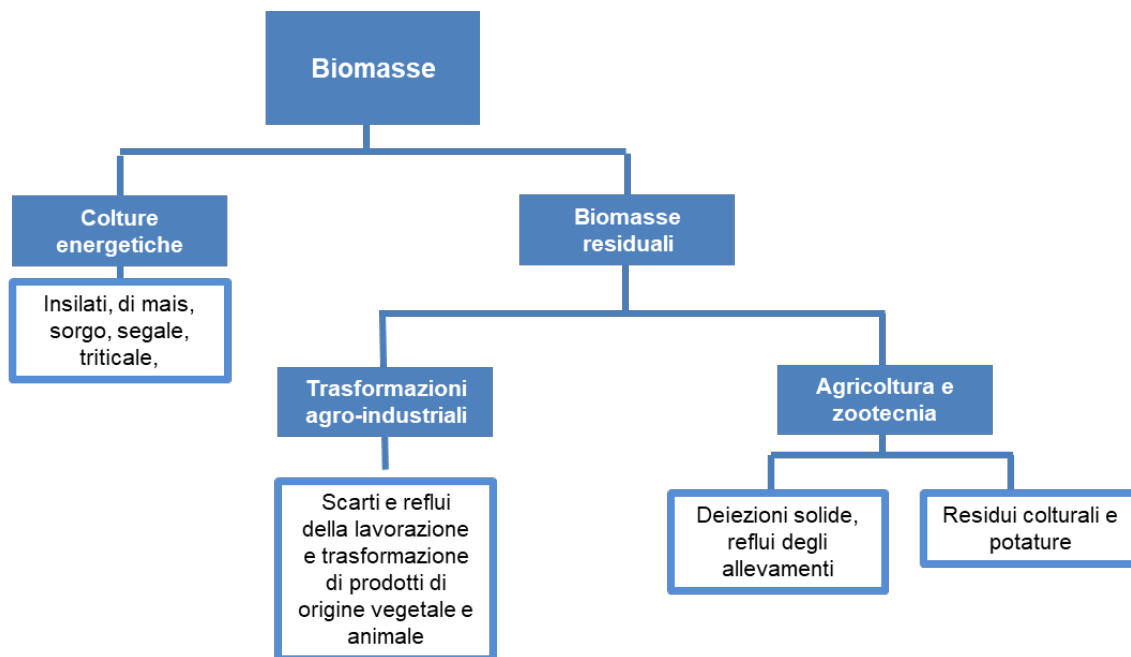


Figura 9 - Biomasse impiegate per la digestione anaerobia a scopi energetici

Le biomasse residuali che hanno le maggiori potenzialità applicative a scopo energetico sono “concentrati” essenzialmente nell’ambito dei seguenti comparti agro-industriali:

- lattiero-caseario
- lavorazione delle carni
- trasformazione ortaggi e frutta
- oleario
- vinicolo

Le biomasse si caratterizzano per significativa eterogeneità nella composizione organica, poiché comprendono matrici di natura lignocellulosica, proteica, lipidica, amidacea/zuccherina derivanti dalle produzioni primarie e matrici complesse (lipidico/proteiche, glucidico/proteiche; glucidico/lipidiche), derivanti dalle trasformazioni agroindustriali.

La natura della componente organica influenza la resa del processo e la produzione in biogas e metano.

Matrici organiche lipidiche determinano rese produttive in biogas e biometano più alte rispetto a matrici glucidiche e proteiche (Tab.2) che, si caratterizzano, però, per più alte velocità di degradazione e conseguentemente, di conversione in biogas.

Tabella 2- Rese medie in biogas e biometano delle principali classi di composti organici

COMPOSTI ORGANICI	BIOGAS (m³/KgSV)	METANO NEL BIOGAS %	METANO (m³/KgSV)
CARBOIDRATI	0,75	50	0,37
PROTEINE	0,61	65	%
GRASSI	1,02	63	0,64

Fonte C.R.P.A.

La velocità di degradazione è un'importante caratteristica delle biomasse energetiche e residuali e incide in maniera significativa sulla modalità e sui tempi del processo di digestione oltre che sul capacità del digestore.



