

ENERGIA

Studio LCA della filiera del biogas per la
produzione di energia elettrica





ENERGIA

Studio LCA della filiera del biogas per la produzione di energia elettrica

Autori:

Giuliana Ansanelli, Antonietta Cerbone, Gabriella Fiorentino, Alessandro Giocoli, Vincenzo Motola, Amalia Zucaro

Revisione critica:

Simona Scalbi

ENEA - Dipartimento Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali

Data di redazione: Dicembre 2021

Data di pubblicazione: Luglio 2025

Sommario

1	Sintesi.....	10
2	Scopo del documento	12
3	Descrizione della filiera.....	12
3.1	Prodotti rappresentativi della filiera nazionale.....	13
3.2	Impatto socio-economico della filiera.....	35
3.3	Impatti ambientali e strumenti di sostenibilità.....	37
4	Gruppo di lavoro	39
5	Ambito di applicazione dello studio.....	39
5.1	Funzione del sistema, unità funzionale e flusso di riferimento	40
5.2	Confini del sistema.....	40
5.3	Assunzioni e giudizi di valore	42
5.4	Gestione della multifunzionalità	42
5.5	Revisione critica	43
5.6	Modellizzazione e metodologia di analisi degli impatti.....	44
5.7	Informazioni ambientali aggiuntive	44
6	Modellazione dei dataset della filiera	44
7	Analisi di inventario	48
7.1	Assunzioni utilizzate nello studio	50
7.2	Descrizione e documentazione processi unitari.....	50
7.3	Sviluppo dei datasets	69
8	Valutazione degli impatti ambientali	70
8.1	Caratterizzazione	71
8.2	Normalizzazione.....	83
8.3	Pesatura	94
8.4	Analisi di sensibilità.....	103
9	Interpretazione dei risultati	108
9.1	Categorie di impatto rilevanti.....	109
9.2	Fasi del ciclo di vita e processi rilevanti.....	109
9.3	Flussi elementari rilevanti	110

10	Conclusioni	110
11	Bibliografia	111
12	Allegati al Rapporto di filiera	114

Lista delle Figure

Figura 1 Energia elettrica da biogas. Fonte: Elaborazione personale adattata da GSE, 2019.....	14
Figura 2 Produzione territoriale di energia elettrica da biogas. Fonte: Elaborazione personale adattata da GSE, 2019.	15
Figura 3 Schema di filiera di biomasse di origine agricola Fonte: Elaborazione personale adattata da regione Marche, 2013.	17
Figura 4 Schema di filiera di biomasse di origine non agricola. Fonte: Elaborazione personale adattata da regione Marche, 2013.....	18
Figura 5 Pro e contro dell'utilizzo di colture dedicate. Fonte: Elaborazione personale adattata da regione Marche,2013.....	20
<i>Figura 6 Vantaggi e svantaggi dell'utilizzo dei reflui zootecnici. Fonte: Elaborazione personale adattata da regione Marche, 2013.....</i>	<i>21</i>
Figura 7 Pro e contro dell'utilizzo di sottoprodotti e rifiuti. Fonte: Elaborazione personale adattata da regione Marche, 2013.	22
Figura 8 Schematizzazione del processo di digestione anaerobica. Fonte: Elaborazione personale adattata da regione Marche,2013.....	23
Figura 9 Gruppi batterici attivi nel processo e relativi substrati e prodotti metabolici. Fonte: Elaborazione personale adattata da regione Marche,2013.	24
Figura 10 Valori di riferimento dei principali parametri del processo di digestione anaerobica. Fonte: Elaborazione personale adattata da regione Marche, 2013.	25
Figura 11 Ripartizione delle tipologie di biomasse in alimentazione, pesata sulla potenza elettrica degli impianti. Fonte: Elaborazione personale adattata da ISPRA, 2018.	29
Figura 12 Schema elementare delle principali componenti di una filiera del biogas. Tratto da Busato (2020).....	30
Figura 13 La filiera del biogas e le sue fasi.....	31
<i>Figura 14 Schema di un impianto alimentato a FORSU. Fonte: https://www.biowaste.it/impianto-alimentato-a-forsu.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 15 Schematizzazione di alcuni trattamenti a cui si deve sottoporre il biogas per le più comuni utilizzazioni. Fonte: Elaborazione personale adattata da regione Marche, 2013.</i>	<i>32</i>
Figura 16 Possibili tecnologie di utilizzo del biogas e principali destinazioni dell'energia. Fonte: Elaborazione personale adattata da regione Marche, 2013.....	33
Figura 17 Schema di un impianto di cogenerazione. Tratto da CIB (2017).....	34
<i>Figura 18 Schema metodologico di impatto economico. Fonte: Elaborazione personale adattata da Fiper, 2018.</i>	<i>36</i>
Figura 19 Confini del sistema per le biomasse dedicate dalla "culla al cancello".....	41
Figura 20 Confini del sistema per le biomasse di scarto, dal "cancello al cancello" (approccio "zero burden").	41
Figura 21 Contributo percentuale di ciascuna classe alla produzione di 1 kWh elettrico da biogas in Italia.....	72
Figura 22 Contributo percentuale di ciascun input alla classe 1-700 kW (CL1).	73
Figura 23 Contributo percentuale di ciascun input alla classe 701-1700 kW.....	75
Figura 24 Contributo percentuale di ciascun input della classe CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi) alla produzione di 1 kWh elettrico da biogas.	80
Figura 25 Impatti normalizzati per la produzione di 1 kWh elettrico da biogas in Italia.	83
Figura 26 Impatti normalizzati per la classe CL1 (1-700kW).	86
Figura 27 Impatti normalizzati per la classe CL2 (701-1700 kW).	86
Figura 28 Impatti normalizzati per la classe CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi).	91
Figura 29 Impatti pesati per la produzione di 1 kWh elettrico da biogas in Italia.....	94

Figura 30 Impatti pesati per la classe CL1 (1-700 kW).....	95
Figura 31 Impatti pesati per la classe CL2 (701-1700 kW).	96
Figura 32 Impatti pesati per la classe CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi).	101
Figura 33 Confronto dei risultati LCA con e senza allocazione	104
Figura 34 Confronto scenario base (CL1) e scenario con i proxy delle biomasse modificati (CL1 sensibilità).....	106
Figura 35 Confronto scenario base (CL2) e scenario con i proxy delle biomasse modificati (CL2 sensibilità).....	107

Lista delle Tabelle

Tabella 1 Numero e potenza degli impianti di produzione elettrica alimentati da biogas (fonte GSE, 2019).	14
Tabella 2 Composizione media del biogas. Elaborazione personale adattata da Busato, 2020.....	19
Tabella 3 Quadro delle biomasse residuali avviabili a digestione anaerobica e relativo biometano producibile – Proiezione al 2030. Fonte: Elaborazione personale adattata da CIB, 2016.....	28
Tabella 4 Unità funzionale e flusso di riferimento dello studio.....	40
Tabella 5 Valori di allocazione exergetica per le classi energetiche individuate.	43
Tabella 6 Categorie di biomasse considerate per la costruzione del dataset e relativo peso percentuale.....	45
Tabella 7 Distribuzione di frequenza della potenza nominale degli impianti italiani a biogas, anno 2020 (fonte: Atlaimpianti).	45
Tabella 8 Calcolo del numero di ore medie lavorate annualmente da un impianto a biogas.	46
Tabella 9 Numero di impianti, potenza nominale elettrica (P _{NeI}), produzione elettrica e contributo percentuale alla produzione elettrica nazionale da biogas delle Classi 1 e 2.	47
Tabella 10 Processi unitari considerati per la costruzione del dataset e relativo peso percentuale.....	47
Tabella 11 Dati e dimensioni del digestore anaerobico (DA) per i processi CL1, CL2 e CL3.	51
Tabella 12 Calcoli dei flussi di biomassa per i processi CL1, CL2 e CL3.	52
Tabella 13 Produzione di biogas delle aziende della CL1.....	57
Tabella 14 Produzione di biogas delle aziende della CL2 (Energia da biomasse agro-forestali, 701-1700 kW).	58
Tabella 15 Produzione di biogas delle aziende della CL3 (Energia da Rifiuti e fanghi).	58
Tabella 16 Dati e calcoli per la determinazione del flusso di lubrificante per il cogeneratore dei processi CL1, CL2 e CL3.	60
Tabella 17 Calcoli dei flussi (lordi, netti e di autoconsumo) di energia elettrica (EE) e termica (ET) per i processi CL1 e CL2.	61
Tabella 18 Calcoli dei flussi di energia elettrica da biogas, per il processo CL3 (Energia da biogas ottenuto da rifiuti e fanghi).	62
Tabella 19 Calcoli dei flussi di energia termica da biogas, per il processo CL3 (Energia da biogas ottenuto da rifiuti e fanghi).	63
Tabella 20 Calcoli dei flussi di energia elettrica da biogas, per il processo CL3 (Energia da biogas ottenuto da rifiuti e fanghi).	63
Tabella 21 Calcolo delle emissioni di metano (CH ₄) dal digestore anaerobico per i processi CL1, CL2 e CL3.....	64
Tabella 22 Emissioni prodotte dal cogeneratore, durante la conversione del biogas in elettricità.....	65
<i>Tabella 23 Inventari dei processi unitari CL1, CL2 e CL3.</i>	<i>66</i>
Tabella 24 Elenco dei dataset sviluppati per l'analisi della produzione di 1 kWh di energia elettrica da biogas, in Italia.	69
Tabella 25 Categorie d'impatto esaminate nel presente studio con le relative unità di misura e abbreviazioni.....	71
Tabella 26 Impatti caratterizzati calcolati per 1 kWh elettrico da biogas in Italia (unità funzionale): impatti totali e impatti suddivisi per ciascuna classe: 1-700 kW (CL1), 701-1700 kW (CL2) e produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi (CL3). Valori assoluti.....	73

Tabella 27 Impatti caratterizzati calcolati per 1 kWh elettrico da biogas in Italia (unità funzionale): impatti totali e impatti suddivisi per ciascuna classe: 1-700 kW (CL1), 701-1700 kW (CL2) e produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi (CL3). Valori in percentuale.	74
Tabella 28 Impatti caratterizzati, contributo totale e di ciascun input della classe 1-700 kW (CL1) alla produzione di 1 kWh di energia di biogas in Italia. Valori assoluti.	76
Tabella 29 Impatti caratterizzati, contributo totale e di ciascun input della classe 1-700 kW (CL1) alla produzione di 1 kWh di energia di biogas in Italia. Valori percentuali.	77
Tabella 30 Impatti caratterizzati, contributo totale e di ciascun input della classe 701-1700 kW (CL2) alla produzione di 1 kWh di energia di biogas in Italia. Valori assoluti.	78
Tabella 31 Impatti caratterizzati, contributo totale e di ciascun input della classe 701-1700 kW (CL2) alla produzione di 1 kWh di energia di biogas in Italia. Valori percentuali.	79
Tabella 32 Impatti caratterizzati contributo totale e di ciascun input della CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi) alla produzione di 1 kWh di energia di biogas in Italia. Valori assoluti.	81
Tabella 33 Impatti caratterizzati contributo totale e di ciascun input della CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi) alla produzione di 1 kWh di energia di biogas in Italia. Valori percentuali.	82
Tabella 34 Impatti normalizzati per la produzione di 1 kWh elettrico da biogas in Italia. Valori totali e valori per ciascuna classe esaminata CL1 (1-700kW), CL2 (701-1700 kW) e CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi).	84
Tabella 35 Impatti normalizzati per la produzione di 1 kWh elettrico da biogas in Italia. Valori totali e valori per ciascuna classe esaminata CL1 (1-700kW), CL2 (701-1700 kW) e CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi). Valori percentuali.	85
<i>Tabella 36 Impatti normalizzati, contributo della classe CL1 (1-700 kW) alla produzione 1kWh elettrico da biogas in Italia. Valori assoluti.</i>	<i>87</i>
<i>Tabella 37 Impatti normalizzati, contributo della classe CL1 (1-700 kW) alla produzione 1kWh elettrico da biogas in Italia. Valori percentuali.</i>	<i>88</i>
Tabella 38 Impatti normalizzati, contributo della classe CL2 (701-1700 kW) alla produzione di 1kWh elettrico da biogas, in Italia. Valori assoluti.	89
Tabella 39 Impatti normalizzati, contributo della classe CL2 (701-1700 kW) alla produzione di 1kWh elettrico da biogas, in Italia. Valori percentuali.	90
Tabella 40 Impatti normalizzati, contributo della classe CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi) alla produzione 1 kWh elettrico da biogas in Italia. Valori assoluti.	92
Tabella 41 Impatti normalizzati, contributo della classe CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi) alla produzione 1 kWh elettrico da biogas in Italia. Valori percentuali.	93
Tabella 42 Impatti pesati per la produzione di 1 kWh elettrico da biogas in Italia. Valori totali e valori per ciascuna classe esaminata CL1 (1-700 kW), CL2 (701-1700 kW) e CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi). Valori assoluti.	95
Tabella 43 Impatti pesati per la produzione di 1 kWh elettrico da biogas in Italia. Valori totali e valori per ciascuna classe esaminata CL1 (1-700 kW), CL2 (701-1700 kW) e CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi). Valori percentuali.	96
Tabella 44 Impatti pesati per la classe CL1 (1-700 kW). Valori assoluti.	97
Tabella 45 Impatti pesati per la classe CL1 (1-700 kW). Valori percentuali.	98
Tabella 46 Impatti pesati per la classe CL2 (701-1700 kW). Valori assoluti.	99
Tabella 47 Impatti pesati per la classe CL2 (701-1700 kW). Valori percentuali.	100
Tabella 48 Impatti pesati per la classe CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi). Valori assoluti.	102

Tabella 49 Impatti pesati per la classe CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi). Valori percentuali.	103
Tabella 50 Confronto degli impatti caratterizzati per la produzione di 1kWh di elettricità (EE) da biogas in Italia, relativi agli scenari con e senza allocazione.	104
Tabella 51 Analisi di sensibilità per i proxy delle biomasse.	105
Tabella 52 Impatti caratterizzati per la classe CL1 e la classe CL1 sensibilità.	106
Tabella 53 Impatti caratterizzati per la classe CL2 e la classe CL2 sensibilità.	108

Lista degli Acronimi

Impact category	Unit	Abbreviation
Climate change	kg CO ₂ eq	CC
Ozone depletion	kg CFC11 eq	OD
Ionising radiation	kBq U-235 eq	IR
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	POD
Particulate matter	disease inc.	PM
Human toxicity, non-cancer	CTUh	HTnon-c
Human toxicity, cancer	CTUh	HTc
Acidification	mol H ⁺ eq	AC
Eutrophication, freshwater	kg P eq	EUf
Eutrophication, marine	kg N eq	EUm
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	EUt
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	ECT
Land use	Pt	LU
Water use	m ³ depriv.	WU
Resource use, fossils	MJ	RDf
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	RDm
Climate change - Fossil	kg CO ₂ eq	CCf
Climate change - Biogenic	kg CO ₂ eq	CCb
Climate change - Land use and LU change	kg CO ₂ eq	CClu
Human toxicity, non-cancer - organics	CTUh	HTnon-c-o
Human toxicity, non-cancer - inorganics	CTUh	HTnon-c-i
Human toxicity, non-cancer - metals	CTUh	HTnon-c-m
Human toxicity, cancer - organics	CTUh	HTc-o
Human toxicity, cancer - inorganics	CTUh	HTc-i
Human toxicity, cancer - metals	CTUh	HTc-m
Ecotoxicity, freshwater - organics	CTUe	ECT-o
Ecotoxicity, freshwater - inorganics	CTUe	ECT-i
Ecotoxicity, freshwater - metals	CTUe	ECT-m

1 Sintesi

Questo rapporto è stato realizzato nell'ambito del progetto Arcadia - approccio ciclo di vita nei contratti pubblici e banca dati italiana LCA, finanziato dal PON Governance e Capacità Istituzionali 2014-2020, e descrive la costruzione del dataset relativo alla filiera di produzione di energia elettrica da biogas, in Italia, da inserire nel dataset del mix elettrico italiano.

Lo studio parte da un'accurata descrizione della filiera, che ne illustra i prodotti rappresentativi e gli impatti socio-economici ed ambientali. In dettaglio, dalla descrizione emerge che la filiera del biogas rappresenta, senza dubbio, un importante elemento di forza del tessuto produttivo nazionale, avendo fatto crescere, sviluppare ed innovare il territorio rurale nazionale, anche grazie ai sistemi di incentivazione che si sono susseguiti dal 2008 in poi. Negli ultimi anni, la produzione di energia elettrica da biogas è passata da 1.665 GWh del 2009 a 8.277 GWh nel 2019, arrivando a rappresentare il 42,3% delle bioenergie del settore elettrico italiano e portando l'Italia ad essere il terzo paese del mondo, secondo in Europa, dietro Cina e Germania, per la produzione di elettricità da biogas. Inoltre, dalla letteratura di riferimento si evince che la taglia media degli impianti in Italia risulta essere di 0,7 MW: questo dato indica come nel nostro paese si predilige l'utilizzo di taglie medio-piccole, molto spesso sotto il MW (limite massimo per ottenere gli incentivi). Tale scelta di dimensionamento deriva dal fatto che in Italia le realtà di produzione sono per lo più rappresentate da aziende situate nelle zone rurali o piccole industrie agro-zootecniche, dove gli impianti di biogas si pongono non come una semplice modalità di produzione di energia rinnovabile, ma come elementi di ormai riconosciuta utilità al fine di rendere le attività agricole più sostenibili sotto il profilo ambientale ed economico nel loro complesso, e altamente sostenibili, grazie all'utilizzo di rifiuti e reflui, altrimenti difficilmente recuperabili. Al 2019, il contributo principale alla produzione di energia da biogas è stato infatti fornito dagli impianti alimentati con matrici agricole e forestali e deiezioni animali (67% e 15% rispettivamente), mentre gli impianti alimentati con rifiuti e fanghi hanno contribuito in misura minore (per un totale del 18%). Per motivi di sostenibilità, negli ultimi anni, l'interesse si è più propriamente orientato verso quegli impianti che utilizzano sottoprodotti, quali scarti delle industrie agricole poco idonei all'alimentazione animale, rifiuti dell'industria agroalimentare, scarti di lavorazione oppure cibi scaduti e quindi destinati a non essere utilizzati in seguito in altro modo. A tali matrici, vanno infine aggiunti i fanghi di depurazione e la FORSU, di origine non agricola.

Le fasi del ciclo produttivo di energia da biogas, analizzate in questo studio, sono:

- a. Produzione delle biomasse, inclusi la raccolta ed il trasporto verso il sito di trattamento.
- b. Processo di digestione anaerobica, che trasforma la biomassa di partenza in biogas e digestato.
- c. Produzione di calore ed elettricità attraverso un impianto di cogenerazione (CHP).

Le matrici organiche rappresentative della filiera di produzione di elettricità da biogas in Italia considerate in questo studio sono le colture dedicate, i reflui zootecnici, i sottoprodotti, la

frazione organica dei rifiuti solidi urbani ed i fanghi di depurazione. Ad eccezione delle colture dedicate, alle altre matrici è stato applicato l'approccio "zero burden", ossia non è stato considerato il carico ambientale del processo che genera lo scarto, in accordo con la letteratura di settore.

Definita l'unità funzionale come la produzione di 1 kWh elettrico da biogas, in Italia, il relativo dataset è stato modellato su due categorie di biomasse: (i) Biomasse di origine agricola-forestale e deiezioni animali e (ii) Rifiuti e fanghi, attribuendo a ciascuna delle categorie un peso relativo corrispondente al contributo percentuale alla produzione elettrica nazionale da biogas, in accordo con i dati aggiornati dal GSE al 2019 (sopra riportati). In dettaglio, per la prima categoria sono stati definiti due sottogruppi, relativi alle classi di impianti appartenenti alle fasce di potenza nominale 1-700 kW (CL1) e 701-1700 kW (CL2), prendendo come riferimento un totale di 31 aziende monitorate nell'ambito del progetto Biomasse ENAMA (Ente Nazionale Meccanizzazione Agricola). Per la seconda categoria di biomasse, sono stati impiegati i valori mediati su due impianti alimentati a FORSU (Frazione Organica dei Rifiuti Solidi Urbani), rappresentativi del contesto nazionale (CL3). I processi di digestione anaerobica e di cogenerazione sono invece stati modellati a partire dai processi presenti nel database Ecolnvent considerando dati primari per le biomasse utilizzate e per le emissioni. Inoltre, dal momento che la filiera analizzata genera, come prodotto principale, l'elettricità e, come co-prodotto, il calore, è stata effettuata un'allocazione exergetica, per consentire un confronto delle prestazioni ambientali dei due co-prodotti.

L'analisi del ciclo di vita è stata effettuata mediante l'impiego del software SimaPro 9.2.0.1 sulla base del metodo di valutazione degli impatti EF 3.0. I risultati ottenuti mostrano che la produzione di elettricità da biogas ottenuto a partire da biomasse agricole e deiezioni animali, e in particolare da parte della classe energetica CL2, dà il maggiore contributo (pari circa al 80%) agli impatti relativi alla produzione del kWh medio di elettricità da biogas in Italia. La fase di approvvigionamento della biomassa è indubbiamente la fase più impattante, in particolare la produzione di mais genera il maggiore impatto in quasi tutte le categorie esaminate per le classi CL1 e CL2. Anche le emissioni locali contribuiscono agli impatti generati in maniera rilevante, mentre impiantistica e trasporto delle biomasse mostrano impatti minori. Chiaramente, nel caso della categoria di biomassa Rifiuti e fanghi (CL3), l'approccio zero burden determina un aumento del contributo relativo delle infrastrutture, delle emissioni locali e del trasporto. Se si considerano normalizzazione e pesatura, le categorie che risultano maggiormente impattate sono la Ecotoxicity, freshwater (ECT) e la Water use (WU) a causa degli impatti relativi alla fase di produzione delle colture dedicate (impatti principalmente ascrivibili all'utilizzo di fertilizzanti e acqua per l'irrigazione). Soltanto per la classe CL3 la normalizzazione e la pesatura mostrano come categoria d'impatto più rilevante la Photochemical ozone formation (POD) a causa delle emissioni locali prodotte durante le fasi di conversione (sia di digestione anaerobica sia di cogenerazione).

A sostegno della robustezza dell'analisi effettuata, è stata fatta anche un'analisi di sensibilità, considerando sia diverse scelte metodologiche che variazioni sulle scelte dei dati. Si è deciso di effettuare innanzitutto un confronto tra lo scenario base (allocazione exergetica degli impatti tra calore ed elettricità) ed uno scenario alternativo senza

allocazione, ottenendo in quest'ultimo un aumento medio degli impatti del 22%. Inoltre, è stata effettuata la variazione dei proxy selezionati per le biomasse impiegate e, in questo caso, le variazioni degli impatti generati sono risultate minime (inferiori al 4%), andando ad avvalorare le assunzioni fatte in questo studio.

2 Scopo del documento

Il seguente rapporto è stato realizzato all'interno del progetto Arcadia - approccio ciclo di vita nei contratti pubblici e banca dati italiana LCA, finanziato dal PON Governance e Capacità Istituzionali 2014-2020, come output dell'Azione 5 "Analisi e raccolta dati per la costituzione della banca dati".

Questo rapporto rientra nella sotto-azione A5.3 "raccolta dati prodotto/servizio lungo il ciclo di vita ed elaborazione dei documenti" e rappresenta lo studio della filiera per la produzione di energia elettrica da biogas in Italia.

3 Descrizione della filiera

La società in cui viviamo è caratterizzata da una forte dipendenza dalle materie prime di origine fossile per la produzione di energia. Tale dipendenza comporta diversi problemi ambientali che vanno dall'inquinamento al consumo di risorse non rinnovabili. Pertanto, negli ultimi anni, è diventata via via più urgente la necessità di implementare soluzioni energetiche alternative, più sostenibili, che prevedano il ricorso a fonti di energia rinnovabili e a basso impatto ambientale. Tra le possibili soluzioni attualmente disponibili, si annovera lo sfruttamento delle biomasse per la produzione di energia (bioenergie) e di carburanti (biocarburanti).

La biomassa è definita come la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (sia sostanze vegetali sia 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 ed urbani (Decreto Legislativo n. 28 del 3 marzo 2011). L'utilizzo di biomasse a fini energetici riguarda tutti quei materiali organici che possono essere impiegati direttamente come combustibili ovvero trasformati in combustibili solidi, liquidi o gassosi. In particolare, il biogas viene definito "gas costituito prevalentemente da metano e da anidride carbonica prodotto mediante digestione anaerobica della biomassa" (Regolamento UE 147/2013).

Nella transizione verso un sistema energetico decarbonizzato, la produzione di bioenergia è aumentata notevolmente e si prevede che continuerà a crescere (<https://www.iea.org/>). Già da tempo, le politiche energetiche dell'Unione Europea (UE) (Directive 2009/28/EC) hanno promosso la sostituzione del 20% di combustibili fossili con biocarburanti e la produzione del 10% di elettricità dell'UE da biomassa, entro il 2020.

Tale obiettivo è stato inoltre declinato in obiettivi nazionali vincolanti per gli Stati membri. Ciascuno Stato dovrà raggiungere il proprio obiettivo di produzione di energia da fonti

rinnovabili sul totale dei consumi, comprensivo di produzione di energia elettrica, termica ed impiego delle rinnovabili nel settore dei trasporti. In quest'ultimo settore, inoltre, a prescindere dal citato obiettivo cumulativo, differenziato per paese, tutti gli Stati membri dovranno conseguire un target comune del 10% di energia da fonti rinnovabili. Questo porterà ad una sostituzione di 50 miliardi di litri di combustibili fossili nel settore dei trasporti. Le fonti rinnovabili di energia che potranno contribuire al raggiungimento di questi obiettivi comprendono, tra le altre, la biomassa solida, il biogas e i bioliquidi; questi ultimi, però, potranno essere conteggiati solo se rispettano i requisiti in materia di sostenibilità.

In Italia, le biomasse rappresentano una risorsa strategica per il Paese, in quanto possono essere sfruttate a fini energetici nei settori Elettrico, Termico e dei Trasporti. Negli anni scorsi, sono stati registrati contributi crescenti delle bioenergie in tutti e tre i settori, grazie alla disponibilità di una pluralità di materie prime e di tecnologie mature e affidabili.

Infatti, secondo l'ultimo rapporto statistico sulle FER del GSE (GSE, 2019) tra il 2005 e il 2019 l'elettricità generata con le biomasse è cresciuta in media dell'11% l'anno, passando da 4.675 GWh a 19.563 GWh; tale valore rappresenta il 16,9% della generazione elettrica complessiva da fonti rinnovabili.

In dettaglio, nel 2019, il 42,3% delle bioenergie del settore elettrico italiano proviene dal biogas (8.277 GWh), il 33,8% proviene dalle biomasse solide (12,3% dalla frazione biodegradabile dei rifiuti e 21,5% dalle altre biomasse solide), per un totale di 6.609 GWh, infine i bioliquidi contribuiscono per il 23,9%.

Particolarmente rilevante, negli ultimi anni, è la crescita della produzione di energia elettrica da biogas, passata da 1.665 GWh del 2009 a 8.277 GWh nel 2019.

3.1 Prodotti rappresentativi della filiera nazionale

LA FILIERA DEL BIOGAS IN ITALIA E IN EUROPA

Il documento prodotto dal GSE (2019) indica che il numero di impianti di produzione di energia elettrica da biogas sono 2177, con una produzione di circa 1455 MW elettrici.

I dati GSE (2019) mostrano che la taglia media degli impianti in Italia, risulta essere di 0,7 MW: questo dato indica come nel nostro paese si prediliga l'utilizzo di taglie medio-piccole, molto spesso sotto il MW. Tale scelta di dimensionamento deriva dal fatto che in Italia le realtà di produzione sono aziende situate nelle zone rurali o piccole industrie agro-zootecniche. Inoltre, bisogna dire che molti impianti si fermano a 999 kW, poiché il MW risulta essere la taglia massima per ottenere incentivi sulla produzione.

Per quanto riguarda la tipologia di impianti, in Italia il trend è quello di prediligere la biomassa proveniente da attività agricole e forestali (colture dedicate e scarti agro-forestali), integrandola con i reflui zootecnici, che risultano anche le materie prime più facilmente reperibili sul territorio (Tabella 1). Nel 2019, la percentuale di impianti che utilizzano la frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU) è del 17%.

Tabella 1 Numero e potenza degli impianti di produzione elettrica alimentati da biogas (fonte GSE, 2019).

BIOGAS	2018		2019	
	N°	MW	N°	MW
-				
- da rifiuti	403	405,4	398	402
- da fanghi	79	44.1	80	44
- da deiezioni animali	615	238.5	636	242
- da attività agricole e forestali	1039	760	1063	767.3

È interessante, infatti, notare che nel 2019 il contributo principale alla produzione di energia da biogas è stato fornito dagli impianti alimentati con matrici agricole e forestali (

Figura 1), per i quali la produzione supera i 5.500 GWh.

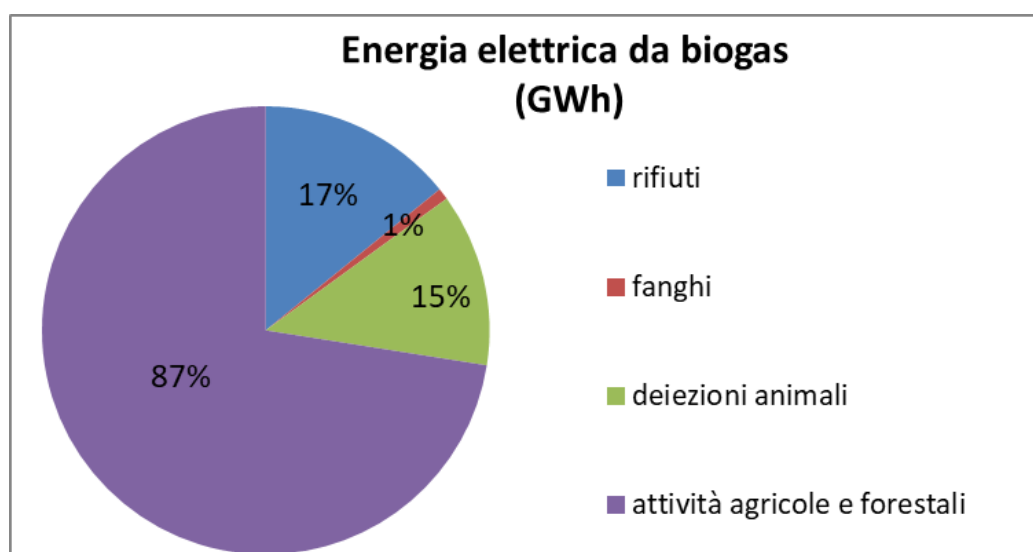


Figura 1 Energia elettrica da biogas. Fonte: Elaborazione personale adattata da GSE, 2019.

Il boom delle installazioni di impianti di biogas in Italia si è avuto tra il 2008 e il 2012 perché in quel periodo è stato promosso lo schema Feed-in Tariff, emanato nel 2008 e poi revocato nel 2012. Da quel periodo il numero di impianti, seppur con un incremento minore, ha continuato a crescere, portando oggi l'Italia ad essere il terzo paese del mondo, secondo in Europa, dietro Cina e Germania.

Secondo la guida 2020 relativa a biogas, biometano e biomasse (Pezzaglia, CIB - Consorzio Italiano Biogas), in Italia il settore del biogas continua ad avere un forte sviluppo. Il modello italiano, inizialmente criticato a causa di alcune barriere chiave per la produzione di biometano e biogas - come ad esempio lo scarso o non ottimale utilizzo dell'energia termica conseguente la sua produzione, le inadeguate regole tecniche inerenti alla produzione di

biometano, la mancanza di consono regolamento anche nell'ambito della produzione di energia elettrica - attualmente è il più seguito ed esportato nel mondo (in particolar modo negli Stati Uniti).

Per quanto riguarda la situazione regionale, il documento GSE (2019) indica che la maggior parte degli impianti a biogas è localizzata nel Nord Italia (Figura 2).

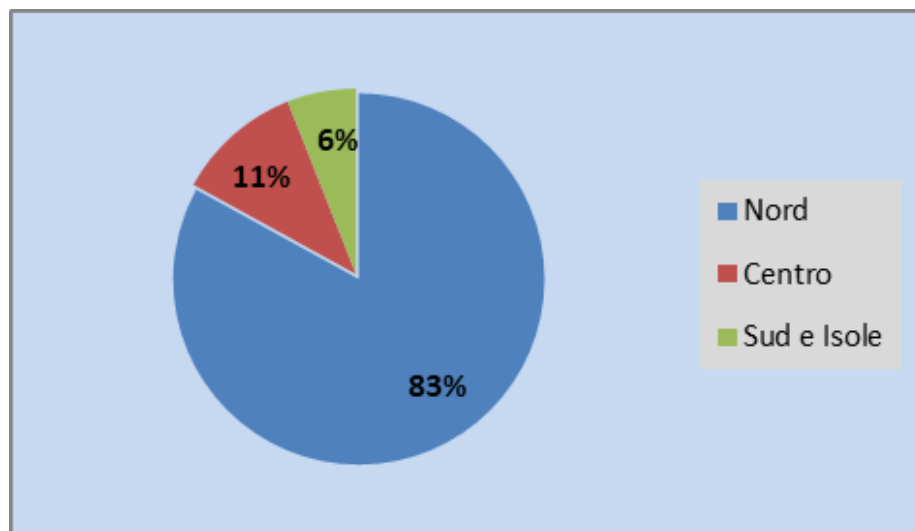


Figura 2 Produzione territoriale di energia elettrica da biogas. Fonte: Elaborazione personale adattata da GSE, 2019.

Per quanto riguarda la situazione in ambito europeo, vista l'intenzione di rendere l'Europa il primo continente neutrale dal punto di vista climatico entro il 2050, gli stati europei stanno accelerando verso un maggiore utilizzo del biogas dato che, assieme al biometano, andrebbe a decarbonizzare il comparto del gas naturale, che al giorno d'oggi copre un quarto della domanda energetica europea. Vista la quasi interscambiabilità con il gas naturale e la flessibilità delle sue applicazioni, la produzione di biogas viene incentivata per poter soppiantare l'utilizzo dei combustibili fossili nel maggior numero di funzioni possibili. Ogni Stato ha fissato degli obiettivi finali, alcuni stati si sono concentrati sull'upgrading (Regno Unito e Francia), altri incentivano molto l'utilizzo dei gas rinnovabili sui trasporti (paesi del nord Europa), applicando remunerazioni sulla produzione del combustibile, barriere regolatrici, incentivi sulla produzione elettrica (Feed-in Tariff, scambio sul posto e acquisizione energia), agevolando lo sviluppo di nuove tecniche e progetti volti al miglioramento della tecnologia.

Secondo il report EBA del 2018 (EBA, 2018), alla fine del 2017 in Europa erano presenti 17.783 impianti per la produzione di biogas operativi con un aumento del 2% rispetto all'anno precedente, arrivando così ad un aumento dell'8% negli ultimi 5 anni.

La filiera di produzione del biogas è dunque una filiera oramai consolidata, perché ad essa si possono ascrivere diversi "fattori di successo" nel trattamento a fini bioenergetici delle matrici organiche.

Gli impianti di biogas si pongono non come una semplice modalità di produzione di energia rinnovabile, ma come elementi di ormai riconosciuta utilità al fine di rendere le attività

agricole più sostenibili sotto il profilo ambientale ed economico nel loro complesso, e altamente sostenibili, grazie all'utilizzo di rifiuti e reflui, altrimenti difficilmente recuperabili.

LINEE DI FILIERA DEL BIOGAS

Negli ultimi anni sono stati condotti diversi studi dalle regioni italiane, per individuare le possibili "linee di filiera" del biogas (Busato, 2020).

Un primo modello di filiera è basato su un impianto di digestione anaerobica che impiega scarti industriali e rifiuti generici: in seguito ad un accordo con il gestore dell'impianto, vengono conferiti gli scarti di una o più aziende agricole vicine e/o fanghi di depurazione e frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU). Il vantaggio economico di questo modello è legato alla riduzione dei costi di smaltimento degli scarti e dei reflui. Per favorire la diffusione di queste filiere, occorre prevedere una semplificazione delle procedure amministrative, in modo da facilitare il trasporto della biomassa e la realizzazione di accordi fra i diversi soggetti della filiera. Gli impianti che raccolgono gli scarti possono avere dimensioni superiori a 1 MW di potenza ed essere alimentati con fanghi di depurazione civile, con la frazione organica dei rifiuti solidi urbani e con scarti delle lavorazioni industriali. In Europa, sono diffusi numerosi impianti di questo tipo e in molti casi gli stessi imprenditori, in forma associata, si fanno promotori della costruzione dei digestori anaerobici.

Un secondo modello di filiera è basato su un impianto di digestione anaerobica semplificato all'interno di un'azienda agricola: tale modello è la proposta più idonea per le aziende agricole che si pongono l'obiettivo di valorizzare gli scarti delle produzioni agricole attraverso la realizzazione di un impianto a biogas con caratteristiche tecniche tali da non prevedere elevati investimenti e non provocare sconvolgimenti nella struttura aziendale. Il modello organizzativo si basa, per esempio, su una modifica delle coperture delle vasche di stoccaggio dei reflui zootecnici o, dove questo non sia possibile, sulla realizzazione di digestori anaerobici di modeste dimensioni. In questo modo, anche se il processo digestivo non è ottimale e i sistemi di coibentazione riducono le rese dell'impianto, l'agricoltore è in grado di migliorare la gestione dei reflui zootecnici e di differenziare la produzione agricola. Un terzo modello di filiera, collegato al secondo per quanto riguarda le matrici di partenza, è l'impianto di digestione anaerobica in azienda agro-energetica: questo modello implica una forma di specializzazione produttiva da parte dell'agricoltore che deve orientare le produzioni agricole verso quelle energetiche. Occorre rifornire correttamente il digestore anaerobico, in modo da massimizzare la produzione di energia, i cui ricavi servono a recuperare gli elevati investimenti iniziali. Per stabilizzare ed aumentare la produzione del biogas si pratica la codigestione dei reflui zootecnici con altri substrati organici, quali le colture energetiche e gli scarti agricoli e industriali. L'interesse che spinge gli operatori verso questo modello di filiera è rappresentato principalmente dalla vendita di energia elettrica e termica che, insieme con eventuali introiti ricevuti dai produttori del rifiuto organico utilizzato come co-substrato, può portare ad un reddito netto che in alcuni casi supera quello dell'attività agricola.

In tutti questi modelli per la produzione del biogas, la filiera si può completare con la cogenerazione di elettricità e calore o con la purificazione del biogas attraverso il processo

di upgrading per ottenere biometano che successivamente viene utilizzato come carburante o come combustibile per uso domestico.

Volendo, in modo più semplicistico, suddividere le filiere a seconda delle matrici di partenza, sono due le grosse linee della filiera del biogas, quelle che partono da matrici di provenienza agricola e quelle che partono da matrici di provenienza non agricola (Figura 3e Figura 19). La produzione di biogas da biomasse di origine non agricola, in particolare da FORSU, presenta alcune differenze rispetto alla produzione di biogas in ambito agricolo e zootecnico. In particolare, a valle della produzione di biogas, è presente un impianto di compostaggio, per trasformare il digestato in ammendante utilizzabile in agricoltura (Figura 4).

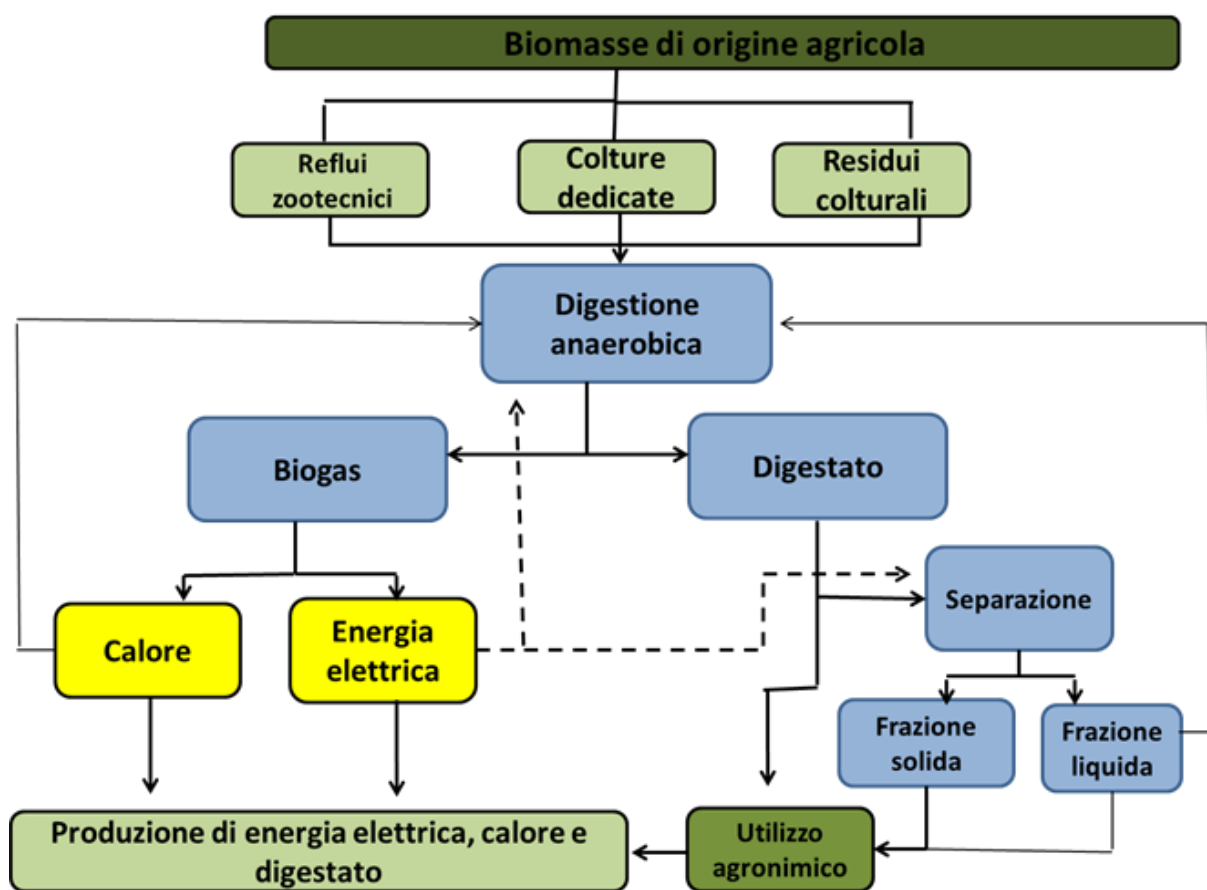


Figura 3 Schema di filiera di biomasse di origine agricola Fonte: Elaborazione personale adattata da regione Marche, 2013.

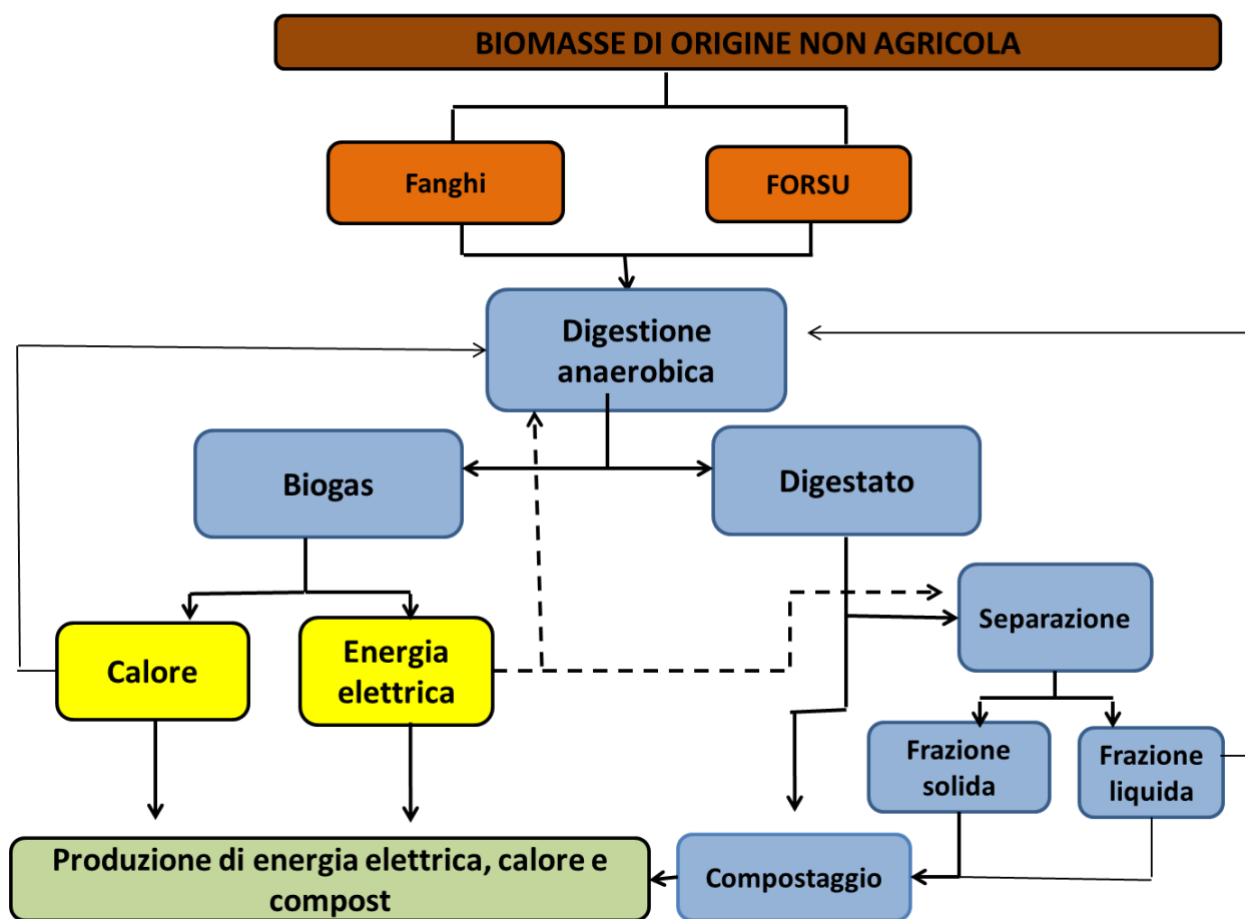


Figura 4 Schema di filiera di biomasse di origine non agricola. Fonte: Elaborazione personale adattata da regione Marche, 2013.