5.2 CARATTERISTICHE DI IDONEITÀ' DELLE BIOMASSE ALLA PRODUZIONE DI BIOGAS

Le biomasse residuali vengono valutate per la loro idoneità alla produzione di biogas in uno specifico processo, rispetto alcuni parametri chimico-fisici, quali, tra i più importanti:

- Umidità (pari alla quantità di acqua contenuta in un kg di biomassa umida) (% g H₂O/Kg)
- Rapporto Carbonio/Azoto (C/N) (esprime il rapporto tra quantità di Carbonio e quantità di Azoto presente nella biomassa ed è un parametro fondamentale per la pianificazione delle modalità di processo)
- Potere calorifico inferiore o netto¹⁵ (indice del potenziale di combustione del biogas) (kJ/kcal/kg o kWh/kg)
- Potenziale Metanigeno o Biochemical Methane Potential - BMP (esprime la quantità di biogas/metano potenzialmente ottenibile dalla degradazione di una biomassa) (Nm³ biogas o metano /kgSV*)

Biomasse con elevata umidità (superiore al 30%) e con valori del rapporto carbonio/azoto inferiori a 30 (quindi con prevalenza della componente azotata rispetto a quella glucidica) sono idonee alla produzione di biogas.

Al contrario biomasse con un elevato contenuto in componenti lignino-cellulosiche sono meno adatte al processo di digestione anaerobia e alla produzione di biogas in quanto tali componenti inibiscono l'attività dei batteri idrolitici coinvolti nella prima fase del processo.

¹⁵ Il potere calorifico inferiore viene definito come "potere calorifico superiore diminuito del calore di condensazione del vapore d'acqua durante la combustione".



Il potere calorifico inferiore del biogas prodotto è un parametro fondamentale per la valutazione del reale “valore energetico” e quindi della convenienza all’impiego della specifica biomassa utilizzata per la sua produzione.

Esso dipende dalle caratteristiche chimico-fisiche della biomassa utilizzata, ed è più alto per le biomasse di natura lipidica (quali le colture energetiche, gli scarti della lavorazione delle carni o altri scarti agroindustriali complessi) rispetto alle biomasse lignocellulosiche.

Il Potenziale Metanigeno, che esprime la resa potenziale in biogas /biometano delle biomasse è un parametro fondamentale per un loro efficiente impiego nel processo di digestione, ai fini della ottimizzazione produttiva.

I processi di digestione anaerobia per la produzione di Biogas vengono abitualmente condotti utilizzando differenti substrati organici (matrici ad elevata resa energetica) in co-digestione con effluenti o reflui zootecnici, al fine di sfruttare in maniera sinergica le potenzialità di ciascuno di essi, minimizzarne i limiti, e avere alte rese di produzione.

Questa modalità di impiego delle biomasse permette di ottimizzare il processo e di standardizzarlo, determinando anche vantaggi di natura economica.



Di seguito in Tabella 3 sono riportate le rese produttive in biogas (m^3 Biogas/t•Solidi Volatili ¹⁶) di differenti biomasse, derivanti dalla produzione primaria (agricoltura e zootecnia) e dai processi di trasformazione

**Tabella 3 – Resa produttiva in biogas delle principali biomasse impiegate
per la Digestione anaerobia**

MATRICI ORGANICHE	m^3 BIOGAS/t•SV*
Deiezioni animali (suini, bovini, avicunicoli)	200-500
Residui colturali (paglie, tutoli...)	350-400
Scarti agroindustriali (siero, scarti vegetali, vinacce, pastazzo agrumi, reflui oleari....)	400-800
Scarti macellazione (grassi, sangue, contenuto stomacale e intestinale..)	550-1000
Fanghi di depurazione	250-350
Colture energetiche (mais, sorgo zuccherino..)	550-750
Forsu	400-600

Fonte C.R.P.A

Nella Tabella 4 sono confrontate biomasse di natura vegetale e di natura animale, in relazione ad alcuni dei parametri che ne influenzano l'idoneità alla digestione anaerobia per la produzione di biogas, descritti in precedenza.

¹⁶ Solidi volatili (SV): frazione della sostanza secca costituita da sostanza organica
Data ultima revisione: 08/04/2021

Tabella 4 - Confronto tra biomasse vegetali e animali

MATRICI RESIDUALI DI ORIGINE VEGETALE	MATRICI RESIDUALI DI ORIGINE ANIMALE
Alto contenuto in sostanza organica (zuccheri, fibre)	Alto contenuto in sostanza organica (lipidi, proteine)
Alto rapporto C/N	Basso rapporto C/N
Potenziale metanigeno medio	Potenziale metanigeno medio/alto
Instabilità	Criticità legate allo stoccaggio
Stagionalità	Disponibilità continuativa

5.3 ASPETTI LIMITANTI L'USO ENERGETICO DELLE BIOMASSE

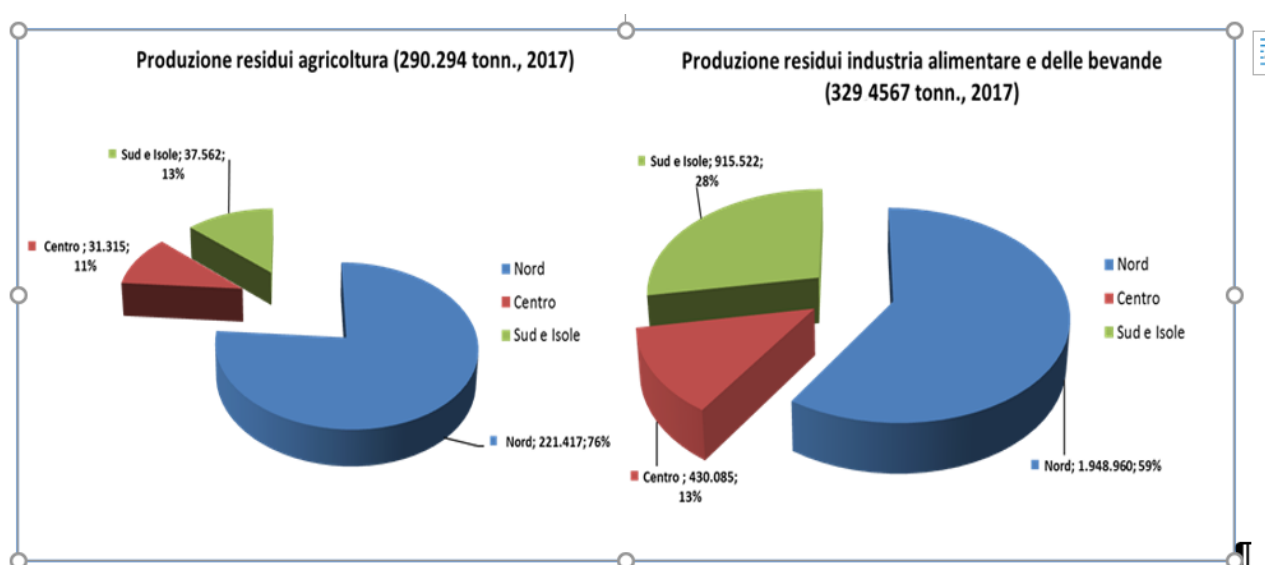
L'impiego a scopo energetico delle biomasse residuali è soggetto a una serie di vincoli relativi a:

- Diffusione e disponibilità

In Italia vi è un'elevata disponibilità di biomasse residuali poiché i comparti agricolo, zootecnico e agroindustriale svolgono un ruolo trainante nell'ambito del nostro sistema produttivo ed economico.

La diffusione è strettamente correlata alla distribuzione e allo sviluppo nel territorio italiano delle attività da cui esse sono generate.

I residui organici generati dalle attività agricole e agro-industriali potenzialmente utilizzabili come biomasse per la digestione anaerobia, erano stimati nel 2017 in quantitativi prossimi a 4 milioni di tonnellate (Fig. 10).



Elaborazione Dati ISPRA, 2017

Figura 10 - Residui agricoltura e agroindustria

La quantità/disponibilità di residui, in rapporto alla materia prima trasformata, è pari a percentuali comprese tra il 4,5% per gli scarti della lavorazione del pomodoro e degli agrumi, e l'83% per il settore lattiero caseario (Tab. 5).

Tabella 5 – Disponibilità biomasse residuali agro-industriali

BIOMASSE RESIDUALI	Disponibilità (%) (Kt Residui/Kt trasformati)
Buccette, semi pomodoro	4,5%
Sanse vergini	4,5%
Vinacce	20%
Pastazzo agrumi	55%
Siero e altri reflui	83%
SOA (bovini, suini, avicoli) cat. 3 e 2 assimilati ¹⁷	11,4%

Elaborazione Fonte C.R.P.A.