BIOGAS DA MATRICI ORGANICHE

Il biogas è definito come una miscela di vari tipi di gas prodotti principalmente dalla fermentazione batterica in anaerobiosi. Il frutto della degradazione di residui organici provenienti da sostanze animali, vegetali o altre sostanze organiche, in assenza di ossigeno, è un gas composto principalmente da metano (CH_4) ed anidride carbonica (CO_2). Oltre a questi due macro componenti, sono spesso presenti tracce di altre sostanze, quali ossido di carbonio, azoto, idrogeno, idrogeno solforato e ammoniaca in leggera quantità (Tabella 2).

La composizione e le percentuali di queste sostanze non sono fisse, ma possono cambiare in funzione della provenienza del biogas, soprattutto in funzione della biomassa di partenza.

Tabella 2 Composizione media del biogas. Elaborazione personale adattata da Busato, 2020.

COMPONENTE	% IN VOLUME
Metano (CH ₄)	55-60
Anidride carbonica (CO ₂)	35-40
Vapore acqueo (H ₂ O)	2 (20°C) - 7 (40°C)
Idrogeno Solforato (H ₂ S)	0,02 – 2
Azoto (N ₂)	<2
Ossigeno (O ₂)	<2
Idrogeno (H ₂)	<1

Le matrici organiche che possono essere utilizzate per la produzione di biogas possono essere schematizzate come segue:

- colture dedicate;
- reflui zootecnici;
- sottoprodotti;
- frazione organica dei rifiuti solidi urbani;
- fanghi di depurazione di alcuni tipi di industrie;
- alghe (possibile utilizzo futuro).

Le matrici più utilizzate sono quelle di origine agricola (colture energetiche dedicate e reflui zootecnici); infatti la produzione di energia da queste matrici copre, da sola, più dell'80% della produzione di elettricità da biogas (

Figura 1).

Le colture energetiche sono colture dedicate, dette anche “*ad hoc*”. In letteratura ne vengono descritte molteplici, come ad esempio mais, sorgo e sorgo zuccherino, canna comune, bietole, segale integrale, barbabietola da zucchero e tante altre, tutte colture già avanzate che possono essere sfruttate in moltissime parti del mondo, anche se la problematica relativa allo spazio necessario per i campi e le coltivazioni ed i relativi costi ambientali è una delle tematiche più controverse e ancora non risolte che vengono inserite come potenziali problemi riferiti a questo tipo di energia. In Figura 5, sono elencati i pro e i contro dell'utilizzo delle colture dedicate.

COLTURE DEDICATE: PRO E CONTRO DEL LORO UTILIZZO NEI PROCESSI DI DIGESTIONE ANAEROBICA	
PRO	CONTRO
<ul style="list-style-type: none"> - Uso di opportune miscele, ai fini della standardizzazione delle caratteristiche delle matrici in ingresso nel reattore nei processi di codigestione; - Colture diffuse e/o di facile inserimento nell'azienda agraria; - Reperibilità in ambiti territoriali limitrofi; - Aumento delle rese in biogas per unità di volume di reattore; - Relativa facilità di stoccaggio; - Creazione di possibilità di sbocco più agevole per il digestato, quando i suoli da cui derivano le colture fanno parte dell'impresa bioenergetica 	<ul style="list-style-type: none"> - Aleatorietà del costo di opportunità per le notevoli fluttuazioni del mercato delle materie prime; - Necessità di pretrattamenti e di attrezzature adatte allo scopo; - Possibile formazione di croste fluttuanti; - Aumento del digestato da gestire e, di conseguenza, aumento del carico di azoto da smaltire per unità di superficie.

Figura 5 Pro e contro dell'utilizzo di colture dedicate. Fonte: Elaborazione personale adattata da regione Marche, 2013.

I reflui zootecnici sono rappresentati dalle deiezioni zootecniche, ma anche dalle acque di lavaggio, dalla lettiera e dai residui alimentari. I pro e i contro dell'utilizzo dei reflui zootecnici nei processi di digestione anaerobica (DA) nella filiera del biogas sono schematizzati in Figura 6.

REFLUI ZOOTECNICI: PRO E CONTRO DEL LORO UTILIZZO NEI PROCESSI DI DIGESTIONE ANAEROBICA	
PRO	CONTRO
<ul style="list-style-type: none"> - Costo basso o nullo della matrice; - Reperibilità in ambiti territoriali limitrofi nei numerosi distretti zootecnici italiani; - Valorizzazione degli scarti e potenziale integrazione di reddito dell'azienda zootecnica; - Presenza di strutture di stoccaggio preesistenti; - Creazione di sbocco più agevole per il digestato, quando si prevedono spandimenti in suoli non aziendali; - Stabilizzazione con riduzione delle emissioni maleodoranti; - Possibilità di utilizzare nei processi di codigestione differenti matrici - anche residuali – in miscela 	<ul style="list-style-type: none"> - Basse rese metanigene; - Riduzione dell'apporto ai suoli della componente carboniosa; - Possibile formazione di croste flottanti con reflui eccessivamente pagliosi (letami).

Figura 6 Vantaggi e svantaggi dell'utilizzo dei reflui zootecnici. Fonte: Elaborazione personale adattata da regione Marche, 2013.

Invece, col termine sottoprodotti si intende gli scarti delle industrie agricole poco idonei all'alimentazione animale, i rifiuti dell'industria agroalimentare, gli scarti di lavorazione oppure i cibi scaduti e quindi destinati a non essere utilizzati in seguito in altro modo. A tali matrici, vanno infine aggiunti i fanghi di depurazione e la FORSU, di origine non agricola. Per motivi di sostenibilità, negli ultimi anni l'interesse si è più propriamente orientato verso quegli impianti che utilizzano sottoprodotti, che possono essere inseriti all'interno di filiere agro-energetiche. In tal modo, la filiera di produzione del biogas si inserisce in un contesto di filiera corta già esistente, senza aumentare le emissioni dovute, ad esempio, alla distanza e legate ai trasporti.

L'utilizzo di residui e scarti per la produzione di biogas permette di identificare questi ultimi non più come rifiuti, bensì come sottoprodotti, ai sensi del D.Lgs n. 4 del 16-01-2008 all'art 183. Ogni "sottoprodotto" viene inserito in una determinata quantità nella composizione della biomassa in base alla filiera già presente, alla quantità disponibile di tale sottoprodotto, alla resa che si ipotizza avere, al dimensionamento del digestore ed ai parametri chimici e fisici che presenta. In Figura 7, sono schematizzati i pro e i contro dell'utilizzo di sottoprodotti e rifiuti.

SOTTOPRODOTTI E RIFIUTI: PRO E CONTRO DEL LORO UTILIZZO NEI PROCESSI DI DIGESTIONE ANAEROBICA	
PRO	CONTRO
<ul style="list-style-type: none"> -Abbattimento del costo di produzione del biogas; -Aumento delle rese in biogas per unità di volume di reattore. 	<ul style="list-style-type: none"> -Difficoltà di gestione e di stoccaggio; -Aumento della complessità gestionale; -Necessità di pre-trattamenti o post-trattamenti e delle attrezzature adatte allo scopo; -Possibile formazione di croste fluttuanti; -Aumento del digestato da gestire e, di conseguenza, dell'azoto.

Figura 7 Pro e contro dell'utilizzo di sottoprodotti e rifiuti. Fonte: Elaborazione personale adattata da regione Marche, 2013.

Molti impianti operano in co-digestione, cioè utilizzano matrici di diversa origine: i reflui zootecnici vengono spesso integrati con una biomassa di derivazione vegetale in modo che la quantità derivante dall'ambito agricolo alzi la resa del mix digestivo.

Comprendere quali sono le matrici più utilizzate e cosa ne determina la scelta da parte dei produttori della filiera è fondamentale, perché dalle tipologie di matrici dipende la resa in termini di biogas prodotto. In linea generale, occorre porre attenzione ai punti di forza e di debolezza di ciascuna tipologia di biomassa utilizzabile. Ad esempio, le colture dedicate sono caratterizzate da rese elevate, ma anche da costi di produzione elevati, mentre i sottoprodotti hanno rese variabili (a causa della matrice di partenza più complessa), ma un costo di approvvigionamento minimo.

La scelta della tipologia e della potenza di un impianto di biogas deve quindi tenere in considerazione l'aspetto relativo alla natura, alla disponibilità ed al costo della matrice organica da utilizzare (ENAMA, Progetto Biomasse, 2011).

LA DIGESTIONE ANAEROBICA

Il biogas viene prodotto all'interno di un digestore da un substrato di partenza attraverso un processo di digestione anaerobica (DA). La digestione anaerobica è un processo chimico-biologico naturale che porta alla degradazione di molecole di sostanza organica complesse, in assenza o bassa concentrazione di ossigeno, come schematizzato in Figura 8 (*La filiera del biogas, regione Marche, 2013*).

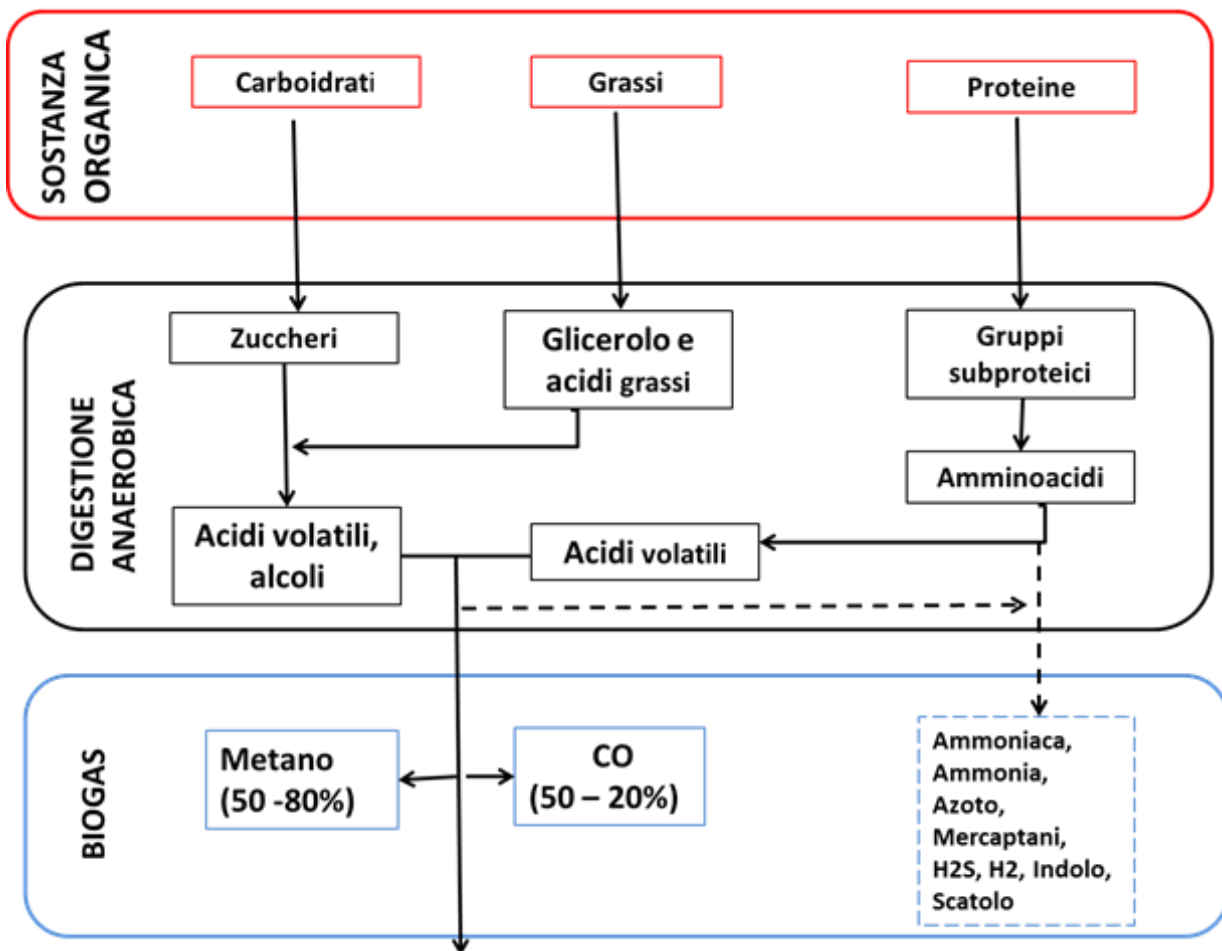


Figura 8 Schematizzazione del processo di digestione anaerobica. Fonte: Elaborazione personale adattata da regione Marche, 2013.

In dettaglio, la digestione anaerobica è un processo molto complesso operato da differenti gruppi di batteri che agiscono in serie (Figura 9). Le fasi “chimiche” che portano alla produzione di biogas sono sostanzialmente quattro: Idrolisi, Acidogenesi, Acetogenesi, Metanogenesi (Cammardella, 2013).

Nella prima fase, le sostanze essenziali della materia organica come carboidrati, proteine e lipidi vengono trasformate rispettivamente in zuccheri, gruppi sub-proteici e glicerolo ed acidi grassi. Questa degradazione primaria avviene per opera dei batteri idrolitici.


<p>t=0</p> <p><i>t= tempo di permanenza</i></p>  <p>t</p>	<p>Fase 1:</p> <p>Idrolisi</p>	<p>Batteri idrolitici e Funghi</p> <p><i>(Penicillium, Aspergillus, Rhizopus)</i></p>	<p>Agiscono sulle macromolecole biodegradabili e le trasformano in molecole semplici.</p>
	<p>Fase 2:</p> <p>Fermentazione</p>	<p>Batteri acidogeni</p>	<p>Utilizzano composti organici semplici prodotti da batteri idrolitici, formando acidi organici a catena corta.</p>
		<p>Batteri acetogeni</p>	<p>Sono produttori obbligati di H₂ a partire dagli acidi organici prodotti dagli acidogeni, e producono acetato, H₂ e CO₂</p>
		<p>Batteri omoacetogeni</p>	<p>Utilizzano CO₂ e H₂ per formare acetato</p>
	<p>Fase 3:</p> <p>Metanogenesi</p>	<p>Batteri metanigeni</p> <p><i>(Methanobacterium, Methanococcus, Methanosarcina)</i></p>	<p>Idrogenotrofi</p> <p>Producono CH₄ da CO₂ e H₂O. Il metano viene liberato in forma gassosa (a causa della sua scarsa solubilità in H₂O); la CO₂ partecipa alle reazioni in relazione all'equilibrio con i carboni presenti.</p>
		<p>Acetoclastici</p> <p>Dal metabolismo dell'acido acetico producono CH₄ e CO₂.</p>	

Figura 9 Gruppi batterici attivi nel processo e relativi substrati e prodotti metabolici. Fonte: Elaborazione personale adattata da regione Marche, 2013.

Nella fase di acidogenesi gli zuccheri, gli acidi grassi e gli amminoacidi sono fermentati da batteri anaerobici in acidi grassi volatili (come gli acidi propionico e butirrico). L'acidogenesi produce anche una piccola quantità di acido acetico, H₂ e CO₂.

Nella fase di acetogenesi gli acidi grassi volatili sono completamente degradati in acido acetico, idrogeno e CO₂, in aggiunta alla piccola quantità di sostanze che era già stata prodotta nella fase precedente. Le molecole di idrogeno H₂ e di acido acetico COOH-CH₃, ottenute nella fase di acetogenesi, saranno le basi di partenza per la conversione in metano ed anidride carbonica, che sono le componenti principali del biogas.

Nell'ultima fase, quella di metanogenesi, l'acido acetico e l'idrogeno presenti nel digestore si combinano assieme per formare anidride carbonica CO₂ e metano CH₄.

I microrganismi anaerobi che operano questa trasformazione presentano basse velocità di crescita e basse velocità di reazione; da ciò deriva la necessità di mantenere condizioni ottimali dell'ambiente di reazione. La digestione anaerobica può essere condotta in condizioni mesofile (a temperature di circa 35° C), termofile (a circa 55° C) o, più raramente, a freddo (digestione psicofila). La temperatura di reazione determina in genere anche la durata del processo (tempo di residenza o di ritenzione). I tempi sono mediamente compresi tra 15 e 50 giorni se il processo avviene in mesofilia, tra 14 e 16 se avviene in termofilia e di 60-120 giorni in psicofilia. Ovviamente, a più alta temperatura viene impiegato meno tempo per decomporre le sostanze del substrato (Busato, 2020).

Oltre alla temperatura, che rappresenta il parametro più importante, sono necessari controlli su altri parametri per verificare il buon andamento del processo di DA (Figura 10).

Temperatura di processo	- termofilo: 50-55 °C - mesofilo: 30-35 °C; - psicrofilo: < 20 °C
pH	Compreso tra 6,6 – 8,0 (optimum pH 7 – 7,5). Valori inferiori a 6,5 indicano un accumulo di acidi grassi volatili, spesso riconducibili a un eccesso di prodotto in entrata.
Tempo di residenza (HRT) (esprime il tempo medio di permanenza nel substrato del digestore)	Deve essere superiore al tempo di raddoppiamento dei batteri, che a sua volta è in funzione delle caratteristiche di biodegradabilità del substrato e delle condizioni di processo.
Acidità volatile	Orientativamente <15 meq/l.
Alcalinità	Orientativamente > 50 meq/l; il rapporto tra alcalinità e acidità volatile deve essere almeno 2-3:1.
Rapporto C/N della biomassa	Compreso tra 25 e 35.

Figura 10 Valori di riferimento dei principali parametri del processo di digestione anaerobica. Fonte: Elaborazione personale adattata da regione Marche, 2013.

TIPOLOGIE DI IMPIANTI DI DIGESTIONE ANAEROBICA

Nel corso degli anni, sono state sviluppate diverse esperienze e applicazioni riguardanti la digestione anaerobica, utilizzando diverse tipologie di biomasse organiche. Ciò ha portato allo sviluppo di differenti tipi di processi e tecnologie.

Sulla base del tenore di sostanza secca del substrato di alimentazione, le tecniche di digestione anaerobica possono essere suddivise in tre gruppi principali (Piccinini, 2004):

- 1) Digestione ad umido (wet), quando il substrato in digestione ha un contenuto di sostanza secca inferiore al 10%. Questa è la tecnica più diffusa, in particolare con le matrici di origine agricola. Il reattore più frequentemente utilizzato in questo tipo di processo è il classico reattore completamente miscelato (Completely stirred tank reactor - CSTR). La biomassa, prima di essere introdotta nel digestore, subisce un trattamento per raggiungere un appropriato tenore di solidi totali ed un buon grado di

omogeneizzazione. Inoltre, si effettua una “diluizione” mediante aggiunta di acqua (liquami vari e/o acqua di processo, ricircolata dal digestore stesso) e viene praticata la rimozione degli eventuali materiali inerti e grossolani, potenzialmente dannosi per la meccanica dell’impianto.

2) Digestione a semisecco (semi-dry), quando il substrato in digestione presenta valori intermedi di sostanza secca. Il rifiuto organico proveniente da raccolta differenziata presenta caratteristiche che sono generalmente ottimali per la digestione a semisecco, con diversi vantaggi, tra cui la semplicità dei sistemi di pompaggio e miscelazione e la possibilità di trattare le biomasse senza pre-trattamenti particolarmente impegnativi. Il reattore più utilizzato è quello completamente miscelato (CSTR), oppure il reattore cilindrico orizzontale, con sistema di rimescolamento (APAT, 2005).

3) Digestione a secco (dry), quando il substrato in digestione ha un contenuto di sostanza secca superiore al 20%. Questo tipo di digestione è stata sviluppata per consentire il trattamento della frazione organica dei rifiuti urbani (FORSU), ottenuti sia da raccolta indifferenziata che da raccolta differenziata (La filiera del biogas, regione Marche, 2013). In questo tipo di sistema, l’unico pre-trattamento previsto è una vagliatura grossolana in grado di rimuovere le frazioni con dimensioni > 40 mm, senza necessità di effettuare diluizioni (come si fa nei sistemi di digestione precedenti): il materiale organico viene trasportato con nastri e pompato attraverso speciali pompe appositamente progettate per operare con flussi molto viscosi, contenendo in tal modo la perdita di sostanza organica biodegradabile utile alla produzione di biogas (APAT, 2005).

Un altro elemento di differenziazione dei processi di digestione anaerobica è riferito al confinamento delle fasi di DA:

- *monostadio*, quando le fasi di idrolisi, fermentazione acida e metanigena avvengono contemporaneamente in un unico reattore;
- *bistadio*, quando si ha un primo reattore nel quale il substrato organico viene idrolizzato e sottoposto alla fermentazione acida; la fase metanigena avviene in un secondo reattore.

La soluzione impiantistica di digestione in più stadi si è particolarmente sviluppata in Italia (La filiera del biogas, regione Marche, 2013) perché possiede notevoli vantaggi, tra cui maggiore stabilità biologica nell’intero substrato della biomassa e un’accelerazione dei tempi, mirata alla produzione immediata ed essenziale delle sostanze utili per la metanogenesi.

Una terza suddivisione dei processi di digestione anaerobica è basata sul tipo di alimentazione del reattore, che può essere:

- *continua*, quando le matrici vengono miscelate all’interno del reattore;
- *discontinua*, quando il substrato è spinto, lungo l’asse longitudinale, facendo sviluppare fasi di processo via via diverse (flusso a pistone) (APAT, 2005).

Un’ulteriore suddivisione può essere fatta sulla base della potenza installata (Banzato, 2013):

- impianti di piccola taglia (fino a 300 kW);
- impianti di media taglia (tra 300 e 500 kW);

- impianti di grande taglia (oltre 500 kW).

In Italia gli incentivi tariffari hanno privilegiato gli impianti alimentati da biomasse e sottoprodotti fino a 600 kW di potenza elettrica, mentre quelli inferiori a 100 kW hanno una ulteriore semplificazione degli adempimenti autorizzativi. Vengono quindi incentivati gli impianti di piccola taglia alimentati da effluenti zootecnici e sottoprodotti di recupero, con integrazione da colture dedicate fino al 30% in peso (ISPRA, 2018).

Le diverse soluzioni impiantistiche vengono stabilite sulla base di diversi parametri, tra cui il più importante è la tipologia di matrice di partenza.

RESA DEL BIOGAS

La resa in biogas, e quindi in metano, dipende dalle caratteristiche della biomassa e, in particolare, dalla quantità delle componenti organiche di base (grassi, proteine e carboidrati). La valutazione della produzione di biogas in condizioni reali, è fatta per via sperimentale attraverso il BMP (Biochemical Methane Potential, Potenziale Biochimico di Metanizzazione), ossia la produzione di metano che si osserverebbe per un tempo di degradazione infinito. Il BMP rappresenta l'equivalente anaerobico del BOD.

In letteratura, i valori delle rese sono dati in Nm³ per chilogrammo o tonnellata di sostanza secca o volatile, a seconda della fonte. Negli studi sulle rese, inoltre, viene analizzata anche la quantità espressa in percentuale di CH₄ nel biogas ottenuto.

Secondo le stime del Consorzio Italiano Biogas (CIB, 2016), al 2030 ci sarà un potenziale produttivo di 10 miliardi di m³ di biometano, di cui 8 miliardi da matrici agricole e 2 miliardi da rifiuti organici selezionati, fonti non biogeniche e gassificazione. Il CIB ha effettuato uno studio su varie tipologie di biomasse, quantificando le biomasse residuali che sono potenzialmente avviabili agli impianti di digestione anaerobica, ossia effluenti zootecnici, residui delle coltivazioni erbacee e sottoprodotti agro-industriali, con le relative rese metanigene (ISPRA, 2018). Dai dati mostrati in Tabella 3, risulta come gli effluenti zootecnici potranno costituire una risorsa molto importante negli scenari di produzione del biometano, producendone oltre il 75% di quello producibile da biomasse residuali e più del 25% del totale.

Tabella 3 Quadro delle biomasse residuali avviabili a digestione anaerobica e relativo biometano producibile – Proiezione al 2030. Fonte: Elaborazione personale adattata da CIB, 2016

	Stima quantità totale (t/a)	Stima quota avviata a DA	Resa specifica in METANO		BIOMETANO LORDO
			(m ³ /SV)	(m ³ /t tal quale)	(m ³ /anno)
BIOMASSE RESIDUALI TOTALI	158.591.330	91.751.270			2.940.334.342
Deiezioni zootecniche	128.654.190	83.035.179			2.228.243.245
- liquami bovini	40.553.860	70%	240	14,1	400.607.251
- liquami suini	31.479.760	50%	300	9,7	152.047.241
- pollina tal quale	419.650	50%	320	106,6	22.372.381
- letame bovino	52.986.560	70%	212	38,3	1.420.094.914
- lettiera avicola	3.214.360	50%	300	145,5	233.121.459
Scarti agroindustriali vegetali	4.787.680	2.153.996			100.823.498
- sanse vergini	1.283.700	50%	250	88,3	56.643.263
- acque di vegetazione	1.711.600	30%	475	16,6	8.536.605
- vinacce e graspi	1.280.000	50%	111	32,9	21.027.840
- pastazzo di agrumi	306.480	70%	311	42,9	9.207.456
- trasformazione pomodoro	205.900	70%	318	37,5	5.408.334
Scarti agroindustriali animali	10.149.460	3.562.095			182.903.916
-macell.bovina, suina, avicola	1.149.460	75%	517	138,8	119.626.716
-industria latte (siero e simili)	9.000.000	30%	372	23,4	63.277.200
Sottoprodotti industria molitoria	2.271.000	227.100			69.263.683
-totali (esclusa lav.riso)	2.271.000	10%	353	305	69.263.683
Residui colturali	15.000.000	3.000.000			359.100.000
-totale (paglie, stocchi, steli,foglie)	15.000.000	20%	190	120	359.100.000

In

Figura 1 sono mostrati i risultati di uno studio del CRPA (Centro Ricerche Produzioni Animali), che, in collaborazione col CIB, ha attivato una raccolta di informazioni rivolta ai soci del consorzio, tramite dei questionari *ad hoc*, per ottenere un campione rappresentativo di impianti in Italia e comprendere quali fossero le biomasse maggiormente utilizzate per alimentare i digestori.

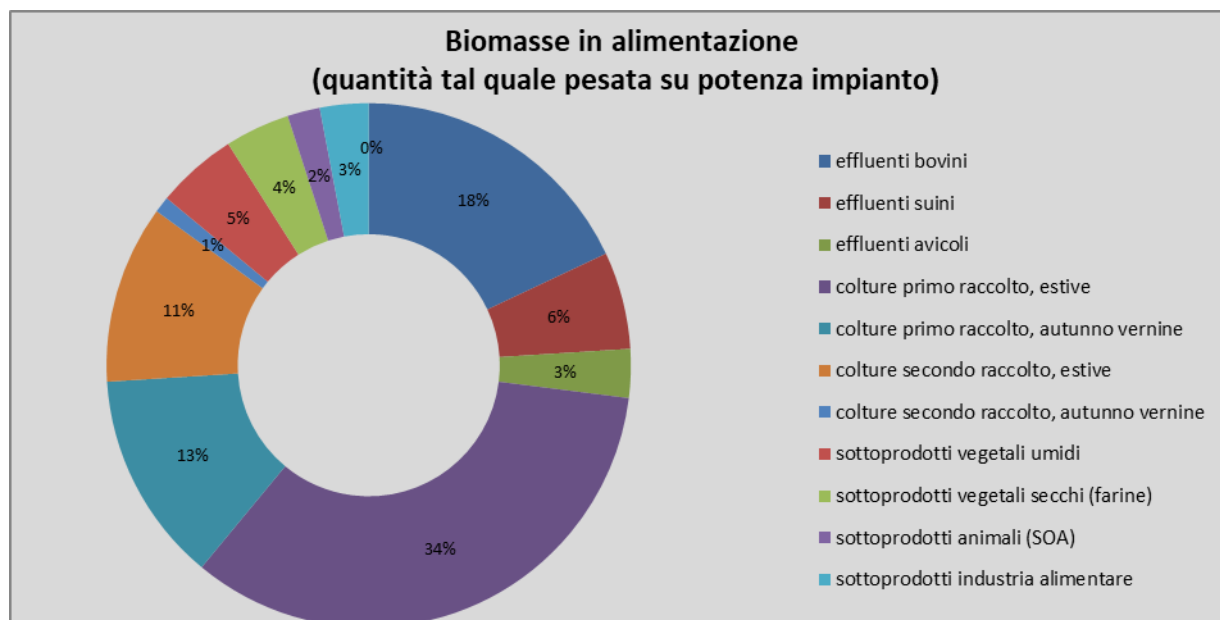


Figura 11 Ripartizione delle tipologie di biomasse in alimentazione, pesata sulla potenza elettrica degli impianti. Fonte: Elaborazione personale adattata da ISPRA, 2018.

Gli scenari al 2030 prospettano una significativa maggiore diffusione nell'uso degli effluenti zootecnici rispetto alle colture energetiche, dovuto al meccanismo degli incentivi previsti nel decreto biometano (che prevede vantaggi tariffari solo se meno del 30% delle biomasse utilizzate per la produzione di energia viene da colture dedicate). Per tale motivo, si ritiene che l'utilizzo delle colture dedicate sarà inferiore al 30% della dieta degli impianti di digestione anaerobica, con proporzionale aumento del contributo degli effluenti di allevamento.

FASI DEL CICLO DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA BIOGAS AGRICOLO

Volendo semplificare, un impianto di produzione del biogas di un'azienda agricola è composto principalmente dai seguenti componenti (Figura 12):

- Biomassa raccolta;
- Digestore;
- Vasca di raccolta del digestato liquido;
- Motore a combustione interna per uso di cogenerazione;
- Produzione di calore;
- Produzione di energia elettrica e/o termica, con molteplici possibilità di utilizzo.



Figura 12 Schema elementare delle principali componenti di una filiera del biogas. Tratto da Busato (2020).

Dunque, le fasi del ciclo produttivo di energia, partendo dalle biomasse, possono essere suddivise in (Fiper, 2018):

- a. *Produzione e stoccaggio delle biomasse*: oltre alla produzione delle varie tipologie di biomasse, in questa fase si collocano la raccolta, il trasporto verso un sito di immagazzinamento e il successivo stoccaggio nel quale possono essere effettuati i pretrattamenti.
- b. *Processo di digestione anaerobica*: fase caratterizzata dal digestore, dove avviene il processo di digestione anaerobica che trasforma la biomassa di partenza in biogas e digestato, materiali che verranno riutilizzati successivamente per altri scopi.
- c. *Trattamento del biogas*: dopo il prelievo del biogas dal digestore, a seconda della composizione, vengono svolti processi che mirano ad eliminare impurità e tracce di gas per permettere il migliore utilizzo del gas prodotto ed evitare corrosione del motore. In questa fase viene collocato, eventualmente, il processo di *upgrading* per la purificazione del biogas e la sua successiva trasformazione in biometano. Successivamente, il biogas viene stoccato e inviato al cogeneratore, previa desolfurazione, raffreddamento e deumidificazione.
- d. *Produzione dell'energia elettrica*: una delle varie strade che si possono percorrere una volta che si è ottenuto e purificato il biogas è il suo utilizzo in un motore cogenerativo per la produzione di calore ed energia elettrica. Parte del calore, per evitare inutili dispersioni e consumi, viene utilizzata stesso per scaldare il digestore e mantenere le condizioni di temperatura richieste.
- e. *Utilizzo della biomassa*: il funzionamento delle differenti sezioni dell'impianto è gestito in modo automatico da un sistema di controllo e automazione con la supervisione di operatori specializzati. Il digestato prodotto dalla trasformazione chimica del substrato di partenza può essere o ricircolato per essere reimmesso nel reattore pronto per un ulteriore processo di digestione delle parti non completamente decomposte o altresì può essere utilizzato in agricoltura come fertilizzante.

In Figura 13 si mostra una sintesi di tutta la filiera agroenergetica del biogas.

Filiera Biogas

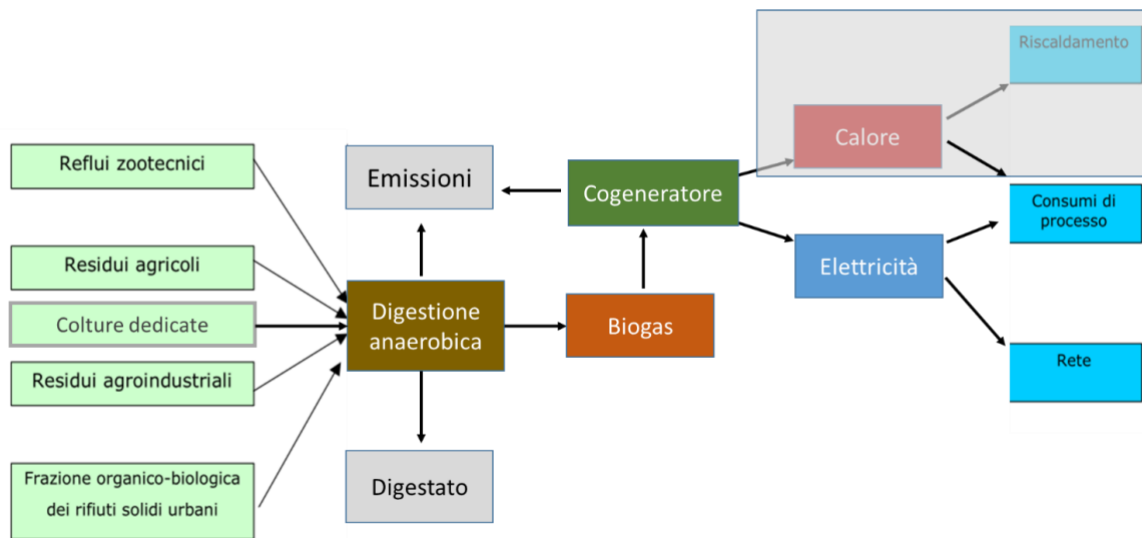


Figura 13 La filiera del biogas e le sue fasi.

Se si considera la produzione di biogas da matrici di origine non agricola (come per esempio la FORSU ed i fanghi di depurazione), la parte impiantistica presenta poche differenze rispetto a quella di produzione di biogas in ambito agricolo e zootecnico già descritta. Come già specificato, la tipologia di impianto comunemente utilizzata per la FORSU e per i fanghi di depurazione è rappresentata da un digestore a secco e le maggiori differenze rispetto all'utilizzo delle altre biomasse si riscontrano a monte e a valle della parte impiantistica, in quanto riguardano soprattutto i pretrattamenti, necessari per diminuire il grado di impurezza prima dell'immissione nei reattori. Inoltre, per poter trasformare il digestato ottenuto in un ammendante utilizzabile direttamente in agricoltura, è necessario, in questo caso, prevedere un impianto di compostaggio. Il principale vantaggio della combinazione tra digestione anaerobica e compostaggio è il minore impatto olfattivo: le fasi degradative che producono la maggior parte degli odori avvengono infatti all'interno dei fermentatori, che sono ermeticamente chiusi. In Figura 14, a titolo esemplificativo, è mostrato uno schema di filiera di produzione di biogas e biometano da FORSU.

IMPIANTI ALIMENTATI CON LA FRAZIONE ORGANICA DEL RIFIUTO

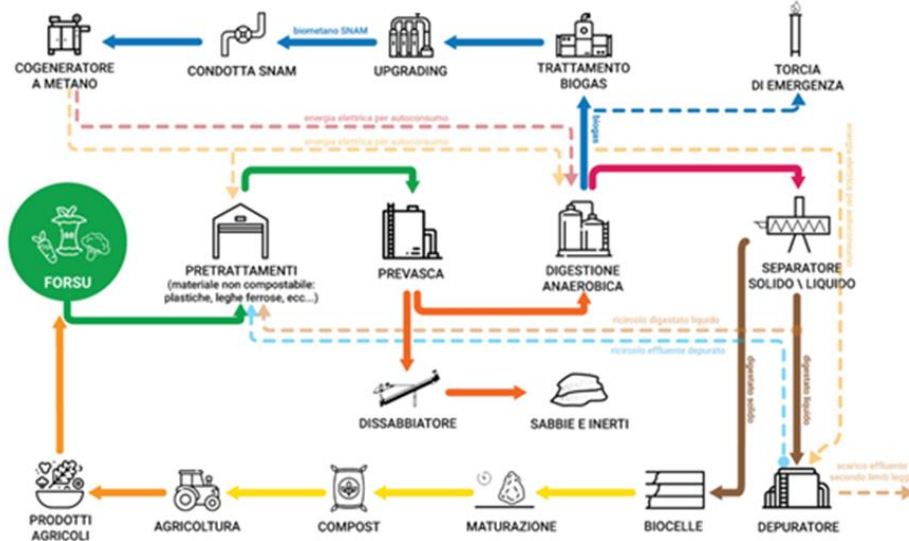


Figura 14 Schema di un impianto alimentato a FORSU. Fonte: <https://www.biowaste.it/impianto-alimentato-a-forsu>.

PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA BIOGAS

Mediamente con 1 m³ di biogas è possibile produrre 1,8-2 kWh di energia elettrica e 2-3 kWh di energia termica (Fiper, 2018).

Per essere utilizzato come combustibile, il biogas in uscita dal digestore deve seguire dei trattamenti specifici (Figura 15). Immediatamente dopo la produzione, il biogas deve essere raffreddato, sgocciolato (scolato) e asciugato e solitamente pulito, a causa del suo contenuto di acido solfidrico (Holm-Nielsen et al., 2009).

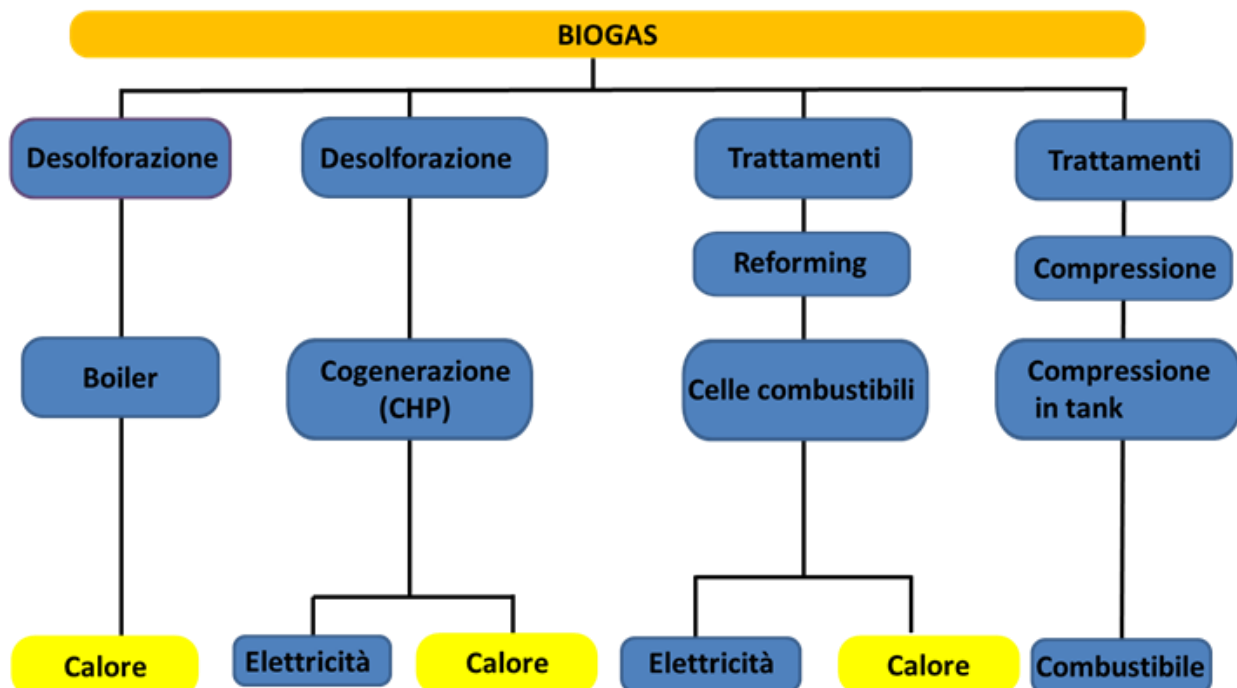


Figura 15 Schematizzazione di alcuni trattamenti a cui si deve sottoporre il biogas per le più comuni utilizzazioni. Fonte: Elaborazione personale adattata da regione Marche, 2013.

Il biogas, sia tal quale sia trattato, può essere utilizzato in diversi modi: l'iniezione del biogas nella rete del gas naturale e/o il suo utilizzo come carburante per autotrazione sono diventati sempre più importanti, perché queste applicazioni rendono il biogas stesso utilizzabile durante tutto l'anno, con conseguente maggiore efficienza energetica. Generalmente, in Europa ed in Italia, il biogas viene utilizzato per la cogenerazione, detta anche produzione CHP (Combined Heat & Power), ossia per la produzione simultanea di energia elettrica e calore (Ward et al., 2008), mediante motori a gas o a doppio combustibile.

Ad oggi, le tecnologie di conversione del biogas in energia elettrica e termica si possono riassumere in questo modo:

- Motori a combustione interna.
- Motori a combustione esterna.
- Combustione diretta in caldaia.
- Combustione diretta per turbine a vapore o a gas.

La quasi totalità delle applicazioni presenti nel panorama italiano è rappresentata dai motori a combustione interna per la produzione di energia elettrica, dotati spesso di scambiatore termico per il recupero del calore. Uno schema riassuntivo delle tecnologie è riportato in Figura 16.

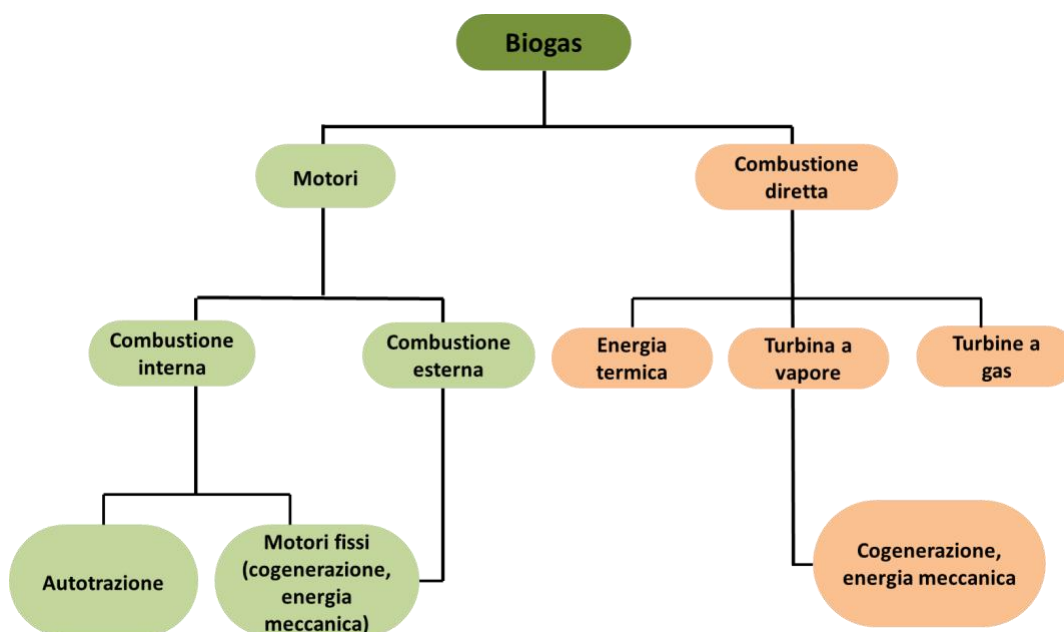


Figura 16 Possibili tecnologie di utilizzo del biogas e principali destinazioni dell'energia. Fonte: Elaborazione personale adattata da regione Marche, 2013.