6. EFFICIENZA DEL PROCESSO DI DIGESTIONE ANAEROBIA

Un processo di digestione anaerobia efficiente è il risultato oltre che di una corretta pianificazione, del monitoraggio e della gestione di parametri operativi quali:

- Temperatura, perché le variazioni di temperatura influiscono in maniera significativa sull'attività dei ceppi microbici coinvolti nel processo di digestione anaerobia, e di conseguenza sulle prestazioni generali del processo)
- pH, indice della stabilità della reazione

¹⁷ Per "Sottoprodotti di Origine Animale" (SOA), secondo l'art. 3 del Regolamento CEE n. 1069/2009, si intendono i residui biodegradabili che comprendono "corpi interi o parti di animali, prodotti di origine animale o altri prodotti ottenuti da animali, non destinati al consumo umano".

Ai sensi del Regolamento CEE n. 1069/2009, i SOA sono classificati in tre categorie:

Categoria 1: comprende sottoprodotti quali ruminanti morti in stalla o parti di bovini regolarmente macellati che presentano un rischio elevato, anche non accertato, di BSE (encefalo, midollo spinale, tonsille, intestini, ecc.). Rientrano in questa tipologia i materiali definiti Materiale Specifico a Rischio (MSR).

Categoria 2: comprende sottoprodotti quali animali morti di specie aviarie, mammiferi morti, diversi dai ruminanti o contenenti residui di farmaci, stallatico.

Categoria 3: comprende sottoprodotti il cui rischio sanitario è minore



- Rapporto (C/N) della biomassa, un parametro di cui deve essere garantito il mantenimento all'interno di un intervallo predefinito che tiene conto della maggiore velocità di utilizzazione del carbonio rispetto all'azoto da parte dei microrganismi
- Alcalinità, espressione della "capacità tampone" del sistema in risposta ai cambiamenti del pH determinati dall'evolvere della reazione
- Concentrazione di acidi grassi volatili (VFA) (un aumento di tale parametro è correlato alla diminuzione dei valori di pH)
- Rapporto tra acidi grassi volatili ed alcalinità
- Concentrazione dell'inoculo microbico
- Carico organico (OLR), pari alla quantità di substrato entrante nel reattore durante il processo ($\text{kg substrato/m}^3 \text{ reattore giorno}$)
- Tempo di residenza idraulico (HRT), e tempo medio di residenza dei solidi (SRT) corrispondenti, rispettivamente, ai giorni di permanenza del substrato organico e dei microrganismi nel reattore
- Produzione specifica di gas (SGP), e velocità di produzione del biogas (GPR)
- Efficienza di rimozione del substrato dal reattore.

In Tabella 6 sono riportati i valori di riferimento operativo di alcuni dei parametri descritti:

Tabella 6 - Indicatori di stabilità del Processo di Digestione Anaerobia

PARAMETRI OPERATIVI	VALORI DI RIFERIMENTO)
Temperatura processo	- Mesofilia: 30-35 °C - Termofilia: 50-55 °C - Psicrofilia: < 20°C
pH	6.6-8.0
Tempo di residenza (HRT)	> tempo duplicazione popolazione batterica
Acidità volatile (VFA)	< 15 meq/L
Alcalinità	> 50 meq/L
Rapporto C/N biomassa	25-35

6.1 PRETRATTAMENTI DELLA BIOMASSA ED OTTIMIZZAZIONE DEL PROCESSO

Nell'ambito del processo di digestione anaerobica la fase di idrolisi, durante la quale si generano gli intermedi solubili che vengono successivamente convertiti in biogas, è strettamente correlata alla biodegradabilità e al tasso di idrolisi della biomassa, e ha un ruolo importante nel determinare l'efficienza della produzione di biogas.

Questa fase può essere favorita operando opportuni pretrattamenti (fisici, chimici, biologici o enzimatici) sulle biomasse, al fine di aumentarne la biodegradabilità, e renderle più facilmente attaccabili dai microrganismi.

Poiché la grandezza delle particelle della biomassa ha effetti sulla efficienza di produzione del biogas, solitamente attraverso opportuni trattamenti fisici di separazione, sfibratura, omogeneizzazione ne vengono ridotte le dimensioni a valori compresi tra 0.088 e 0.40 mm, diminuendo di conseguenza il volume della biomassa e il rischio di intasamento del digestore.

Pretrattamenti basati sull'impiego di specifici microrganismi sono utilizzati con successo per aumentare la biodegradabilità dei residui agroindustriali ricchi in componenti lignocellulosiche.

Analogamente a quanto avviene per la biomassa in ingresso, il biogas “grezzo” generato richiede trattamenti più o meno spinti di purificazione che lo rendano idoneo a scopi energetici.