Il cogeneratore si può definire come un motore alimentato a combustibile e connesso a un generatore. Il motore fa ruotare un generatore, che in risposta produce energia elettrica. Tale energia, decurtata di quella necessaria per il funzionamento degli ausiliari di impianto, viene immessa nella rete di distribuzione nazionale.

Come risultato della combustione, il motore produce anche calore, che viene allontanato tramite i gas di scarico e il liquido di raffreddamento (Busato, 2020). Utilizzando opportuni

scambiatori di calore, tale energia termica può essere recuperata ed utilizzata in maniera produttiva. Il recupero di energia termica è possibile solo se l'installazione è collocata nelle vicinanze di un utente che consuma calore. Infatti, mentre biogas ed elettricità si possono trasportare in maniera efficiente, è possibile trasportare il calore, ma sono necessarie tubature isolanti molto costose e, nonostante ciò, si manifesta comunque una cospicua perdita di energia. Di solito, quindi, il calore cogenerato viene usato per il mantenimento dei livelli di temperatura adeguati della digestione e per alimentare eventuali utenze termiche presenti nell'intorno dell'impianto (edifici, stalle ecc.), ma spesso, seppure erroneamente, il recupero di calore viene considerato come soluzione marginale.

In Figura 17 è riportato uno schema di un impianto di cogenerazione nella filiera del biogas. Chiaramente, le opzioni impiantistiche devono essere valutate sulla base delle opportunità offerte e messe in relazione alle necessità del produttore (Busato, 2020).

L'energia elettrica che si ottiene viene venduta ed immessa sulla rete nazionale, anche in virtù degli incentivi previsti dal DM del 4 luglio 2019 per la produzione di energia elettrica da biogas derivante da processi di depurazione.

Oltre al biogas, un altro importante flusso di materia in uscita dal processo di digestione è rappresentato dal digestato, ovvero la materia organica digerita. Il digestato viene raccolto, trattato, stoccato ed utilizzato sui campi, secondo le modalità previste dalla normativa e dal piano colturale dalle singole aziende. Il digestato, al pari delle deiezioni animali, viene impiegato normalmente come fertilizzante e ammendante e per questo risulta utile per limitare e talvolta annullare l'impiego di concimi di sintesi, con ovvi benefici energetici, ambientali ed economici. Tuttavia, per diventare adatto all'uso come fertilizzante, il digestato deve essere sottoposto ad un processo di risanamento controllato (Al Seadi et al., 2013).

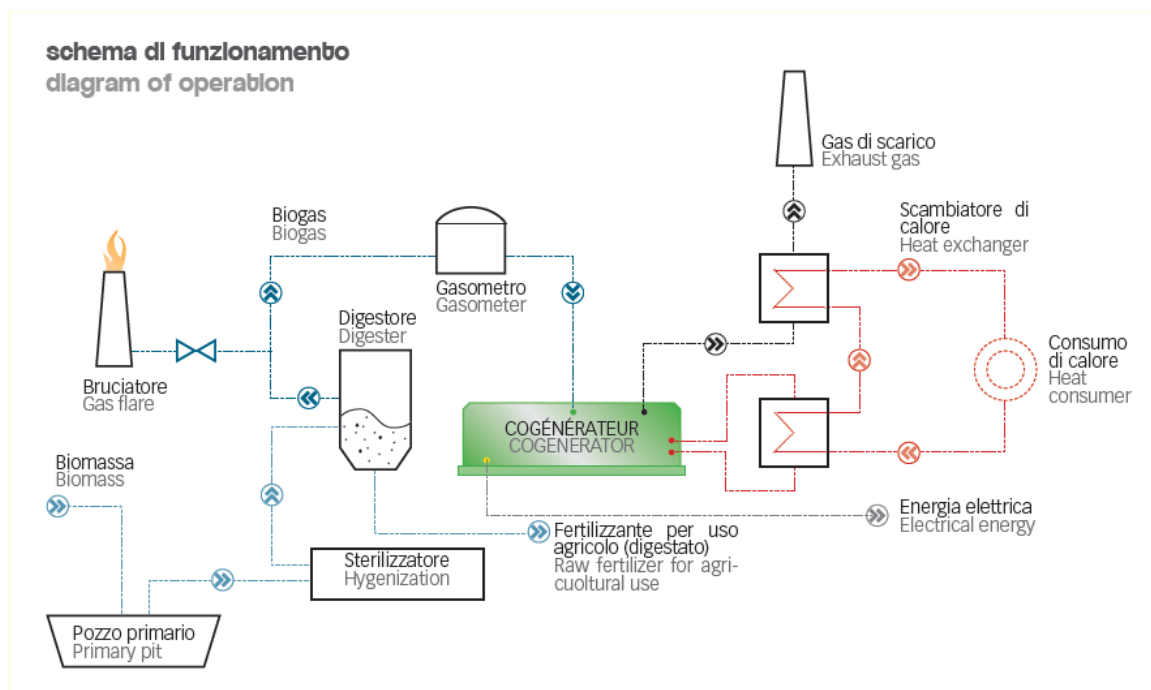


Figura 17 Schema di un impianto di cogenerazione. Tratto da CIB (2017).

3.2 Impatto socio-economico della filiera

PANORAMICA NORMATIVA SUGLI INCENTIVI (ALLEGATO I: PARTE NORMATIVA)

La produzione di energia elettrica da biogas agricolo è iniziata in modo effettivo a seguito della introduzione delle Tariffe Onnicomprensive avvenuta per la prima volta con la Legge 244/2007 e quindi regolata dal DM 18/12/2008. Il sistema si è concretamente avviato a seguito della pubblicazione della Legge 23 luglio 2009 n. 99 che ha fissato la tariffa incentivante per la cessione di energia a 280 €/MWh.

La Tariffa Onnicomprensiva costituiva il meccanismo di incentivazione riservato agli impianti qualificati IAFR (Impianto Alimentato da Fonti Rinnovabili), di potenza nominale media annua non superiore ad 1 MW. Tale sistema di incentivazione è rimasto in vigore fino al 31/12/2012. Dal 1° gennaio 2013 ha iniziato a trovare applicazione il DM 6 luglio 2012 (Decreto FER) che fissava tariffe incentivanti decisamente ridotte, ma operanti per la durata di 20 anni. La tariffa era legata alla taglia ed al tipo di alimentazione dell'impianto, con preferenza per impianti fino a 300 kWe alimentati almeno al 70% da sottoprodotti (reflui zootecnici ecc.) che potevano beneficiare di una tariffa di 236 €/MWh.

Il sistema di incentivazione del DM 6 luglio 2012 ha continuato ad operare in modo esclusivo fino all'emanazione del nuovo DM 23 giugno 2016 che ha modificato il precedente sistema: a partire da quel momento è iniziato un regime sovrapposto, durante il quale hanno continuato ad andare in esercizio impianti incentivati con il vecchio sistema, se iscritti nei precedenti registri, e hanno continuato ad operare le regole previgenti per gli impianti avviati entro giugno 2017. Per gli impianti fino a 100 kWe, è stato possibile (ma non obbligatorio) l'accesso diretto agli incentivi, pur nel rispetto del budget di 5,8 Mld di Euro all'anno di costo massimo per il sistema elettrico. La gran parte degli impianti a biogas italiani è entrata in esercizio con il sistema ante 31/12/2012 e quindi beneficia di una tariffa da 280 €/MWh e sarà incentivata per 15 anni. Gli impianti andranno, quindi, a fine incentivo fra il 2024 ed il 2027.

ASPETTO SOCIO – ECONOMICO DELLA FILIERA

Un'interessante analisi socio-economica della filiera del biogas è stata condotta nel 2018 da Fiper (Federazione italiana produttori di energia da fonti rinnovabili), insieme con il CMA (Consorzio Monviso Agroenergia), che riunisce più di 120 aziende agricole titolari di impianti di produzione di biogas e di altri impianti agroenergetici. Da tale studio emerge che la filiera del biogas rappresenta un importante elemento di forza del tessuto produttivo nazionale. I risultati raggiunti nel settore delle agroenergie sono ragguardevoli: considerando solo il comparto del biogas, il settore agricolo in Italia fattura circa 2 Mld euro all'anno di energia elettrica incentivata, corrispondente a circa il 4% della produzione standard complessiva stimata al 2016 (Carrosio, 2012; Fiper, 2018).

Gli incentivi riconosciuti al comparto biogas fanno crescere, sviluppare ed innovare il territorio rurale nazionale, con notevoli ricadute positive a livello economico e sociale. Dal punto di vista economico-finanziario, infatti, la liquidità generata attraverso la produzione di energia costituisce un importante contributo per lo sviluppo delle aziende agricole che

hanno potuto diversificare i mercati tradizionali di riferimento, affrontando in questo modo la grave crisi degli ultimi anni. Una peculiarità del comparto biogas è data dall'effetto moltiplicatore che si genera sul territorio a partire dall'investimento effettuato e dalla redistribuzione del reddito. Il biogas ha consentito alle aziende che lo hanno introdotto di essere più competitive sui mercati e di mantenere la produzione con elevatissimi standard di qualità nelle filiere agroalimentari tipiche italiane (Fiper, 2018).

Partendo dal presupposto che un impianto a biogas si inserisce in un quadro più ampio rispetto alla sola produzione e fornitura di energia elettrica e/o calore, numerose possono essere le esternalità positive e i costi evitati che caratterizzano un impianto a biogas, dal risparmio di concimi, tramite l'utilizzo del digestato, al recupero del calore per il riscaldamento e l'essiccazione, con conseguente risparmio economico e di combustibili fossili.

Come mostrato in Figura 18, le ricadute economiche ed occupazionali connesse a tutta la filiera del biogas sono state quantificate e valutate a diversi livelli di impatto (Fiper, 2018):

- *diretto*, ovvero il valore monetario prodotto sul territorio, dato dalla progettazione e costruzione degli impianti di biogas, dal loro esercizio pluriennale e dal numero di occupati direttamente impiegati;
- *indiretto*, dato dal valore creato dai settori fornitori sia a monte che a valle della filiera (fornitori di materie prime, trasportatori, ecc.) e dal relativo numero di occupati;
- *indotto*, dato dal valore creato dai settori indirettamente correlati per la produzione di beni e servizi (per i fornitori), che a loro volta attivano i propri con un effetto moltiplicativo a cascata e dal relativo impiego di manodopera.

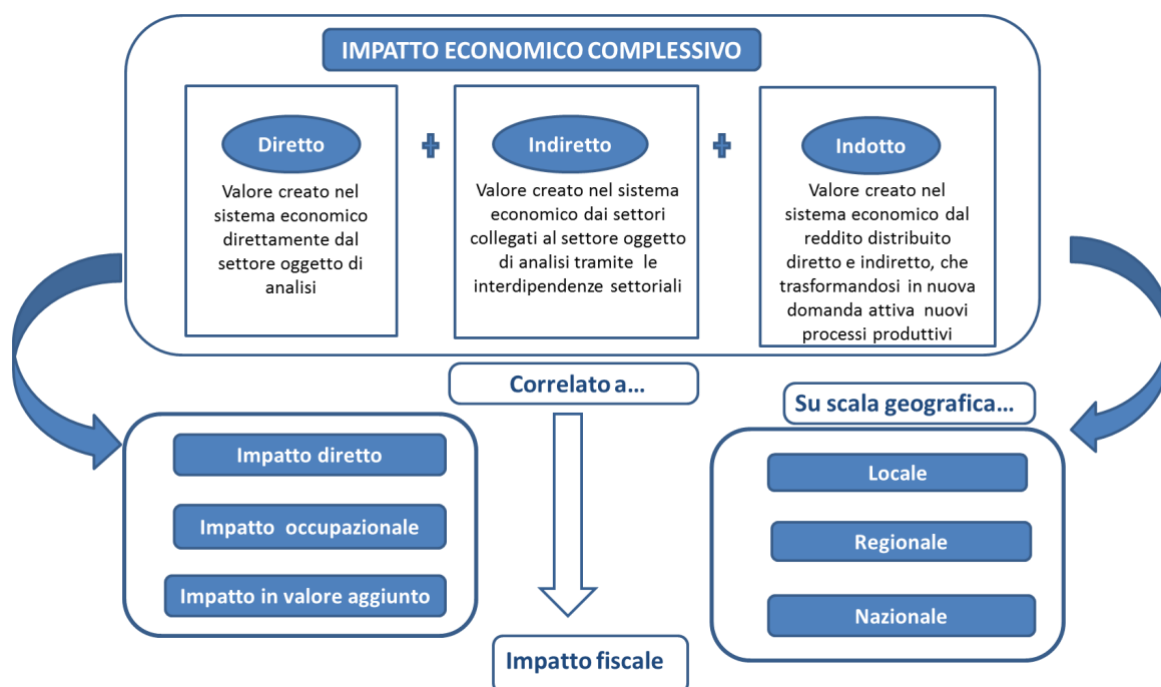


Figura 18 Schema metodologico di impatto economico. Fonte: Elaborazione personale adattata da Fiper, 2018.

Ogni tipologia di impatto può essere quantificata in termini monetari, di valore aggiunto e occupazionali, sia a livello locale che successivamente a livello regionale e nazionale. Accanto a queste ricadute va considerato anche l'impatto fiscale, ossia il gettito generato dalle imposte locali, regionali e statali percepito dai diversi soggetti istituzionali ed amministrativi interessati. Inoltre, la creazione di valore e di nuovi posti di lavoro ha l'effetto di aumentare la base imponibile e di riflesso il gettito fiscale e può influenzare anche la domanda e l'offerta di servizi pubblici sia a livello locale che a livello statale (Fiper, 2018). Dallo studio – che ha utilizzato come campione 7 impianti-tipo caratteristici, e i cui risultati ottenuti sono stati successivamente estesi, da livello di consorzio CMA all'intero territorio nazionale – è emerso che le ricadute degli impianti agricoli di biogas esistenti corrispondono a circa 3.400 milioni di €/anno ed a oltre 12.000 ULA (Unità Lavorative Annue). In termini monetari, ciò corrisponde a ben l'11% del valore della produzione agricola nel 2017, relativa alle sole attività che rientrano nella filiera del biogas (coltivazioni erbacee, foraggere e allevamenti zootecnici) e al 3,5% della relativa occupazione. Sotto questo profilo, quindi, le ricadute economiche e occupazionali create dalla filiera del biogas agricolo risultano di grande interesse.

In conclusione, si può affermare che la filiera agroenergetica in cui si inseriscono gli impianti a biogas è caratterizzata da un'elevata intensità di lavoro locale, dall'utilizzo prevalente di biomasse e reflui provenienti da aziende agricole italiane, e da una forte presenza dell'industria italiana nelle tecnologie dell'impianto. Inoltre, il biogas viene prodotto in ambito decentrato, vicino alle aziende agricole che conferiscono gli effluenti zootecnici e le biomasse all'impianto, riducendo in tal modo (e spesso azzerando) i costi di trasporto delle stesse (Fiper, 2018).

Ciò permette un riciclo in loco quasi totale dei nutrienti ed un sensibile incremento della restituzione di sostanza organica ai terreni agricoli utilizzati per le colture energetiche, realizzando una vera e propria forma di economia circolare. È utile sottolineare che gli impianti a biogas, date le loro dimensioni contenute (gli impianti più grandi hanno una capacità installata di poco inferiore ad 1 MWe), hanno permesso al tessuto imprenditoriale agricolo italiano di realizzare investimenti, senza dover dipendere necessariamente da un'industria di trasformazione, contribuendo in tal modo ad un sensibile e duraturo sviluppo delle aree rurali interessate.

3.3 Impatti ambientali e strumenti di sostenibilità

Uno degli aspetti più importanti da valutare nella filiera del biogas è quello della sostenibilità. La possibilità di raggiungere obiettivi di qualità ambientale, con una contestuale integrazione di reddito all'agricoltore derivante dalla produzione di energia rinnovabile, rappresenta un obiettivo imprescindibile (Fiper, 2018).

Il sistema del biogas italiano è dunque caratterizzato dai seguenti aspetti qualificanti dal punto di vista ambientale:

- Fonte energetica rinnovabile che consente importanti risparmi di CO₂ equivalente;
- Produzione di digestato di qualità, da usare come fertilizzante organico sostenibile;

- Risparmio di fertilizzanti chimici prodotti con energia fossile;
- Contributo al sequestro di quote rilevanti di carbonio nel suolo;
- Ridotte emissioni inquinanti in atmosfera;
- Trattamento di effluenti zootecnici, con stabilizzazione e riduzione delle emissioni;
- Valorizzazione di sottoprodotti agricoli ed agroindustriali (secondo i principi dell'economia circolare).

La Direttiva Europea del 23/1/2008 specifica i criteri di sostenibilità ambientale per i biocarburanti e gli altri bioliquidi, quali la riduzione di gas serra, il non utilizzo di materie prime ottenute su terreni con elevato valore in termini di biodiversità, l'evitare la produzione nelle aree con vincoli di protezione della natura o in terreni con elevato stock di carbonio e l'obbligo dei produttori di rispettare i criteri di sostenibilità (Arpav, 2009). La valutazione della sostenibilità ambientale di filiere agro-energetiche può comportare l'analisi di numerosi impatti e altrettanti indicatori (Enama, 2011). Infatti un'analisi completa delle pressioni ambientali dovrebbe, quindi, includere:

- una valutazione quantitativa delle principali emissioni in aria, acqua e terreno;
- una valutazione quantitativa dell'effettiva produzione di rifiuti;
- una valutazione quantitativa del consumo di risorse;
- una valutazione qualitativa e quantitativa delle implicazioni associate all'eventuale cambio d'uso del suolo.

CERTIFICAZIONI LEGATE ALLA FILIERA

La Commissione Europea si è posta anche l'obiettivo di stabilire i criteri di sostenibilità per tutti gli utilizzi a fini energetici della biomassa (Arpav, 2009).

Molte iniziative sulla certificazione delle biomasse sono già in corso e vengono discusse nelle tavole rotonde dell'OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development), della FAO (Food and Agriculture Organisation) e della IEA (International Energy Agency). A supporto delle decisioni della Commissione Europea, è stato effettuato uno studio su "Criteri di sostenibilità e Sistemi di certificazione per le biomasse". I sistemi di certificazione esistenti per le agro-energie sono suddivisi nelle tre categorie seguenti:

- certificazione delle foreste, tra cui i più noti sono il sistema PEFC e il sistema FSC;
- certificazione delle colture energetiche, sulla base di un set di criteri sviluppati dalla Roundtable for Sustainable Palm Oil (RSPO), ancora in fase di convalida;
- certificazione della produzione di energia, caratterizzata da diversi livelli: (i) un sistema di certificazione interno "Essent Green Gold label" (GGL) per le compagnie di produzione; (ii) una label per l'energia verde al fine di etichettare e distinguere i diversi prodotti per le compagnie di distribuzione; (iii) altre label per certificare biomasse meno "verdi", come la parte biodegradabile dei rifiuti urbani, i fanghi di depurazione, il legno da demolizione.

In Italia, il sistema di certificazione per gli impianti di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili alimentati a biogas è stato definito di concerto con il Consorzio Italiano Biogas (CIB), attraverso il disciplinare "Biogas fatto bene" che qualifica la sostenibilità economica, ambientale e sociale del processo produttivo e dell'utilizzo di biogas da parte delle aziende

che aderiscono a tale disciplinare. Si tratta di un documento programmatico, sottoscritto dalle principali associazioni del settore agro-energetico (Agroenergia, AIEL, APER, CIA, CIB, Confagricoltura, CRPA, DAEL, FIPER e ITABIA), che traccia una linea di principi volti al raggiungimento degli obiettivi fissati dal Piano d'Azione Nazionale per le energie rinnovabili (PAN), garantendo uno sviluppo equilibrato e duraturo del settore.

ENAMA è l'Organismo di Certificazione esclusivo per l'Italia convenzionato con il CIB, che è proprietario del marchio "Biogas fatto bene". ENAMA effettua le verifiche ispettive presso gli impianti di biogas, al fine di certificare il processo di produzione e utilizzazione del biogas in conformità agli obiettivi fissati dal disciplinare (ENAMA, 2011).

In questa maniera, il CIB ha contribuito ad accrescere la consapevolezza della complementarità delle attività agricola - zootecnica tradizionale con quella agro-energetica, che ben si integrano tra loro, supportandone la sostenibilità ambientale ed economica.

4 Gruppo di lavoro

Responsabili ENEA dello studio di filiera: Giuliana Ansanelli, Gabriella Fiorentino, Amalia Zucaro.

Nome	Ente/impresa	Tipologia ¹	Sito web	Contatti
Amalia Zucaro	ENEA	Centro di ricerca	www.enea.it	amalia.zucaro@enea.it tel: 081-7723613
Gabriella Fiorentino	ENEA	Centro di ricerca	www.enea.it	gabriella.fiorentino@enea.it Tel. 081-7723626
Giuliana Ansanelli	ENEA	Centro di ricerca	www.enea.it	giuliana.ansanelli@enea.it Tel.: 081-7723367
Alessandro Giocoli	ENEA	Centro di ricerca	www.enea.it	alessandro.giocoli@enea.it Tel.: -
Antonietta Cerbone	ENEA	Centro di ricerca	www.enea.it	antonietta.cerbone@enea.it Tel.: 081-7723428
Vincenzo Motola	ENEA	Centro di ricerca	www.enea.it	vincenzo.motola@enea.it Tel.: 0332 788 226

Si ringraziano il dr. Riccardo De Lauretis e la dr.ssa Eleonora Di Cristofaro, dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), per le informazioni fornite sulle emissioni locali generate del processo di conversione del biogas in elettricità e calore (impianto).

5 Ambito di applicazione dello studio

Il progetto Arcadia si prefigge di costruire dei dataset contenenti dati riferiti al contesto italiano, per le filiere più significative a livello nazionale. Fra queste, la filiera di produzione

del mix elettrico nazionale è stata individuata come una di quelle di maggiore interesse per il progetto. Alla produzione del mix elettrico nazionale, le fonti rinnovabili contribuiscono per oltre il 40%. Pertanto, al fine di costruire un dataset del mix elettrico italiano, sono stati raccolti dati relativi a selezionate filiere energetiche da fonti rinnovabili. In particolare, nell'ambito del progetto, è stata analizzata la filiera delle bioenergie. In seguito ad una ricognizione qualitativa e quantitativa delle biomasse utilizzate negli impianti di conversione operanti sul territorio nazionale, sono state identificate le seguenti filiere bio-energetiche che saranno oggetto dell'analisi del ciclo di vita LCA, secondo le norme ISO 14040-44 (ISO, 2006 a,b):

- Biomasse solide
- Biogas
- Biocombustibili

In questo studio è stata analizzata la filiera di produzione di energia da biogas al fine di ottenere il dataset da utilizzare nella Banca Dati Italiana (BDI) di LCA, prevista dal progetto.

5.1 Funzione del sistema, unità funzionale e flusso di riferimento

L'unità funzionale (UF) scelta è **la produzione di 1 kWh di energia elettrica da biogas in Italia**. Si specifica che la produzione di energia è considerata al netto dell'autoconsumo. Inoltre, la UF scelta è funzionale ad integrare il presente studio nella più ampia valutazione del mix energetico nazionale.

Tabella 4 Unità funzionale e flusso di riferimento dello studio.

Unità Funzionale	Produzione di 1 kWh elettrico da biogas, in Italia
Flusso di riferimento	1 kWh elettrico da biogas, in Italia

5.2 Confini del sistema

In Figura 19 e Figura 20 sono rappresentati i confini dei sistemi investigati.

Nel caso di **colture energetiche dedicate** (Figura 19), l'analisi LCA ha tenuto conto della fase agricola di produzione della biomassa, del trasporto della biomassa presso gli impianti di conversione anaerobica per la produzione di biogas e del successivo processo di cogenerazione per la produzione di elettricità e calore. I processi di conversione anaerobica e di cogenerazione si assumono autosufficienti dal punto di vista energetico, in quanto per il loro funzionamento utilizzano parte dell'elettricità prodotta e del calore generato. Il quantitativo di elettricità complessivamente utilizzata dai processi di conversione energetica (digestione anaerobica + CHP) è posta pari al 10% dell'energia elettrica prodotta. Il quantitativo di calore utilizzato nei processi di conversione è considerato pari al 15% del calore prodotto, in accordo con quanto riportato nell'ultimo rapporto del GSE (GSE, 2019). Per lo studio LCA di questo sistema, è stato seguito un approccio *Cradle to Gate* ("dalla

culla al cancello”), ossia sono stati considerati tutti i flussi, dalla produzione delle biomasse fino alla vendita dell’energia alla rete nazionale.

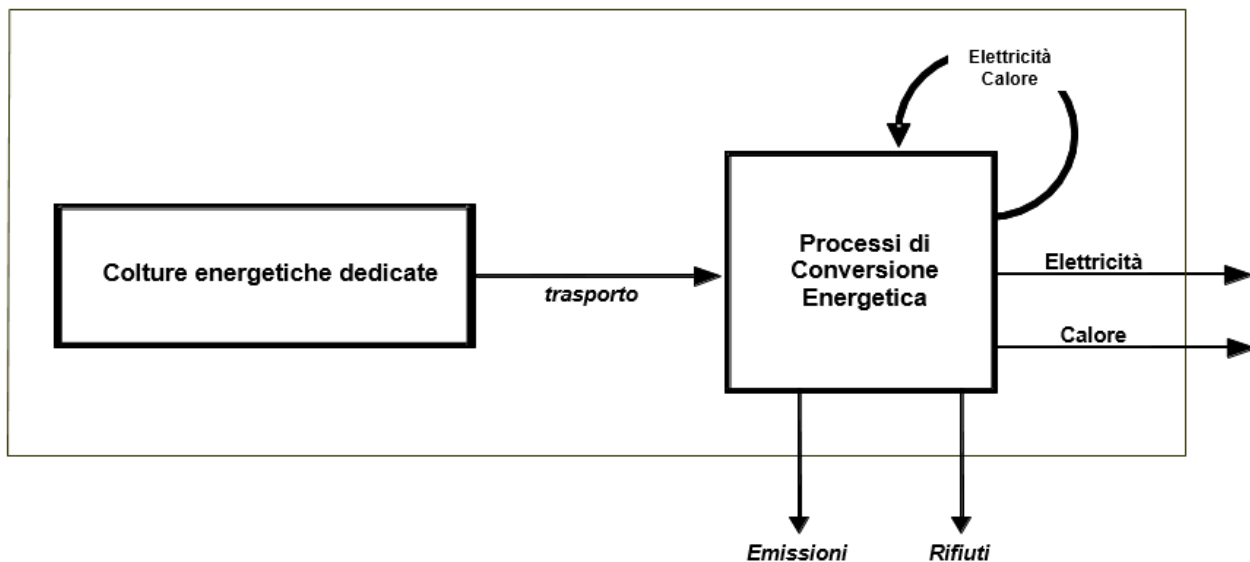


Figura 19 Confini del sistema per le biomasse dedicate dalla “culla al cancello”.

Nel caso di **biomasse di scarto** è stato applicato l’approccio “zero burden”, ossia non è stato considerato il carico ambientale del processo che genera lo scarto, in accordo con la letteratura di settore (Ekvall et al., 2007). Di conseguenza, il confine del sistema (Figura 20), secondo un approccio Gate to Gate (dal Cancello al Cancello), include il trasporto delle biomasse residuali presso gli impianti di conversione e i processi di conversione delle biomasse in biogas e di quest’ultimo in energia.

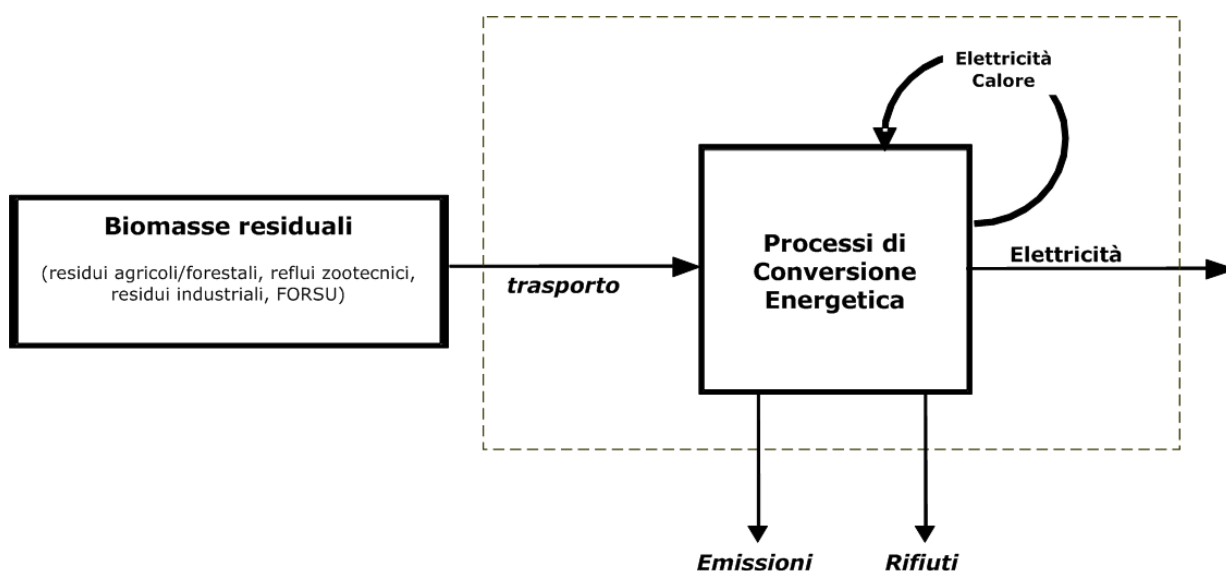


Figura 20 Confini del sistema per le biomasse di scarto, dal “cancello al cancello” (approccio “zero burden”).

5.3 Assunzioni e giudizi di valore

In questo lavoro sono state fatte le seguenti assunzioni:

- I consumi degli input di acqua e *chemicals* sono trascurabili, in quanto tali flussi sono riutilizzati più volte all'interno del sistema e le perdite non sono significative.
- In accordo con quanto riportato dal GSE, l'autoconsumo di energia elettrica è uguale al 10% dell'elettricità prodotta, mentre l'autoconsumo di calore è pari al 15% (valore mediato sugli anni 2014-2019).
- In accordo con quanto riportato in letteratura e confermato dai report di ISPRA, le uniche emissioni significative prodotte dall'impianto di digestione anaerobica sono quelle di metano (CH₄). Queste sono state calcolate considerando che il CH₄ rappresenta il 55% del biogas prodotto (Busato, 2020; Reichhalter et al., 2011) e che, di questo, l'1% viene disperso in atmosfera (Lijó et al., 2014).
- Le emissioni totali prodotte dall'impianto di cogenerazione sono uguali a quelle riportate nel foglio di lavoro EF combustion 2019 di ISPRA (ISPRA, 2019).
- La distanza di trasporto dal luogo di produzione delle biomasse all'impianto di conversione è pari a 70 km, in accordo con quanto previsto dalla normativa per la filiera corta per le biomasse a fini energetici (DM 2/3/2010).
- Il calore è un co-prodotto e, pertanto, è stata applicata una procedura di allocazione exergetica (vedi paragrafo 5.4).
- Il digestato prodotto dall'impianto di digestione anaerobica è utilizzato come fertilizzante su campi agricoli. Poiché tale fase non rientra nei confini del sistema analizzato, il digestato non è stato contabilizzato né come rifiuto né come prodotto evitato.
- Le biomasse da scarti agricoli e alimentari e dagli effluenti zootecnici, nonché dalle acque di vegetazione e di lavaggio, seguono un approccio "zero burden", ossia non è stato considerato il carico ambientale del processo che le ha generate (Ekvall et al., 2007).

5.4 Gestione della multifunzionalità

La filiera analizzata genera, come prodotto principale, l'elettricità e, come co-prodotto, il calore. Pertanto, è stata effettuata un'allocazione exergetica. Infatti, in questo caso non è possibile utilizzare un'allocazione basata sulla massa e quella economica è ritenuta poco opportuna, a causa del rischio di volatilità dei prezzi (Goedkoop, 2016).

Inoltre, l'allocazione puramente energetica non sarebbe in grado di tener conto adeguatamente delle differenze, in termini di qualità, dell'energia contenuta nei prodotti ottenuti. Infatti, a parità di kWh, l'energia elettrica ha una maggiore capacità di compiere lavoro rispetto al calore. Una metrica appropriata per evidenziare tale differenza è la frazione del contenuto di exergia di ogni prodotto rispetto al totale del lavoro compiuto, cioè la capacità termodinamica dei prodotti di sostenere ulteriori trasformazioni. Infatti, l'exergia è definita come la quantità di lavoro che una risorsa può fornire quando viene portata in equilibrio termodinamico con l'ambiente circostante (Bejan, 1989).

I prodotti energetici possono essere confrontati senza fare riferimento al loro valore di mercato, ma con riferimento alle loro prestazioni ambientali. Inoltre, l'exergia permette un confronto nel tempo, essendo una misura indipendente dal tempo.

Gli impatti del processo sono stati allocati ai prodotti in proporzione al loro contenuto di exergia. In dettaglio, per convertire le due forme di energia in exergia, è stata applicata la seguente equazione:

$$\text{Exergia totale (kWh}_{\text{ex}}) = \text{Elettricità (kWh}_{\text{el}}) + \sigma_{\text{th}} * \text{Calore (kWh}_{\text{th}}) \quad (1)$$

dove σ_{th} è il Fattore di Carnot che è definito come segue:

$$\text{Fattore di Carnot } (\sigma_{\text{th}}) = 1 - (T_a/T_d)$$

T_a : temperatura ambiente;

T_d : temperatura del calore ottenuto dal processo di cogenerazione.

Per il calore, σ_{th} è stato posto uguale a 0,17, in analogia a quanto riportato nel processo di EcoInvent relativo alla cogenerazione di elettricità e calore da biogas (Jungbluth et al., 2007).

Le percentuali di allocazione sono state calcolate come segue:

% di allocazione Elettricità: Elettricità (kWh_{el}) / Exergia totale (kWh_{ex})

% di allocazione calore: $\sigma_{\text{th}} * \text{Calore (kWh}_{\text{th}}) / \text{Exergia totale (kWh}_{\text{ex}}$)

In Tabella 5, sono riportati i valori di allocazione per i sistemi analizzati, il dettaglio dei calcoli del calore e dell'elettricità è riportato nel paragrafo 7.2.

Tabella 5 Valori di allocazione exergetica per le classi energetiche individuate.

Allocazione Exergetica			
Output	CL1	CL2	CL3
EE	86%	89%	77%
Calore	14%	11%	23%

5.5 Revisione critica

Le procedure del progetto Arcadia infine prevedono una revisione critica degli studi LCA di filiera, che sarà effettuata da revisori interni afferenti ad ENEA oppure da revisori esterni (es. società di consulenza) specializzati in LCA, che si occuperanno di dare un giudizio critico dello studio per supportarne la validità e includerà la verifica e la validazione sia dello studio LCA (inclusi i dati raccolti, calcolati e stimati e il modello LCA) sia del rapporto tecnico, che dei dataset.

La verifica dello studio LCA assicurerà che lo studio è conforme alle ISO 14040-44, mentre la validazione delle informazioni contenute nello studio valuterà se i dati e le informazioni utilizzate nello studio sono consistenti, affidabili e tracciabili, e se i calcoli sono stati eseguiti correttamente. La verifica e la validazione del rapporto LCA valuterà se esso è completo,

consistente e conforme alle norme ISO; se le informazioni e i dati sono consistenti, affidabili e tracciabili.

La revisione è stata condotta da personale interno ENEA indipendente non coinvolto nello studio, con esperienza ventennale in LCA. Il presente report integra le revisioni proposte all'interno del documento "revisione della filiera del biogas per la produzione di energia elettrica in Italia".

5.6 Modellizzazione e metodologia di analisi degli impatti

I dati raccolti sono stati analizzati mediante l'impiego del software SimaPro v.9.2.0.1 (Pré-Consultants). Inoltre, è stato selezionato il database EcolInvent (v. 3.7.1) ed i dataset cut-off, per i dati di background relativi ai processi agricoli e agli impianti di conversione, ed il metodo EF 3.0 (Zampori e Pant, 2019) per la valutazione degli impatti. Tale metodo, indicato dalla Commissione Europea per l'Environmental Footprint, comprende la caratterizzazione, la normalizzazione e ponderazione.

5.7 Informazioni ambientali aggiuntive

Nessuna.

6 Modellazione dei dataset della filiera

Il dataset della filiera di produzione di energia da biogas, in Italia, è stato modellato partendo dalle informazioni riportate nel report del GSE (GSE, 2021), relative alle tipologie di biomasse impiegate e al loro contributo percentuale alla produzione di energia elettrica da biogas, a livello nazionale. In particolare, il report evidenzia che il maggiore contributo alla generazione di elettricità proviene dalle biomasse di origine agricola-forestale (67%) e dalle deiezioni animali (15%), mentre i rifiuti (17%) e i fanghi (1%) contribuiscono, complessivamente, per il 18%. Pertanto, è stato creato un dataset relativo alla produzione di 1 kWh elettrico da biogas, in Italia, basato tali categorie di biomasse, i cui pesi percentuali sono stati ricavati dal documento del GSE (GSE, 2021). In particolare, si è deciso di procedere con un accorpamento delle categorie di biomasse individuate, visto che, come riportato nel paragrafo 3, molti impianti operano, generalmente, in co-digestione, ossia impiegano contemporaneamente matrici di natura diversa. Per esempio, i reflui zootecnici vengono spesso usati in combinazione con biomasse agricole, per aumentare la resa del mix digestivo. Quindi, sono state definite le due macrocategorie di biomasse riportate in Tabella 6.

Tabella 6 Categorie di biomasse considerate per la costruzione del dataset e relativo peso percentuale.

Categoria di biomassa	Contributo percentuale alla produzione elettrica italiana da biogas
Biomasse di origine agricola-forestale + deiezioni animali	(67+15=) 82%
Rifiuti e Fanghi	(17+1=) 18%

Per la categoria “*Biomasse di origine agricola-forestale + deiezioni animali*”, sono state definiti due sottogruppi, relativi alle classi di impianti appartenenti alle fasce di potenza nominale 1-700 kW e 701-1700 kW.

Per la definizione di tali classi, prima di tutto, sono stati ricavati, da Atlalimpianti (Atlalimpianti, 2020), il numero e la potenza elettrica nominale (PN_{el}) dei 1983 impianti a biogas operanti in Italia, nel 2020 (Tabella 7), e si è osservato che il 40% di essi ha una PN_{el} ≤ 300 kW_{el}, il 54% ha una PN_{el} compresa tra 301 e 1050 kW_{el} ed il restante 6% ha una PN_{el} > 1000 kW_{el}.

Tabella 7 Distribuzione di frequenza della potenza nominale degli impianti italiani a biogas, anno 2020 (fonte: Atlalimpianti).

Distribuzione di frequenza degli impianti italiani a biogas								
CLASSE		N	CLASSE		N	CLASSE		N
da	a		da	a		da	a	
1	49	71	1151	1200	3	3001	3050	1
50	100	326	1201	1250	1	3151	3200	3
101	150	45	1251	1300	3	3251	3300	1
151	199	54	1351	1400	1	3451	3500	2
200	250	197	1401	1450	1	3551	3600	1
251	300	106	1451	1500	1	4151	4200	2
301	350	37	1600	1650	5	4201	4250	1
351	400	42	1651	1700	8	4301	4350	2
401	450	4	1701	1750	2	4351	4400	1
451	500	45	1851	1902	5	5101	5150	1
501	550	49	1902	1952	3	5151	5200	1
551	600	39	1953	2002	4	5651	5700	1
601	650	80	2041	2090	3	5801	5850	1
651	700	14	2091	2140	6	6801	6850	1
701	750	27	2141	2200	1	7101	7150	1
751	800	14	2201	2250	1	7251	7300	1
801	850	32	2251	2300	1	8201	8250	1
851	900	7	2301	2350	3	8451	8500	1
901	949	9	2351	2400	2	9801	9850	1
950	1000	671	2551	2600	1	12851	12900	1
1001	1050	14	2701	2750	1	14201	14250	1
1051	1100	9	2801	2850	3	14751	14800	1
1101	1150	4	2901	2950	1			

Visto che le classi di potenza più rappresentative sono quelle nella fascia fra 1 e 1050 kW (circa il 94% del totale degli impianti), si è deciso di includere nell'analisi tutte le classi, a partire dalla più bassa, fino a raggiungere almeno l'80% della produzione nazionale elettrica da biogas, realizzata nel 2020.

Per calcolare i quantitativi di elettricità prodotta (P_{el}) dalle diverse classi di potenza, è stato necessario determinare il numero medio di ore lavorate annualmente da un impianto; questo valore è stato ottenuto basandosi sui dati GSE (GSE, 2019; GSE, 2021) inerenti alla produzione annuale di elettricità da biogas, al numero di impianti e alla potenza nominale complessiva, in Italia, negli anni 2018 e 2019 (Tabella 8).

Tabella 8 Calcolo del numero di ore medie lavorate annualmente da un impianto a biogas.

Anno	Numero impianti	Potenza Nominale (MW)	Produzione (GWh)	Autoconsumo + 10% (GWh)	Produzione e TOT (GWh)	Ore lavorate (valore medio)
2018	2136	1448	8300	830	9130	6305
2019	2177	1455	8277	828	9104	6257
Media (anni 2018-2019)	2157	1452	8288	829	9117	6281

Quindi, il valore di P_{el} per ciascun impianto a biogas è stato stimato moltiplicando il valore medio di ore lavorate (6281) per la PN_{el} dell'impianto stesso.

Così facendo, sono state definite le due seguenti classi:

1. CL1: $1 \leq PN_{el} \leq 700$ kW_{el}, con 1109 impianti, PN_{el} complessiva di 287067 kW_{el} ed un valore stimato di P_{el} (1803 GWh) pari a circa il **22%** della produzione elettrica complessiva degli impianti a biogas (8379 GWh, dato stimato per l'anno 2020);
2. CL2: $701 \leq PN_{el} \leq 1700$ kW_{el}, con 810 impianti, PN_{el} complessiva di 803042 kW_{el} ed un valore stimato di P_{el} (5044 GWh) pari a circa il **60%** della produzione elettrica complessiva degli impianti a biogas (8379 GWh, dato stimato per l'anno 2020).

Complessivamente, le due classi CL1 e CL2 comprendono 1919 impianti a biogas (97% degli impianti operativi nel 2020) con una PN_{el} pari a 1090108 kW_{el} ed una P_{el} **pari a 6847 GWh (82% della P_{el} stimata per l'anno 2020)**, come riportato in Tabella 9.

Tabella 9 Numero di impianti, potenza nominale elettrica (PNeI), produzione elettrica e contributo percentuale alla produzione elettrica nazionale da biogas delle Classi 1 e 2.

Classe	da kW	a kW	N. impianti	Potenza Nominale (kW)	Produzione (GWh)	% produzione TOT
1	1	700	1109	287067	1803	22%
2	701	1700	810	803042	5044	60%
TOTALE classi 1 e 2	-	-	1919	1090108	6847	82%

Quindi, avendo suddiviso la categoria “*Biomasse di origine agricola-forestale + deiezioni animali*” in due sottocategorie, i **processi unitari** utilizzati per la costruzione del dataset relativo alla produzione di 1 kWh di energia elettrica da biogas, in Italia, diventano tre (Tabella 10).

Tabella 10 Processi unitari considerati per la costruzione del dataset e relativo peso percentuale.

Processi unitari	Contributo percentuale alla produzione elettrica italiana da biogas
Biomasse di origine agricola-forestale + deiezioni animali: 1) Classe 1 (CL1): produzione di energia da biogas derivante da biomasse di origine agricola-forestale e deiezioni animali, mediante impianti con potenza nominale nella fascia 1-700 kW. 2) Classe 2 (CL2): produzione di energia da biogas derivante da biomasse di origine agricola-forestale e deiezioni animali, mediante impianti con potenza nominale nella fascia 701-1700 kW.	- 22 60
Rifiuti e Fanghi 3) Classe 3 (CL3): produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi.	18

Per semplicità, ognuno dei tre processi unitari (CL1, CL2 e CL3) è stato definito considerando un unico sistema che porta alla produzione di energia (elettrica e termica), a partire da determinate tipologie e quantità di biomasse, attraverso digestione anaerobica e successiva cogenerazione.