Nella maggior parte dei casi si tratta di una sequenza di trattamenti chimico-fisici, quali filtrazione su ghiaia e sabbia, desolforazione, rimozione della CO₂, raffreddamento e deumidificazione, che ne consentono un corretto ed efficiente successivo impiego nei sistemi di cogenerazione.

6.2 TIPOLOGIE E DIMENSIONAMENTO DEGLI IMPIANTI A BIOGAS

Una corretta progettazione degli impianti è essenziale al fine di avere processi standardizzati e efficienti, riproducibili ed economicamente sostenibili.

Le caratteristiche tecnologiche del digestore e il layout dell'impianto sono determinati dalle proprietà della biomassa da sottoporre a digestione (tipologia, stato solido o liquido, modalità di alimentazione al digestore, continuità nella disponibilità) .

Gli impianti che impiegano biomasse di origine agricola, sono nella quasi totale maggioranza digestori continui monostadio CSTR, operanti in processi ad umido, “wet” con substrati miscelabili (scarti di produzione ortofrutticole e floricole, sottoprodotti di trasformazioni agroalimentari, reflui zootecnici, residui di coltivazioni) caratterizzati quindi da un rapporto (C/N) inferiore a 30 e umidità superiore al 30% .

Altre applicazioni, in processi “dry”, vedono invece l'impiego di sistemi continui plug flow (con alimentazione del substrato a pistone) o sistemi discontinui.



6.3 ELEMENTI DI UN IMPIANTO A BIOGAS

Il layout di un impianto a biogas e la tipologia di digestore variano in funzione delle matrici organiche, di natura liquida o solida, utilizzate per il processo di digestione.

Sono comunque comuni a tutti gli impianti i seguenti elementi costitutivi fondamentali (Fig. 11):

- Serbatoio/i per lo stoccaggio della biomassa (pretrattamento e miscelazione prima dell'immissione nel fermentatore)
- Sistema di alimentazione del substrato
- Sistema di agitazione
- Digestore/i (la biomassa sedimenta nella parte inferiore del reattore, il biogas si accumula nella parte superiore)
- Serbatoio esterno per lo stoccaggio finale del biogas (eventualmente collegato a un'unità di cogenerazione)
- Serbatoio per lo stoccaggio del digestato

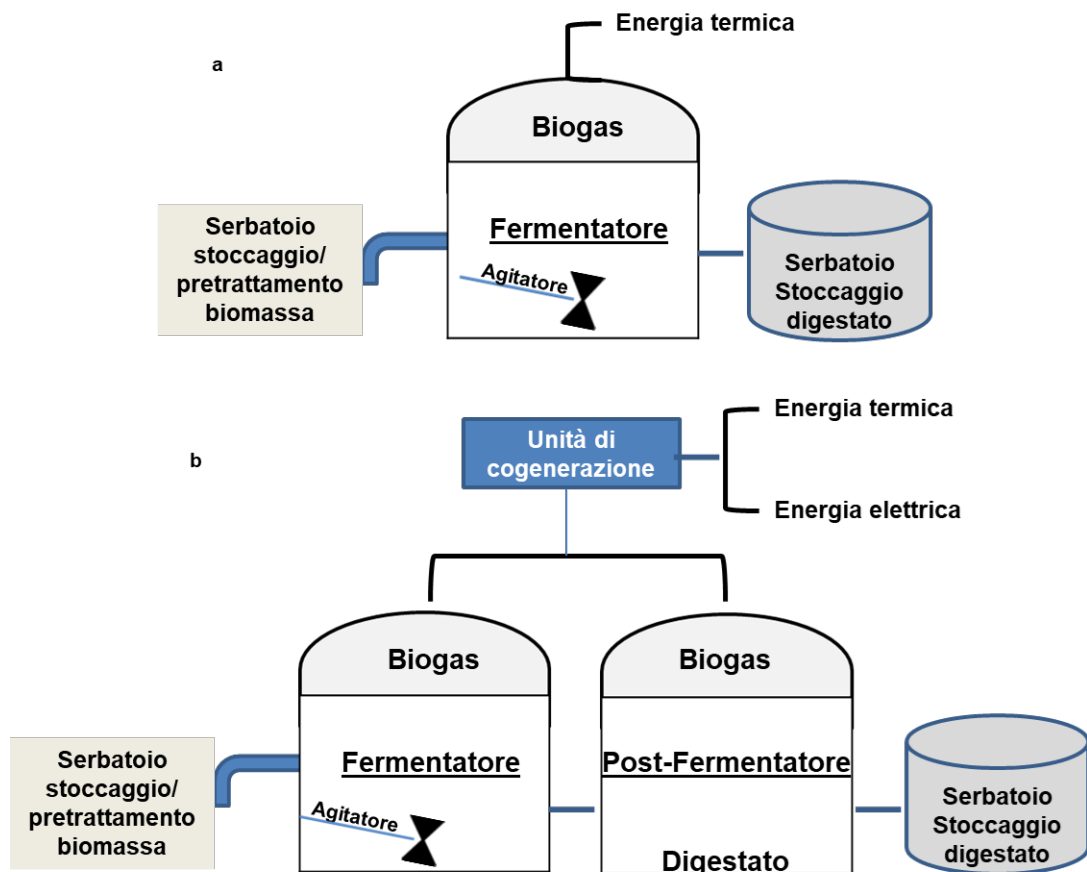


Figura 11 (a, b) - Schemi semplificati di impianti a Biogas

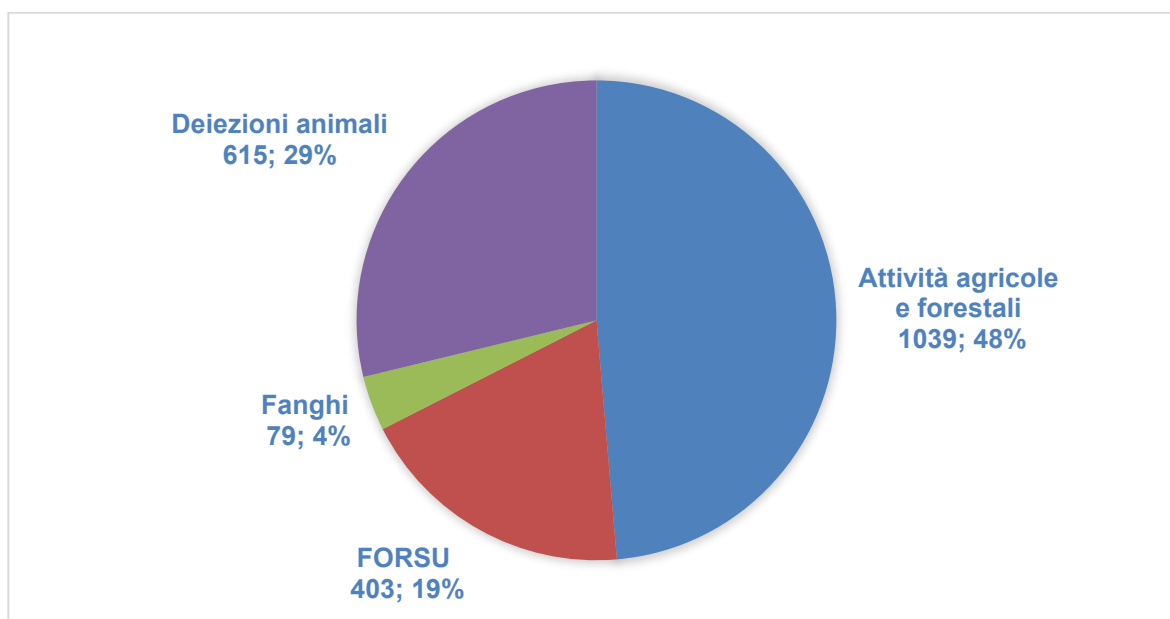
Fondamentali per l'efficienza e la sostenibilità del processo sono il sistema di alimentazione e quello di agitazione della biomassa .

- il primo, in funzione della tipologia di biomassa (solida o liquida) ne consente l'immissione nel digestore senza eccessivo consumo energetico
- il sistema di agitazione permette di realizzare nel digestore condizioni di omogeneità idonee ad una ottimale produzione di biogas.



7. DIFFUSIONE DEGLI IMPIANTI A BIOGAS IN ITALIA

La produzione di biogas per digestione anaerobia ha evidenziato negli ultimi 10 anni uno sviluppo quasi esponenziale nel nostro paese. L'Italia è il quarto produttore mondiale e secondo produttore europeo di biogas derivante da biomasse di origine agricola (CIB). Nel dicembre 2018 erano presenti in Italia 2136 impianti a biogas a cogenerazione, il 48% dei quali alimentati con biomasse di origine agricola e più numerosi rispetto agli impianti tradizionali, operanti esclusivamente con FORSU o effluenti zootecnici (Fig. 12).