Infatti, dalle biomasse dipende il volume e la composizione del biogas da convertire e, quindi, la quantità di energia prodotta.

7 Analisi di inventario

I dati di inventario raccolti sono **relativi alla produzione di 1 kWh** di elettricità da biogas (corrispondente all'unità funzionale), in Italia.

FONTI PER I PROCESSI CLASSE 1 E CLASSE 2 (ENERGIA DA BIOGAS PRODOTTA A PARTIRE DA BIOMASSE DI ORIGINE AGRO-FORESTALE E DEIEZIONI ANIMALI)

Per la costruzione degli inventari dei processi che generano biogas, a partire da biomasse di origine agro-forestale e deiezioni animali, sono stati utilizzati i dati riportati nelle schede di monitoraggio del progetto Biomasse ENAMA (Ente Nazionale Meccanizzazione Agricola); si tratta, in particolare, di dati inerenti ad aziende agricole, situate in diverse regioni d'Italia, i cui impianti ricadono nelle fasce di potenza nominale selezionate (1-700 kW e 701-1700 kW).

I dati contenuti nelle schede di monitoraggio sono relativi a:

- tecnologie di movimentazione e alimentazione impianto
- numero, dimensione e modalità di funzionamento dei digestori
- caratteristiche degli impianti di cogenerazione (es. potenza elettrica nominale, potenza termica recuperabile e autoconsumo dell'impianto);
- modalità di stoccaggio del digestato e dei residui;
- sistemi di desolfurazione;
- tipologia, quantitativi e provenienza delle biomasse, loro resa in termini di biogas,
- quantità di energia elettrica prodotta
- destinazione d'uso dell'energia elettrica e termica generata.

In tutto, sono stati impiegati i dati di 15 aziende (aziende di riferimento), per il processo "Classe 1", e di 16 aziende (aziende di riferimento), per il processo "Classe 2".

Da un'analisi dei dati contenuti nelle schede di monitoraggio emerge che gran parte delle aziende utilizza digestori anaerobici monostadio o bistadio, ad alimentazione continua, che operano in condizioni termiche di mesofilia.

Le principali tipologie di biomasse utilizzate sono gli effluenti zootecnici, le colture dedicate, gli scarti agro-alimentari e i sottoprodotti. In dettaglio, per la Classe 1, le principali biomasse impiegate per produrre biogas da bruciare negli impianti di cogenerazione sono gli effluenti zootecnici (58% in peso), seguiti da colture dedicate (28%), scarti agro-alimentari (12%) e sottoprodotti (2%). D'altra parte, i digestori anaerobici delle aziende della Classe 2 sono alimentati essenzialmente da scarti agroalimentari e sottoprodotti (43%) e da biomasse da colture dedicate (41%), mentre gli effluenti zootecnici rappresentano solo il 16% in peso delle biomasse impiegate.

Per la Classe 1, ben 11 aziende su 15 utilizzano solo biomasse di origine aziendale mentre, per le restanti, mediamente, circa il 10% (in peso) delle biomasse proviene dall'esterno dell'azienda. Per la categoria di impianti con potenza maggiore (701-1700 kW), le aziende che integrano le biomasse di produzione propria con quelle provenienti dall'esterno, sono più numerose (10 su 16) e, mediamente, la percentuale (in peso) di biomasse di origine extra-aziendale è del 20%, con punte del 70%.

Tutte aziende monitorate sono dotate di un motore cogenerativo per la conversione del biogas in energia elettrica e termica.

I dati estrapolati dalle schede di monitoraggio del progetto ENAMA sono stati sintetizzati ed elaborati (Allegati II e III) in un file excel. All'interno di questo file, sono state costruite delle tabelle che contengono una sintesi delle caratteristiche degli impianti (suddivisi nelle due classi 1-700 kWe e 701-1700 kWe) ed una elaborazione dei dati delle biomasse, delle rese in biogas e dell'energia elettrica prodotta. I dati sono su base annuale e, quando disponibili per più anni, è stata fatta una media aritmetica. In dettaglio, per la classe 1-700 kW (CL1), è stata fatta una media dei dati relativi al triennio 2012-2014, per 11 aziende, mentre per un'azienda sono stati mediati i dati del triennio 2013-2015 e per un'altra azienda la media è stata effettuata sul biennio 2013-2014; infine, per altre due aziende erano disponibili dati relativi ad un solo anno e, quindi, non sono state fatte medie aritmetiche. Nel caso della classe 701-1700 kW (CL2) sono stati mediati i dati degli anni 2012-2014 per 7 aziende, e degli anni 2013-2015, per 6 aziende; mentre, per una sola azienda, la media è stata eseguita sul triennio 2014-16.

Nello stesso file excel (Allegato V), è stata creata una tabella di inventario, con la somma di tutte le biomasse (suddivise per tipologia) presenti nelle schede di monitoraggio.

FONTI PER LA CLASSE 3 (ENERGIA DA BIOGAS PRODOTTA A PARTIRE DA RIFIUTI E FANGHI)

Per i flussi di materia ed energia del processo CL3, sono stati impiegati i valori medi dei dati relativi ai due seguenti impianti:

- 1) Impianto a FORSU (Frazione Organica dei Rifiuti Solidi Urbani) della Provincia di Bolzano (Reichhalter, 2011).
- 2) Impianto di compostaggio di Herambiente Spa di Voltana, con recupero energetico del biogas. (Herambiente, 2020).

I dati **dell'impianto di Bolzano** sono su base annuale e si riferiscono all'anno 2009.

Il peso della biomassa (FORSU) in ingresso è riferito alla biomassa fresca "tal quale" e i volumi di biogas (m^3/a) sono stati determinati considerando una densità di $1,1 \text{ kg}/m^3$.

L'impianto è dotato di:

- un digestore anaerobico, avente un volume di 1.600 m^3 , che opera in condizioni termiche di mesofilia (37°C);
- due cogeneratori (per la produzione di elettricità e calore), di potenza elettrica pari a 334 e 536 kW, che lavorano per 7805 ore all'anno. Una parte del calore e dell'elettricità ottenuti viene destinata all'autoconsumo, mentre la quota di energia elettrica non autoconsumata viene ceduta al gestore elettrico nazionale.

L'impianto Herambiente di Voltana tratta rifiuti organici urbani (da raccolta differenziata, da manutenzione del verde pubblico) e rifiuti agroindustriali. I dati raccolti sono medi annuali e si riferiscono agli anni 2017-2019. L'impianto è dotato di digestori anaerobici, basati sulla tecnologia Dry fermentation (fermentazione a secco), che lavorano in condizioni di mesofilia, ad una temperatura di circa $37-40^\circ\text{C}$. Il biogas ottenuto è trasformato in energia elettrica e termica, mediante due cogeneratori, ciascuno con una potenza elettrica di 500 kW. L'energia termica viene in parte utilizzata per scaldare i digestori ed i locali tecnici. L'energia

elettrica è destinata in parte all'autoconsumo e in parte alla vendita alla rete elettrica nazionale.

7.1 Assunzioni utilizzate nello studio

Le assunzioni sono state dettagliate nel paragrafo 5.3.

7.2 Descrizione e documentazione processi unitari

In questo studio sono stati definiti tre processi unitari, relativi alla produzione di elettricità da biogas:

- Classe 1 (CL1): produzione di energia da biogas derivante da biomasse di origine agricola-forestale e deiezioni animali, mediante impianti con potenza nominale 1-700 kW.
- Classe 2 (CL2): produzione di energia da biogas derivante da biomasse di origine agricola-forestale e deiezioni animali, mediante impianti con potenza nominale 701-1700 kW.
- Classe 3 (CL3): produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi.

Di seguito, si riportano i dettagli sui calcoli dei flussi di riferimento per i processi CL1, CL2 e CL3.

CALCOLO DIMENSIONE IMPIANTO DI DIGESTIONE ANAEROBICA (DA)

Tale calcolo è stato eseguito secondo le modalità descritte per il processo di EcolInvent "*Biogas {CH₄}| anaerobic digestion of manure | Cut-off, U*".

In dettaglio, la durata di vita del DA è considerata pari a 20 anni. Per tenere conto dell'effetto di scala, è stata applicata la seguente formula:

$$U_i = U_0 * (C_i/C_0)^{0,7}$$

dove U_i è il numero di unità di infrastruttura per il caso di riferimento i , in "unità";

$U_0 = 1$ [unità] è il numero di unità di infrastruttura per l'impianto di riferimento "impianto di digestione anaerobica, agricoltura, con recupero del metano";

C_i è la produzione annuale di biogas per il caso di riferimento i , in m³/anno;

$C_0 = 350.000$ [m³/anno] è la produzione annuale di biogas dell'impianto di riferimento "impianto di digestione anaerobica, agricoltura, con recupero del metano".

In Tabella 11, sono riportati i dati ed i risultati ottenuti per ciascuno dei processi individuati, i calcoli sulla produttività del sistema analizzato sono riportati in Tabella 13,

Tabella 14 e Tabella 15.

Tabella 11 Dati e dimensioni del digestore anaerobico (DA) per i processi CL1, CL2 e CL3.

Dimensione del Digestore Anaerobico (DA)		
CLASSE 1 (1-700 kW)		
U ₀	1	p
C _i (produttività annuale del sistema analizzato) (Tabella 13)	2.71E+7	m³/anno
C ₀ (produttività annuale dell'impianto di Ecolnvent)	3,50E+5	m³/anno
Dimensione totale (tempo di vita di 20 anni) del DA del sistema analizzato	21.02	p
Dimensione del DA per 1 anno di attività	1.051	p
CLASSE 2 (701-1700 kW)		
U ₀	1	p
C _i (produttività annuale del sistema analizzato) (Tabella 14)	1.42E+08	m³/anno
C ₀ (produttività annuale dell'impianto di Ecolnvent)	3.50E+05	m³/anno
Dimensione totale (tempo di vita di 20 anni) del DA del sistema analizzato	67.11	p
Dimensione del DA per 1 anno di attività	3.36	p
CLASSE 3 (Rifiuti e fanghi)		
U ₀	1	p
C _i (produttività annuale del sistema analizzato) (Tabella 15)	8.76E+06	m³/anno
C ₀ (produttività annuale dell'impianto di Ecolnvent)	3,50E+5	m³/anno
Dimensione totale (tempo di vita di 20 anni) del DA del sistema analizzato	9.53	p
Dimensione del DA per 1 anno di attività	4,76E-1	p

CALCOLO DEI QUANTITATIVI DI BIOMASSE UTILIZZATE

Le quantità di biomasse, utilizzate nei processi, sono su base annuale. Nel caso di disponibilità di dati per più anni, è stata effettuata una media aritmetica.

Per ciascuna tipologia di biomassa, sono stati calcolati i valori annuali di ogni azienda e quelli totali, relativi all'insieme delle aziende di riferimento per ciascun processo (CL1, CL2). Tuttavia, in alcuni casi, si è deciso di procedere con degli accorpamenti di alcune categorie di biomasse. In dettaglio, le acque di vegetazione, industriali e di lavaggio sono state sommate tutte insieme e riferite genericamente come "Acque". Analogamente, i liquami e letami bovini, suini, avicoli, equini, conigli ed altri effluenti zootecnici non specificati, sono stati riuniti sotto la voce "effluenti zootecnici". Inoltre, sotto la voce "scarti alimentari", sono state raccolte le seguenti biomasse: ortofrutta e patate di scarto, farine, siero di latte, verdure, frutta, melassa, bucce d'arancia, scarti di ortaggi, buccette di pomodoro, polpa di barbabietola, cipolla, semi vari e soia, spezzatelle di mais, pacchi intestinali, polpe e graspi. Col termine "sottoprodotto" si è fatto riferimento a sansa, siero, setacciatura di mais, foraggio in pellet, sostanze carboniose e sottoprodotti non specificati. In particolare, poiché le

biomasse riferite, nelle schede di monitoraggio, come sottoprodotti, apparivano non sostanzialmente diverse da quelle riportate come “scarti alimentari”, si è deciso di riunire le due categorie (“scarti alimentari” e “sottoprodotti”) di biomasse, sotto la voce “scarti agro-industriali”. Inoltre, solo per il processo CL1, nelle schede delle aziende di riferimento, appare una biomassa, indicata come graminacee, che si riferisce ad un mix di sorgo e loietto, in quantità relative non specificate. Ancora per il processo CL1, è stato indicato l’impiego di una quantità (2,78E+3 ton) di biomasse da colture dedicate di cui non è stata specificata la tipologia. Pertanto, in fase di compilazione dell’inventario, si è deciso di ripartire equamente tale quantità (ossia, $\frac{1}{4} * 2,78E+3$ ton) fra le altre 4 voci di biomasse non insilate, derivanti da colture dedicate.

In Tabella 12, sono descritti i calcoli dettagliati, effettuati per ciascun flusso di biomassa, per i processi CL1, CL2 e CL3.

Tabella 12 Calcoli dei flussi di biomassa per i processi CL1, CL2 e CL3.

Biomassa	Processo	Calcoli
CLASSE 1 (1-700 kW)		
Mais + Mais ceroso + 1/4 di biomasse non specificate, da colture dedicate	<i>Maize grain {RoW} production Cut-off, U</i>	$[3,21E+4 + 7,88E+3 + (0,25 * 2,78E+3)] =$ 4,06E+4 ton
Pastone di mais + Insilato/trinciato di mais + insilato (di biomassa non specificata) + insilato di grano.	<i>Maize silage {RoW} production Cut-off, U</i>	$8,62E+2 + 2,25E+4 + 2,54E+2 + 4,24E+2 =$ 2,63E+4 ton
Il mais insilato è stato scelto come proxy di:		
<ul style="list-style-type: none"> - <u>pastone di mais</u>, in quanto il pastone si ottiene dalla raccolta e dall’insilamento della spiga di mais (intera); - <u>insilato di grano</u>, per la natura simile dei due prodotti. Si è deciso, comunque, di fare un’analisi di sensibilità del proxy da usare per questa biomassa (<i>Maize silage vs Wheat grain</i>). 		
Segale+1/4 di biomasse non specificate da colture	<i>Rye grain {RER} rye production Cut-off, U</i>	$1,39E+3 + (0,25 * 2,78E+3) + 1,70E+3 + 4,82E+3 =$ 8,61E+3 ton

dedicate + triticale + triticale
ceroso.

La segale (*rye grain*) è stata scelta come proxy per il triticale, in quanto quest'ultimo è un cereale nato dal mix di frumento e segale.

Graminacee (sorgo+loietto). In questo caso, il loietto insilato (Ryegrass silage) è stato scelto come proxy per il loietto, perché manca, in Ecoinvent, il processo relativo al loietto non insilato. Inoltre, è stata effettuata un'analisi di sensibilità allocando equamente la quantità delle graminacee fra sorgo (Sweet sorghum stem, 93% - Sweet sorghum grain - 7%) e loietto (Ryegrass silage).	<i>Ryegrass silage</i> {GLO} market for Cut-off, U	1,16E+2 ton
Sorgo + 1/4 di biomasse non specificate da colture dedicate.	<i>Sweet sorghum stem</i> {RoW} <i>sweet sorghum production</i> Cut-off, U	$[3,50E+3 + (0,25 * 2,78E+3)] * 0,93 =$ 3,90E+3 ton
La quantità di sorgo è stata allocata tra <i>grain</i> e <i>stem</i> , in accordo con quanto riportato in Ecoinvent (documentation): 93% <i>stem</i> & 7% <i>grain</i> .	<i>Sweet sorghum grain</i> {RoW} <i>sweet sorghum production</i> Cut-off, U	$[3,50E+3 + (0,25 * 2,78E+3)] * 0,07 =$ 2,94E+2 ton
Acque (vegetali, industriali, di lavaggio)	<i>Questo processo ha seguito l'approccio "zero burden"</i>	Somma di tutte le acque. TOT.: 9,78E+3 ton
Effluenti zootecnici	<i>Questo processo ha seguito l'approccio "zero burden"</i>	Somma di tutti gli effluenti zootecnici. TOT.: 1,67E+5 ton
Scarti agroindustriali: sottoprodotti + scarti alimentari.	<i>Questo processo ha seguito l'approccio "zero burden"</i>	Somma di tutti i sottoprodotti (4,46E+3) e gli scarti alimentari (2,64E+4). TOT.: 3,09E+4 ton
CLASSE 2 (701-1700 kW)		

Mais + Mais ceroso	<i>Maize grain {RoW} production Cut-off, U</i>	$1,73E+5 + 1,25E+4 = 1,86E+5$ ton
Insilato/trinciato di mais + pastone di mais + insilato di orzo.	<i>Maize silage {RoW} production Cut-off, U</i>	$(4,86E+4 + 3,20E+3 + 2,04E+3) = 5,39E+4$ ton

Il mais insilato è stato scelto come proxy di:

- pastone di mais in quanto il pastone si ottiene dalla raccolta e dall'insilamento della spiga di mais (intera)
- insilato di orzo per la similitudine dei processi di insilamento. Si è deciso, comunque, di fare un'analisi di sensitività del proxy da usare per questa biomassa (*Maize silage vs Barley grain*).

Triticale + triticale ceroso + insilato/trinciato di triticale	<i>Rye grain {RER} rye production Cut-off, U</i>	$(2,75E+4 + 2,85E+3 + 5,07E+3) = 3,54E+4$ ton
Loietto + loietto ceroso	<i>Ryegrass silage {GLO} market for Cut-off, U</i>	$(3,80E+2 + 2,60E+3) = 2,98E+3$ ton
Sorgo + sorgo ceroso + trinciato/insilato di sorgo	<i>Sweet sorghum stem {RoW} sweet sorghum production Cut-off, U</i>	$((4,28E+4 + 1,67E+3 + 3,76E+3) * 0,93) = 4,48E+4$ ton
La quantità di sorgo è stata allocata tra <i>grain</i> e <i>stem</i> , in accordo con quanto riportato in Ecoinvent (documentation): 93% <i>stem</i> & 7% <i>grain</i> .	<i>Sweet sorghum grain {RoW} sweet sorghum production Cut-off, U</i>	$((4,28E+4 + 1,67E+3 + 3,76E+3) * 0,07) = 3,37E+3$ ton
Grano + grano ceroso + frumento + granella.	<i>Wheat grain {RoW} wheat production Cut-off, U</i>	$(3,92E+2 + 3,53E+3 + 2,10E+3 + 3,25E+3) = 9,27E+3$ ton
<p>È stato usato il grano di frumento come proxy per la granella in quanto i prodotti di natura simile.</p> <p>Tuttavia, poiché non è stata specificata la natura della granella, che può essere sia di frumento che di mais, si è deciso di fare un'analisi di sensitività del proxy da</p>		

usare per questa biomassa
(*Wheat grain vs Maize grain*).

Orzo	<i>Barley grain {RoW} barley production Cut-off, U</i>	8,30E+2 ton
Barbabietola	<i>Sugar beet {RoW} production Cut-off, U</i>	8,18E+2 ton
Erba rotoballe + insilato/trinciato di erba + pulizia medicaio invernale.	<i>Grass silage, organic {CH} production Cut-off, U</i>	(1,00E+3 +1,23E+4 +8,4E+1)= 1,33E+4 ton
È stato usato l'insilato d'erba (Grass silage) come proxy per l'erba medica e rotoballe, in quanto prodotti di natura simile.		
Paglia	<i>Straw, stand-alone production {RoW} production APOS, U</i>	1,00E+2 ton
Acque (vegetali, industriali, di lavaggio)	Questo processo ha seguito l'approccio "zero burden"	Somma di tutte le acque. TOT.: 4,31E+4 ton
Effluenti zootecnici	Questo processo ha seguito l'approccio "zero burden"	Somma di tutti effluenti zootecnici impiegati dalle aziende della Classe 2. TOT.: 1,40E+5 ton
Scarti agroindustriali: sottoprodotti + scarti alimentari.	<i>Questo processo ha seguito l'approccio "zero burden"</i>	Somma di tutti i sottoprodotti (3,14E+5) e degli scarti alimentari (1,06E+4). TOT.: 1,06E+4+3,14E+5= 3,25E+5 ton

CLASSE 3: energia da rifiuti e fanghi

Biomassa da Rifiuti e fanghi	<i>Questo processo ha seguito l'approccio "zero burden"</i>	Rifiuti & fanghi (Herambiente di Voltana): 6,00E+4 ton/anno Rifiuti & fanghi (Bolzano): 1,22E+4 ton/anno Flusso di processo: (6,00E+4 + 1,22E+4)/2 = 3.61E+04 ton
------------------------------	---	---

TRASPORTO

La "dimensione" (ton * km o tkm) del trasporto è stata definita in funzione della quantità di biomassa trasportata e della distanza percorsa.

In dettaglio, la distanza media, fra il punto di raccolta della biomassa e l'impianto di conversione, è stata ipotizzata pari a 70 km, in accordo con il DM 02/03/2010.

Per le aziende di riferimento dei processi delle Classi 1 e 2, la quantità di biomassa trasportata è stata calcolata moltiplicando le percentuali di biomasse di origine extra-aziendale per il quantitativo totale di biomasse impiegate in azienda. I valori ottenuti per le singole aziende sono stati, quindi, sommati, al fine di determinare il flusso totale di biomassa trasportata per i processi CL1 e CL2 (biomassa trasportata in CL1: 2,79E+4 ton; in CL2: 1,48E+5 ton).

Per la Classe 3 (Energia da biogas ottenuto a partire da rifiuti e fanghi), si è assunto che tutta la biomassa sia stata trasportata (biomassa trasportata in CL3: 5,05E+6 ton).

Infine, i flussi totali di biomassa trasportata così definiti, sono stati moltiplicati per la distanza percorsa (70 km).

BIOGAS

I flussi di biogas (m³), per i processi Classe 1 (CL1) e Classe 2 (CL2), sono stati calcolati sommando le quantità prodotte dalle rispettive aziende di riferimento del progetto Biomasse ENAMA.

Tali quantità aziendali di biogas, a loro volta, sono state calcolate moltiplicando le tonnellate medie di ciascuna tipologia di biomassa, impiegata in azienda, per la relativa resa in biogas (m³/ton) e sommando tutti i valori ottenuti per i diversi tipi di biomasse utilizzate dall'azienda. In Tabella 13 e in

Tabella 14, sono riportati i quantitativi singoli e totali di biogas, per le Classi 1 e 2.

Tabella 13 Produzione di biogas delle aziende della CL1.

N	AZIENDA	Produzione media annuale di BIOGAS (Nm ³)
1	Società Agricola Agrifloor di Cerantola Paolo & C. ss	2.63E+05
2	TONINELLI FRATELLI SOCIETÀ AGRICOLA S.S. Pieve Fissigara (LO)	1.11E+06
3	CASCINA BAROSI DI BENEDETTA ROSPIGLISI Annico (CR)	1.04E+06
4	SOCIETA' AGRICOLA SPILLER S.S. Villaverla (VI)	1.23E+06
5	SOCIETA' AGRICOLA TASCHINI SERGIO E STEFANO S.S. Ariano nel Polesine (RO)	2.45E+06
6	Soc. Agr. F.lli Cassese s.s. Grottaglie (TA)	4.02E+05
7	Az. Agricola Alessandro Stassano Peccioli (PI)	1.70E+06
8	AZIENDA BRUTTI SOCIETÀ AGRICOLA SEMPLICE Nogarole Rocca (VR)	2.18E+06
9	Bruni Enrico Aldo Soc. Agr. S.S. Sutri (VT)	3.03E+06
10	SOCIETA' AGRICOLA PALOMBINI FILIPPO E ANDREA S.S. Nepi (VT)	2.37E+06
11	AZ.AGR. SERRAGLIO 2 di ANGELI ARNALDO & C. S.S. Pegognaga (MN)	2.42E+06
12	ZAMBERLAN FRATELLI SOC.AGRICOLA SEMPLICE S.S. Isola Vicentina (VI)	5.78E+05
13	Agricola F.lli Nola & C. Società Agricola Semplice Castrovillari (Cs)	4.98E+06
14	ACETO Bisignano (CS)	3.36E+06
15	Az.Agricola e Zootecnica Posticchia Sabelli soc.agricola semplice	3.06E+02
	TOTALE BIOGAS (Nm³/anno)	2.71E+07

Tabella 14 Produzione di biogas delle aziende della CL2 (Energia da biomasse agro-forestali, 701-1700 kW).

N	AZIENDA	Produzione media annuale di BIOGAS (Nm ³)
1	SOCIETA' AGRICOLA FONTANA S.S. Castel San Giovanni (PC)	3.14E+06
2	Az. Agr. ERIDANO di Zermani F.lli s.s. Società Agricola Piacenza (PC)	4.69E+06
3	TENUTA DI BAGNOLI DI GIOVANNI MUSINI Bagnoli di sopra (PD)	4.21E+06
4	SOCIETA' AGRICOLA LA CERESINA DEI FRATELLI BALDISSERI SILVANO EPIETRO S.S. San Pietro in Gù (PD)	5.56E+06
5	SOCIETA' AGRICOLA SALGAS S.S. DI ANDRETTA FILIPPO E C. in Stino di Livenza (VE)	4.12E+06
6	AGRICARIGNANO S.R.L. SOCIETA' AGRICOLA Parma (PR)	2.74E+06
7	AGRIENERGY SOC. AGR. SRL Forlì (FC) (anno di realizzazione 2008)	7.34E+06
8	Mandre snc Società Agricola di Trinidad Castillo e M.T. e C. Collalto Susegana (TV)	4.56E+06
9	AZIENDA AGRICOLA VEGGIA EZIO Località Canei (AT)	4.72E+06
10	VERDENENERGY SOC CONS ARL Lendinara (RO)	1.30E+06
11	COOPERATIVA PRODUTTORI SUINI PRO SUS S.C.A. Vescovato (CR)	5.07E+07
12	Azienda Agricola Barchetti di Bettoni Giacomino e Figli s.s. soc.agricola, Grontardo (CR)	3.39E+07
13	PEZZA SOCIETA' SEMPLICE AGRICOLA Busseto (PR)	4.14E+06
14	CAT Correggio (RE)	3.64E+06
15	BIOENERGY SOC. COOP. AGR.	2.92E+06
16	SOCIETÀ COOPERATIVA AGRICOLA BIO CANALI Buriasco (TO)	4.81E+06
.	TOTALE BIOGAS (Nm³/anno)	1.42E+08

Tabella 15 Produzione di biogas delle aziende della CL3 (Energia da Rifiuti e fanghi).

	Herambiente di Voltana	Impianto Bolzano	Valore medio
Biomassa (ton/anno)	6,00E+4	1,22E+4	3,61E+4
Biogas (m³/anno)	2.26E+7	1.34E+6	1.19E+7
Biogas (m³/ton)	3.76E+2	1.09E+2	2.43E+2
Biogas medio (media pesata sulla massa) prodotto annualmente (m³/anno)	2.43E+2 (Biogas, m ³ /ton) * 3,61E+4 (Biomassa, ton/anno)= 8.76E+06		

Il quantitativo di biogas (m^3/anno) dell'impianto di Herambiente di Voltana è stato calcolato sulla base delle informazioni ricavate dal sito [sito di nextville](#), considerando un valore di biogas estraibile pari a 500 m^3 per 1,33 tonnellate di FORSU.

DIMENSIONE DEL COGENERATORE

Il processo che rappresenta il cogeneratore per la produzione di **elettricità** è stato costruito a partire dal seguente processo di Ecolnvent:

Electricity_high voltage {IT}| heat and power co-generation, biogas, gas engine |Cut-off, U

dal quale sono stati eliminati gli input di biogas e le emissioni (in quanto per questi flussi sono stati utilizzati i dati primari). Il nuovo processo, così ottenuto, è stato rinominato come segue:

Electricity_ARCADIA, high voltage {IT}| heat and power co-generation, biogas, gas engine |Cut-off, U

Poiché tale processo si riferisce alla dimensione di un cogeneratore per la produzione di 1 kWh, ai fini del corretto dimensionamento dell'impianto considerato nello studio, il flusso di riferimento è stato posto uguale all'elettricità totale generata dal sistema investigato (CL1: $5,11\text{E}+7$ kWh, CL2: $1,16\text{E}+8$ kWh, CL3: $2,32\text{E}+7$ kWh).

Analogamente, il processo che rappresenta il cogeneratore per la produzione di **calore** è stato costruito dal seguente processo di Ecolnvent:

Heat_central or small-scale, other than natural gas {IT}| heat and power co-generation, biogas, gas engine | Cut-off, U

dal quale sono stati eliminati gli input di biogas e le emissioni (in quanto per questi flussi sono stati utilizzati i dati primari). Il nuovo processo, così ottenuto, è stato rinominato come segue:

Heat_ARCADIA_central or small-scale, other than natural gas {IT}| heat and power co-generation, biogas, gas engine | Cut-off, U

Poiché, tale processo si riferisce alla dimensione di un cogeneratore per la produzione di 1 MJ, ai fini del corretto dimensionamento, il flusso di riferimento è stato posto uguale al calore totale generato dal sistema investigato (CL1: $1,85\text{E}+8$ MJ; CL2: $3,35\text{E}+8$ MJ; CL3: $4,97\text{E}+7$ MJ).

Si rammenta che per la conversione di kWh in MJ, vale la seguente equivalenza: $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$.

QUANTITATIVO DI LUBRIFICANTE PER IL COGENERATORE

La quantità di lubrificante per il cogeneratore è stata calcolata facendo riferimento al report Ecolnvent "bioenergy" (Jungbluth, 2007), che considera una quantità di lubrificante, in ingresso, pari a $0,03 \text{ g}$ per ogni MJ di biogas in entrata.

I MJ del biogas in entrata si determinano moltiplicando il suo potere calorifero inferiore (LHV) per il volume (m³). Per il potere calorifero inferiore del biogas, si è scelto di usare lo stesso valore adottato da EcoInvent, ossia 22,73 MJ/m³ di biogas.

I dettagli dei calcoli sono riportati in Tabella 16.

Tabella 16 Dati e calcoli per la determinazione del flusso di lubrificante per il cogeneratore dei processi CL1, CL2 e CL3.

Calcolo del flusso di lubrificante		
CLASSE 1 (1-700 kW)	.	.
LHV biogas (EcoInvent)	22,73	MJ/Nm ³
Biogas prodotto dalle aziende della Classe 1	2.71E+07	m ³
Consumo di lubrificante (EcoInvent)	0.03	g/MJ
Lubrificante in ingresso (g)	$22,73 \times 2.71E+07 \times 0,03 = 1,85E+7$	g
Lubrificante in ingresso (kg)	1,85E+4	kg
CLASSE 2 (701-1700 kW)	.	.
LHV biogas (EcoInvent)	22.73	MJ/Nm ³
Biogas prodotto dalle aziende della Classe 2	1.42E+08	m ³
Consumo di lubrificante (EcoInvent)	0.03	g/MJ
Lubrificante in ingresso (g)	$22,73 \times 1,42E+8 \times 0,03 = 9.72E+07$	g
Lubrificante in ingresso (kg)	9.72E+04	kg
CLASSE 3 (Rifiuti e fanghi)	.	.
LHV biogas (EcoInvent)	22.73	MJ/Nm ³
Biogas prodotto dalle aziende della Classe 3	8,76E+6	m ³
Consumo di lubrificante (EcoInvent)	0.03	g/MJ
Lubrificante in ingresso (g)	$22,73 \times 8,76E+6 \times 0,03 = 5,97E+6$	g
Lubrificante in ingresso (kg)	5,97E+3	kg

ELETTRICITÀ & CALORE PRODOTTI ED AUTOCONSUMATI

Classi 1 e 2

L'**elettricità** media annuale lorda (ceduta + autoconsumo) da biogas, per le Classi 1 e 2 (CL1: 5,11E+7 kWh; CL2: 1,16E+8 kWh), è stata ottenuta sommando i quantitativi annuali medi generati dalle rispettive aziende di riferimento, del progetto Biomasse ENAMA.

L'autoconsumo è stato posto uguale al 10% dell'energia prodotta, in accordo con quanto riportato dal GSE (GSE, 2021) e, pertanto, il valore della produzione netta di energia elettrica è dato dal 90% della produzione totale (CL1: 4,60E+7 kWh; CL2: 1,04E+8 kWh).

Il **calore** medio annuale lordo (ceduto + autoconsumo) da biogas, per le Classi 1 e 2 (CL1: 1,85E+8 MJ; CL2: 3,35E+8 MJ), è stato calcolato sulla base dell'energia elettrica media annuale lorda e della potenza elettrica (kW_e) e termica (kW_t) dei sistemi di cogenerazione di ciascun impianto. In dettaglio, per ciascun impianto è stato calcolato il:

- *Numero di ore lavorate annualmente dal cogeneratore = energia elettrica lorda/potenza in kW_e .*
- *Calore prodotto = numero di ore lavorate annualmente * potenza del cogeneratore in kW_t .*

I quantitativi relativi alla produzione netta e all'autoconsumo di calore sono stati determinati sulla base dei dati del GSE (GSE, 2019), secondo cui l'autoconsumo del calore da biogas è pari, in media, al 15% della produzione totale.

In Tabella 17, sono riportati i valori annuali lordi, netti (ceduti) e di autoconsumo per l'elettricità ed il calore da biogas, inerenti alle Classi 1 e 2.

Tabella 17 Calcoli dei flussi (lordi, netti e di autoconsumo) di energia elettrica (EE) e termica (ET) per i processi CL1 e CL2.

Flusso	Classe 1 (1-700 kW)	Classe 2 (701-1700 kW)
Elettricità lorda (kWh)	Somma dei quantitativi generati dalle 15 aziende di riferimento, del progetto Biomasse ENAMA. TOALE: 5,11E+7	Somma dei quantitativi generati dalle 16 aziende di riferimento, del progetto Biomasse ENAMA. TOTALE: 1,16E+8
Elettricità netta/ceduta (kWh)	$5,11E+7 * 0,9 =$ 4,60E+7	$1,16E+8 * 0,9 =$ 1,04E+8
Elettricità autoconsumata (kWh)	$5,11E+7 * 0,1 =$ 5,11E+6	$1,16E+8 * 0,1 =$ 1,16E+7
Calore lordo (MJ)	1,85E+8 (5,13E+7 kWh)	3,35E+8 (9,30E+7 kWh)
Calore netto/ceduto (MJ)	$1,85E+8 * 0,85 =$ 1,57+8	$3,35E+8 * 0,85 =$ 2,85+8
Calore autoconsumato (MJ)	$1,85E+8 * 0,15 =$ 2,77E+7	$3,35E+8 * 0,15 =$ 5,02+7
Energia totale (elettrica + termica) (kWh)	$5,11E+7 + 5,13E+7 =$ 1,02E+8	$1,16E+8 + 9,30E+7 =$ 2,09E+8

Classe 3: Energia da biogas prodotto da rifiuti e fanghi

Energia elettrica

In questo caso, si disponeva dei dati di due sole aziende e, pertanto, per determinare i valori medi di energia elettrica (EE), è stata eseguita una media pesata sulla quantità di biomassa impiegata. Tutti i calcoli sono dettagliatamente descritti in Tabella 18.

Tabella 18 Calcoli dei flussi di energia elettrica da biogas, per il processo CL3 (Energia da biogas ottenuto da rifiuti e fanghi).

Flusso	Herambiente di Voltana	Impianto Bolzano	Valore medio
EE ceduta alla rete (GJ/anno)	5,97E+04	5,16E+03	-
EE autoconsumata (GJ/anno)	6,71E+03	4,26E+03	5.49E+03
Biomassa totale impiegata (ton/anno)	6,00E+4	1,22E+4	3,61E+4
EE ceduta per unità di biomassa (GJ/ton)	$5,97E+4/6,00E+4 = 0,99$	$5,16E+3/1,22E+4 = 0,42$	0,71
EE totale (ceduta+autoconsumo) (GJ/anno)	$5,97E+04 + 6,71E+03 = 6,64E+4$	$5,16E+03 + 4,26E+03 = 9,42E+3$	-
EE totale (ceduta+autoconsumo) per unità di massa (GJ/ton)	$6,64E+4/6,00E+4 = 1,11$	$9,42E+3/1,22E+4 = 0,77$	0,94
EE totale (ceduta+autoconsumo) MEDIA (GJ/anno)	$0,94 \text{ (EE tot., GJ/ton)} * 3,61E+4 \text{ (Biomassa tot. media, ton/anno)} = 3,39E+4$		
EE totale (ceduta+autoconsumo) MEDIA (kWh/anno)	$3,39E+4 \text{ (EE tot. media, GJ/anno)} / 0,0036 \text{ (GJ/kWh)} = 9,42E+6$ # 1 kWh = 0,0036 GJ		
EE totale (ceduta) MEDIA (GJ/anno)	$[0,71 \text{ (EE tot. media ceduta per biomassa, GJ/ton)} * 3,61E+4 \text{ (Biomassa tot. media, ton/anno)}] = 2,56E+4$		
EE totale (ceduta) MEDIA (kWh/anno)	$2,56E+4 \text{ (EE tot. CEDUTA media, GJ/anno)} / 0,0036 \text{ (GJ/kWh)} = 7,11E+06$ # 1 kWh = 0,0036 GJ		

Calore

Anche per la determinazione dei flussi medi di calore, è stata applicata una media pesata, basata sulla quantità di biomassa impiegata. I calcoli dettagliati sono riportati in Tabella 19.

Tabella 19 Calcoli dei flussi di energia termica da biogas, per il processo CL3 (Energia da biogas ottenuto da rifiuti e fanghi).

Flusso	Herambiente di Voltana	Impianto Bolzano	Valore medio
Calore ceduto (GJ/anno)	1,10E+5	7,92E+3	-
Calore autoconsumato (GJ/anno)	7,42E+3	1,80E+3	-
Biomassa totale impiegata (ton/anno)	6,00E+4	1,22E+4	3,61E+4
Calore ceduto per unità di biomassa (GJ/ton)	$1,10E+5/6,00E+4 = 1,83$	$7,92E+3/1,22E+4 = 0,65$	1,24
Calore totale (ceduto+autoconsumo) (GJ/anno)	$1,10E+5 + 7,42E+3 = 1,17E+5$	$7,92E+3 + 1,80E+3 = 9,72E+3$	-
Calore totale (ceduto+autoconsumo) per unità di biomassa (GJ/ton)	$1,17E+5/6,00E+4 = 1,96$	$9,72E+3/1,22E+4 = 0,80$	$(1,96+0,80)/2 = 1,38$
Calore totale (ceduto+autoconsumo) MEDIO (MJ/anno)	$1,38 \text{ (Calore tot., GJ/ton)} * 3,61E+4 \text{ (Biomassa tot. media, ton/anno)} * 1000 = 4,97E+7$		
Calore totale (ceduto) MEDIO (MJ/anno)	$[1,24 \text{ (Calore tot. medio ceduto per biomassa, GJ/ton)} * 3,61E+4 \text{ (Biomassa tot. media, ton/anno)} * 1000] = 4,48E+7$		

ENERGIA TOTALE (ENERGIA ELETTRICA + CALORE)

I calcoli dettagliati per la determinazione dell'energia totale (elettricità + calore) sono riportati in Tabella 20.

Tabella 20 Calcoli dei flussi di energia elettrica da biogas, per il processo CL3 (Energia da biogas ottenuto da rifiuti e fanghi).

Flusso	Herambiente di Voltana	Impianto Bolzano	Valore medio
ENERGIA TOTALE (ceduta+autoconsumo) (GJ/anno)	$6,64E+4 \text{ (EE tot.)} + 1,17E+5 \text{ (calore tot.)} = 1,84E+5$	$9,42E+3 \text{ (EE tot.)} + 9,72E+3 \text{ (calore tot.)} = 1,91E+4$	-
Biomassa totale impiegata (ton/anno)	6,00E+4	1,22E+4	$(6,00E+4 + 1,22E+4)/2 = 3,61E+4$
ENERGIA (ceduta+autoconsumo) (GJ/ton)	$1,84E+5 \text{ (E. tot., GJ/anno)} / 6,00E+4 \text{ (Biomassa tot., ton/anno)} = 3,06$	$1,91E+4 \text{ (E. tot., GJ/anno)} / 1,22E+4 \text{ (Biomassa tot., ton/anno)} = 1,57$	$(3,06 + 1,57)/2 = 2,32$
ENERGIA TOTALE (ceduta+autoconsumo) media (kWh/anno)	$[2,32 \text{ (E tot., GJ/ton)} * 3,61E+4 \text{ (Biomassa tot. media, ton/anno)}] / 0,0036 \text{ (GJ/kWh)} = 2,32E+7$ #1 kWh = 0,0036 GJ		

EMISSIONI DAL DIGESTORE ANAEROBICO

Le emissioni dal digestore sono costituite, essenzialmente, da metano (CH₄).

Da dati di letteratura (Lijó et al., 2014) risulta che la quantità di metano rilasciata dal digestore anaerobico è pari a circa l'1% del totale prodotto. In Tabella 21, sono riportati i calcoli effettuati per la determinazione delle emissioni di metano dal digestore anaerobico, considerando un contenuto medio di metano, nel biogas, pari al 55% (Busato, 2020; Reichhalter et al., 2011).

Tabella 21 Calcolo delle emissioni di metano (CH₄) dal digestore anaerobico per i processi CL1, CL2 e CL3.

Emissioni di metano (CH₄)		
CLASSE 1 (1-700 kW)	.	.
Biogas prodotto (vedi Tabella 13)	2.71E+7	m ³
Contenuto di metano (55%)	$2.71E+7 \cdot 0,55 = 1.49E+7$	m ³
Emissioni di metano (1%)	$1.49E+7 \cdot 0,01 = 1.49E+5$	m ³
Densità del metano (20°C, 1 atm)	6.68E-1	kg/m ³
Emissioni di metano	$1.49E+5 \cdot 6.68E-1 = 9.97E+4$	kg
CLASSE 2 (701-1700 kW)		
Biogas prodotto (vedi Tabella 14)	1.42E+8	m ³
Contenuto di metano (55%)	$1.42E+8 \cdot 0,55 = 7.84E+7$	m ³
Emissioni di metano (1%)	$7.84E+7 \cdot 0,01 = 7.84E+5$	m ³
Densità del metano (20°C, 1 atm)	6.68E-1	kg/m ³
Emissioni di metano	$7.84E+5 \cdot 6.68E-1 = 5.23E+5$	kg
CLASSE 3 (Rifiuti e fanghi)		
Biogas prodotto (vedi Tabella 15)	8.76E+6	m ³
Contenuto di metano (55%)	$8.76E+6 \cdot 0,55 = 4,82E+6$	m ³
Emissioni di metano (1%)	$4,82E+6 \cdot 0,01 = 4,82E+4$	m ³
Densità del metano (20°C, 1 atm)	6.68E-1	kg/m ³
Emissioni di metano	$4,82E+4 \cdot 6.68E-1 = 3.22E+4$	kg

EMISSIONI DAL COGENERATORE

Le emissioni dal cogeneratore sono state ricavate dal documento EF combustion 2019 di ISPRA (ISPRA, 2019), foglio di lavoro "Non industrial". In particolare, per le Classi 1 e 2, sono stati utilizzati i valori riportati alla riga 46 (corrispondente alle emissioni associate alla produzione di energia da biogas, in impianti con potenza inferiore a 50 MW, impiegati nel settore agricolo-industriale), mentre, per la Classe 3, sono stati impiegati i valori riportati alla riga 18 (corrispondente alle emissioni associate alla produzione di energia da biogas, in impianti con potenza inferiore a 50 MW, impiegati nel settore di gestione di rifiuti e acque reflue). Tali emissioni, come confermato dal dr. Laurentis, sono riferite alla sola combustione del cogeneratore. In tabella 23 sono state riportate sia le emissioni di metano generate dal biodigestore che quelle relative alla combustione del cogeneratore

I valori, nel documento originale, sono riportati in kg/GJ (CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO, NMVOC) o in g/GJ (PM₁₀, PM_{2.5}, Black carbon – BC) e sono stati convertiti in kg/kWh, basandosi sull'equivalenza 1 GJ = 277,78 kWh.

In Tabella 22, sono riportati i valori delle emissioni in kg/GJ e in kg/kWh.

I flussi di riferimento per i processi CL1, CL2 e CL3 sono stati calcolati moltiplicando ciascuno dei valori in Tabella 22 per l'energia totale (elettricità + calore) prodotta nei processi investigati (CL1: 1,02E+08 kWh; CL2: 2,09E+8 kWh; CL3:2,32E+7 kWh, Tabella 17 e Tabella 20).

Tabella 22 Emissioni prodotte dal cogeneratore, durante la conversione del biogas in elettricità.

U.M.	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC
CLASSE 1 (1-700 kW) & CLASSE 2 (701-1700 kW)									
kg/GJ	5.40E+1	1.53E-1	3.00E-3	1.00E+0	3.00E-1	8.90E-2	1.00E-2	1.00E-2	4.00E-4
kg/kWh	1.94E-1	5.50E-4	1.08E-5	3.60E-3	1.08E-3	3.20E-4	3.60E-5	3.60E-5	1.44E-6
CLASSE 3 (Energia da rifiuti & fanghi)									
kg/GJ	5.40E+1	1.53E-1	3.00E-3	1.00E+0	3.00E-1	8.90E-2	1.00E-2	1.00E-2	4.00E-4
kg/kWh	1.82E-1	5.50E-4	1.08E-5	3.60E-3	1.08E-3	3.20E-4	3.60E-5	3.60E-5	1.44E-6

Tabella 23 Inventari dei processi unitari CL1, CL2 e CL3.

Flussi/processi	Valore	Unità di misura	Dataset di riferimento
Classe 1 (CL1): 1-700 kWh			
INPUT			
Anaerobic digestion plant, agricultural {GLO} market for Cut-off, U	1,05E+8	p	Processo: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario). Dimensione dell'impianto: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Maize grain {RoW} production Cut-off, U	4,07E+4	ton	Processo di produzione: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario) Quantità di biomassa: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Maize silage {RoW} production Cut-off, U	2,63E+4	ton	Processo di produzione: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario) Quantità di biomassa: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Rye grain {RER} rye production Cut-off, U	8,61E+3	ton	Processo di produzione: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario) Quantità di biomassa: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Ryegrass silage {GLO} market for Cut-off, U	1,16E+3	ton	Processo di produzione: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario) Quantità di biomassa: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Sweet sorghum stem {RoW} sweet sorghum production Cut-off, U	3,90E+3	ton	Processo di produzione: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario) Quantità di biomassa: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Sweet sorghum grain {RoW} sweet sorghum production Cut-off, U	2,94E+2	ton	Processo di produzione: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario) Quantità di biomassa: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Waste waters from agro-industrial activities	9,78E+3	ton	Quantità di biomassa: Progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Total Manure	1,67E+5	ton	Quantità di biomassa: Progetto Biomasse ENAMA (dato primario)."
Agro-industrial waste	3,09E+4	ton	Quantità di biomassa: Progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Electricity_ARCADIA, high voltage {IT} heat and power co-generation, biogas, gas engine Cut-off, U	5,11E+7	kWh	Processo di produzione, privo del quantitativo di biogas e delle emissioni: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario). Quantità di elettricità: Progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Heat,_ ARCADIA, central or small-scale, other than natural gas {IT} heat and power co-generation, biogas, gas engine Cut-off, U	1,85E+8	MJ	Processo di produzione Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario). Quantità di calore: Progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, U	1,85E+4	kg	Processo di produzione Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario). Quantità di lubrificante: Progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 Cut-off, U	3,9E+6	tkm	Processo di trasporto: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario). Quantità di biomassa trasportata: Progetto Biomasse ENAMA (dato primario). Distanza percorsa: DM 2/3/2010 (dato secondario).

OUTPUT				
Output verso la tecnosfera: prodotti e co-prodotti				
Flussi/processi	Valore	Unità di misura	Dataset di riferimento	Note
Elettricità (da impianti 1-700 kW)	4,60E+7	kWh	Progetto Biomasse ENAMA.	Valori al netto dell'autoconsumo che è pari al 10% della produzione totale. Allocazione Esergetica pari all'86% degli impatti.
Calore (da impianti 1-700 kW)	1,57E+8	MJ	Progetto Biomasse ENAMA.	Valori al netto dell'autoconsumo che è pari al 15% della produzione totale. Allocazione Esergetica pari al 14% degli impatti.
Emissioni in aria				
Flussi/processi	Valore	Unità di misura	Dataset di riferimento	
Methane, biogenic	9,97E+4	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) e ENAMA (ENAMA, 2011) (Dato primario)	
Carbon dioxide, biogenic	1,98 E+7	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
Methane, biogenic	5,62 E+4	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
Dinitrogen monoxide	1,1 E+3	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
Nitrogen oxides, IT	3,67 E+5	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
Carbon monoxide, biogenic	1,10 E+5	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	3,26 E+4	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
Particulates, < 10 um	3,67E+3	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
Particulates, < 2.5 um	3,67E+3	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
Carbon black	1,47E+2	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	

Classe 2 (CL2): 701-1700 kWh			
Flussi/processi	Valore	Unità di misura	Dataset di riferimento
INPUT			
Anaerobic digestion plant, agricultural {GLO} market for Cut-off, U	3,36E+0	p	Processo: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario). Dimensione dell'impianto: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Maize grain {RoW} production Cut-off, U	1,86E+5	ton	Processo di produzione: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario) Quantità di biomassa: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Maize silage {RoW} production Cut-off, U	5,39E+4	ton	Processo di produzione: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario) Quantità di biomassa: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Rye grain {RER} rye production Cut-off, U	3,54E+4	ton	Processo di produzione: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario) Quantità di biomassa: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Ryegrass silage {GLO} market for Cut-off, U	2,98E+3	ton	Processo di produzione: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario) Quantità di biomassa: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Sweet sorghum stem {RoW} sweet sorghum production Cut-off, U	4,48E+4	ton	Processo di produzione: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario) Quantità di biomassa: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Sweet sorghum grain {RoW} sweet sorghum production Cut-off, U	3,37E+3	ton	Processo di produzione: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario) Quantità di biomassa: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Wheat grain {RoW} wheat production Cut-off, U	9,27E+3	ton	Processo di produzione: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario) Quantità di biomassa: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Barley grain {RoW} barley production Cut-off, U	8,30E+2	ton	Processo di produzione: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario) Quantità di biomassa: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Sugar beet {RoW} production Cut-off, U	8,18E+2	ton	Processo di produzione: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario) Quantità di biomassa: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Grass silage, organic {CH} production Cut-off, U	1,33E+4	ton	Processo di produzione: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario) Quantità di biomassa: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Straw, stand-alone production {RoW} production Cut-off, U	1,00E+2	ton	Processo di produzione: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario) Quantità di biomassa: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Waste waters from agro-industrial activities	4,31E+4	ton	Quantità di biomassa: Progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Total Manure	1,40E+5	ton	Quantità di biomassa: Progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Agro-industrial waste	3,25E+5	ton	Quantità di biomassa: Progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Electricity_ARCADIA, high voltage {IT} heat and power co-generation, biogas, gas engine Cut-off, U	1,16E+8	kWh	Processo di produzione privo del quantitativo di biogas e delle emissioni: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario) Quantità di elettricità: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Heat,_ ARCADIA central or small-scale, other than natural gas {IT} heat and power co-generation, biogas, gas engine Cut-off, U	3,35E+8	MJ	Processo di produzione, privo del quantitativo di biogas e delle emissioni: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario) Quantità di calore: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, U	9,72E+4	kg	Processo di produzione: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario) Quantità di lubrificante: progetto Biomasse ENAMA (dato primario).
Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 Cut-off, U	1,04E+7	tkm	Processo di trasporto: Ecolnvent v. 3.7.1 (dato secondario). Quantità di biomassa trasportata: Progetto Biomasse ENAMA (dato primario) Distanza percorsa: DM 2/3/2010 (dato secondario).

OUTPUT				
Output verso la tecnosfera: prodotti e co-prodotti				
Flussi/processi	Valore	Unità di misura	Dataset di riferimento	Note
Elettricità (da impianti 701-1700 kW)	1,04E+8	kWh	Progetto Biomasse ENAMA.	Valori al netto dell'autoconsumo che è pari al 10% della produzione totale. Allocazione Exergetica pari all'89% degli impatti.
Calore (da impianti 701-1700 kW)	2,85E+8	MJ	Progetto Biomasse ENAMA.	Valori al netto dell'autoconsumo che è pari al 15% della produzione totale. Allocazione Exergetica pari all'11% degli impatti.
Emissioni in aria				
Flussi/processi	Valore	Unità di misura	Dataset di riferimento	
Methane, biogenic	5,23E+5	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) e ENAMA (ENAMA, 2011) (Dato primario)	
Carbon dioxide, biogenic	4,05E+7	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
Methane, biogenic	1,15E+5	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
Dinitrogen monoxide	2,25E+3	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
Nitrogen oxides, IT	7,51E+5	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
Carbon monoxide, biogenic	2,25E+5	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	6,68E+4	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
Particulates, < 10 um	7,51E+3	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
Particulates, < 2.5 um	7,51E+3	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
Carbon black	3,01E+2	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	

Classe 3 (CL3): Energia da biogas ottenuto da rifiuti e fanghi			
INPUT			
Flussi/processi	Valore	Unità di misura	Dataset di riferimento
<i>Anaerobic digestion plant, agricultural {GLO} market for Cut-off, U</i>	4,76E-01	p	<u>Processo</u> : EcoInvent v. 3.7.1 (dato secondario). <u>Dimensione dell'impianto</u> : Dati impianti Herambiente di Voltana e Bolzano (dato primario).
<i>Biomass from waste and sludge</i>	3,61E+4	ton	<u>Quantità di biomassa</u> : Dati impianti Herambiente di Voltana e Bolzano (dato primario).
<i>Electricity_ARCADIA, high voltage {IT} heat and power co-generation, biogas, gas engine Cut-off, U</i>	9,42E+6	kWh	<u>Processo di produzione, privo del quantitativo di biogas e delle emissioni</u> : EcoInvent v. 3.7.1 (dato secondario) <u>Quantità di elettricità</u> : Dati impianti Herambiente di Voltana e Bolzano (dato primario).
<i>Heat,_ ARCADIA_central or small-scale, other than natural gas {IT} heat and power co-generation, biogas, gas engine Cut-off, U</i>	4,97E+7	MJ	<u>Processo di produzione, privo del quantitativo di biogas e delle emissioni</u> : EcoInvent v. 3.7.1 (dato secondario) <u>Quantità di elettricità</u> : Dati impianti Herambiente di Voltana e Bolzano (dato primario).
<i>Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, U</i>	5.97E+03	kg	<u>Processo di produzione</u> : EcoInvent v. 3.7.1 (dato secondario) <u>Quantità di elettricità</u> : Dati impianti Herambiente di Voltana e Bolzano (dato primario).
<i>Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 Cut-off, U</i>	2,53E+6	tkm	<u>Processo di trasporto</u> : EcoInvent v. 3.7.1 (dato secondario). <u>Quantità di biomassa trasportata</u> : Dati impianti Herambiente di Voltana e Bolzano (dato primario) <u>Distanza percorsa</u> : dato secondario.

OUTPUT				
Output verso la tecnosfera: prodotti e co-prodotti.				
Flussi/processi	Valore	Unità di misura	Dataset di riferimento	Note
<i>Elettricità (da impianti 701-1700 kW)</i>	7,11E+9	kWh	Dati degli impianti Herambiente di Voltana e Bolzano	Valori al netto dell'autoconsumo pari al 25% (dato primario). Allocazione Exergetica pari a 77% degli impatti.
<i>Calore (da impianti 701-1700 kW)</i>	4,48E+7	MJ	Dati degli impianti Herambiente di Voltana e Bolzano	Valori al netto dell'autoconsumo pari al 10% (dato primario). Allocazione Exergetica pari a 23% degli impatti.
Emissioni in aria				
Flussi/processi	Valore	Unità di misura	Dataset di riferimento	
<i>Methane, biogenic</i>	3,22E+04	kg	Fonte: ISPRA e Impianti Herambiente di Voltana e Bolzano (Dato primario)	
<i>Carbon dioxide, biogenic</i>	4,23E+6	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
<i>Methane, biogenic</i>	1,28E+4	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
<i>Dinitrogen monoxide</i>	2,51E+2	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
<i>Nitrogen oxides, IT</i>	8,36E+4	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
<i>Carbon monoxide, biogenic</i>	2,51E+4	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
<i>NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin</i>	7,43E+3	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
<i>Particulates, < 10 um</i>	8,36E+2	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
<i>Particulates, < 2.5 um</i>	8,36E+2	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	
<i>Carbon black</i>	3,35E+1	kg	Fonte: ISPRA (ISPRA, 2019) (Dato primario)	

7.3 Sviluppo dei datasets

Di seguito, si riporta l'elenco dei dataset sviluppati per l'analisi della filiera energetica del biogas:

- 1) Classe 1 (CL1): produzione di energia da biogas derivante da biomasse di origine agricola-forestale e deiezioni animali, mediante impianti con potenza nominale 1-700 kW- nome dataset nella BDILCA (banca Dati Italiana LCA) "Electricity from biogas_1-700 kW, Anaerobic digestion and cogeneration, at plant"
- 2) Classe 2 (CL2): produzione di energia da biogas derivante da biomasse di origine agricola-forestale e deiezioni animali, mediante impianti con potenza nominale 701-1700 kW - nome dataset nella BDILCA "Electricity from biogas_701-1700 kW, Anaerobic digestion and cogeneration, at plant"
- 3) Classe 3 (CL3): produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi.- nome dataset nell BDILCA "Electricity from biogas_waste and sludge, Anaerobic digestion and cogeneration, at plant"
- 4) Produzione di 1 kWh di energia elettrica da biogas, in Italia ($0,22 \cdot CL1 + 0,60 \cdot CL2 + 0,18 \cdot CL3$) – nome dataset nella BDILCA "Electricity from biogas, IT mix, Anaerobic digestion and cogeneration, at plant".

Tabella 24 Elenco dei dataset sviluppati per l'analisi della produzione di 1 kWh di energia elettrica da biogas, in Italia.

Dataset	Contributo percentuale alla produzione di energia elettrica da biogas, in Italia (%)
Classe 1 (CL1): produzione di energia da biogas derivante da biomasse di origine agricola-forestale e deiezioni animali, mediante impianti con potenza nominale nella fascia 1-700 kW.	22
Classe 2 (CL2): produzione di energia da biogas derivante da biomasse di origine agricola-forestale e deiezioni animali, mediante impianti con potenza nominale nella fascia 701-1700 kW.	60
Classe 3 (CL3): produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi.	18

In dettaglio, i dataset CL1, CL2 e CL3 rappresentano i processi unitari che vanno a costituire il dataset finale (n.4) relativo alla produzione di 1 kWh di energia elettrica da biogas, in Italia. I dataset sono riportati nel paragrafo di inventario e ulteriormente dettagliati nell'Allegato 4.

8 Valutazione degli impatti ambientali

Il presente studio intende fornire una valutazione, in accordo con le norme nell'ISO 14040-44/2006, degli impatti ambientali potenziali della filiera di produzione di energia elettrica da biogas in Italia. L'analisi si è basata sull'identificazione e la quantificazione di tutti i flussi in input e output associati alla fase di approvvigionamento della biomassa, alla fase di conversione (digestione anaerobica) della biomassa in biogas e alla successiva conversione del biogas in energia elettrica (impianto di cogenerazione). Le emissioni locali sono state stimate a partire dai database EF_combustion_2019 reso disponibile da ISPRA (<http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni/fattori-di-emissione-per-le-sorgenti-di-combustione-stazionarie-in-italia/view>) e da successive integrazioni fornite dai colleghi di ISPRA per le emissioni relative all'impianto di digestione anaerobica (NIR, 2021; IIR, 2021). I dati raccolti sono stati analizzati mediante l'impiego del software SimaPro 9.2.0.1 sulla base del metodo EF 3.0 (Zampori e Pant, 2019).

Nella Tabella 25 sono riportate le abbreviazioni usate per ciascuna categoria d'impatto con le relative unità di misura.

Tabella 25 Categorie d'impatto esaminate nel presente studio con le relative unità di misura e abbreviazioni

Impact category	Unit	Abbreviation
Climate change	kg CO ₂ eq	CC
Ozone depletion	kg CFC11 eq	OD
Ionising radiation	kBq U-235 eq	IR
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	POD
Particulate matter	disease inc.	PM
Human toxicity, non-cancer	CTUh	HTnon-c
Human toxicity, cancer	CTUh	HTc
Acidification	mol H+ eq	AC
Eutrophication, freshwater	kg P eq	EUf
Eutrophication, marine	kg N eq	EUm
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	EUt
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	ECT
Land use	Pt	LU
Water use	m ³ depriv.	WU
Resource use, fossils	MJ	RDf
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	RDm
Climate change - Fossil	kg CO ₂ eq	CCf
Climate change - Biogenic	kg CO ₂ eq	CCb
Climate change - Land use and LU change	kg CO ₂ eq	CCLu
Human toxicity, non-cancer - organics	CTUh	HTnon-c-o
Human toxicity, non-cancer - inorganics	CTUh	HTnon-c-i
Human toxicity, non-cancer - metals	CTUh	HTnon-c-m
Human toxicity, cancer - organics	CTUh	HTc-o
Human toxicity, cancer - inorganics	CTUh	HTc-i
Human toxicity, cancer - metals	CTUh	HTc-m
Ecotoxicity, freshwater - organics	CTUe	ECT-o
Ecotoxicity, freshwater - inorganics	CTUe	ECT-i
Ecotoxicity, freshwater - metals	CTUe	ECT-m

8.1 Caratterizzazione

Gli impatti relativi alla produzione di 1 kWh elettrico da biogas in Italia sono riportati in Figura 21 e in Tabella 26 e Tabella 27. I risultati mostrano un impatto maggiore generato dalla classe CL2 (701-1700 kW) che contribuisce per il 60% alla produzione di 1 kWh elettrico da biogas: in particolare, la classe CL2 impatta su HTc-i per il 93%. Gli impatti generati dalla classe CL1 variano tra il 4% in HTc-i e il 28% in CCLu, mentre per CL3 il range di impatti varia da 0% in alcune categorie a 18% in CCb.

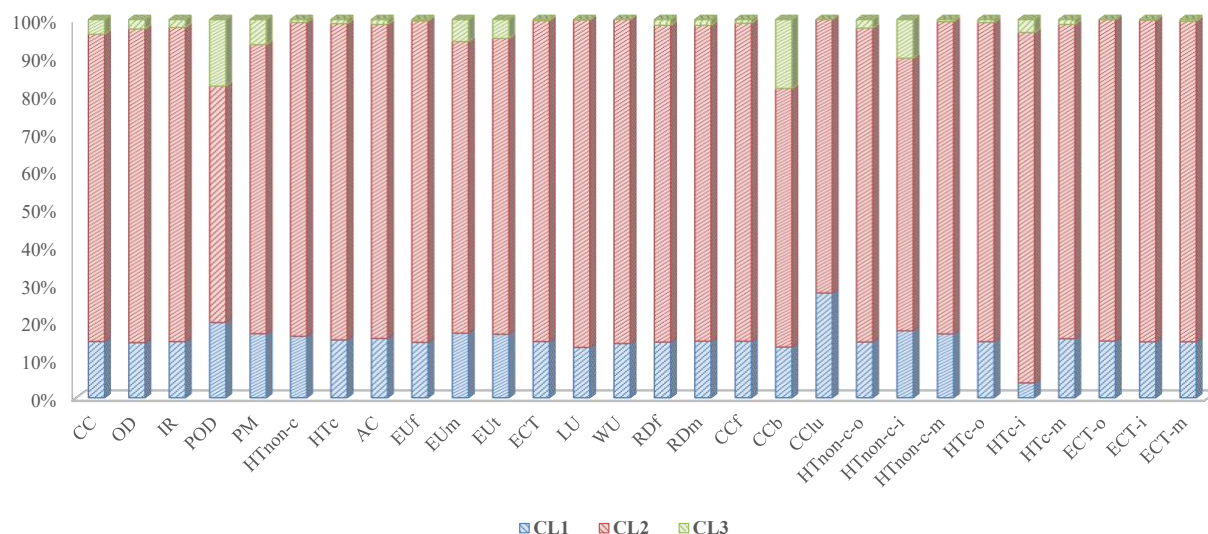


Figura 21 Contributo percentuale di ciascuna classe alla produzione di 1 kWh elettrico da biogas in Italia.

In dettaglio (Figura 22, Tabella 28, Tabella 29) l'analisi ha mostrato che nella CL1 la fase di approvvigionamento della biomassa è la fase più impattante (con un intervallo che va dallo 0% in CCb e HTc-i fino a raggiungere il 100% degli impatti in LU, WU, CClu, ECT-o e ECT-i, con un valore medio su tutte le categorie investigate del 82%), seguita dalle emissioni locali (con un impatto che va dallo 0% in 17 categorie su 28 fino al 100% in CCb, con un valore medio su tutte le categorie investigate del 13%), dall'impiantistica (con un impatto che va dallo 0% in 9 categorie su 28 fino al 100% in HTc-i, con un valore medio su tutte le categorie investigate del 5%) e dalla fase di trasporto delle biomasse con un impatto irrilevante (0% - 2%). Il processo del trasporto contempla tutti i flussi (carburante, tipo di veicolo, emissioni associate etc.) per il trasporto della biomassa dai campi agli impianti di conversione, considerando la distanza per la filiera corta prevista dal DM 02/03/2010. Il contributo percentuale del lubrificante, utilizzato nell'impianto di cogenerazione, può essere considerato trascurabile in quanto è inferiore all'1%.

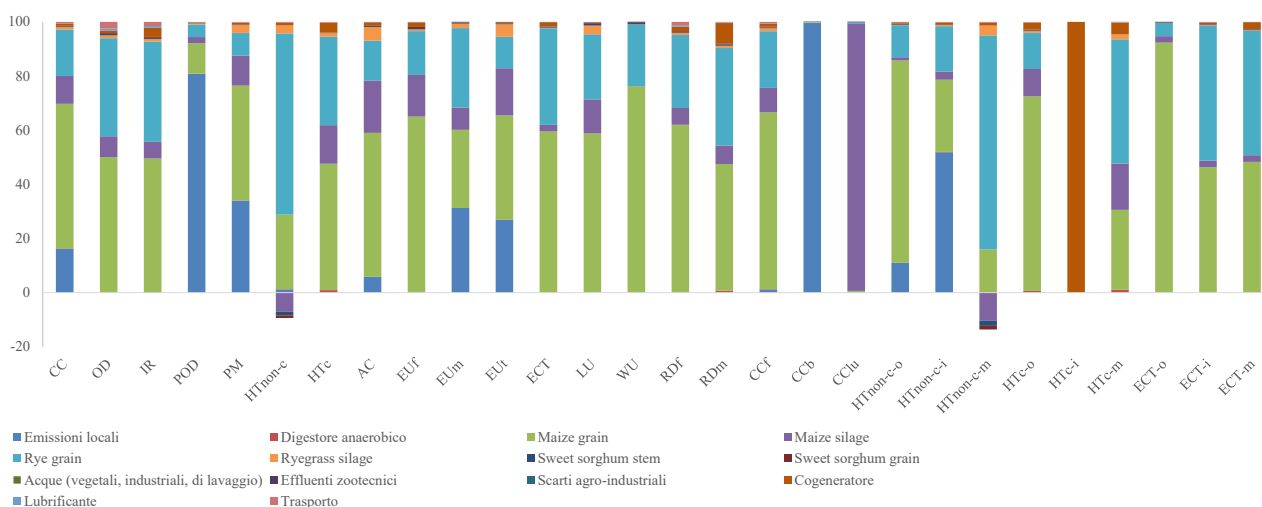


Figura 22 Contributo percentuale di ciascun input alla classe 1-700 kW (CL1).

Tabella 26 Impatti caratterizzati calcolati per 1 kWh elettrico da biogas in Italia (unità funzionale): impatti totali e impatti suddivisi per ciascuna classe: 1-700 kW (CL1), 701-1700 kW (CL2) e produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi (CL3). Valori assoluti.

Impact category	Unit	Total	CL1	CL2	CL3
CC	kg CO2 eq	9,61E-01	1,43E-01	7,81E-01	3,73E-02
OD	kg CFC11 eq	4,96E-08	7,22E-09	4,11E-08	1,23E-09
IR	kBq U-235 eq	2,54E-02	3,77E-03	2,11E-02	5,33E-04
POD	kg NMVOC eq	1,03E-02	2,04E-03	6,42E-03	1,81E-03
PM	disease inc.	1,19E-07	2,02E-08	9,09E-08	7,91E-09
HTnon-c	CTUh	1,88E-08	3,05E-09	1,56E-08	1,49E-10
HTc	CTUh	6,49E-10	9,92E-11	5,43E-10	7,01E-12
AC	mol H+ eq	1,09E-02	1,71E-03	9,03E-03	1,40E-04
EUF	kg P eq	3,23E-04	4,73E-05	2,74E-04	1,21E-06
EUm	kg N eq	1,10E-02	1,88E-03	8,49E-03	6,40E-04
EUt	mol N eq	4,96E-02	8,32E-03	3,88E-02	2,48E-03
ECT	CTUe	8,03E+01	1,19E+01	6,82E+01	2,47E-01
LU	Pt	7,85E+01	1,04E+01	6,79E+01	1,10E-01
WU	m3 depriv.	9,70E+00	1,39E+00	8,31E+00	6,40E-04
RDF	MJ	6,26E+00	9,21E-01	5,24E+00	9,48E-02
RDm	kg Sb eq	5,32E-06	7,96E-07	4,44E-06	8,14E-08
CCf	kg CO2 eq	7,83E-01	1,17E-01	6,58E-01	7,50E-03
CCb	kg CO2 eq	1,63E-01	2,19E-02	1,12E-01	2,98E-02
CCLu	kg CO2 eq	1,49E-02	4,13E-03	1,08E-02	2,58E-06
HTnon-c-o	CTUh	2,46E-09	3,62E-10	2,04E-09	5,60E-11
HTnon-c-i	CTUh	5,33E-09	9,44E-10	3,84E-09	5,46E-10
HTnon-c-m	CTUh	1,33E-08	2,25E-09	1,10E-08	7,59E-11
HTc-o	CTUh	2,72E-10	4,03E-11	2,29E-10	2,17E-12
HTc-i	CTUh	7,31E-23	2,86E-24	6,77E-23	2,50E-24
HTc-m	CTUh	3,77E-10	5,89E-11	3,14E-10	4,84E-12
ECT-o	CTUe	2,07E+01	3,11E+00	1,76E+01	6,40E-03
ECT-i	CTUe	9,51E+00	1,41E+00	8,08E+00	1,84E-02
ECT-m	CTUe	5,01E+01	7,42E+00	4,25E+01	2,22E-01

Tabella 27 Impatti caratterizzati calcolati per 1 kWh elettrico da biogas in Italia (unità funzionale): impatti totali e impatti suddivisi per ciascuna classe: 1-700 kW (CL1), 701-1700 kW (CL2) e produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi (CL3). Valori in percentuale.

Impact category	Unit	Total	CL1	CL2	CL3
CC	kg CO2 eq	100%	15%	81%	4%
OD	kg CFC11 eq	100%	15%	83%	2%
IR	kBq U-235 eq	100%	15%	83%	2%
POD	kg NMVOC eq	100%	20%	63%	18%
PM	disease inc.	100%	17%	76%	7%
HTnon-c	CTUh	100%	16%	83%	1%
HTc	CTUh	100%	15%	84%	1%
AC	mol H+ eq	100%	16%	83%	1%
EUf	kg P eq	100%	15%	85%	0%
EUm	kg N eq	100%	17%	77%	6%
EUt	mol N eq	100%	17%	78%	5%
ECT	CTUe	100%	15%	85%	0%
LU	Pt	100%	13%	87%	0%
WU	m3 depriv.	100%	14%	86%	0%
Rdf	MJ	100%	15%	84%	2%
RDm	kg Sb eq	100%	15%	84%	2%
CCf	kg CO2 eq	100%	15%	84%	1%
CCb	kg CO2 eq	100%	13%	68%	18%
Cclu	kg CO2 eq	100%	28%	72%	0%
HTnon-c-o	CTUh	100%	15%	83%	2%
HTnon-c-i	CTUh	100%	18%	72%	10%
HTnon-c-m	CTUh	100%	17%	83%	1%
HTc-o	CTUh	100%	15%	84%	1%
HTc-i	CTUh	100%	4%	93%	3%
HTc-m	CTUh	100%	16%	83%	1%
ECT-o	CTUe	100%	15%	85%	0%
ECT-i	CTUe	100%	15%	85%	0%
ECT-m	CTUe	100%	15%	85%	0%

In Figura 23 e in Tabella 30 e Tabella 31, sono riportati gli impatti caratterizzati per la CL2. I risultati della caratterizzazione mostrano che la fase di approvvigionamento della biomassa è la fase più impattante (con un intervallo che va dallo 0% in CCb fino a raggiungere il 100% degli impatti in LU, WU, Cclu, ECT-o e ECT-i, con un valore medio su tutte le categorie investigate dell'88%), seguita dalle emissioni locali (con un impatto che va dallo 0% in 17 categorie su 28 fino al 100% in CCb, con un valore medio su tutte le categorie investigate del 10%), dall'impiantistica (con un impatto che va dallo 0% in 12 categorie su 28 fino al 12% in HTc-i, con un valore medio su tutte le categorie investigate dell'1%) e dal trasporto che ha impatti trascurabili (valore medio su tutte le categorie d'impatto pari allo 0,4%). Il contributo percentuale del lubrificante, anche in questo caso, risulta inferiore all'1% e, pertanto, può essere considerato trascurabile. La produzione del mais rappresenta, per entrambe le classi 1-700 kW (CL1) e 701-1700 kW (CL2), il maggiore impatto in quasi tutte

le categorie esaminate (eccetto nella Human toxicity, non-cancer – metals, dove l'impatto maggiore deriva dalla produzione della segale).

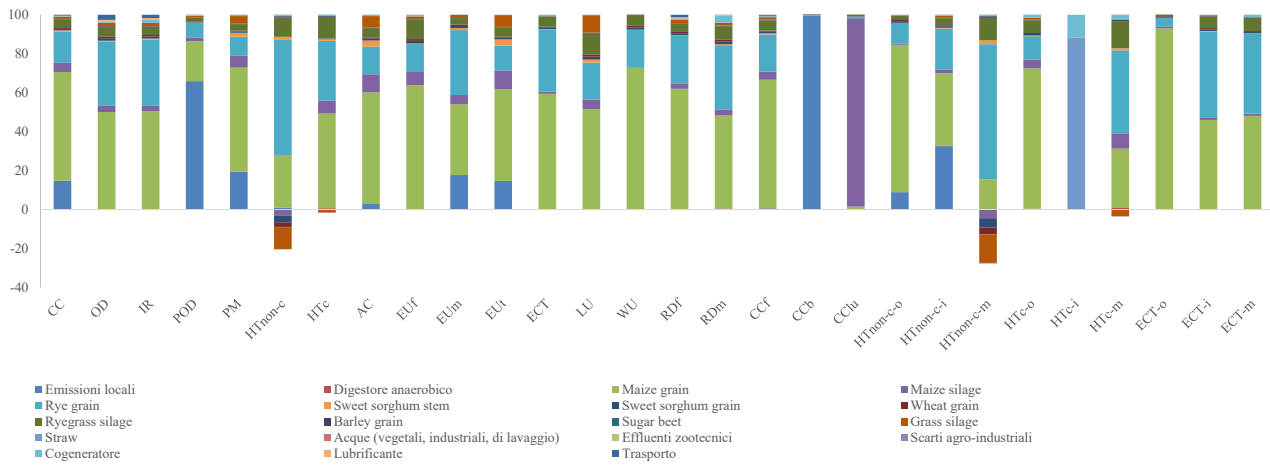


Figura 23 Contributo percentuale di ciascun input alla classe 701-1700 kW.

Tabella 28 Impatti caratterizzati, contributo totale e di ciascun input della classe 1-700 kW (CL1) alla produzione di 1 kWh di energia di biogas in Italia. Valori assoluti.

Impact category	Unit	Total	Emissioni locali	Digestore anaerobico	Maize grain	Maize silage	Rye grain	Ryegrass silage	Sweet sorghum stem	Sweet sorghum grain	Acque (vegetali, industriali, di lavaggio)	Effluenti zootecnici	Scarti agro-industriali	Cogeneratore	Lubrificante	Trasporto
CC	kg CO2 eq	1,43E-01	2,32E-02	1,98E-04	7,63E-02	1,47E-02	2,45E-02	1,30E-03	3,86E-04	2,70E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,30E-03	9,46E-05	6,97E-04
OD	kg CFC11 eq	7,22E-09	0,00E+00	1,43E-11	3,60E-09	5,53E-10	2,61E-09	7,49E-11	3,65E-11	2,56E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,01E-11	5,80E-11	1,71E-10
IR	kBq U-235 eq	3,77E-03	0,00E+00	9,36E-06	1,86E-03	2,31E-04	1,40E-03	3,69E-05	1,62E-05	1,13E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,26E-04	2,55E-05	5,82E-05
POD	kg NMVOC eq	2,04E-03	1,65E-03	8,31E-07	2,30E-04	4,63E-05	9,54E-05	5,43E-06	1,65E-06	1,16E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,14E-06	2,02E-06	2,14E-06
PM	disease inc.	2,02E-08	6,85E-09	1,93E-11	8,53E-09	2,23E-09	1,70E-09	5,86E-10	3,84E-11	2,69E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,05E-10	4,46E-12	6,09E-11
HTnon-c	CTUh	3,05E-09	3,96E-11	3,85E-12	9,28E-10	-2,36E-10	2,25E-09	9,94E-11	-4,73E-11	-3,31E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,42E-11	1,38E-12	8,98E-12
HTc	CTUh	9,92E-11	0,00E+00	9,02E-13	4,63E-11	1,41E-11	3,24E-11	1,33E-12	1,12E-13	7,88E-14	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,58E-12	6,89E-14	2,66E-13
AC	mol H+ eq	1,71E-03	9,82E-05	8,85E-07	9,07E-04	3,30E-04	2,51E-04	8,63E-05	5,83E-06	4,08E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,90E-05	6,68E-07	2,20E-06
EUf	kg P eq	4,73E-05	0,00E+00	6,06E-08	3,07E-05	7,27E-06	7,65E-06	3,12E-07	2,51E-07	1,76E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,02E-07	2,93E-08	4,73E-08
EUm	kg N eq	1,88E-03	5,88E-04	2,50E-07	5,43E-04	1,56E-04	5,52E-04	3,01E-05	6,00E-06	4,20E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,07E-06	1,03E-07	5,00E-07
EUt	mol N eq	8,32E-03	2,24E-03	2,66E-06	3,20E-03	1,45E-03	9,66E-04	3,84E-04	2,42E-05	1,70E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,59E-05	1,09E-06	5,45E-06
ECT	CTUe	1,19E+01	1,37E-03	5,03E-03	7,10E+00	2,91E-01	4,26E+00	2,26E-02	3,19E-02	2,23E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,89E-01	2,77E-03	8,70E-03
LU	Pt	1,04E+01	0,00E+00	1,03E-02	6,13E+00	1,31E+00	2,51E+00	3,35E-01	7,25E-02	5,08E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,36E-03	6,58E-04	1,30E-02
WU	m3 depriv.	1,39E+00	0,00E+00	6,32E-05	1,06E+00	1,16E-03	3,18E-01	8,14E-05	6,58E-03	4,61E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,50E-04	2,77E-05	3,74E-05
RDF	MJ	9,21E-01	0,00E+00	1,89E-03	5,69E-01	5,71E-02	2,48E-01	7,66E-03	3,49E-03	2,44E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,49E-02	4,71E-03	1,13E-02
RDm	kg Sb eq	7,96E-07	0,00E+00	5,90E-09	3,72E-07	5,47E-08	2,86E-07	6,74E-09	4,05E-09	2,83E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,00E-08	1,54E-09	1,71E-09
CCf	kg CO2 eq	1,17E-01	1,35E-03	1,96E-04	7,62E-02	1,06E-02	2,44E-02	1,30E-03	3,85E-04	2,70E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,30E-03	9,43E-05	6,97E-04
CCb	kg CO2 eq	2,19E-02	2,18E-02	1,70E-06	5,65E-05	7,19E-06	2,14E-05	5,37E-07	3,49E-07	2,44E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,70E-06	2,13E-07	2,47E-07
CClu	kg CO2 eq	4,13E-03	0,00E+00	1,14E-07	2,76E-05	4,08E-03	1,94E-05	4,32E-07	2,48E-07	1,74E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,06E-06	6,82E-08	2,03E-07
HTnon-c-o	CTUh	3,62E-10	3,96E-11	2,02E-13	2,71E-10	4,23E-12	4,25E-11	3,08E-13	1,22E-12	8,57E-13	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,80E-12	2,41E-13	3,06E-13
HTnon-c-i	CTUh	9,44E-10	4,89E-10	1,02E-12	2,52E-10	2,85E-11	1,58E-10	4,25E-12	2,04E-12	1,43E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,50E-12	3,11E-13	1,57E-12
HTnon-c-m	CTUh	2,25E-09	0,00E+00	2,65E-12	4,13E-10	-2,68E-10	2,06E-09	9,49E-11	-5,05E-11	-3,54E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,70E-11	8,41E-13	7,12E-12
HTc-o	CTUh	4,03E-11	0,00E+00	2,53E-13	2,90E-11	4,08E-12	5,39E-12	2,54E-13	1,20E-13	8,42E-14	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,05E-12	2,40E-14	1,01E-13
HTc-i	CTUh	2,86E-24	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,86E-24	0,00E+00	0,00E+00
HTc-m	CTUh	5,89E-11	0,00E+00	6,48E-13	1,74E-11	1,01E-11	2,70E-11	1,07E-12	-7,69E-15	-5,38E-15	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,54E-12	4,49E-14	1,65E-13
ECT-o	CTUe	3,11E+00	1,36E-03	5,61E-05	2,87E+00	7,38E-02	1,53E-01	3,41E-04	6,24E-03	4,37E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,02E-04	2,37E-04	6,70E-04
ECT-i	CTUe	1,41E+00	1,04E-05	3,86E-04	6,52E-01	3,45E-02	6,99E-01	6,15E-03	5,05E-03	3,54E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,36E-03	6,54E-04	2,19E-03
ECT-m	CTUe	7,42E+00	0,00E+00	4,58E-03	3,58E+00	1,83E-01	3,41E+00	1,61E-02	2,06E-02	1,44E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,86E-01	1,88E-03	5,85E-03

Tabella 29 Impatti caratterizzati, contributo totale e di ciascun input della classe 1-700 kW (CL1) alla produzione di 1 kWh di energia di biogas in Italia. Valori percentuali.

Impact category	Unit	Total	Emissioni locali	Digestore anaerobico	Maize grain	Maize silage	Rye grain	Ryegrass silage	Sweet sorghum stem	Sweet sorghum grain	Acque (vegetali, industriali, di lavaggio)	Effluenti zootecnici	Scarti agro-industriali	Cogeneratore	Lubrificante	Trasporto
CC	kg CO2 eq	100%	16%	0%	53%	10%	17%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
OD	kg CFC11 eq	100%	0%	0%	50%	8%	36%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	2%
IR	kBq U-235 eq	100%	0%	0%	49%	6%	37%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	1%	2%
POD	kg NMVOC eq	100%	81%	0%	11%	2%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
PM	disease inc.	100%	34%	0%	42%	11%	8%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
HTnon-c	CTUh	100%	1%	0%	30%	-8%	74%	3%	-2%	-1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
HTc	CTUh	100%	0%	1%	47%	14%	33%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	4%	0%	0%
AC	mol H+ eq	100%	6%	0%	53%	19%	15%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
EUf	kg P eq	100%	0%	0%	65%	15%	16%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%
EUm	kg N eq	100%	31%	0%	29%	8%	29%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
EUt	mol N eq	100%	27%	0%	39%	17%	12%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ECT	CTUe	100%	0%	0%	59%	2%	36%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%
LU	Pt	100%	0%	0%	59%	13%	24%	3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
WU	m3 depriv.	100%	0%	0%	76%	0%	23%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
RDF	MJ	100%	0%	0%	62%	6%	27%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	1%	1%
RDm	kg Sb eq	100%	0%	1%	47%	7%	36%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%
CCf	kg CO2 eq	100%	1%	0%	65%	9%	21%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	1%
CCb	kg CO2 eq	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
CClu	kg CO2 eq	100%	0%	0%	1%	99%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
HTnon-c-o	CTUh	100%	11%	0%	75%	1%	12%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
HTnon-c-i	CTUh	100%	52%	0%	27%	3%	17%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
HTnon-c-m	CTUh	100%	0%	0%	18%	-12%	91%	4%	-2%	-2%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
HTc-o	CTUh	100%	0%	1%	72%	10%	13%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	0%	0%
HTc-i	CTUh	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
HTc-m	CTUh	100%	0%	1%	29%	17%	46%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	4%	0%	0%
ECT-o	CTUe	100%	0%	0%	92%	2%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ECT-i	CTUe	100%	0%	0%	46%	2%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ECT-m	CTUe	100%	0%	0%	48%	2%	46%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	0%	0%

Tabella 30 Impatti caratterizzati, contributo totale e di ciascun input della classe 701-1700 kW (CL2) alla produzione di 1 kWh di energia di biogas in Italia. Valori assoluti.