Fonte: elaborazione dati GESTORE SISTEMA ELETTRICO (GSE), 2018

Figura 12 – Ripartizione degli impianti a Biogas in Italia in funzione dei substrati di alimentazione

Gli impianti a Biogas a cogenerazione, con 1448 Mwe installati, e produzione di energia elettrica pari a 8299,6 GWh, (6791,9 GWh, garantiscono il 43,3% della produzione italiana di elettricità.

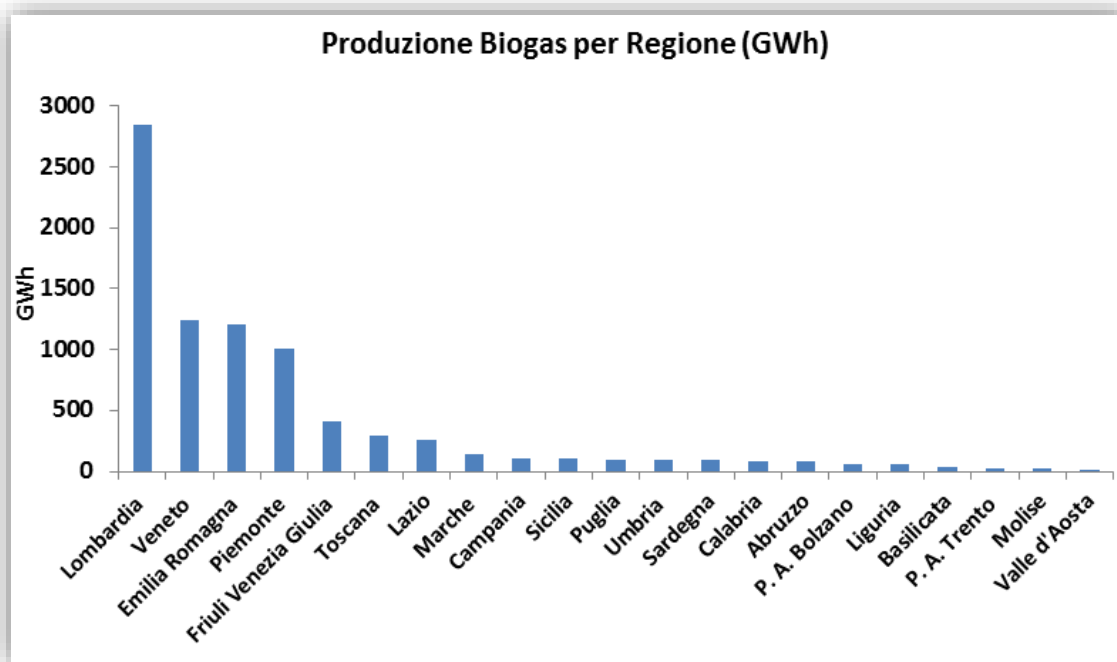


ENERGIA E SOSTENIBILITÀ
PER LA
PUBBLICA AMMINISTRAZIONE

Il 70% degli impianti ha una potenza compresa tra 200 kW e 1MW, il 20% tra 50 kW e 200 kW, i rimanenti una potenza tra 1 e 10 MW, o inferiore a 50 kW.

In molte piccole-medie aziende agricole sono presenti impianti a biogas di piccola taglia, a cogenerazione di elettricità e di calore, alimentati con reflui zootecnici e altri scarti delle attività aziendali. La maggior parte di questi impianti si caratterizza per potenze medie di circa 60 kW.

Nelle regioni del Nord Italia, in particolare in Lombardia, si osservano i più alti livelli produttivi (GWh) di energia elettrica da impianti a biogas (Figura 13).



Fonte: Elaborazione dati Rapporto Statistico GSE 2018 Fonti Rinnovabili

Figura 13 – Produzioni regionali di energia elettrica da impianti a biogas a cogenerazione

8. VANTAGGI DI UN IMPIANTO A BIOGAS

Gli impianti a biogas rappresentano un'importante modalità di produzione, in maniera diffusa, di energia “pulita”, alternativa all'impiego di combustibili fossili.

L'inserimento di un impianto a biogas per la produzione di energia in un contesto di attività agro-industriale si caratterizza per indubbi vantaggi di natura ambientale.