Impact category	Unit	Total	Emissioni locali	Digestore anaerobico	Maize grain	Maize silage	Rye grain	Sweet sorghum stem	Sweet sorghum grain	Wheat grain	Ryegrass silage	Barley grain	Sugar beet	Grass silage	Straw	Acque (vegetali, industriali, di lavaggio)	Effluenti zootecnici	Scarti agro-industriali	Cogeneratore	Lubrificante	Trasporto
CC	kg CO ₂ eq	7,81E-01	1,15E-01	7,87E-04	4,34E-01	3,75E-02	1,25E-01	4,14E-03	5,52E-03	3,87E-03	3,45E-02	2,16E-03	1,92E-04	8,65E-03	5,25E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,58E-03	6,19E-04	4,61E-03
OD	kg CFC11 eq	4,11E-08	0,00E+00	5,67E-11	2,05E-08	1,41E-09	1,34E-08	2,39E-10	5,23E-10	3,67E-10	2,07E-09	1,52E-10	1,15E-11	7,04E-10	4,10E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,92E-10	3,79E-10	1,13E-09
IR	kBq U-235 eq	2,11E-02	0,00E+00	3,72E-05	1,06E-02	5,91E-04	7,15E-03	1,18E-04	2,32E-04	1,62E-04	8,85E-04	6,62E-05	4,13E-06	3,61E-04	1,74E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,45E-04	1,67E-04	3,85E-04
POD	kg NMVOC eq	6,42E-03	4,23E-03	3,30E-06	1,31E-03	1,18E-04	4,89E-04	1,73E-05	2,36E-05	1,66E-05	1,15E-04	7,98E-06	7,32E-07	5,06E-05	2,71E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,96E-05	1,32E-05	1,41E-05
PM	disease inc.	9,09E-08	1,75E-08	7,69E-11	4,86E-08	5,68E-09	8,73E-09	1,87E-09	5,50E-10	3,85E-10	3,07E-09	1,81E-10	2,18E-11	3,57E-09	1,07E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,87E-10	2,92E-11	4,03E-10
HTnon-c	CTUh	1,56E-08	1,80E-10	1,53E-11	5,28E-09	-6,02E-10	1,16E-08	3,17E-10	-6,77E-10	-4,74E-10	1,93E-09	1,48E-10	-2,12E-11	-2,19E-09	-4,74E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,38E-11	9,03E-12	5,94E-11
HTc	CTUh	5,43E-10	0,00E+00	3,59E-12	2,64E-10	3,61E-11	1,66E-10	4,23E-12	1,61E-12	1,13E-12	6,00E-11	3,44E-12	-6,96E-14	-8,63E-12	-3,29E-13	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,82E-12	4,51E-13	1,76E-12
AC	mol H+ eq	9,03E-03	2,50E-04	3,52E-06	5,17E-03	8,42E-04	1,29E-03	2,75E-04	8,35E-05	5,85E-05	4,29E-04	2,66E-05	3,34E-06	5,30E-04	2,24E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,20E-05	4,37E-06	1,45E-05
EUf	kg P eq	2,74E-04	0,00E+00	2,41E-07	1,75E-04	1,85E-05	3,92E-05	9,95E-07	3,59E-06	2,52E-06	2,73E-05	5,41E-07	4,01E-08	3,98E-06	4,72E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,20E-06	1,92E-07	3,13E-07
EUm	kg N eq	8,49E-03	1,50E-03	9,93E-07	3,09E-03	3,97E-04	2,83E-03	9,59E-05	8,59E-05	6,02E-05	2,83E-04	4,00E-05	3,50E-06	1,04E-04	8,61E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,67E-06	6,72E-07	3,31E-06
EUt	mol N eq	3,88E-02	5,70E-03	1,06E-05	1,82E-02	3,71E-03	4,95E-03	1,23E-03	3,47E-04	2,43E-04	1,77E-03	1,09E-04	1,46E-05	2,35E-03	9,36E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,09E-05	7,12E-06	3,60E-05
ECT	CTUe	6,82E+01	4,02E-03	2,00E-02	4,04E+01	7,43E-01	2,18E+01	7,22E-02	4,56E-01	3,20E-01	3,44E+00	1,55E-01	9,18E-03	1,07E-01	2,08E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,19E-01	1,82E-02	5,76E-02
LU	Pt	6,79E+01	0,00E+00	4,09E-02	3,49E+01	3,35E+00	1,29E+01	1,07E+00	1,04E+00	7,27E-01	7,23E+00	3,98E-01	3,06E-02	6,00E+00	1,49E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,02E-02	4,31E-03	8,60E-02
WU	m ³ depriv.	8,31E+00	0,00E+00	2,51E-04	6,04E+00	2,96E-03	1,63E+00	2,60E-04	9,42E-02	6,60E-02	4,57E-01	2,52E-02	1,99E-05	1,06E-03	3,28E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,85E-04	1,82E-04	2,47E-04
Rdf	MJ	5,24E+00	0,00E+00	7,50E-03	3,24E+00	1,46E-01	1,27E+00	2,45E-02	5,00E-02	3,50E-02	2,19E-01	1,61E-02	9,56E-04	8,61E-02	3,42E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,10E-02	3,08E-02	7,50E-02
RDm	kg Sb eq	4,44E-06	0,00E+00	2,35E-08	2,12E-06	1,40E-07	1,47E-06	2,15E-08	5,79E-08	4,06E-08	3,04E-07	2,18E-08	9,34E-10	6,47E-08	3,34E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,65E-07	1,01E-08	1,13E-08
CCf	kg CO ₂ eq	6,58E-01	3,44E-03	7,80E-04	4,34E-01	2,71E-02	1,25E-01	4,14E-03	5,52E-03	3,86E-03	3,43E-02	2,16E-03	1,89E-04	8,64E-03	5,25E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,58E-03	6,17E-04	4,61E-03
CCb	kg CO ₂ eq	1,12E-01	1,11E-01	6,74E-06	3,21E-04	1,84E-05	1,10E-04	1,71E-06	4,99E-06	3,50E-06	2,58E-05	1,88E-06	2,72E-06	6,08E-06	5,61E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,67E-06	1,40E-06	1,63E-06
Cclu	kg CO ₂ eq	1,08E-02	0,00E+00	4,54E-07	1,57E-04	1,04E-02	9,94E-05	1,38E-06	3,55E-06	2,49E-06	8,84E-05	1,38E-06	4,99E-08	4,62E-06	3,16E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,89E-06	4,46E-07	1,34E-06
HTnon-c-o	CTUh	2,04E-09	1,80E-10	8,04E-13	1,54E-09	1,08E-11	2,18E-10	9,83E-13	1,75E-11	1,23E-11	4,35E-11	2,91E-12	7,05E-14	2,85E-12	1,48E-14	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,93E-12	1,58E-12	2,02E-12
HTnon-c-i	CTUh	3,84E-09	1,25E-09	4,07E-12	1,43E-09	7,27E-11	8,10E-10	1,36E-11	2,92E-11	2,04E-11	1,37E-10	7,61E-12	6,91E-13	3,75E-11	2,39E-13	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,51E-11	2,03E-12	1,04E-11
HTnon-c-m	CTUh	1,10E-08	0,00E+00	1,06E-11	2,35E-09	-6,84E-10	1,05E-08	3,03E-10	-7,24E-10	-5,07E-10	1,75E-09	1,38E-10	-2,20E-11	-2,23E-09	-4,76E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,41E-11	5,51E-12	4,71E-11
HTc-o	CTUh	2,29E-10	0,00E+00	1,01E-12	1,65E-10	1,04E-11	2,76E-11	8,12E-13	1,72E-12	1,21E-12	1,49E-11	6,34E-13	4,81E-14	2,48E-12	1,33E-14	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,87E-12	1,57E-13	6,67E-13
HTc-i	CTUh	6,77E-23	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,96E-23	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,07E-24	0,00E+00	0,00E+00
HTc-m	CTUh	3,14E-10	0,00E+00	2,58E-12	9,89E-11	2,57E-11	1,39E-10	3,42E-12	-1,10E-13	-7,71E-14	4,51E-11	2,81E-12	-1,18E-13	-1,11E-11	-3,42E-13	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,96E-12	2,94E-13	1,09E-12
ECT-o	CTUe	1,76E+01	3,99E-03	2,23E-04	1,63E+01	1,88E-01	7,81E-01	1,09E-03	8,93E-02	6,26E-02	1,18E-01	1,36E-02	1,31E-04	2,82E-03	1,70E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,29E-04	1,55E-03	4,43E-03
ECT-i	CTUe	8,08E+00	2,64E-05	1,53E-03	3,71E+00	8,81E-02	3,58E+00	1,96E-02	7,24E-02	5,07E-02	4,79E-01	2,13E-02	1,52E-03	3,15E-02	6,01E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,20E-03	4,28E-03	1,45E-02
ECT-m	CTUe	4,25E+01	0,00E+00	1,82E-02	2,04E+01	4,67E-01	1,75E+01	5,15E-02	2,95E-01	2,06E-01	2,84E+00	1,20E-01	7,53E-03	7,29E-02	1,30E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,09E-01	1,23E-02	3,87E-02

Tabella 31 Impatti caratterizzati, contributo totale e di ciascun input della classe 701-1700 kW (CL2) alla produzione di 1 kWh di energia di biogas in Italia. Valori percentuali.

Impact category	Unit	Total	Emissioni locali	Digestore anaerobico	Maize grain	Maize silage	Rye grain	Sweet sorghum stem	Sweet sorghum grain	Wheat grain	Ryegrass silage	Barley grain	Sugar beet	Grass silage	Straw	Acque (vegetali, industriali, di lavaggio)	Effluenti zootecnici	Scarti agro-industriali	Cogeneratore	Lubrificante	Trasporto
CC	kg CO ₂ eq	100%	15%	0%	56%	5%	16%	1%	1%	0%	4%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%
OD	kg CFC11 eq	100%	0%	0%	50%	3%	33%	1%	1%	1%	5%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%
IR	kg U-235 eq	100%	0%	0%	50%	3%	34%	1%	1%	1%	4%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	2%	1%	2%
POD	kg NMVOC eq	100%	66%	0%	20%	2%	8%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
PM	disease inc.	100%	19%	0%	53%	6%	10%	2%	1%	0%	3%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
HTnon-c	CTUh	100%	1%	0%	34%	-4%	74%	2%	-4%	-3%	12%	1%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
HTc	CTUh	100%	0%	1%	49%	7%	31%	1%	0%	0%	11%	1%	0%	-2%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%
AC	mol H+ eq	100%	3%	0%	57%	9%	14%	3%	1%	1%	5%	0%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
EUF	kg P eq	100%	0%	0%	64%	7%	14%	0%	1%	1%	10%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
EUm	kg N eq	100%	18%	0%	36%	5%	33%	1%	1%	1%	3%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
EUt	mol N eq	100%	15%	0%	47%	10%	13%	3%	1%	1%	5%	0%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ECT	CTUe	100%	0%	0%	59%	1%	32%	0%	1%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
LU	Pt	100%	0%	0%	51%	5%	19%	2%	2%	1%	11%	1%	0%	9%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
WU	m ³ depriv.	100%	0%	0%	73%	0%	20%	0%	1%	1%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Rdf	MJ	100%	0%	0%	62%	3%	24%	0%	1%	1%	4%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	1%
Rdm	kg Sb eq	100%	0%	1%	48%	3%	33%	0%	1%	1%	7%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	4%	0%	0%
CCf	kg CO ₂ eq	100%	1%	0%	66%	4%	19%	1%	1%	1%	5%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	1%
CCb	kg CO ₂ eq	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
CClu	kg CO ₂ eq	100%	0%	0%	1%	97%	1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
HTnon-c-o	CTUh	100%	9%	0%	76%	1%	11%	0%	1%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
HTnon-c-i	CTUh	100%	32%	0%	37%	2%	21%	0%	1%	1%	4%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
HTnon-c-m	CTUh	100%	0%	0%	21%	-6%	96%	3%	-7%	-5%	16%	1%	0%	-20%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
HTc-o	CTUh	100%	0%	0%	72%	5%	12%	0%	1%	1%	6%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
HTc-i	CTUh	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	88%	0%	0%	0%	12%	0%	0%
HTc-m	CTUh	100%	0%	1%	32%	8%	44%	1%	0%	0%	14%	1%	0%	-4%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%
ECT-o	CTUe	100%	0%	0%	93%	1%	4%	0%	1%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ECT-i	CTUe	100%	0%	0%	46%	1%	44%	0%	1%	1%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ECT-m	CTUe	100%	0%	0%	48%	1%	41%	0%	1%	0%	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%

Per la classe CL3 (dettagliata in Figura 24, Tabella 32 e Tabella 33), la fase di approvvigionamento della biomassa (rifiuti e fanghi) segue un approccio “zero burden”. Pertanto, l’impatto generato dall’impiantistica rappresenta il maggiore contributo, arrivando a rappresentare il 100% nella categoria HTc-i (contributo medio su tutte le categorie investigate pari al 35%). A seguire, l’impatto delle emissioni locali che va dallo 0% in 15 categorie su 28 fino al 100% in CCb, con un valore medio su tutte le categorie investigate del 33%, mentre il trasporto contribuisce in media al 30% (con valori che vanno dallo 0% in EUm, CCb e HTc-i fino all’85% in OD). Il consumo di lubrificante riveste un ruolo marginale (dallo 0% in 8 categorie su 28 fino all’8% in RDf).

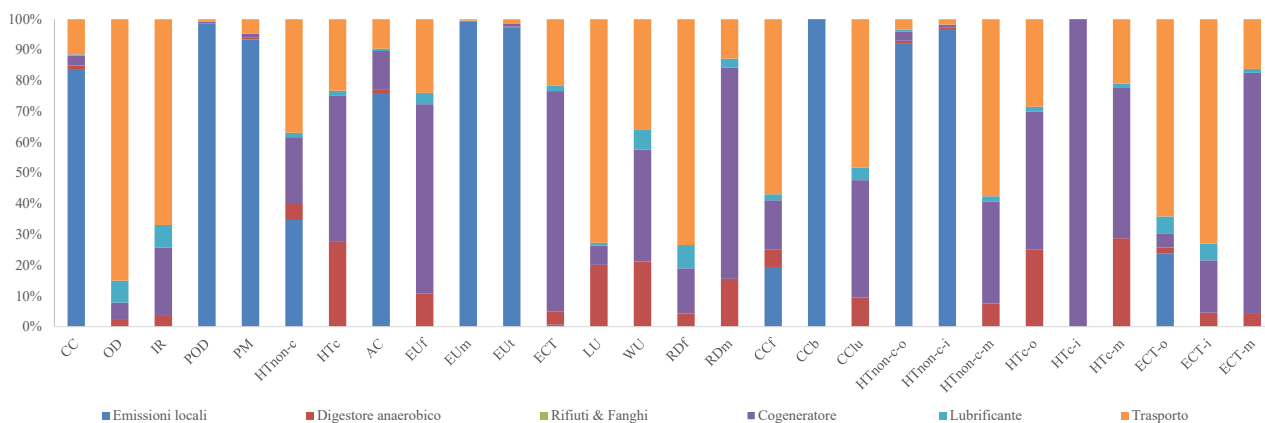


Figura 24 Contributo percentuale di ciascun input della classe CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi) alla produzione di 1 kWh elettrico da biogas.

Tabella 32 Impatti caratterizzati contributo totale e di ciascun input della CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi) alla produzione di 1 kWh di energia di biogas in Italia. Valori assoluti.

Impact category	Unit	Total	Emissioni locali	Digestore anaerobico	Rifiuti & Fanghi	Cogeneratore	Lubrificante	Trasporto
CC	kg CO2 eq	3,73E-02	3,13E-02	4,25E-04	0,00E+00	1,21E-03	1,45E-04	4,28E-03
OD	kg CFC11 eq	1,23E-09	0,00E+00	3,06E-11	0,00E+00	6,53E-11	8,86E-11	1,05E-09
IR	kBq U-235 eq	5,33E-04	0,00E+00	2,01E-05	0,00E+00	1,17E-04	3,90E-05	3,57E-04
POD	kg NMVOC eq	1,81E-03	1,78E-03	1,78E-06	0,00E+00	6,66E-06	3,09E-06	1,31E-05
PM	disease inc.	7,91E-09	7,39E-09	4,15E-11	0,00E+00	9,77E-11	6,82E-12	3,74E-10
HTnon-c	CTUh	1,49E-10	5,17E-11	8,25E-12	0,00E+00	3,19E-11	2,11E-12	5,51E-11
HTc	CTUh	7,01E-12	0,00E+00	1,94E-12	0,00E+00	3,34E-12	1,05E-13	1,63E-12
AC	mol H+ eq	1,40E-04	1,06E-04	1,90E-06	0,00E+00	1,77E-05	1,02E-06	1,35E-05
EUf	kg P eq	1,21E-06	0,00E+00	1,30E-07	0,00E+00	7,48E-07	4,47E-08	2,90E-07
EUm	kg N eq	6,40E-04	6,34E-04	5,36E-07	0,00E+00	1,93E-06	1,57E-07	3,07E-06
EUt	mol N eq	2,48E-03	2,41E-03	5,71E-06	0,00E+00	2,41E-05	1,66E-06	3,34E-05
ECT	CTUe	2,47E-01	1,54E-03	1,08E-02	0,00E+00	1,77E-01	4,24E-03	5,34E-02
LU	Pt	1,10E-01	0,00E+00	2,20E-02	0,00E+00	6,86E-03	1,01E-03	7,97E-02
WU	m3 depriv.	6,40E-04	0,00E+00	1,36E-04	0,00E+00	2,33E-04	4,24E-05	2,29E-04
RDF	MJ	9,48E-02	0,00E+00	4,05E-03	0,00E+00	1,39E-02	7,19E-03	6,96E-02
RDm	kg Sb eq	8,14E-08	0,00E+00	1,27E-08	0,00E+00	5,60E-08	2,35E-09	1,05E-08
CCf	kg CO2 eq	7,50E-03	1,46E-03	4,21E-04	0,00E+00	1,21E-03	1,44E-04	4,27E-03
CCb	kg CO2 eq	2,98E-02	2,98E-02	3,64E-06	0,00E+00	1,59E-06	3,26E-07	1,52E-06
CClu	kg CO2 eq	2,58E-06	0,00E+00	2,45E-07	0,00E+00	9,84E-07	1,04E-07	1,24E-06
HTnon-c-o	CTUh	5,60E-11	5,17E-11	4,34E-13	0,00E+00	1,68E-12	3,69E-13	1,88E-12
HTnon-c-i	CTUh	5,46E-10	5,28E-10	2,20E-12	0,00E+00	5,12E-12	4,75E-13	9,66E-12
HTnon-c-m	CTUh	7,59E-11	0,00E+00	5,70E-12	0,00E+00	2,52E-11	1,29E-12	4,37E-11
HTc-o	CTUh	2,17E-12	0,00E+00	5,44E-13	0,00E+00	9,75E-13	3,66E-14	6,18E-13
HTc-i	CTUh	2,50E-24	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,50E-24	0,00E+00	0,00E+00
HTc-m	CTUh	4,84E-12	0,00E+00	1,39E-12	0,00E+00	2,37E-12	6,86E-14	1,01E-12
ECT-o	CTUe	6,40E-03	1,53E-03	1,20E-04	0,00E+00	2,82E-04	3,62E-04	4,11E-03
ECT-i	CTUe	1,84E-02	1,12E-05	8,28E-04	0,00E+00	3,13E-03	9,99E-04	1,34E-02
ECT-m	CTUe	2,22E-01	0,00E+00	9,84E-03	0,00E+00	1,73E-01	2,88E-03	3,59E-02

Tabella 33 Impatti caratterizzati contributo totale e di ciascun input della CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi) alla produzione di 1 kWh di energia di biogas in Italia. Valori percentuali.

Impact category	Unit	Total	Emissioni locali	Digestore anaerobico	Rifiuti & Fanghi	Cogeneratore	Lubrificante	Trasporto
CC	kg CO2 eq	100%	84%	1%	0%	3%	0%	11%
OD	kg CFC11 eq	100%	0%	2%	0%	5%	7%	85%
IR	kBq U-235 eq	100%	0%	4%	0%	22%	7%	67%
POD	kg NMVOC eq	100%	99%	0%	0%	0%	0%	1%
PM	disease inc.	100%	93%	1%	0%	1%	0%	5%
HTnon-c	CTUh	100%	35%	6%	0%	21%	1%	37%
HTc	CTUh	100%	0%	28%	0%	48%	2%	23%
AC	mol H+ eq	100%	76%	1%	0%	13%	1%	10%
EUf	kg P eq	100%	0%	11%	0%	62%	4%	24%
EUm	kg N eq	100%	99%	0%	0%	0%	0%	0%
EUt	mol N eq	100%	97%	0%	0%	1%	0%	1%
ECT	CTUe	100%	1%	4%	0%	72%	2%	22%
LU	Pt	100%	0%	20%	0%	6%	1%	73%
WU	m3 depriv.	100%	0%	21%	0%	36%	7%	36%
RDF	MJ	100%	0%	4%	0%	15%	8%	73%
RDm	kg Sb eq	100%	0%	16%	0%	69%	3%	13%
CCf	kg CO2 eq	100%	19%	6%	0%	16%	2%	57%
CCb	kg CO2 eq	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
CClu	kg CO2 eq	100%	0%	9%	0%	38%	4%	48%
HTnon-c-o	CTUh	100%	92%	1%	0%	3%	1%	3%
HTnon-c-i	CTUh	100%	97%	0%	0%	1%	0%	2%
HTnon-c-m	CTUh	100%	0%	8%	0%	33%	2%	58%
HTc-o	CTUh	100%	0%	25%	0%	45%	2%	28%
HTc-i	CTUh	100%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
HTc-m	CTUh	100%	0%	29%	0%	49%	1%	21%
ECT-o	CTUe	100%	24%	2%	0%	4%	6%	64%
ECT-i	CTUe	100%	0%	5%	0%	17%	5%	73%
ECT-m	CTUe	100%	0%	4%	0%	78%	1%	16%

8.2 Normalizzazione

In Figura 25, in Tabella 34 e Tabella 35 sono riportati i risultati della normalizzazione per la produzione di un 1 kWh di elettricità da biogas in Italia. La categoria più impattata è la Ecotoxicity, freshwater (ECT), con un valore di impatto normalizzato di 1,88E-03. Tale risultato è ascrivibile all'utilizzo di fertilizzante (cloruro di potassio) durante la fase di coltivazione della biomassa nelle classi CL1 (1-700 kW) e CL2 (701-1700 kW). Anche per la categoria della Water use (WU) l'impatto (8,46E-04) è totalmente dovuto alle classi CL1 e CL2 in relazione alla fase di coltivazione della biomassa. A seguire per la Eutrophication, marine (EUm) tutte e tre le classi energetiche identificate rivestono un ruolo rilevante in particolare la CL1 impatta per il 17%, la CL2 per il 77% e la CL3 per il 6%.

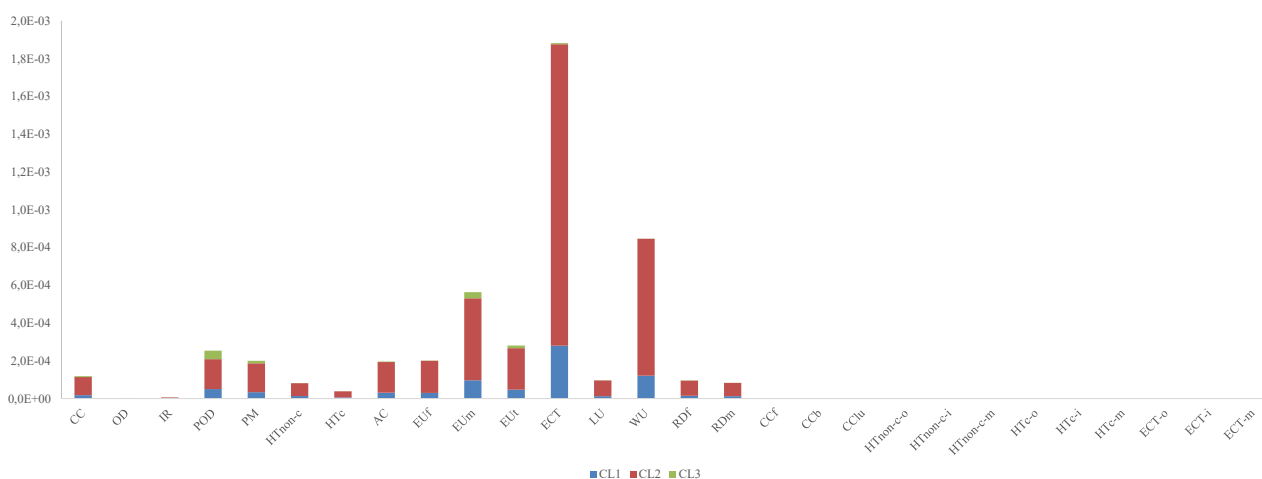


Figura 25 Impatti normalizzati per la produzione di 1 kWh elettrico da biogas in Italia.

Tabella 34 Impatti normalizzati per la produzione di 1 kWh elettrico da biogas in Italia. Valori totali e valori per ciascuna classe esaminata CL1 (1-700kW), CL2 (701-1700 kW) e CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi).

Impact category	Total	CL1	CL2	CL3
CC	1,19E-04	1,77E-05	9,64E-05	4,61E-06
OD	9,24E-07	1,35E-07	7,67E-07	2,30E-08
IR	6,02E-06	8,93E-07	5,00E-06	1,26E-07
POD	2,53E-04	5,03E-05	1,58E-04	4,46E-05
PM	2,00E-04	3,39E-05	1,53E-04	1,33E-05
HTnon-c	8,18E-05	1,33E-05	6,78E-05	6,49E-07
HTc	3,84E-05	5,87E-06	3,21E-05	4,15E-07
AC	1,96E-04	3,07E-05	1,62E-04	2,52E-06
EUf	2,01E-04	2,94E-05	1,71E-04	7,55E-07
EUm	5,64E-04	9,62E-05	4,35E-04	3,27E-05
EUt	2,81E-04	4,71E-05	2,19E-04	1,40E-05
ECT	1,88E-03	2,80E-04	1,60E-03	5,78E-06
LU	9,57E-05	1,27E-05	8,29E-05	1,34E-07
WU	8,46E-04	1,21E-04	7,25E-04	5,58E-08
RDF	9,62E-05	1,42E-05	8,06E-05	1,46E-06
RDm	8,36E-05	1,25E-05	6,98E-05	1,28E-06
CCf	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CCb	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cclu	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-o	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-i	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-m	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-o	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-i	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-m	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-o	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-i	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-m	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabella 35 Impatti normalizzati per la produzione di 1 kWh elettrico da biogas in Italia. Valori totali e valori per ciascuna classe esaminata CL1 (1-700kW), CL2 (701-1700 kW) e CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi). Valori percentuali.

Impact category	Total	CL1	CL2	CL3
CC	100%	15%	81%	4%
OD	100%	15%	83%	2%
IR	100%	15%	83%	2%
POD	100%	20%	63%	18%
PM	100%	17%	76%	7%
HTnon-c	100%	16%	83%	1%
HTc	100%	15%	84%	1%
AC	100%	16%	83%	1%
EUf	100%	15%	85%	0%
EUm	100%	17%	77%	6%
EUt	100%	17%	78%	5%
ECT	100%	15%	85%	0%
LU	100%	13%	87%	0%
WU	100%	14%	86%	0%
RDF	100%	15%	84%	2%
RDm	100%	15%	84%	2%
CCf	-	-	-	-
CCb	-	-	-	-
Cclu	-	-	-	-
HTnon-c-o	-	-	-	-
HTnon-c-i	-	-	-	-
HTnon-c-m	-	-	-	-
HTc-o	-	-	-	-
HTc-i	-	-	-	-
HTc-m	-	-	-	-
ECT-o	-	-	-	-
ECT-i	-	-	-	-
ECT-m	-	-	-	-

In Figura 26, in Tabella 36 e in Tabella 37 sono riportati gli impatti normalizzati per la classe CL1 (1-700 kW). La categoria più impattata è la Ecotoxicity, freshwater (ECT) e ciò è dovuto alle emissioni relative all'utilizzo di fertilizzanti nella fase di coltivazione della biomassa. In particolare la produzione di mais e di segale restano i due flussi più impattanti. Nelle altre categorie d'impatto, in particolare la Water Use (WU) e la Eutrophication, marine (EUm), gli impatti possono essere attribuiti principalmente alla produzione delle colture dedicate con le relative emissioni locali.

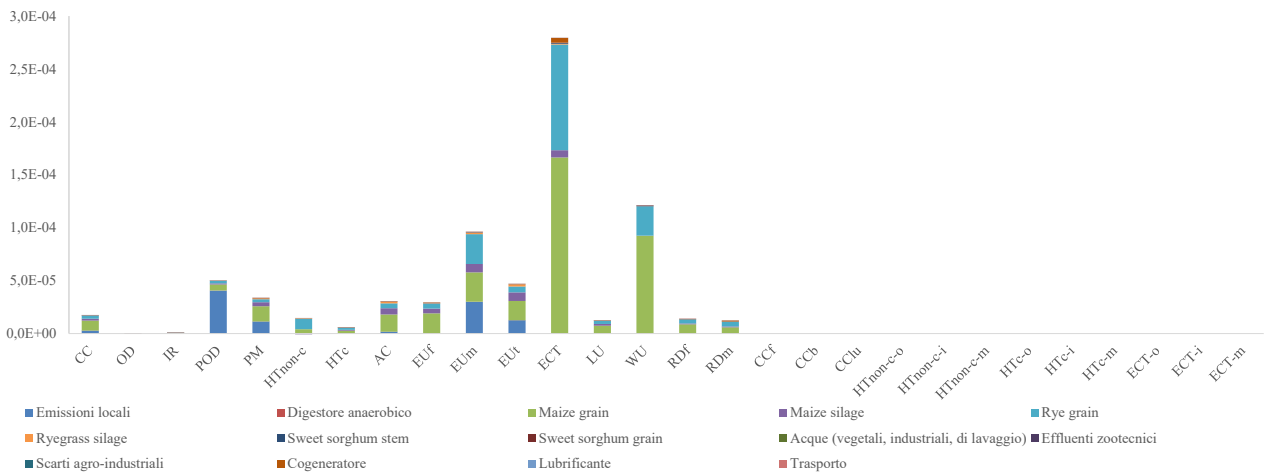


Figura 26 Impatti normalizzati per la classe CL1 (1-700kW).

In Figura 27, Tabella 38 e Tabella 39 sono riportati gli impatti normalizzati per la classe CL2 (701-1700 kW), confermando il ruolo predominante della categoria d’impatto Ecotoxicity, freshwater (ECT) dovuto alle emissioni generate dall’utilizzo di fertilizzanti nella fase di coltivazione delle biomasse.

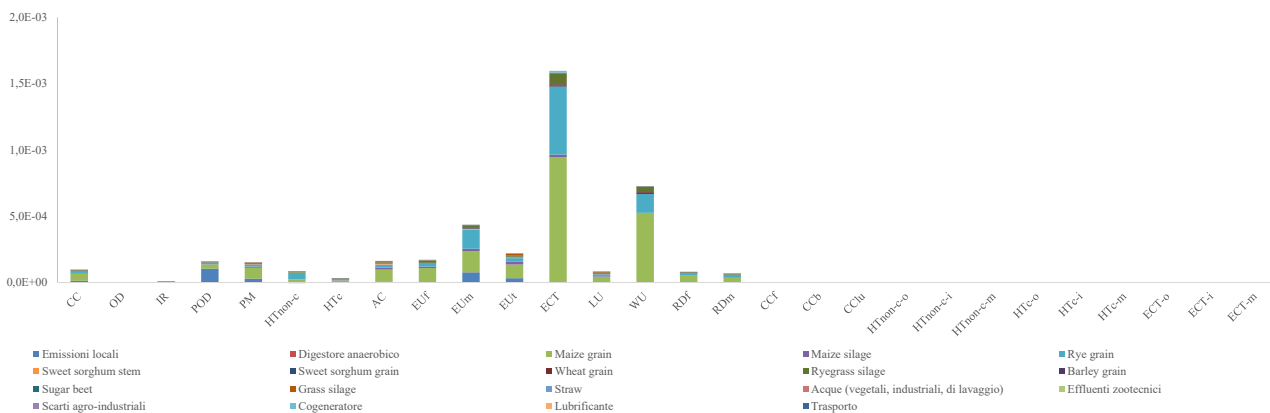


Figura 27 Impatti normalizzati per la classe CL2 (701-1700 kW).

Tabella 36 Impatti normalizzati, contributo della classe CL1 (1-700 kW) alla produzione 1kWh elettrico da biogas in Italia. Valori assoluti.

Impact category	Total	Emissioni local	Digestore anaer	Maize grain	Maize silage	Rye grain	Ryegrass silage	Sweet sorghum s	Sweet sorghum	Acque (vegetal	Effluenti zootecn	Scarti agro-indu	Cogeneratore	Lubrificante	Trasporto
CC	1,77E-05	2,86E-06	2,44E-08	9,42E-06	1,82E-06	3,02E-06	1,60E-07	4,76E-08	3,34E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,61E-07	1,17E-08	8,61E-08
OD	1,35E-07	0,00E+00	2,66E-10	6,71E-08	1,03E-08	4,87E-08	1,40E-09	6,81E-10	4,77E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,31E-09	1,08E-09	3,19E-09
IR	8,93E-07	0,00E+00	2,22E-09	4,40E-07	5,49E-08	3,31E-07	8,75E-09	3,84E-09	2,69E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,98E-08	6,04E-09	1,38E-08
POD	5,03E-05	4,07E-05	2,05E-08	5,66E-06	1,14E-06	2,35E-06	1,34E-07	4,07E-08	2,85E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,76E-07	4,98E-08	5,27E-08
PM	3,39E-05	1,15E-05	3,25E-08	1,43E-05	3,74E-06	2,86E-06	9,84E-07	6,46E-08	4,52E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,76E-07	7,50E-09	1,02E-07
HTnon-c	1,33E-05	1,72E-07	1,67E-08	4,04E-06	-1,03E-06	9,82E-06	4,33E-07	-2,06E-07	-1,44E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,49E-07	6,01E-09	3,91E-08
HTc	5,87E-06	0,00E+00	5,34E-08	2,74E-06	8,36E-07	1,92E-06	7,85E-08	6,66E-09	4,66E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,12E-07	4,07E-09	1,57E-08
AC	3,07E-05	1,77E-06	1,59E-08	1,63E-05	5,94E-06	4,53E-06	1,55E-06	1,05E-07	7,35E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,41E-07	1,20E-08	3,95E-08
EUf	2,94E-05	0,00E+00	3,77E-08	1,91E-05	4,52E-06	4,76E-06	1,94E-07	1,56E-07	1,09E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,99E-07	1,82E-08	2,95E-08
EUm	9,62E-05	3,01E-05	1,28E-08	2,78E-05	7,97E-06	2,82E-05	1,54E-06	3,07E-07	2,15E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,06E-07	5,26E-09	2,56E-08
EUt	4,71E-05	1,27E-05	1,51E-08	1,81E-05	8,22E-06	5,47E-06	2,17E-06	1,37E-07	9,61E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,46E-07	6,16E-09	3,08E-08
ECT	2,80E-04	3,21E-08	1,18E-07	1,66E-04	6,83E-06	9,98E-05	5,30E-07	7,47E-07	5,23E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,44E-06	6,50E-08	2,04E-07
LU	1,27E-05	0,00E+00	1,25E-08	7,48E-06	1,60E-06	3,07E-06	4,09E-07	8,85E-08	6,20E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,98E-09	8,03E-10	1,59E-08
WU	1,21E-04	0,00E+00	5,51E-09	9,24E-05	1,01E-07	2,77E-05	7,10E-09	5,74E-07	4,02E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,18E-08	2,42E-09	3,26E-09
RDF	1,42E-05	0,00E+00	2,90E-08	8,75E-06	8,79E-07	3,82E-06	1,18E-07	5,37E-08	3,76E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,30E-07	7,24E-08	1,74E-07
RDm	1,25E-05	0,00E+00	9,27E-08	5,84E-06	8,59E-07	4,49E-06	1,06E-07	6,36E-08	4,45E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,43E-07	2,42E-08	2,68E-08
CCf	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CCb	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CClu	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-o	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-i	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-m	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-o	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-i	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-m	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-o	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-i	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-m	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabella 37 Impatti normalizzati, contributo della classe CL1 (1-700 kW) alla produzione 1kWh elettrico da biogas in Italia. Valori percentuali.

Impact category	Total	Emissioni locali	Digestore anaerobico	Maize grain	Maize silage	Rye grain	Ryegrass silage	Sweet sorghum stem	Sweet sorghum grain	(vegetali, industriali, di lavaggio)	Effluenti zootecnici	Scarti agro-industriali	Cogeneratore	Lubrificante	Trasporto
CC	100%	16%	0%	53%	10%	17%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
OD	100%	0%	0%	50%	8%	36%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	2%
IR	100%	0%	0%	49%	6%	37%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	1%	2%
POD	100%	81%	0%	11%	2%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
PM	100%	34%	0%	42%	11%	8%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
HTnon-c	100%	1%	0%	30%	-8%	74%	3%	-2%	-1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
HTc	100%	0%	1%	47%	14%	33%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	4%	0%	0%
AC	100%	6%	0%	53%	19%	15%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
Euf	100%	0%	0%	65%	15%	16%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%
EUm	100%	31%	0%	29%	8%	29%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
EUt	100%	27%	0%	39%	17%	12%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ECT	100%	0%	0%	59%	2%	36%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%
LU	100%	0%	0%	59%	13%	24%	3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
WU	100%	0%	0%	76%	0%	23%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
RDF	100%	0%	0%	62%	6%	27%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	1%	1%
RDm	100%	0%	1%	47%	7%	36%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%
CCf	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CCb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CClu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTnon-c-o	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTnon-c-i	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTnon-c-m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTc-o	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTc-i	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTc-m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ECT-o	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ECT-i	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ECT-m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 38 Impatti normalizzati, contributo della classe CL2 (701-1700 kW) alla produzione di 1kWh elettrico da biogas, in Italia. Valori assoluti.

Impact category	Total	Emissioni locali	Digestore anaerobico	Maize grain	Maize silage	Rye grain	Sweet sorghum stem	Sweet sorghum grain	Wheat grain	Ryegrass silage	Barley grain	Sugar beet	Grass silage	Straw	Acque (vegetali, industriali, di lavaggio)	Effluenti zootecnici	Scarti agro-industriali	Cogeneratore	Lubrificante	Trasporto
CC	9,64E-05	1,42E-05	9,72E-08	5,36E-05	4,64E-06	1,55E-05	5,12E-07	6,82E-07	4,78E-07	4,26E-06	2,67E-07	2,37E-08	1,07E-06	6,49E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,43E-07	7,64E-08	5,70E-07
OD	7,67E-07	0,00E+00	1,06E-09	3,82E-07	2,63E-08	2,50E-07	4,46E-09	9,75E-09	6,83E-09	3,85E-08	2,83E-09	2,15E-10	1,31E-08	7,64E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,58E-09	7,07E-09	2,11E-08
IR	5,00E-06	0,00E+00	8,83E-09	2,51E-06	1,40E-07	1,70E-06	2,79E-08	5,49E-08	3,85E-08	2,10E-07	1,57E-08	9,79E-10	8,56E-08	4,13E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,17E-08	3,95E-08	9,12E-08
POD	1,58E-04	1,04E-04	8,14E-08	3,22E-05	2,91E-06	1,20E-05	4,27E-07	5,82E-07	4,08E-07	2,83E-06	1,97E-07	1,80E-08	1,25E-06	6,68E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,82E-07	3,26E-07	3,48E-07
PM	1,53E-04	2,93E-05	1,29E-07	8,16E-05	9,54E-06	1,47E-05	3,14E-06	9,24E-07	6,48E-07	5,15E-06	3,05E-07	3,66E-08	5,99E-06	1,80E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,83E-07	4,91E-08	6,77E-07
HTnon-c	6,78E-05	7,85E-07	6,66E-08	2,30E-05	-2,62E-06	5,03E-05	1,38E-06	-2,95E-06	-2,07E-06	8,40E-06	6,45E-07	-9,25E-08	-9,53E-06	-2,06E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,08E-07	3,93E-08	2,59E-07
HTc	3,21E-05	0,00E+00	2,12E-07	1,56E-05	2,13E-06	9,83E-06	2,51E-07	9,53E-08	6,68E-08	3,55E-06	2,04E-07	-4,12E-09	-5,11E-07	-1,95E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,81E-07	2,67E-08	1,04E-07
AC	1,62E-04	4,51E-06	6,33E-08	9,30E-05	1,52E-05	2,32E-05	4,96E-06	1,50E-06	1,05E-06	7,72E-06	4,80E-07	6,01E-08	9,54E-06	4,03E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,35E-07	7,87E-08	2,61E-07
EUf	1,71E-04	0,00E+00	1,50E-07	1,09E-04	1,15E-05	2,44E-05	6,19E-07	2,23E-06	1,57E-06	1,70E-05	3,37E-07	2,50E-08	2,48E-06	2,93E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,37E-06	1,19E-07	1,95E-07
EUm	4,35E-04	7,67E-05	5,08E-08	1,58E-04	2,03E-05	1,45E-04	4,91E-06	4,40E-06	3,08E-06	1,45E-05	2,04E-06	1,79E-07	5,33E-06	4,40E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,90E-07	3,44E-08	1,69E-07
EUt	2,19E-04	3,23E-05	5,99E-08	1,03E-04	2,10E-05	2,80E-05	6,94E-06	1,96E-06	1,38E-06	1,00E-05	6,18E-07	8,27E-08	1,33E-05	5,29E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,01E-07	4,03E-08	2,04E-07
ECT	1,60E-03	9,42E-08	4,68E-07	9,47E-04	1,74E-05	5,11E-04	1,69E-06	1,07E-05	7,49E-06	8,05E-05	3,62E-06	2,15E-07	2,51E-06	4,86E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,22E-05	4,25E-07	1,35E-06
LU	8,29E-05	0,00E+00	4,99E-08	4,26E-05	4,09E-06	1,57E-05	1,30E-06	1,27E-06	8,87E-07	8,82E-06	4,85E-07	3,73E-08	7,32E-06	1,82E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,46E-08	5,25E-09	1,05E-07
WU	7,25E-04	0,00E+00	2,19E-08	5,26E-04	2,58E-07	1,42E-04	2,26E-08	8,21E-06	5,75E-06	3,99E-05	2,20E-06	1,73E-09	9,28E-08	2,86E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,98E-08	1,58E-08	2,16E-08
RDF	8,06E-05	0,00E+00	1,15E-07	4,98E-05	2,24E-06	1,96E-05	3,76E-07	7,68E-07	5,38E-07	3,37E-06	2,47E-07	1,47E-08	1,32E-06	5,27E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,30E-07	4,74E-07	1,15E-06
RDm	6,98E-05	0,00E+00	3,69E-07	3,33E-05	2,19E-06	2,30E-05	3,38E-07	9,10E-07	6,38E-07	4,77E-06	3,42E-07	1,47E-08	1,02E-06	5,24E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,58E-06	1,58E-07	1,77E-07
CCf	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CCb	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CClu	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-o	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-i	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-m	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-o	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-i	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-m	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-o	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-i	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-m	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabella 39 Impatti normalizzati, contributo della classe CL2 (701-1700 kW) alla produzione di 1kWh elettrico da biogas, in Italia. Valori percentuali.

Impact category	Total	Emissioni locali	Digestore anaerobico	Maize grain	Maize silage	Rye grain	Sweet sorghum stem	Sweet sorghum grain	Wheat grain	Ryegrass silage	Barley grain	Sugar beet	Grass silage	Straw	Acque (vegetali, industriali, di lavaggio)	Effluenti zootecnici	Scarti agro-industriali	Cogeneratore	Lubrificante	Trasporto
CC	100%	15%	0%	56%	5%	16%	1%	1%	0%	4%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%
OD	100%	0%	0%	50%	3%	33%	1%	1%	1%	5%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%
IR	100%	0%	0%	50%	3%	34%	1%	1%	1%	4%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	2%	1%	2%
POD	100%	66%	0%	20%	2%	8%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
PM	100%	19%	0%	53%	6%	10%	2%	1%	0%	3%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
HTnon-c	100%	1%	0%	34%	-4%	74%	2%	-4%	-3%	12%	1%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
HTc	100%	0%	1%	49%	7%	31%	1%	0%	0%	11%	1%	0%	-2%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%
AC	100%	3%	0%	57%	9%	14%	3%	1%	1%	5%	0%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
EUf	100%	0%	0%	64%	7%	14%	0%	1%	1%	10%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
EUm	100%	18%	0%	36%	5%	33%	1%	1%	1%	3%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
EUt	100%	15%	0%	47%	10%	13%	3%	1%	1%	5%	0%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ECT	100%	0%	0%	59%	1%	32%	0%	1%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
LU	100%	0%	0%	51%	5%	19%	2%	2%	1%	11%	1%	0%	9%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
WU	100%	0%	0%	73%	0%	20%	0%	1%	1%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Rdf	100%	0%	0%	62%	3%	24%	0%	1%	1%	4%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	1%
RDm	100%	0%	1%	48%	3%	33%	0%	1%	1%	7%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	4%	0%	0%
CCf	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CCb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cclu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTnon-c-o	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTnon-c-i	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTnon-c-m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTc-o	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTc-i	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTc-m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ECT-o	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ECT-i	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ECT-m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

In Figura 28, Tabella 40 e Tabella 41 sono riportati gli impatti normalizzati per la classe CL3. Per questa classe energetica la categoria più impattata è la Photochemical ozone formation (POD), seguita da Eutrophication, marine (EUm), Eutrophication, terrestrial (EUt) e Particulate matter (PM).

L'impatto per tali categorie è ascrivibile quasi totalmente (93% - 99%) alle emissioni in aria, provenienti dalla fase di trattamento nell'impianto di digestione anaerobica e nell'impianto di cogenerazione.

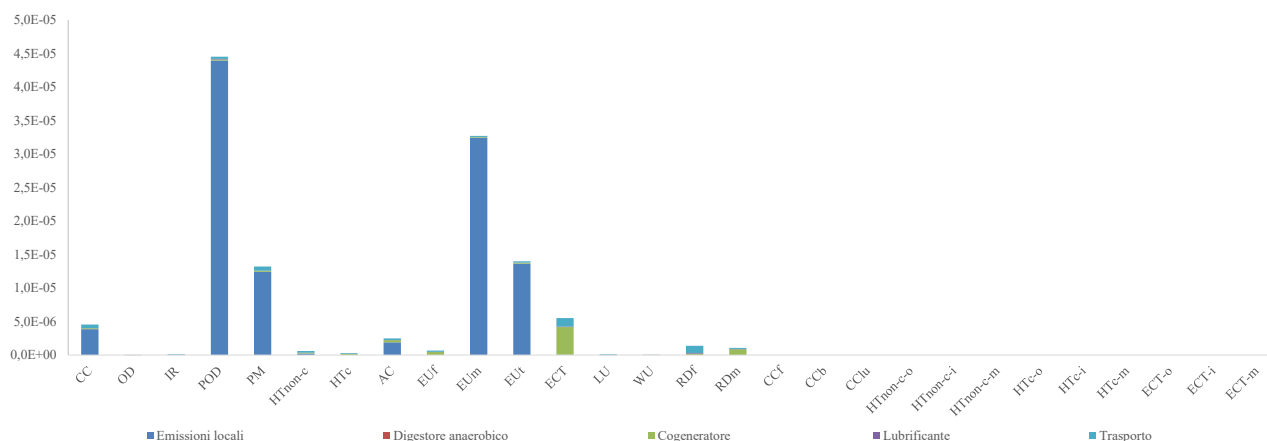


Figura 28 Impatti normalizzati per la classe CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi).

Tabella 40 Impatti normalizzati, contributo della classe CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi) alla produzione 1 kWh elettrico da biogas in Italia. Valori assoluti.

Impact category	Total	Emissioni locali	Digestore anaerobico	Rifiuti & Fanghi	Cogeneratore	Lubrificanti	Trasporto
CC	4,61E-06	3,86E-06	5,24E-08	0,00E+00	1,49E-07	1,79E-08	5,28E-07
OD	2,30E-08	0,00E+00	5,71E-10	0,00E+00	1,22E-09	1,65E-09	1,96E-08
IR	1,26E-07	0,00E+00	4,76E-09	0,00E+00	2,78E-08	9,24E-09	8,46E-08
POD	4,46E-05	4,40E-05	4,39E-08	0,00E+00	1,64E-07	7,61E-08	3,23E-07
PM	1,33E-05	1,24E-05	6,97E-08	0,00E+00	1,64E-07	1,15E-08	6,28E-07
HTnon-c	6,49E-07	2,25E-07	3,59E-08	0,00E+00	1,39E-07	9,19E-09	2,40E-07
HTc	4,15E-07	0,00E+00	1,15E-07	0,00E+00	1,98E-07	6,23E-09	9,66E-08
AC	2,52E-06	1,91E-06	3,42E-08	0,00E+00	3,18E-07	1,84E-08	2,42E-07
EUf	7,55E-07	0,00E+00	8,09E-08	0,00E+00	4,65E-07	2,78E-08	1,81E-07
EUm	3,27E-05	3,25E-05	2,74E-08	0,00E+00	9,87E-08	8,03E-09	1,57E-07
EUt	1,40E-05	1,37E-05	3,23E-08	0,00E+00	1,36E-07	9,42E-09	1,89E-07
ECT	5,78E-06	3,61E-08	2,53E-07	0,00E+00	4,14E-06	9,94E-08	1,25E-06
LU	1,34E-07	0,00E+00	2,69E-08	0,00E+00	8,38E-09	1,23E-09	9,73E-08
WU	5,58E-08	0,00E+00	1,18E-08	0,00E+00	2,03E-08	3,70E-09	2,00E-08
Rdf	1,46E-06	0,00E+00	6,23E-08	0,00E+00	2,14E-07	1,11E-07	1,07E-06
RDm	1,28E-06	0,00E+00	1,99E-07	0,00E+00	8,79E-07	3,70E-08	1,64E-07
CCf	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CCb	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cclu	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-o	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-i	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-m	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-o	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-i	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-m	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-o	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-i	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-m	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabella 41 Impatti normalizzati, contributo della classe CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi) alla produzione 1 kWh elettrico da biogas in Italia. Valori percentuali.

Impact category	Total	Emissioni locali	Digestore anaerobico	Rifiuti & Fanghi	Cogeneratore	Lubrificante	Trasporto
CC	100%	84%	1%	0%	3%	0%	11%
OD	100%	0%	2%	0%	5%	7%	85%
IR	100%	0%	4%	0%	22%	7%	67%
POD	100%	99%	0%	0%	0%	0%	1%
PM	100%	93%	1%	0%	1%	0%	5%
HTnon-c	100%	35%	6%	0%	21%	1%	37%
HTc	100%	0%	28%	0%	48%	2%	23%
AC	100%	76%	1%	0%	13%	1%	10%
EUf	100%	0%	11%	0%	62%	4%	24%
EUm	100%	99%	0%	0%	0%	0%	0%
EUt	100%	97%	0%	0%	1%	0%	1%
ECT	100%	1%	4%	0%	72%	2%	22%
LU	100%	0%	20%	0%	6%	1%	73%
WU	100%	0%	21%	0%	36%	7%	36%
Rdf	100%	0%	4%	0%	15%	8%	73%
RDm	100%	0%	16%	0%	69%	3%	13%
CCf	-	-	-	-	-	-	-
CCb	-	-	-	-	-	-	-
Cclu	-	-	-	-	-	-	-
HTnon-c-o	-	-	-	-	-	-	-
HTnon-c-i	-	-	-	-	-	-	-
HTnon-c-m	-	-	-	-	-	-	-
HTc-o	-	-	-	-	-	-	-
HTc-i	-	-	-	-	-	-	-
HTc-m	-	-	-	-	-	-	-
ECT-o	-	-	-	-	-	-	-
ECT-i	-	-	-	-	-	-	-
ECT-m	-	-	-	-	-	-	-

8.3 Pesatura

In Figura 29, Tabella 42 e Tabella 43 sono riportati i risultati delle fasi di pesatura (metodo EF 3.0). La categoria con il peso maggiore è la Water use (WU), seguita da Ecotoxicity, freshwater (ECT) e Climate change (CC). Il carico ambientale della categoria WU è determinato per l'86% dalla classe CL2 e per il 14% dalla classe CL1. Tale impatto è associato al consumo di acqua per l'irrigazione delle colture dedicate. Per la ECT il contributo maggiore è relativo all'utilizzo di fertilizzanti nella fase di coltivazione delle biomasse mentre per il CC l'impatto deriva dalla fase di produzione ed essiccazione delle biomasse da colture dedicate, nonché dalle emissioni locali.

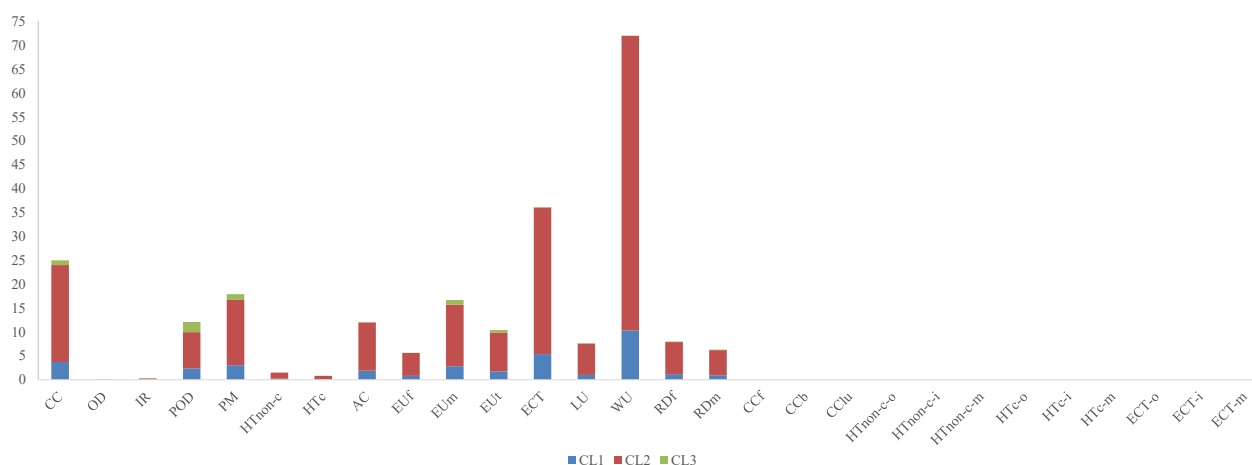


Figura 29 Impatti pesati per la produzione di 1 kWh elettrico da biogas in Italia.

Il dettaglio della fase di pesatura per ciascuna sottoclasse è riportato per:

- CL1 in Figura 30, Tabella 44 e Tabella 45
- CL2 in Figura 31, Tabella 46 e Tabella 47
- CL3 in Figura 32, Tabella 48 e Tabella 49

La pesatura per le classi CL1 e CL2 porta agli stessi risultati, evidenziando la rilevanza della categoria WU, dovuta al consumo dell'acqua di irrigazione per le colture dedicate, e, a seguire, delle categorie ECT e CC. Come osservato per la pesatura del sistema relativo alla produzione di 1 kWh di elettricità da biogas, in Italia (Figura 29), il peso della categoria ECT è dovuto all'impiego di fertilizzanti mentre quello della categoria CC è determinato dalla produzione delle colture dedicate e dalle emissioni generate dai processi di conversione (digestione anaerobica e cogenerazione).

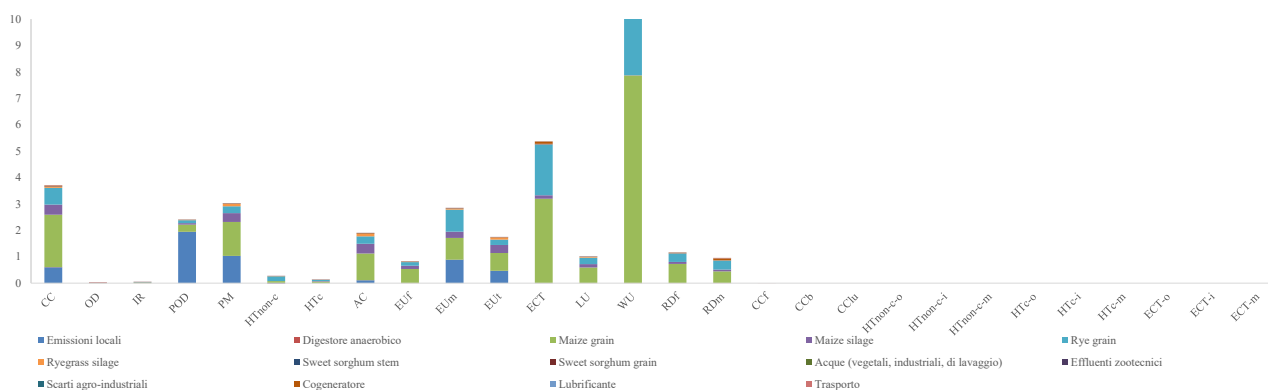


Figura 30 Impatti pesati per la classe CL1 (1-700 kW).

Tabella 42 Impatti pesati per la produzione di 1 kWh elettrico da biogas in Italia. Valori totali e valori per ciascuna classe esaminata CL1 (1-700 kW), CL2 (701-1700 kW) e CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi). Valori assoluti.

Impact category	Unit	Total	CL1	CL2	CL3
Total	μPt	2,33E+02	3,57E+01	1,91E+02	6,33E+00
CC	μPt	2,50E+01	3,72E+00	2,03E+01	9,71E-01
OD	μPt	5,83E-02	8,49E-03	4,84E-02	1,45E-03
IR	μPt	3,01E-01	4,48E-02	2,50E-01	6,33E-03
POD	μPt	1,21E+01	2,41E+00	7,56E+00	2,13E+00
PM	μPt	1,79E+01	3,03E+00	1,37E+01	1,19E+00
HTnon-c	μPt	1,50E+00	2,45E-01	1,25E+00	1,19E-02
HTc	μPt	8,18E-01	1,25E-01	6,84E-01	8,84E-03
AC	μPt	1,21E+01	1,90E+00	1,01E+01	1,56E-01
EUf	μPt	5,62E+00	8,24E-01	4,78E+00	2,11E-02
EUm	μPt	1,67E+01	2,85E+00	1,29E+01	9,69E-01
EUt	μPt	1,04E+01	1,75E+00	8,14E+00	5,20E-01
ECT	μPt	3,61E+01	5,37E+00	3,07E+01	1,11E-01
LU	μPt	7,60E+00	1,01E+00	6,58E+00	1,06E-02
WU	μPt	7,20E+01	1,03E+01	6,17E+01	4,75E-03
RDf	μPt	8,01E+00	1,18E+00	6,71E+00	1,21E-01
RDm	μPt	6,31E+00	9,44E-01	5,27E+00	9,66E-02
CCf	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CCb	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CClu	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-o	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-i	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-m	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-o	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-i	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-m	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-o	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-i	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-m	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabella 43 Impatti pesati per la produzione di 1 kWh elettrico da biogas in Italia. Valori totali e valori per ciascuna classe esaminata CL1 (1-700 kW), CL2 (701-1700 kW) e CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi). Valori percentuali.

Impact category	Unit	Total	CL1	CL2	CL3
Total	μPt	100%	15%	82%	3%
CC	μPt	100%	15%	81%	4%
OD	μPt	100%	15%	83%	2%
IR	μPt	100%	15%	83%	2%
POD	μPt	100%	20%	63%	18%
PM	μPt	100%	17%	76%	7%
HTnon-c	μPt	100%	16%	83%	1%
HTc	μPt	100%	15%	84%	1%
AC	μPt	100%	16%	83%	1%
EUf	μPt	100%	15%	85%	0%
EUm	μPt	100%	17%	77%	6%
EUt	μPt	100%	17%	78%	5%
ECT	μPt	100%	15%	85%	0%
LU	μPt	100%	13%	87%	0%
WU	μPt	100%	14%	86%	0%
RDF	μPt	100%	15%	84%	2%
RDm	μPt	100%	15%	84%	2%
CCf	μPt	-	-	-	-
CCb	μPt	-	-	-	-
CClu	μPt	-	-	-	-
HTnon-c-o	μPt	-	-	-	-
HTnon-c-i	μPt	-	-	-	-
HTnon-c-m	μPt	-	-	-	-
HTc-o	μPt	-	-	-	-
HTc-i	μPt	-	-	-	-
HTc-m	μPt	-	-	-	-
ECT-o	μPt	-	-	-	-
ECT-i	μPt	-	-	-	-
ECT-m	μPt	-	-	-	-

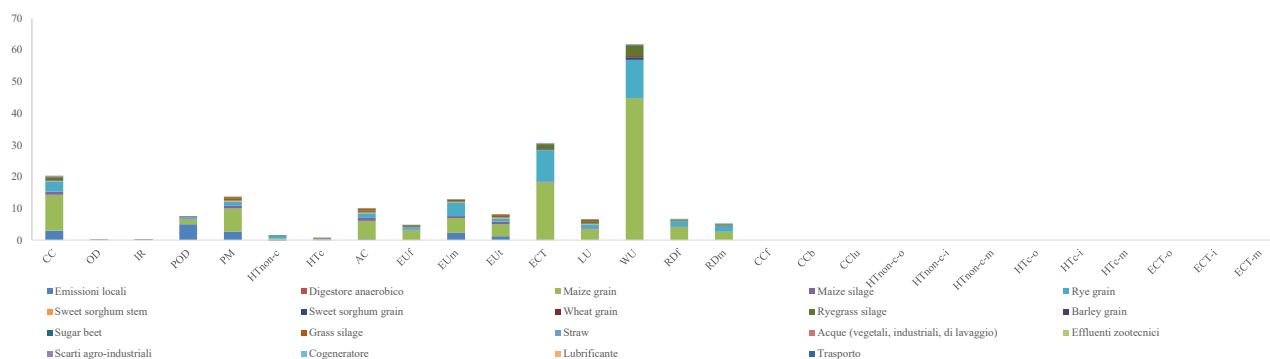


Figura 31 Impatti pesati per la classe CL2 (701-1700 kW).

Tabella 44 Impatti pesati per la classe CL1 (1-700 kW). Valori assoluti.

Impact category	Unit	Total	Emissioni locali	Digestore anaerobico	Maize grain	Maize silage	Rye grain	Ryegrass silage	Sweet sorghum stem	Sweet sorghum grain	Acque (vegetali, industriali, di lavaggio)	Effluenti zootecnici	Scarti agro-industriali	Cogeneratore	Lubrificanti	Trasporto
Total	μPt	3,57E+01	5,05E+00	2,67E-02	1,96E+01	2,22E+00	7,87E+00	4,27E-01	1,19E-01	8,33E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,89E-01	1,71E-02	5,89E-02
CC	μPt	3,72E+00	6,03E-01	5,15E-03	1,98E+00	3,83E-01	6,37E-01	3,38E-02	1,00E-02	7,03E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,39E-02	2,46E-03	1,81E-02
OD	μPt	8,49E-03	0,00E+00	1,68E-05	4,23E-03	6,50E-04	3,08E-03	8,81E-05	4,30E-05	3,01E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,24E-05	6,82E-05	2,01E-04
IR	μPt	4,48E-02	0,00E+00	1,11E-04	2,21E-02	2,75E-03	1,66E-02	4,38E-04	1,92E-04	1,35E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,49E-03	3,03E-04	6,91E-04
POD	μPt	2,41E+00	1,95E+00	9,78E-04	2,70E-01	5,45E-02	1,12E-01	6,39E-03	1,94E-03	1,36E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,41E-03	2,38E-03	2,52E-03
PM	μPt	3,03E+00	1,03E+00	2,91E-03	1,28E+00	3,35E-01	2,56E-01	8,82E-02	5,78E-03	4,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,58E-02	6,72E-04	9,17E-03
HTnon-c	μPt	2,45E-01	3,17E-03	3,08E-04	7,43E-02	-1,89E-02	1,81E-01	7,96E-03	-3,79E-03	-2,65E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,74E-03	1,11E-04	7,19E-04
HTc	μPt	1,25E-01	0,00E+00	1,14E-03	5,84E-02	1,78E-02	4,09E-02	1,67E-03	1,42E-04	9,93E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,52E-03	8,68E-05	3,35E-04
AC	μPt	1,90E+00	1,10E-01	9,88E-04	1,01E+00	3,68E-01	2,81E-01	9,63E-02	6,51E-03	4,56E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,12E-02	7,45E-04	2,45E-03
EUf	μPt	8,24E-01	0,00E+00	1,06E-03	5,35E-01	1,27E-01	1,33E-01	5,43E-03	4,37E-03	3,06E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,40E-02	5,10E-04	8,25E-04
EUm	μPt	2,85E+00	8,90E-01	3,78E-04	8,22E-01	2,36E-01	8,35E-01	4,55E-02	9,09E-03	6,37E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,14E-03	1,56E-04	7,57E-04
EUt	μPt	1,75E+00	4,70E-01	5,58E-04	6,73E-01	3,05E-01	2,03E-01	8,06E-02	5,09E-03	3,57E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,43E-03	2,28E-04	1,14E-03
ECT	μPt	5,37E+00	6,17E-04	2,26E-03	3,19E+00	1,31E-01	1,92E+00	1,02E-02	1,43E-02	1,00E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,52E-02	1,25E-03	3,92E-03
LU	μPt	1,01E+00	0,00E+00	9,95E-04	5,94E-01	1,27E-01	2,44E-01	3,24E-02	7,02E-03	4,92E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,13E-04	6,37E-05	1,26E-03
WU	μPt	1,03E+01	0,00E+00	4,69E-04	7,87E+00	8,61E-03	2,36E+00	6,04E-04	4,88E-02	3,42E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,86E-03	2,06E-04	2,77E-04
RDf	μPt	1,18E+00	0,00E+00	2,41E-03	7,28E-01	7,31E-02	3,18E-01	9,80E-03	4,46E-03	3,13E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,91E-02	6,02E-03	1,45E-02
RDm	μPt	9,44E-01	0,00E+00	7,00E-03	4,41E-01	6,49E-02	3,39E-01	7,99E-03	4,80E-03	3,36E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,12E-02	1,83E-03	2,02E-03
CCf	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CCb	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cclu	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-o	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-i	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-m	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-o	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-i	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-m	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-o	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-i	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-m	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabella 45 Impatti pesati per la classe CL1 (1-700 kW). Valori percentuali.

Impact category	Unit	Total	Emissioni locali	Digestore anaerobico	Maize grain	Maize silage	Rye grain	Ryegrass silage	Sweet sorghum stem	Sweet sorghum grain	Acque (vegetali, industriali, di lavaggio)	Effluenti zootecnici	Scarti agro-industriali	Cogeneratore	Lubrificanti	Trasporto
Total	μPt	100%	14%	0%	55%	6%	22%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
CC	μPt	100%	16%	0%	53%	10%	17%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
OD	μPt	100%	0%	0%	50%	8%	36%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	2%
IR	μPt	100%	0%	0%	49%	6%	37%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	1%	2%
POD	μPt	100%	81%	0%	11%	2%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
PM	μPt	100%	34%	0%	42%	11%	8%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
HTnon-c	μPt	100%	1%	0%	30%	-8%	74%	3%	-2%	-1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
HTc	μPt	100%	0%	1%	47%	14%	33%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	4%	0%	0%
AC	μPt	100%	6%	0%	53%	19%	15%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
EUf	μPt	100%	0%	0%	65%	15%	16%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%
EUm	μPt	100%	31%	0%	29%	8%	29%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
EUt	μPt	100%	27%	0%	39%	17%	12%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ECT	μPt	100%	0%	0%	59%	2%	36%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%
LU	μPt	100%	0%	0%	59%	13%	24%	3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
WU	μPt	100%	0%	0%	76%	0%	23%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
RDf	μPt	100%	0%	0%	62%	6%	27%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	1%	1%
RDm	μPt	100%	0%	1%	47%	7%	36%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%
CCf	μPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CCb	μPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CClu	μPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTnon-c-o	μPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTnon-c-i	μPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTnon-c-m	μPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTc-o	μPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTc-i	μPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTc-m	μPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ECT-o	μPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ECT-i	μPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ECT-m	μPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 46 Impatti pesati per la classe CL2 (701-1700 kW). Valori assoluti.

Impact category	Unit	Total	Emissioni locali	Digestore anaerobico	Maize grain	Maize silage	Rye grain	Sweet sorghum stem	Sweet sorghum grain	Wheat grain	Ryegrass silage	Barley grain	Sugar beet	Grass silage	Straw	Acque (vegetali, industriali, di lavaggio)	Effluenti zootecnici	Scarti agro-industriali	Cogeneratore	Lubrificante	Trasporto
Total	μPt	1,91E+02	1,44E+01	1,06E-01	1,11E+02	5,65E+00	4,03E+01	1,36E+00	1,70E+00	1,19E+00	9,77E+00	5,74E-01	2,98E-02	2,78E+00	1,47E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,92E-01	1,12E-01	3,90E-01
CC	μPt	2,03E+01	2,98E+00	2,05E-02	1,13E+01	9,76E-01	3,26E+00	1,08E-01	1,44E-01	1,01E-01	8,96E-01	5,63E-02	4,99E-03	2,25E-01	1,37E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,32E-02	1,61E-02	1,20E-01
OD	μPt	4,84E-02	0,00E+00	6,67E-05	2,41E-02	1,66E-03	1,58E-02	2,81E-04	6,15E-04	4,31E-04	2,43E-03	1,78E-04	1,36E-05	8,28E-04	4,82E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,26E-04	4,46E-04	1,33E-03
IR	μPt	2,50E-01	0,00E+00	4,42E-04	1,26E-01	7,01E-03	8,50E-02	1,40E-03	2,75E-03	1,93E-03	1,05E-02	7,86E-04	4,91E-05	4,29E-03	2,07E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,10E-03	1,98E-03	4,57E-03
POD	μPt	7,56E+00	4,98E+00	3,89E-03	1,54E+00	1,39E-01	5,75E-01	2,04E-02	2,78E-02	1,95E-02	1,35E-01	9,39E-03	8,62E-04	5,95E-02	3,19E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,30E-02	1,56E-02	1,67E-02
PM	μPt	1,37E+01	2,63E+00	1,16E-02	7,31E+00	8,55E-01	1,31E+00	2,81E-01	8,28E-02	5,80E-02	4,62E-01	2,73E-02	3,28E-03	5,37E-01	1,61E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,33E-02	4,40E-03	6,06E-02
HTnon-c	μPt	1,25E+00	1,44E-02	1,23E-03	4,23E-01	-4,82E-02	9,26E-01	2,54E-02	-5,43E-02	-3,80E-02	1,55E-01	1,19E-02	-1,70E-03	-1,75E-01	-3,80E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,51E-03	7,24E-04	4,76E-03
HTc	μPt	6,84E-01	0,00E+00	4,52E-03	3,32E-01	4,55E-02	2,09E-01	5,34E-03	2,03E-03	1,42E-03	7,56E-02	4,34E-03	-8,77E-05	-1,09E-02	-4,14E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,24E-02	5,68E-04	2,22E-03
AC	μPt	1,01E+01	2,79E-01	3,93E-03	5,76E+00	9,40E-01	1,44E+00	3,07E-01	9,32E-02	6,53E-02	4,79E-01	2,97E-02	3,73E-03	5,92E-01	2,50E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,80E-02	4,88E-03	1,62E-02
EUf	μPt	4,78E+00	0,00E+00	4,20E-03	3,04E+00	3,23E-01	6,83E-01	1,73E-02	6,26E-02	4,38E-02	4,75E-01	9,42E-03	6,99E-04	6,93E-02	8,22E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,83E-02	3,34E-03	5,46E-03
EUm	μPt	1,29E+01	2,27E+00	1,50E-03	4,68E+00	6,02E-01	4,28E+00	1,45E-01	1,30E-01	9,12E-02	4,28E-01	6,05E-02	5,30E-03	1,58E-01	1,30E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,59E-03	1,02E-03	5,01E-03
EUt	μPt	8,14E+00	1,20E+00	2,22E-03	3,83E+00	7,78E-01	1,04E+00	2,57E-01	7,29E-02	5,11E-02	3,71E-01	2,29E-02	3,07E-03	4,94E-01	1,96E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,49E-02	1,50E-03	7,56E-03
ECT	μPt	3,07E+01	1,81E-03	8,99E-03	1,82E+01	3,34E-01	9,82E+00	3,25E-02	2,05E-01	1,44E-01	1,55E+00	6,96E-02	4,13E-03	4,82E-02	9,34E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,34E-01	8,17E-03	2,59E-02
LU	μPt	6,58E+00	0,00E+00	3,96E-03	3,38E+00	3,25E-01	1,25E+00	1,04E-01	1,01E-01	7,05E-02	7,00E-01	3,85E-02	2,96E-03	5,82E-01	1,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,96E-03	4,17E-04	8,33E-03
WU	μPt	6,17E+01	0,00E+00	1,86E-03	4,48E+01	2,20E-02	1,21E+01	1,93E-03	6,99E-01	4,90E-01	3,39E+00	1,87E-01	1,48E-04	7,90E-03	2,43E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,09E-03	1,35E-03	1,84E-03
RDF	μPt	6,71E+00	0,00E+00	9,60E-03	4,14E+00	1,87E-01	1,63E+00	3,13E-02	6,39E-02	4,48E-02	2,80E-01	2,06E-02	1,22E-03	1,10E-01	4,38E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,24E-02	3,94E-02	9,60E-02
RDm	μPt	5,27E+00	0,00E+00	2,78E-02	2,51E+00	1,65E-01	1,74E+00	2,55E-02	6,87E-02	4,81E-02	3,60E-01	2,58E-02	1,11E-03	7,68E-02	3,96E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,95E-01	1,19E-02	1,34E-02
CCf	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CCb	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CClu	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-o	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-i	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-m	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-o	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-i	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-m	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-o	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-i	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-m	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabella 47 Impatti pesati per la classe CL2 (701-1700 kW). Valori percentuali.

Impact category	Unit	Total	Emissioni locali	Digestore anaerobico	Maize grain	Maize silage	Rye grain	Sweet sorghum stem	Sweet sorghum grain	Wheat grain	Ryegrass silage	Barley grain	Sugar beet	Grass silage	Straw	Acque (vegetali, industriali, di lavaggio)	Effluenti zootecnici	Scarti agro-industriali	Cogeneratore	Lubrificante	Trasporto
Total	µPt	100%	8%	0%	58%	3%	21%	1%	1%	1%	5%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
CC	µPt	100%	15%	0%	56%	5%	16%	1%	1%	0%	4%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%
OD	µPt	100%	0%	0%	50%	3%	33%	1%	1%	1%	5%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%
IR	µPt	100%	0%	0%	50%	3%	34%	1%	1%	1%	4%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	2%	1%	2%
POD	µPt	100%	66%	0%	20%	2%	8%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
PM	µPt	100%	19%	0%	53%	6%	10%	2%	1%	0%	3%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
HTnon-c	µPt	100%	1%	0%	34%	-4%	74%	2%	-4%	-3%	12%	1%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
HTc	µPt	100%	0%	1%	49%	7%	31%	1%	0%	0%	11%	1%	0%	-2%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%
AC	µPt	100%	3%	0%	57%	9%	14%	3%	1%	1%	5%	0%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
Euf	µPt	100%	0%	0%	64%	7%	14%	0%	1%	1%	10%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
EUm	µPt	100%	18%	0%	36%	5%	33%	1%	1%	1%	3%	0%	0%	3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
EUt	µPt	100%	15%	0%	47%	10%	13%	3%	1%	1%	5%	0%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ECT	µPt	100%	0%	0%	59%	1%	32%	0%	1%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
LU	µPt	100%	0%	0%	51%	5%	19%	2%	2%	1%	11%	1%	0%	9%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
WU	µPt	100%	0%	0%	73%	0%	20%	0%	1%	1%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Rdf	µPt	100%	0%	0%	62%	3%	24%	0%	1%	1%	4%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	1%
RDm	µPt	100%	0%	1%	48%	3%	33%	0%	1%	1%	7%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	4%	0%	0%
CCf	µPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CCb	µPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CClu	µPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTnon-c-o	µPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTnon-c-i	µPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTnon-c-m	µPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTc-o	µPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTc-i	µPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HTc-m	µPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ECT-o	µPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ECT-i	µPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ECT-m	µPt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

La fase di pesatura della classe CL3, mostra che la categoria più rilevante è la Photochemical ozone formation (POD), seguita dalle categorie Eutrophication, marine (EUm), Particulate matter (PM) e Climate change (CC). In tutte le categorie, il peso maggiore è dovuto alle emissioni locali.

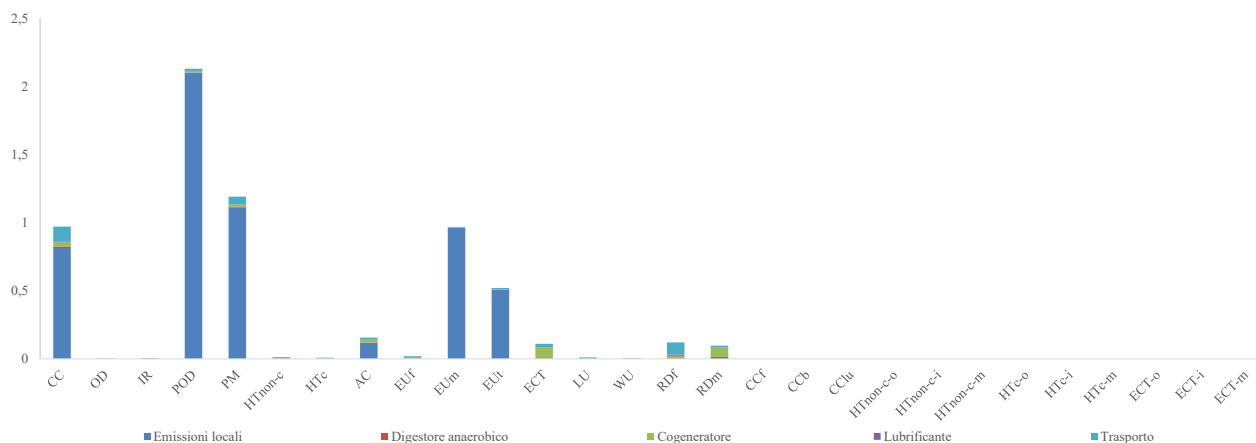


Figura 32 Impatti pesati per la classe CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi).

Tabella 48 Impatti pesati per la classe CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi). Valori assoluti.

Impact category	Unit	Total	Emissioni locali	Digestore anaerobico	Rifiuti & Fanghi	Cogeneratore	Lubrificante	Trasporto
Total	μPt	6,33E+00	5,62E+00	5,74E-02	0,00E+00	2,69E-01	2,61E-02	3,62E-01
CC	μPt	9,71E-01	8,14E-01	1,10E-02	0,00E+00	3,15E-02	3,76E-03	1,11E-01
OD	μPt	1,45E-03	0,00E+00	3,60E-05	0,00E+00	7,68E-05	1,04E-04	1,23E-03
IR	μPt	6,33E-03	0,00E+00	2,39E-04	0,00E+00	1,39E-03	4,63E-04	4,24E-03
POD	μPt	2,13E+00	2,10E+00	2,10E-03	0,00E+00	7,84E-03	3,64E-03	1,54E-02
PM	μPt	1,19E+00	1,11E+00	6,25E-03	0,00E+00	1,47E-02	1,03E-03	5,62E-02
HTnon-c	μPt	1,19E-02	4,14E-03	6,61E-04	0,00E+00	2,55E-03	1,69E-04	4,41E-03
HTc	μPt	8,84E-03	0,00E+00	2,44E-03	0,00E+00	4,21E-03	1,33E-04	2,06E-03
AC	μPt	1,56E-01	1,18E-01	2,12E-03	0,00E+00	1,97E-02	1,14E-03	1,50E-02
EUf	μPt	2,11E-02	0,00E+00	2,26E-03	0,00E+00	1,30E-02	7,79E-04	5,06E-03
EUm	μPt	9,69E-01	9,61E-01	8,11E-04	0,00E+00	2,92E-03	2,38E-04	4,64E-03
EUt	μPt	5,20E-01	5,07E-01	1,20E-03	0,00E+00	5,06E-03	3,49E-04	7,01E-03
ECT	μPt	1,11E-01	6,92E-04	4,85E-03	0,00E+00	7,95E-02	1,91E-03	2,40E-02
LU	μPt	1,06E-02	0,00E+00	2,14E-03	0,00E+00	6,65E-04	9,75E-05	7,73E-03
WU	μPt	4,75E-03	0,00E+00	1,01E-03	0,00E+00	1,73E-03	3,15E-04	1,70E-03
RDf	μPt	1,21E-01	0,00E+00	5,18E-03	0,00E+00	1,78E-02	9,21E-03	8,91E-02
RDm	μPt	9,66E-02	0,00E+00	1,50E-02	0,00E+00	6,64E-02	2,79E-03	1,24E-02
CCf	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CCb	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CClu	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-o	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-i	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTnon-c-m	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-o	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-i	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HTc-m	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-o	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-i	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ECT-m	μPt	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabella 49 Impatti pesati per la classe CL3 (produzione di energia da biogas derivante da rifiuti e fanghi). Valori percentuali.

Impact category	Unit	Total	Emissioni locali	Digestore anaerobico	Rifiuti & Fanghi	Cogeneratore	Lubrificante	Trasporto
Total	μPt	100%	89%	1%	0%	4%	0%	6%
CC	μPt	100%	84%	1%	0%	3%	0%	11%
OD	μPt	100%	0%	2%	0%	5%	7%	85%
IR	μPt	100%	0%	4%	0%	22%	7%	67%
POD	μPt	100%	99%	0%	0%	0%	0%	1%
PM	μPt	100%	93%	1%	0%	1%	0%	5%
HTnon-c	μPt	100%	35%	6%	0%	21%	1%	37%
HTc	μPt	100%	0%	28%	0%	48%	2%	23%
AC	μPt	100%	76%	1%	0%	13%	1%	10%
EUf	μPt	100%	0%	11%	0%	62%	4%	24%
EUm	μPt	100%	99%	0%	0%	0%	0%	0%
EUt	μPt	100%	97%	0%	0%	1%	0%	1%
ECT	μPt	100%	1%	4%	0%	72%	2%	22%
LU	μPt	100%	0%	20%	0%	6%	1%	73%
WU	μPt	100%	0%	21%	0%	36%	7%	36%
RDF	μPt	100%	0%	4%	0%	15%	8%	73%
RDm	μPt	100%	0%	16%	0%	69%	3%	13%
CCf	μPt	-	-	-	-	-	-	-
CCb	μPt	-	-	-	-	-	-	-
CClu	μPt	-	-	-	-	-	-	-
HTnon-c-o	μPt	-	-	-	-	-	-	-
HTnon-c-i	μPt	-	-	-	-	-	-	-
HTnon-c-m	μPt	-	-	-	-	-	-	-
HTc-o	μPt	-	-	-	-	-	-	-
HTc-i	μPt	-	-	-	-	-	-	-
HTc-m	μPt	-	-	-	-	-	-	-
ECT-o	μPt	-	-	-	-	-	-	-
ECT-i	μPt	-	-	-	-	-	-	-
ECT-m	μPt	-	-	-	-	-	-	-

8.4 Analisi di sensibilità

Nel presente studio, l'analisi di sensibilità è stata implementata considerando sia diverse scelte metodologiche sia delle variazioni relative alla selezione flussi utilizzarti come proxy.

In dettaglio, visto che in letteratura il calore generato e non autoconsumato non viene considerato come un coprodotto, in quanto si ipotizza che venga dissipato, si è deciso di effettuare il confronto tra lo scenario base in cui gli impatti vengono allocati tra calore ed elettricità (scenario con allocazione) ed uno scenario alternativo senza allocazione (Figura 33 e

Tabella 50). Nello scenario senza allocazione (scenario senza allocazione), l'unico prodotto è l'energia elettrica venduta alla rete nazionale. In Figura 33, si nota che l'impatto dello scenario senza allocazione risulta maggiore di circa il 22% in tutte le categorie investigate.

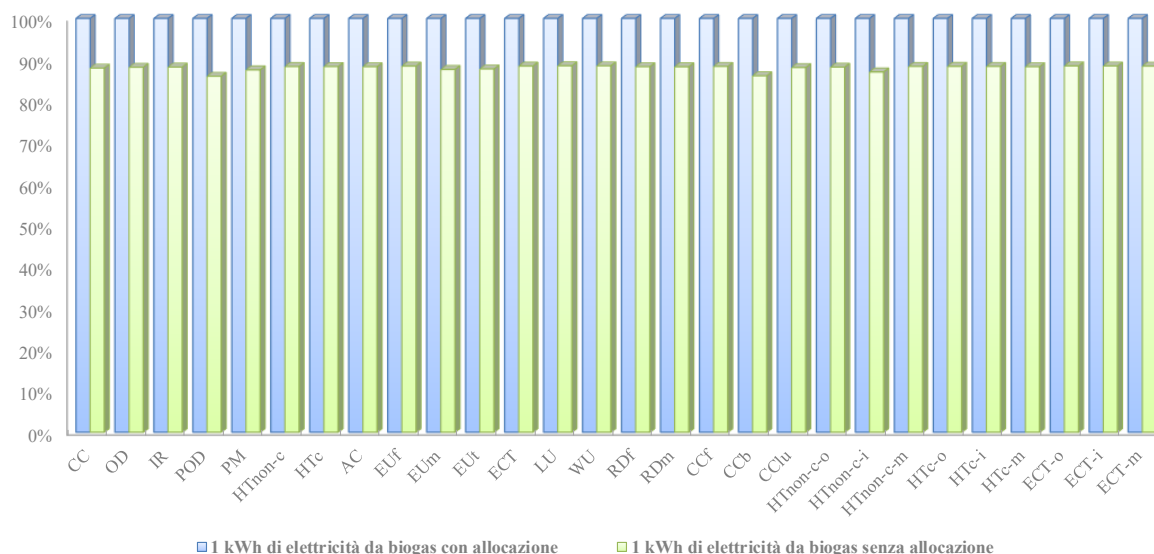


Figura 33 Confronto dei risultati LCA con e senza allocazione

Tabella 50 Confronto degli impatti caratterizzati per la produzione di 1kWh di elettricità (EE) da biogas in Italia, relativi agli scenari con e senza allocazione.

Impact category	Unità di misura	1 kWh di elettricità da biogas con allocazione	1 kWh di elettricità da biogas senza allocazione
CC	kg CO2 eq	9,61E-01	1,09E+00
OD	kg CFC11 eq	4,96E-08	5,62E-08
IR	kBq U-235 eq	2,54E-02	2,88E-02
POD	kg NMVOC eq	1,03E-02	1,19E-02
PM	disease inc.	1,19E-07	1,36E-07
HTnon-c	CTUh	1,88E-08	2,12E-08
HTc	CTUh	6,49E-10	7,35E-10
AC	mol H+ eq	1,09E-02	1,23E-02
EUf	kg P eq	3,23E-04	3,65E-04
EUm	kg N eq	1,10E-02	1,26E-02
EUt	mol N eq	4,96E-02	5,65E-02
ECT	CTUe	8,03E+01	9,08E+01
LU	Pt	7,85E+01	8,86E+01
WU	m3 depriv.	9,70E+00	1,10E+01
RDf	MJ	6,26E+00	7,08E+00
RDm	kg Sb eq	5,32E-06	6,02E-06
CCf	kg CO2 eq	7,83E-01	8,85E-01
CCb	kg CO2 eq	1,63E-01	1,90E-01
CClu	kg CO2 eq	1,49E-02	1,69E-02
HTnon-c-o	CTUh	2,46E-09	2,79E-09
HTnon-c-i	CTUh	5,33E-09	6,12E-09
HTnon-c-m	CTUh	1,33E-08	1,51E-08
HTc-o	CTUh	2,72E-10	3,07E-10
HTc-i	CTUh	7,31E-23	8,27E-23
HTc-m	CTUh	3,77E-10	4,27E-10
ECT-o	CTUe	2,07E+01	2,34E+01
ECT-i	CTUe	9,51E+00	1,07E+01
ECT-m	CTUe	5,01E+01	5,66E+01

Inoltre, visto che lo scopo principale dell'analisi di sensibilità è di valutare l'influenza delle scelte fatte sui risultati dell'LCIA, è stata effettuata la variazione dei proxy selezionati per le biomasse impiegate. Nello specifico in Tabella 51 sono riportati i proxy selezionati per la classe CL1 (1-700 kW) e per la classe CL2 (701-1700 kW) sia nello scenario base che nello scenario sensibilità.

Tabella 51 Analisi di sensibilità per i proxy delle biomasse.

Biomassa	Proxy scenario base	Proxy scenario sensibilità
Insilato di orzo	Maize silage {RoW} production Cut-off, U	Barley grain {RoW} barley production Cut-off, U
Insilato di grano	Maize grain {RoW} production Cut-off, U	Wheat grain {RoW} wheat production Cut-off, U
Granella	Wheat grain {RoW} wheat production Cut-off, U	Maize grain {RoW} production Cut-off, U
Graminacee	100% Ryegrass silage {GLO} market for Cut-off, U	50% Ryegrass silage {GLO} market for Cut-off, U 50% Sweet sorghum di cui: <ul style="list-style-type: none"> Sweet sorghum stem {RoW} sweet sorghum production Cut-off, U (93%) Sweet sorghum grain {RoW} sweet sorghum production Cut-off, U (7%)

Dai risultati mostrati in Figura 34 e in Tabella 52 per la classe CL1 e in Figura 35 e in Tabella 53 per la classe CL2 si evince che le differenze che si registrano negli impatti generati sono trascurabili (per la classe CL1 sempre inferiori al 2% per la classe CL2 le differenze non superano il 4%).

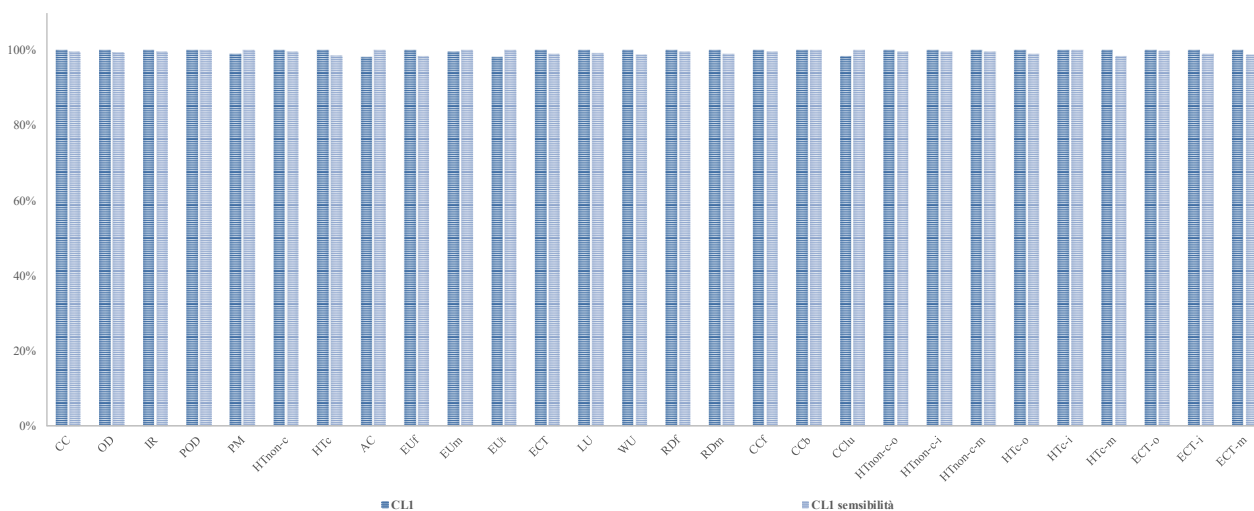


Figura 34 Confronto scenario base (CL1) e scenario con i proxy delle biomasse modificati (CL1 sensibilità).

Tabella 52 Impatti caratterizzati per la classe CL1 e la classe CL1 sensibilità.