- Il primo, fondamentale, è legato alla diminuzione dell'effetto serra conseguente alla ridotta emissione di gas climalteranti rispetto all'impiego di combustibili fossili
- l'utilizzo del biogas a scopo energetico permette inoltre di salvaguardare risorse fossili e garantisce al tempo stesso energia ad alto rendimento termico ed elettrico
- rappresenta infine una giusta scelta per una gestione di scarti e reflui di produzione/lavorazione, sostenibile, in un'ottica di economia circolare, permettendo di ridurre l'impatto ambientale determinato da sversamenti in acque e suolo.

9. VALUTAZIONI ECONOMICHE E INCENTIVI

L'inserimento in azienda di un piccolo impianto di biogas offre sicuramente vantaggi economici determinati da una gestione meno onerosa dei rifiuti e dalla riduzione dei costi energetici, oltre che da incentivi di natura fiscale.

I costi degli impianti a biogas dipendono dalle caratteristiche dell'impianto e dalle matrici impiegate per la digestione.

La componente fissa dei costi (gestione e manutenzione) incide non in maniera direttamente proporzionale alle dimensioni/capacità dell'impianto, per cui impianti molto piccoli, con potenza inferiore a 50 kW risultano poco sostenibili, non essendo le incentivazioni fiscali sufficienti a compensare i costi di investimento.

Una maggiore convenienza economica caratterizza impianti con potenza compresa superiore a 100 kW ma inferiore a 300 kW, poiché le aziende che utilizzano "in situ" l'energia termica prodotta, possono accedere direttamente agli incentivi fiscali, in accordo con la Legge n. 145/2018, seguendo le modalità previste dal decreto ministeriale DM 23 giugno 2016. "Incentivazione dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili diverse dal fotovoltaico".

Gli impianti a biogas per la produzione di energia elettrica possono usufruire di differenti tipologie di incentivazione, gestite dal Gestore Sistema elettrico (GSE). In Tabella 7 ne sono riportati alcuni.

Tabella 7 - Incentivazioni fiscali impianti biogas a cogenerazione

INCENTIVAZIONI
Tariffa Onnicomprensiva (TO)
Certificati Verdi (CV)
Scambio sul Posto (SSP)
Qualifica impianti alimentati da fonte rinnovabile (IAFR),
Incentivi GRIN o CIP6/92

Nel Decreto Ministeriale del 2 marzo 2018 “per lo sviluppo della filiera del biometano in Italia promuovendo ed incentivando il biometano come biocarburante destinato ai trasporti”, che segna una fase fondamentale per lo sviluppo del settore del biogas/biometano, in particolare per il settore agricolo, sono state introdotte specifiche misure di incentivazione relative al biometano avanzato¹⁸, ottenuto a partire da rifiuti, scarti, sottoprodotti agricoli e agroindustriali.

Più recentemente, con Decreto Ministeriale DM 4 luglio 2019, sono stati introdotti nuovi meccanismi per gli incentivi per impianti fotovoltaici, eolici on-shore, idroelettrici e a gas residuati dei processi di depurazione. Possono beneficiare di questa normativa gli impianti a gas residuati dei processi di depurazione di nuova costruzione, riattivazione o potenziamento.

¹⁸ Il biometano ottenuto dalla digestione anaerobia delle biomasse indicate nell'allegato 3, Parte A del DM 10.10.2014 (residui agricoli, di produzione o coltura di secondo raccolto
Data ultima revisione: 08/04/2021



**ENERGIA E SOSTENIBILITÀ
PER LA
PUBBLICA AMMINISTRAZIONE**

SITOGRAFIA

ENEA - AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

<https://www.enea.it>

CONSORZIO ITALIANO BIOGAS

<https://www.consorziobiogas.it>

C.R.P.A. S.P.A. - CENTRO RICERCHE PRODUZIONI ANIMALI S.P.A.

www.crpa.it

ENAMA - ENTE NAZIONALE MECCANIZZAZIONE AGRICOLA, ROMA ...

<https://www.enama.it>

ISPRA - ISTITUTO SUPERIORE PER LA PROTEZIONE E LA RICERCA AMBIENTALE

<https://www.isprambiente.gov.it>

GSE – gestore sistema elettrico

<https://www.gse.it>

Rinnovabili.it | Il Quotidiano sulla sostenibilità ambientale

<https://www.rinnovabili.it>



**ENERGIA E SOSTENIBILITÀ
PER LA
PUBBLICA AMMINISTRAZIONE**