Impact category	CL1	CL1 sensibilità
CC	1,43E-01	1,43E-01
OD	7,22E-09	7,26E-09
IR	3,77E-03	3,78E-03
POD	2,04E-03	2,05E-03
PM	2,02E-08	1,99E-08
HTnon-c	3,05E-09	3,07E-09
HTc	9,92E-11	1,01E-10
AC	1,71E-03	1,67E-03
EUf	4,73E-05	4,81E-05
EUm	1,88E-03	1,88E-03
EUt	8,32E-03	8,18E-03
ECT	1,19E+01	1,21E+01
LU	1,04E+01	1,05E+01
WU	1,39E+00	1,41E+00
RDf	9,21E-01	9,25E-01
RDm	7,96E-07	8,03E-07
CCf	1,17E-01	1,17E-01
CCb	2,19E-02	2,19E-02
CClu	4,13E-03	4,07E-03
HTnon-c-o	3,62E-10	3,64E-10
HTnon-c-i	9,44E-10	9,47E-10
HTnon-c-m	2,25E-09	2,26E-09
HTc-o	4,03E-11	4,07E-11
HTc-i	2,86E-24	2,86E-24
HTc-m	5,89E-11	5,99E-11
ECT-o	3,11E+00	3,12E+00
ECT-i	1,41E+00	1,42E+00
ECT-m	7,42E+00	7,52E+00

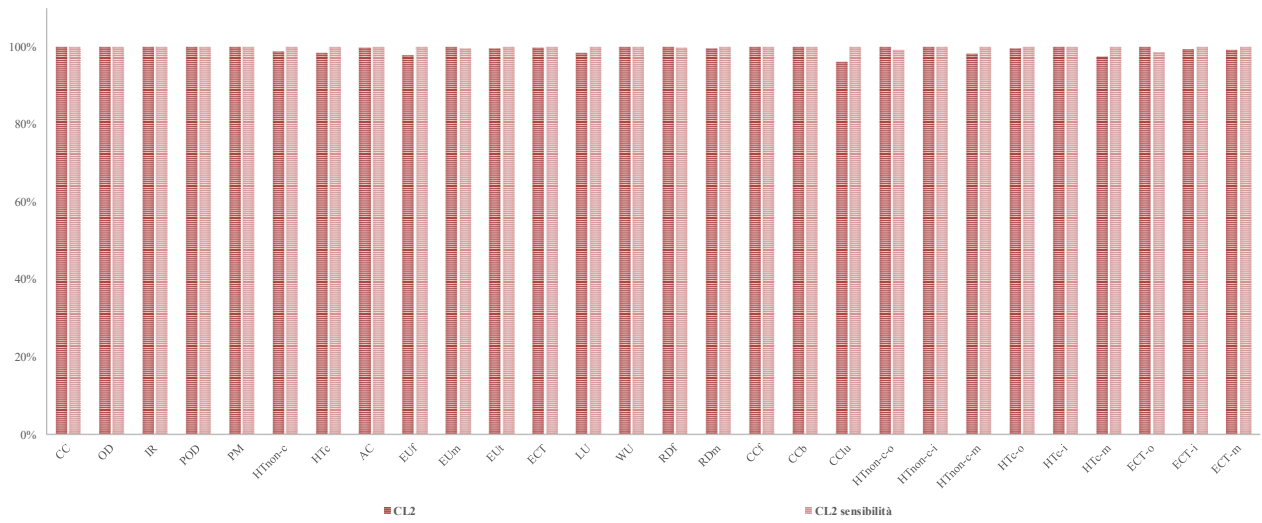


Figura 35 Confronto scenario base (CL2) e scenario con i proxy delle biomasse modificati (CL2 sensibilità).

Tabella 53 Impatti caratterizzati per la classe CL2 e la classe CL2 sensibilità.

Impact category	CL2	CL2 sensibilità
CC	7,81E-01	7,80E-01
OD	4,11E-08	4,11E-08
IR	2,11E-02	2,11E-02
POD	6,42E-03	6,42E-03
PM	9,09E-08	9,09E-08
HTnon-c	1,56E-08	1,54E-08
HTc	5,43E-10	5,34E-10
AC	9,03E-03	9,00E-03
EUf	2,74E-04	2,68E-04
EUm	8,49E-03	8,53E-03
EUt	3,88E-02	3,86E-02
ECT	6,82E+01	6,80E+01
LU	6,79E+01	6,68E+01
WU	8,31E+00	8,32E+00
RDf	5,24E+00	5,26E+00
RDm	4,44E-06	4,42E-06
CCf	6,58E-01	6,58E-01
CCb	1,12E-01	1,12E-01
CClu	1,08E-02	1,04E-02
HTnon-c-o	2,04E-09	2,06E-09
HTnon-c-i	3,84E-09	3,83E-09
HTnon-c-m	1,10E-08	1,08E-08
HTc-o	2,29E-10	2,28E-10
HTc-i	6,77E-23	6,77E-23
HTc-m	3,14E-10	3,05E-10
ECT-o	1,76E+01	1,79E+01
ECT-i	8,08E+00	8,03E+00
ECT-m	4,25E+01	4,21E+01

Pertanto, dall'analisi di sensibilità fatta sia in termini di scelte mediologiche (allocazione) sia in termini di selezione dei flussi viene conferma la robustezza dell'analisi LCA e la validità dei proxy selezionati.

9 Interpretazione dei risultati

Dall'analisi dei risultati si evince che le categorie che coprono la quasi totalità degli impatti sono la Ecotoxicity, freshwater (ECT) dopo la normalizzazione e la Water use (WU) dopo la pesatura sia per il sistema nella sua interezza (1 kWh elettrico da biogas in Italia) sia per le classi CL1 e CL2. Tali risultati confermano quanto riscontrato in fase di caratterizzazione, evidenziando l'elevato impatto della fase di coltivazione delle biomasse dedicate, in particolare per la produzione di mais e segale. Infatti, l'uso massivo di fertilizzanti influenza

l'ecotossicità, mentre l'irrigazione riveste un ruolo decisivo nel determinare il consumo di acqua.

Nel caso della classe CL3 la categoria più rilevante dopo la normalizzazione e la pesatura è la Photochemical ozone formation (POD). Tale impatto è generato in maniera esclusiva dalle emissioni locali dovute alle fasi di conversione della biomassa (digestione anaerobica e cogenerazione), come già evidenziato in Figura 24.

9.1 Categorie di impatto rilevanti

L'analisi degli impatti per la produzione di 1 kWh di elettricità da biogas in Italia ha evidenziato, a valle della caratterizzazione e delle successive fasi di normalizzazione e pesatura, che le classi energetiche dipendenti dalla produzione delle biomasse dedicate contribuiscono in maggiore misura alla produzione di 1 kWh medio e pertanto generano la maggioranza degli impatti in tutte le categorie. Gli impatti normalizzati e pesati mostrano lo stesso andamento per la produzione di 1 kWh di elettricità da biogas in Italia e per le classi CL1 e CL2. Oltre alla Ecotoxicity, freshwater (ECT) dopo la normalizzazione hanno un impatto rilevante sia la Water use (WU) che la Eutrophication, marine (EUm). Anche per queste due categorie gli impatti sono generati principalmente dalla produzione delle colture dedicate (uso di fertilizzanti ed irrigazione) e la EUm è in parte (31% in CL1 e 18% in CL2) influenzata anche dalle emissioni locali relative alla fase di conversione delle biomasse.

Nella fase di pesatura, la categoria Water use (WU) è seguita dalle categorie Ecotoxicity, freshwater (ECT) e Climate change (CC), evidenziando ancora una volta il ruolo predominante della fase di produzione delle biomasse da colture dedicate.

La classe CL3 influenza la produzione del kWh di elettricità da biogas per il 18% e, considerando solo biomasse di scarto quali frazione organica dei rifiuti solidi e fanghi di depurazione (approccio zero burden), le fasi di trattamento e le relative emissioni rivestono un ruolo predominante nella generazione degli impatti. Per gli impatti normalizzati (classe CL3), oltre alla Photochemical ozone formation (POD), si possono considerare rilevanti, anche Eutrophication, marine (EUm), Eutrophication, terrestrial (EUt) e Particulate matter (PM). Tali categorie sono esclusivamente dipendenti dalle emissioni locali legate alla fase di conversione delle biomasse (digestione anaerobica e cogenerazione).

Invece, per gli impatti pesati fanno seguito alla POD oltre alla EUm e alla PM anche il Climate change (CC). Anche in questo caso, il ruolo delle emissioni locali relative alla fase di conversione delle biomasse è predominante, sebbene, per le categorie PM e CC l'impatto del trasporto non è trascurabile ammontando al 6% e all'11% rispettivamente.

9.2 Fasi del ciclo di vita e processi rilevanti

Gli impatti relativi alla produzione di 1 kWh elettrico da biogas in Italia sono riportati in Figura 21, in Tabella 26 e in Tabella 27. I risultati mostrano che l'impatto maggiore è dovuto alla classe CL2 (701-1700 kW), in quanto questa classe contribuisce per il 60% alla produzione di 1 kWh elettrico da biogas. Dall'analisi di dettaglio della classe CL2 si evidenzia che la

fase di produzione delle biomasse dedicate (in particolare la produzione di mais e segale) determina la quasi totalità degli impatti (88%) anche se le emissioni locali generate dalla digestione anaerobica e dalla cogenerazione rivestono un ruolo non trascurabile (10%).

9.3 Flussi elementari rilevanti

Sono stati evidenziati due flussi elementari rilevanti: il cloruro di potassio utilizzato come fertilizzante nella fase di produzione delle biomasse dedicate e l'acqua per l'irrigazione.

10 Conclusioni

I risultati ottenuti dall'analisi LCA del dataset relativo alla filiera di produzione di 1 kWh di energia elettrica da biogas, in Italia, mostrano che i principali hotspot sono i processi unitari di produzione di elettricità da biomasse agricole e deiezioni animali (CL1 e CL2). In particolare, la classe energetica con potenza nominale elettrica 701-1700 kW (CL2) contribuisce, da sola, agli impatti totali per circa l'80% in media per tutte le categorie d'impatto investigate. La fase più impattante risulta essere quella di approvvigionamento delle biomasse da colture dedicate. In particolare, la produzione di mais genera il maggiore impatto in quasi tutte le categorie esaminate per le classi relative alla produzione di biogas da substrati di origine agricola (CL1 e CL2). Anche le emissioni locali, legate alla fase di trattamento (digestione anaerobica e cogenerazione), contribuiscono agli impatti generati in maniera rilevante (13% per la CL1, 10% e per la CL2) mentre impiantistica e trasporto delle biomasse mostrano impatti quasi trascurabili per le classi CL1 e CL2. I risultati per la classe CL3, invece, evidenziano che, nel caso si considerino biomasse di scarto (trattate con approccio zero burden), il contributo relativo delle infrastrutture (37%), delle emissioni locali (33%) e del trasporto (30%) diventa predominante.

La normalizzazione e la pesatura indicano gli impatti maggiori rispettivamente per le categorie di Ecotoxicity, freshwater (ECT) e Water use (WU) a causa dell'impatto relativo alla fase di produzione delle colture dedicate ed in particolare all'utilizzo di fertilizzanti (per esempio il cloruro di potassio) e di acqua per l'irrigazione. Soltanto nel caso della classe CL3 la categoria più rilevante dopo la fase di normalizzazione e la fase di pesatura è la Photochemical ozone formation (POD) il cui impatto è totalmente ascrivibile alle emissioni locali generate durante le fasi di digestione anaerobica e di cogenerazione.

I risultati di questo studio sono perfettamente in linea con l'orientamento della comunità scientifica internazionale che negli ultimi anni ha sottolineato la necessità di privilegiare le biomasse di scarto rispetto a quelle da colture dedicate per la produzione di energia.

L'affidabilità degli studi LCA è strettamente legata alla qualità dei dati raccolti. In questo studio i dati utilizzati per le tre classi energetiche (CL1, CL2 e CL3), pur essendo per lo più dati primari, presentano il limite di non essere riferiti all'ultimo triennio. Inoltre, se per le biomasse di origine agricola, il numero di aziende di riferimento (31) è un campione consistente sul territorio nazionale, nel caso di rifiuti e fanghi, i dati a disposizione si limitano

a due sole aziende del Nord Italia. Tuttavia, poiché il contributo alla produzione di energia elettrica da biogas derivante da biomasse di origine non agricola è limitato (18%), si ritiene che lo studio effettuato sia comunque rappresentativo della filiera. Inoltre, la robustezza dello studio è stata dimostrata dai risultati dell'analisi di sensibilità, che avvalorano la scelta dei proxy per i flussi di biomasse impiegate. Dal punto di vista metodologico, la scelta dell'allocazione exergetica si è rivelata una scelta opportuna in caso di co-produzione di elettricità e calore. Tuttavia, dall'analisi della letteratura di settore si evince che per gli impianti di cogenerazione il calore, al netto dell'autoconsumo, difficilmente viene recuperato. Ciononostante, il confronto dei sistemi analizzati con o senza allocazione tra i co-prodotti ha dimostrato una variazione contenuta degli impatti (in media del 22%).

11 Bibliografia

- APAT, 2005. Digestione anaerobica della frazione organica dei rifiuti solidi (APAT, Manuali e linee guida 13, 2005)
- Arpav, 2009. Pensiero sintetico sulle biomasse. Link: https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/energia/file-e-allegati/Pensiero%20sintetico%20%20biomasse_2012.pdf/view (ultimo accesso, ottobre 2021).
- Banzato Donatella, 2013. Tesi di dottorato: ANALISI TECNICO-ECONOMICA DELLA FILIERA DEL BIOGAS A SEGUITO DEL D.M. 6 LUGLIO 2012. Link: http://paduaresearch.cab.unipd.it/5596/1/Banzato_D.pdf
- Busato Jacopo, 2020. Tesi di laurea: ANALISI LCA DEL BIOGAS PRODOTTO DA UN MIX AGROZOOTECNICO IN UN'AZIENDA DEL SETTORE AGRICOLO CONSIDERANDO DIVERSI UTILIZZI FINALI. Link: http://tesi.cab.unipd.it/64467/1/Busato_Jacopo_1177891.pdf
- Cammardella Roberto, 2013. Tesi di laurea: VALUTAZIONE DELL'ECO-SOSTENIBILITÀ DI UN IMPIANTO DI DIGESTIONE ANAEROBICA COGENERATIVO E IPOTESI DI CONVERSIONE IMPIANTISTICA PER LA PRODUZIONE DI BIOMETANO. Link: https://amslaurea.unibo.it/6754/1/Cammardella_Roberto_Tesi.pdf
- Carrosio, G., 2012 La diffusione degli impianti per la produzione di energia da biogas agricolo in Italia: una storia di isomorfismo istituzionale. Studi Organizzativi, n.2, pp. 9-26.
- CIB, 2020. CIB Consorzio Italiano Biogas - CIB LINK: <https://www.consorziobiogas.it> (ultimo accesso, ottobre 2021)
- CONSORZIO ITALIANO BIOGAS E GASSIFICAZIONE, 2017. LINEE GUIDA PER L'USO AGRONOMIC DEL DIGESTATO. Rivista n° 21, 2017. Link: <https://www.consorziobiogas.it/wpcontent/uploads/2017/08/Cogenerazione-da-Biogas.pdf> (ultimo accesso, ottobre 2021).
- Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28. 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. Link:

<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2011/03/28/011G0067/sg> (ultimo accesso, 6 luglio 2020)

Direttiva 2009/28/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili e recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE. Link: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=celex%3A32009L0028> (ultimo accesso, 6 luglio 2020).

EBA, 2018. Annual Statistical Report of the European Biogas Association Abridged Version. https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2019/11/EBA_report2018_abridged_A4_vers12_220519_RZweb.pdf (ultimo accesso, dicembre 2021)

Enama, 2015. Link: <https://www.progettobiomasse.it> (ultimo accesso, dicembre 2021).

Fiper, 2018. Quaderno CMA, Strategia 2024. BIOGAS: driver per la filiera agroalimentare. Link: <https://www.monvisoenergia.it/2019/02/22/libro-strategia-2024-cma/> (ultimo accesso, ottobre 2021).

GSE (Gestore Servizi Energetici), 2019. Rapporto Statistico 2018 sulle fonti rinnovabili. https://www.gse.it/documenti_site/Documenti%20GSE/Rapporti%20statistici/GSE%20-%20Rapporto%20Statistico%20FER%202018.pdf (ultimo accesso: dicembre 2021).

GSE (Gestore Servizi Energetici), 2021. Rapporto Statistico 2019 sulle fonti rinnovabili. https://www.gse.it/documenti_site/Documenti%20GSE/Rapporti%20statistici/Rapporto%20Statistico%20GSE%20-%20FER%202019.pdf (ultimo accesso: dicembre 2021).

Herambiente, 2020. Dichiarazione ambientale 2020 relativa al Complesso Impiantistico Via Traversagno 30, Località Voltana, Lugo (RA). https://ha.gruppohera.it/binary/hera_herambiente_r15/dichiarazioni_ambientali/Dichiarazione_Ambientale_Via_Traversagno_Voltana.1597749927.pdf (ultimo accesso: dicembre 2021).

Holm-Nielsen J.B., Al Seadi T., Oleskowicz-Popiel P., 2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology*, Pages 5478-5484. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.046>

<https://www.biowaste.it/impianto-alimentato-a-forsu> (ultimo accesso: dicembre 2021).

<https://www.enama.it/certificazione-biogas/sbdc5e798> (ultimo accesso: ottobre 2021).

Ispra, 2018. Centro Ricerche Produzioni Animali – C.R.P.A. S.p.A. Studio per la valutazione degli effetti sulle emissioni delle trasformazioni in corso nel settore degli allevamenti. (Prot.4/6/7.96 DOC-2018-2844, LaV, Studio_ISPRA_emissioni.docx, 15/10/18).

ISPRA, 2019. <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni/fattori-di-emissione-per-le-sorgenti-di-combustione-stazionarie-in-italia/view> (ultimo accesso: ottobre 2021).

ISPRA, 2020. Documento ISPRA 317_2020. ([Sito di ISPRA rapporto 317/2020](#))

Jungbluth, N., Chudacoff, M., Dauriat, A., Dinkel, F., Doka, G., Faist Emmenegger, M., Gnansounou, E., Kljun, N., Schleiss, K., Spielmann, M., Stettler, C., Sutter, J. 2007: *Life Cycle Inventories of Bioenergy. ecoinvent report No. 17*, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH
 LEGAMBIENTE, 2021. Comunità rinnovabili. Link:

<https://www.comunirinnovabili.it/wp-content/uploads/2021/05/CR2021-1.pdf>. (ultimo accesso, ottobre 2021).

- Lijó L., González-García S., Bacenetti J., Fiala M., Feijoo G., Lema J. M., Moreira M.T., 2014. Life Cycle Assessment of electricity production in Italy from anaerobic co-digestion of pig slurry and energy crops. *Renewable Energy* 68, 625-635.
- Nazioni Unite, 2007. Rapporto all'Assemblea Generale delle Nazioni Unite, agosto 2007, Jean Zigler, Relatore Speciale delle Nazioni Unite per il diritto al cibo, 22 agosto 2007, No. A/62/289.
- Piccinini S., 2004. BIOGAS: PRODUZIONE E PROSPETTIVE IN ITALIA. Convegno Nazionale sulla Bioenergia. Roma, 12 Maggio 2004. Link:http://admin.crupa.it/media/documents/crupa_www/Settori/Ambiente/Download/15.pdf (ultimo accesso, ottobre 2021).
- Piccinini, S. 2004. BIOGAS: PRODUZIONE E PROSPETTIVE IN ITALIA. Convegno Nazionale sulla Bioenergia. Roma, 12 Maggio 2004.
- REGIONE MARCHE (Università Politecnica delle Marche), 2013. La filiera del biogas. Aspetti salienti dello stato dell'arte e prospettive. Link: <http://www.laboratoriobiomasse.it/media/docs/downloads/103-1.pdf> (ultimo accesso, ottobre 2021).
- REGIONE SARDEGNA SARDEGNA, 2008. P.O.R. 2000 - 2006 "RICERCA E SVILUPPO TECNOLOGICO NELLE IMPRESE E NEL TERRITORIO". Rapporto sulle migliori tecnologie disponibili per la produzione di energia da biomasse. 2008. Link: http://www.parch.it/bitstream/handle/11050/400/Igeam_RF.pdf?sequence=1&isAllowed=y (ultimo accesso, ottobre 2021).
- Reichhalter H., Bozzo A., Dal Savio S., Guerra T., 2011. Analisi energetica, ambientale ed economica di impianti a biogas in Provincia di Bolzano – Relazione conclusiva. http://www.provincia.bz.it/agricoltura/download/Bilancio_ecologico_di_impianti_a_biogas.pdf (ultimo accesso: dicembre 2011).
- Seadi A., Drosig B., Fuchs W., Rutz D., Janssen R., 2013. Biogas digestate quality and utilization. *The Biogas Handbook*, Pages 267-301. <https://doi.org/10.1533/9780857097415.2.267>.

12 Allegati al Rapporto di filiera

Allegato I: Normativa.

Allegato II: Dati delle aziende di riferimento per la Classe 1.

Allegato III: Dati delle aziende di riferimento per la Classe 2.

Allegato IV: Dati delle aziende di riferimento per la Classe 3.

Allegato V: Dati di inventario delle biomasse delle Classi 1 e 2.



ALLEGATO I - Normativa relativa alla filiera della produzione elettrica da BIOGAS

1. Normativa sul sistema di incentivazione

Come riportato da Fiper (2018) la produzione di energia elettrica da biogas agricolo è iniziata in modo effettivo a seguito della introduzione delle Tariffe Onnicomprensive avvenuta per la prima volta con la Legge 244/2007 e quindi regolata dal DM 18/12/2008. Il sistema si è concretamente avviato a seguito della pubblicazione della Legge 23 luglio 2009 n. 99 che ha fissato la tariffa incentivante per la cessione di energia a 280 €/MWh.

La Tariffa Onnicomprensiva costituiva il meccanismo di incentivazione riservato agli impianti qualificati IAFR (Impianto Alimentato da Fonti Rinnovabili), di potenza nominale media annua non superiore ad 1 MW. Tale sistema di incentivazione è rimasto in vigore fino al 31/12/2012.

La tariffa veniva riconosciuta per un periodo di 15 anni e veniva detta “onnicomprensiva” in quanto il suo valore includeva una componente incentivante e una componente di valorizzazione dell’energia elettrica immessa in rete.

Una problematica molto sentita dai titolari degli impianti biogas incentivati sulla base del DM 18/12/2008 è stata quella legata al cosiddetto “spalma incentivi volontario”. Il DM Sviluppo economico 6 novembre 2014, in attuazione dell’articolo 1 commi 3, 4, 5 e 6 del Decreto legge 23 dicembre 2013 n. 145, cosiddetto “Destinazione Italia”, convertito in Legge n. 9/2014, offrì, infatti, ai titolari degli impianti un’opzione, accettando la quale si ribassava sostanzialmente l’incentivo percepito prolungando di 7 anni il periodo di incentivazione. Il taglio proposto fu tale da renderlo di fatto inaccettabile, pena il venir meno dei business plan ipotizzati e sulla base dei quali gli impianti erano stati finanziati dalle banche. L’opzione non fu, quindi, accettata sostanzialmente da nessun impianto a biogas agricolo, con la conseguente applicazione delle penalità previste dalla norma che prevedeva il divieto di accesso a qualsiasi tipo di incentivazione elettrica al termine di quella in vigore.

Il divieto imposto dallo spalma incentivi ha rappresentato, quindi, un ostacolo sostanziale alla prosecuzione dell’attività di produzione elettrica degli impianti al termine degli incentivi. Dal 1° gennaio 2013 ha iniziato a trovare applicazione il DM 6 luglio 2012 (Decreto FER) che fissava tariffe incentivanti decisamente ridotte, ma operanti per la durata di 20 anni. Si è avviata così una nuova fase del sistema che basava l’accesso agli incentivi su alcuni presupposti:

- Tariffe differenziate per taglia e tipo di alimentazione
- Accesso diretto per impianti fino a 100 kWe
- Iscrizione a registri periodici con dotazione fissa di potenza per gli altri impianti
- Limite massimo di spesa a carico del sistema elettrico fissato in 5,8 Mld di euro annui.

La tariffa era, come anticipato, legata alla taglia ed al tipo di alimentazione dell’impianto, con preferenza per impianti fino a 300 kWe alimentati almeno al 70% da sottoprodotti (reflui zootecnici ecc.) che potevano beneficiare di una tariffa di 236 €/MWh.

Il sistema di incentivazione del DM 6 luglio 2012 ha continuato ad operare in modo esclusivo fino all’emanazione del nuovo, ed atteso, DM 23 giugno 2016 che ha modificato, seppur non

in modo significativo, il precedente sistema. A partire da giugno 2016 è iniziato un regime sovrapposto, durante il quale hanno continuato ad andare in esercizio impianti incentivati con il vecchio sistema, se iscritti nei precedenti registri, e hanno continuato ad operare le regole previgenti per gli impianti avviati entro il giugno 2017. Una delle novità introdotte dal nuovo decreto è stata quella dell'esclusione dell'impiego del mais per l'alimentazione degli impianti, divieto che è diventato operativo per gli impianti entrati in esercizio a partire dal luglio 2017.

Per gli impianti fino a 100 kWe è stato possibile (ma non obbligatorio) l'accesso diretto agli incentivi, pur nel rispetto del budget di 5,8 Mld di Euro all'anno di costo massimo per il sistema elettrico.

Le tariffe previste dal nuovo decreto FER hanno subito modifiche solo lievi e non hanno modificato sostanzialmente il quadro di incentivazione.

La gran parte degli impianti a biogas italiani è entrata in esercizio con il sistema ante 31/12/2012 e quindi beneficia di una tariffa da 280 €/MWh e sarà incentivata per 15 anni. Gli impianti andranno, quindi, a fine incentivo fra il 2024 ed il 2027. L'avvio di nuovi impianti è sostanzialmente crollato a seguito dell'entrata in vigore del Decreto FER (1/1/2013). Nel 2016 la potenza degli impianti alimentati con le bioenergie, di cui il biogas rappresenta la prima per produzione davanti a biomasse solide e bioliquidi, rappresentava il 7,9% della potenza complessiva degli impianti alimentati da fonti rinnovabili installati in Italia (fonte GSE3). Analogamente alla situazione europea, anche in Italia il biogas agricolo rimane il traino del settore; gli impianti a biogas da matrici agrozootecniche, infatti, ricoprono il 68,7% della capacità installata totale degli impianti a biogas (fonte GSE3).

L'attuale fase vede una sostanziale stabilità della produzione elettrica da biogas, con gli ultimi impianti entrati in esercizio a dicembre 2017. Ad oggi non sono previsti incentivi statali per la messa in esercizio di nuovi impianti biogas e le normative vigenti in termini di bioenergie mirano a promuovere lo sviluppo del biometano per autotrazione.



ALLEGATO II - Dati delle aziende di riferimento per la Classe 1 (CL1)

AZIENDA	ANNI DI RIFERIMENTO DATI	IMPIANTO			CARATTERISTICHE DELLA FILIERA				BIOGAS (Nm³)	ENERGIA PRODOTTA (kWhe) Media triennio 2012-2013-2014	DESTINAZIONE ENERGIA ELETTRICA	DESTINAZIONE ENERGIA TERMICA	***ALTRE INFO
		TIPOLOGIA	IMPIANTO DI COGENERAZIONE	CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE	PROVENIENZA MATRICI	MATRICI UTILIZZATE	***BIOMASSE (t) Media triennio 2012-2013-2014	***Resa (Nm³/t) Media triennio 2012-2013-2014					
Società Agricola Agrifloor di Cerantola Paolo & C. ss (anno di realizzazione 2010)	2012-2013-2014	Biogas Impianto di digestione anaerobica Monostadio in MESOFILIA	* P.e.n.(kWhe): 50 P.t.r.(kWt): 86 A.u.i.: 10%	Silos e platea di stoccaggio con alimentazione discontinua. Due digestori in calcestruzzo interrati con duplice sistema di miscelazione. Volume totale di ogni digestore è di 318 m³. Vasca di stoccaggio del separato liquido di volume pari a circa 750 m³.	100% Aziendale; Superficie a colture dedicate 20 ha e 180 capi bovini	Colture dedicate; effluenti zootecnici	Colture dedicate: 900 Liquame bovino: 1642 Altri effluenti zootecnici: 821,25	Colture dedicate: 160 Liquame bovino: 25 Altri effluenti zootecnici: 95	2,63E+05	2,83E+05	Cessione totale	Mantenimento della temperatura dei digestori (mesofilia, circa 40°C), e riscaldamento delle serre adiacenti all'impianto attraverso linea di teleriscaldamento	
TONINELLI FRATELLI SOCIETÀ AGRICOLA S.S. Pieve Fissigara (LO) (anno di realizzazione 2010)	2012-2013-2014	Biogas . Impianto di digestione anaerobica Monostadio in MESOFILIA	* P.e.n.(kWhe): 250 P.t.r.(kWt): 280 A.u.i.: 8,66%	Platea di stoccaggio con alimentazione continua, vasca per reflui da 1.800 m³ , Digestore di 1800 m³, monostadio temperatura 41 °C. Sistema di desolfiorazione del biogas tramite sistemi naturali. Distribuzione ombelicale con interramento del digestato.	100% Aziendale, Superficie a colture dedicate 42,6 ha, con 343 capi bovini, 2.350 capi di suini e 75 capi di bovini/equini	Colture dedicate; affluenti zootecnici;sottoprodotti	Pastone di mais: 861,66 Insilato di mais :880 (anno 2014) Melasso: 182 (anno 2013) Liquami e letame bovino: 5118,33 Liquame suini: 6548 Ovini e equini: 409,86	Pastone di mais: nd Insilato di mais :nd Melasso: nd Liquami e letame bovino: nd Liquame suini: nd Ovini e equini: nd	1,11E+06	1,15E+06	Cessione totale	Riscaldamento del digestore e allevamento suinicolo 2.200 m3	
CASCINA BAROSI DI BENEDETTA ROSPIGLISI Annico (CR) (anno di realizzazione 2010)	2012-2013-2014	Biogas . Impianto di digestione anaerobica Monostadio in MESOFILIA	* P.e.n.(kWhe): 280 P.t.r.(kWt): 306 (148 kWt da recupero fumi) A.u.i.: 6,80%	4 vasche per reflui da 1.000 mc cadauna e platea per la matrice solida. Digestore in acciaio del diametro di 15 m altezza totale 15 m e volume utile del fermentatore di 1.350 mc. Sistema di desolfiorazione del biogas ad additivo con ferro. Trattamento del digestato con separatore solido/liquido	100% Aziendale. Superficie a colture dedicate 65 ha e 400 capi bovini	Colture dedicate;effluenti zootecnici	Insilato di mais: 2643,66 Segale: 770 Liquame bovino: 7950 Letame bovino:760	Insilato di mais: 210 Segale: 163,33 Liquame bovino: 40 Letame bovino: 60	1,04E+06	2,00E+06	Cessione totale	Termostazione impianto, sala mungitura, acqua vitelli, aula didattica 240 mq, 4 abitazioni > 60%	
SOCIETÀ AGRICOLA SPILLER S.S. Villaverla (VI) (anno di realizzazione 2011)	2012-2013-2014	Biogas. Mesofilo monostadio	* P.e.n.(kWhe): 249 P.t.r.(kWt): 170 A.u.i.: 9%	Silos di stoccaggio con alimentazione continua. Vasche di lagunaggio 4500 m³. Monodigestore in acciaio di 1900 m³, temperatura 40 °C. Sistema di desolfiorazione tramite carboni attivi, trattamento del digestato con separatore solido/liquido, abbattimento dell'azoto tramite impianto di denitrificazione.	100% Aziendale. Superficie a colture dedicate 33 ha e 693 capi bovini	Colture dedicate;effluenti bovini	Sorgo: 1300 (anno 2014) Mais: 1533,33 Liquame e letame bovino: 16850	Sorgo: 170 (anno 2014) Mais: 216,66 Liquame e letame bovino: 40	1,23E+06	1,89E+06	Parziale autoconsumo	Riscaldamento locali dell'allevamento, produzione acqua calda potabile per alimentazione bestie e lavaggio impianti aziendali, riscaldamento della vasca di denitrificazione	
SOCIETÀ AGRICOLA TASCINI SERGIO E STEFANO S.S. Ariano nel Polesine (RO) (anno di realizzazione 2012)	2013-2014-2015	Biogas Digestore primario + gasometro	* P.e.n.(kWhe): 250 P.t.r.(kWt): 180 A.u.i.: 12,8%	Silos di stoccaggio con alimentazione continua 1 vasca di 3.538 m³ divisa in 4 parti; 2 Digestori (1 di capienza 1700 m³ , 1 di capienza mc 800 m3). Temperatura batteri 41° . Miscelazione con pompe Sistema di desolfiorazione del biogas con sistemi naturali.	100% Aziendale. Superficie a colture dedicate 40 ha e 550 capi bovini	Colture dedicate; effluenti zootecnici	Silomais: 2245 Silogramo: 424 (anno 2013) Liquame e letame bovino: 5.005	Silomais: 550 Silogramo: 500 (anno 2013) Liquame e letame bovino:200	2,45E+06	1,93E+06	Parziale vendita	Riscaldamento uffici aziendali e abitazioni soci.	
Soc. Agr. F.lli Cassese s.s. Grottaglie (TA) (anno di realizzazione 2011)	2012-2013-2014	Biogas. Mesofilo monostadio	* P.e.n.(kWhe): 250 P.t.r.(kWt): 238 A.u.i.: 8%	Due digestori alti 6 mt e larghi 16 mt, con tetto in legno e cupola gasometrica. Monostadio in mesofilia a 41 °C, con miscelatore laterale a pale.	100% aziendale, con 250 capi bovini e 47.000 avicoli	Affluenti zootecnici, sottoprodotti.	Affluenti bovini: 3000 Affluenti avicoli: 1460 Sansa: 800 Siero: 1100 Acque vegetali: 1000	Affluenti bovini: nd Affluenti avicoli: nd Sansa: nd Siero: nd Acque vegetali: nd	4,02E+05	1,99E+06	Parziale autoconsumo aziendale per l'alimentazione dei carichi elettrici dell'impianto e parziale vendita al GSE con T.O.	100% riscaldamento edifici 1260 mc oltre acqua sanitaria	
Az. Agricola Alessandro Stassano Peccoli (PI) (anno di realizzazione 2012)	NON SPECIFICATO	BIOGAS	* P.e.n.(kWhe): 250 P.t.r.(kWt): 265 A.u.i.: nd	ND	90% circa aziendale, 10% circa extra - aziendale	Colture dedicate, effluenti zootecnici, sottoprodotti	Colture dedicate: 1876 Effluenti zootecnici: 12900 Sottoprodotti: 2550	Colture dedicate:nd Effluenti zootecnici: nd Sottoprodotti: nd	1,70E+06	1,99E+06	ND	Riscaldamento allevamento suinicolo	
AZIENDA BRUTTI SOCIETÀ AGRICOLA SEMPLICE Nogarole Rocca (VR) (anno di realizzazione 2011)	2013-2014-2015	BIOGAS con digestore mesofilo	* P.e.n.(kWhe): 526 P.t.r.(kWt): 550 A.u.i.: 6,4%	Silos di stoccaggio con alimentazione continua. Fermentatore di dimensioni 28,8 x 7 m con capacità netta di 4080 m³. Processo di fermentazione anaerobica condotto nell'intervallo di temperatura mesofila tra 37° e 40°C	Aziendale 90%; extra aziendale 10% Superficie a colture dedicate 144 ha e 8.366 capi suini.	Colture dedicate; affluenti zootecnici	Graminacee (sorgo, Loietto): 1163 (2013-2014) Silo mais: 5938(2013-2014) Liquame e letame suino: 8056,33 Effluenti avicoli: 1002 Effluenti conigli:255	Graminacee (sorgo, Loietto): 171,35 (2013) Silo mais: 222,9 (2013) Liquame e letame suino: 48,35 Effluenti avicoli: 246,5 Effluenti conigli:100	2,18E+06	4,42E+06	Parziale autoconsumo, vendita GSE	Riscaldamento digestore, fabbisogni aziendali	

AZIENDA	ANNI DI RIFERIMENTO DATI	IMPIANTO			CARATTERISTICHE DELLA FILIERA				BIOGAS (Nm ³)	ENERGIA PRODOTTA (kWh) Media triennio 2012-2013-2014	DESTINAZIONE ENERGIA ELETTRICA	DESTINAZIONE ENERGIA TERMICA	***ALTRE INFO
		TIPOLOGIA	IMPIANTO DI COGENERAZIONE	CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE	PROVENIENZA MATRICI	MATRICI UTILIZZATE	***BIOMASSE (t) Media triennio 2012-2013-2014	***Rese (Nm ³ /t) Media triennio 2012-2013-2014					
Bruni Enrico Aldo Soc. Agr. S.S. Sutri (VT) (anno di realizzazione 2009)	2012-2013-2014	BIOGAS con digestori ad umido a 2 stadi MESOFILI	* P.e.n.(kWe): 666 P.t.r.(kWt): 617 A.u.i.: 2,63%	Platea di stoccaggio con alimentazione continua. Sistema di desolforazione del biogas a carboni attivi. Separazione meccanica tramite impianto a pressione.	60% Aziendale 40% Extra aziendali. Superficie a colture dedicate 106 ha e 666 capi bovini.	Colture dedicate; effluenti zootecnici; sottoprodotti	Mais: 30533,33 Sorgo: 2200 (anno 2014) Triticale: 1700 (anno 2014) Letame e liquami bovini: 16666,66 Effluenti avicoli: 451,66 Ortofrutta e patate da scarto: 274,66 Acque vegetali: 5333,33 Farine: 483,33 Melasso: 605 Siero di latte: 950	Mais: 160 Sorgo: 107 (anno 2014) Triticale: 110 (anno 2014) Letame e liquami bovini: 90 Effluenti avicoli: 120 (anni 2013-2014) Ortofrutta e patate da scarto: 114,66 Acque vegetali: 50 Farine: 491 Melasso: 490 Siero di latte: 34 (anni 2012-2013)	3,03E+06	5,01E+06	Cessione totale	Per oltre il 75 % alimenta la mungitura, uffici ed abitazione.	
SOCIETA' AGRICOLA PALOMBINI FILIPPO E ANDREA S.S. Nepi (VT) (anno di realizzazione 2009)	2012-2013-2014	BIOGAS	* P.e.n.(kWe): 666 P.t.r.(kWt): 616 A.u.i.: 2,58%	Silos di stoccaggio con alimentazione discontinua. 2 Vasche, una da 1.500 m ³ , e una da 2500 m ³ . 2 Digestori, ciascuno di 16 m di diametro, con pale meccaniche di agitazione, coibentati e riscaldati a 45/47 °C. Sistema di desolforazione del biogas con carboni attivi e sistemi naturali	100% Aziendale. Superficie a colture dedicate 82 ha e 583 capi bovini.	Colture dedicate; effluenti zootecnici; sottoprodotti	Insilato: 2536 Letame e liquami bovini: 9708,33 Liquami avicoli: 313,333 Acque di vegetazione: 3450 Siero latte: 3825 Farina di cereali: 505 Patate di scarto: 570 Verdure: 1966,66 Melasso: 715	Insilato: 160 Letame e liquami bovini: 90 Liquami avicoli: 120 Acque di vegetazione: 50 Siero latte: 34 Farina di cereali: 491 Patate di scarto: 150 Verdure: 44 Melasso: 490	2,37E+06	5,10E+06	Cessione totale	Recupero 75% riscaldamento mungitura, uffici e abitazioni	
AZ.AGR. SERRAGLIO 2 di ANGELI ARNALDO & C. S.S. Pegognaga (MN) (anno di realizzazione 2010)	2012-2013-2014	BIOGAS Digestore MONOFASICO TERMOFILIA	* P.e.n.(kWe): 525 P.t.r.(kWt): 308 A.u.i.: 7,50%	Stoccaggio tramite trincee. Dimensioni vasche 26m x 6m. Digestore con miscela fissa. Temperatura 50°C. Sistema di desolforazione del biogas tramite sistemi naturali. Utilizzo del digestato per concimazione agronomica.	90% Aziendale 10% Extra aziendale. Superficie a colture dedicate 137 ha e 533 capi bovini	Colture dedicate; effluenti zootecnici	Insilato di mais: 6926,66 Liquame e letame bovino: 1346,66	Insilato di mais: 340,66 Liquame e letame bovino: 46,66	2,42E+06	4,00E+06	Cessione totale	Termoregolazione impianto, sala mungitura, acque vitelli, aula didattica da 240 m ² , quattro abitazioni >60%.	
ZAMBERLAN FRATELLI SOC.AGRICOLA SEMPLICE S.S. Isola Vicentina (VI) (anno di realizzazione 2010)	2012-2013-2014	Biogas digestore anaerobico pluristadio mesofilo con stadio di post - digestore	* P.e.n.(kWe): 320 P.t.r.(kWt): 453 A.u.i.: 15%	Platea di stoccaggio, vasca di premiscelazione con agitatori a pale azionate elettricamente. Digestore primario m 18 x 7 capacità 1500 m ³ . Digestore secondario m 7 x 6 capacità 180 m ³	100% Aziendale. Superficie a colture dedicate 82 ha e 583 capi bovini.	Colture dedicate; effluenti zootecnici	Insilato di mais: 2596,66 Segale: 625 (anno 2012) Liquame e letame bovino: 5892	Insilato di mais: 161,33 Segale: 200 (anno 2012) Liquame e letame bovino: 5,75	5,78E+05	2,83E+06	Parziale autoconsumo, vendita in rete	Riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria abitazioni dell'azienda agricola, preparazione acqua uso tecnico. Recupero termico 42%	
Agricola F.lli Nola & C. Società Agricola Semplice Castrovillari (Cs) (anno di realizzazione 2011)	2013-2014	BIOGAS 2 stadi Termofili	* P.e.n.(kWe): 499 P.t.r.(kWt): 399 A.u.i.: 5%	Silos di stoccaggio con alimentazione discontinua. 2 vasche da 20 e 22 m di diametro e 6,30 metri di altezza della capacità rispettivamente di 1900 m ³ e 2300 m ³ . Pluristadio con due vasche. In entrambe n. 2 miscelatori a pale meccaniche, e motore da 15 kw antideflagrante che lavorano ad una T di 36-40°C. Sistema di desolforazione del biogas a carboni attivi.	100% Aziendale. Superficie a colture dedicate 125 ha e 19 00 capi bovini	Colture dedicate; effluenti zootecnici	Triticale ceroso: 4.823 Mais ceroso: 7.879 Liquame + letame bovino: 22.600	Triticale ceroso: 150 Mais ceroso: 230 Liquame + letame bovino: 108	4,98E+06	6,10E+06	Cessione totale	Riscaldamento di numero 2 serre di complessivi 1.400 mq, utilizzo del calore disponibile pari ad un valore superiore al 70%	
Az. Agricola e Zootecnica Posticchia Sabelli soc.agricola semplice (anno di realizzazione 2012)	2012-2013-2014	BIOGAS digestore anaerobico TERMOFILO	* P.e.n.(kWe): 526 P.t.r.(kWt): 550 A.u.i.: 6,4%	Silos con alimentazione continua e platea di stoccaggio.	100% Aziendale	Colture dedicate, effluenti zootecnici	Siero: 9 Mais: 0 Triticale: 0 Effluenti zootecnici: 0	Siero: nd Mais: nd Triticale: nd Effluenti zootecnici: nd	3,06E+02	4,96E+06 (dati 2014, i dati degli altri anni non sono disponibili)	Parziale vendita, parziale autoconsumo	Riscaldamento digestori	

* P.e.n. :Potenza elettrica nominale , P.t.r. :Potenza termica recuperabile , A.u.i.: Autoconsumo impianto

** I dati delle biomasse, delle rispettive rese e dell'energia prodotta sono stati mediati rispetto agli anni di riferimento (specificati nella seconda colonna della tabella presenti nelle schede impianto) . Laddove alcuni dati di uno o più anni non sono disponibili, nelle rispettive celle sono specificati gli anni di riferimento utilizzati per il calcolo della media.

***LE ALTRE INFO PRESENTI NELLE SCHEDE DEGLI IMPIANTI RIGUARDANO I DATI ECONOMICI (costi di esercizio e manutenzione, fermi ordinari e straordinari, e tempo di rientro degli investimenti in anni) non utili in questo studio.



ALLEGATO III - Dati delle aziende di riferimento per la Classe 2 (CL2)

AZIENDA	ANNI DI RIFERIMENTO DEI DATI	IMPIANTO			CARATTERISTICHE DELLA FILIERA				BIOGAS (Nm³)		ENERGIA PRODOTTA (kWh) **Dati mediati	DESTINAZIONE ENERGIA ELETTRICA	DESTINAZIONE ENERGIA TERMICA	***ALTRE INFO
		TIPOLOGIA	IMPIANTO DI COGENERAZIONE	CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE	PROVENIENZA MATRICI	MATRICI UTILIZZATE	BIOMASSE (t) **Dati mediati	Resa (Nm³/t) **Dati mediati	BIOGAS (Nm³)					
SOCIETA' AGRICOLA FONTANA S.S. Castel San Giovanni (PC) (anno di realizzazione 2009)	2012-2013-2014	Biogas a 3 stadi con alimentazione liquida/solida separate in mesofilia	* P.e.n.(kWe): 766 P.t.r.(kWt): 582 A.u.i.: 9,9%	Silos di stoccaggio con alimentazione continua. 4 vasche per reflui da 1.000 m3 ad una e platea per la matrice solida. 3 Digestori: 1 digestore diam. 20,00 x h 6,00; 2 e 3 digestore diam. 18,30 x h 6,00; temperature del processo 39-42°C; n°2 miscelatori per digestore. Sistema di desolfurazione del biogas attraverso sistemi naturali	100 % aziendale, con 164 ha a colture dedicate e 11.343 capi suini	Colture dedicate; effluenti zootecnici, sottoprodotti	Triticale: 1300 Mais: 693,33 Liquame suini: 36189 Melasso barbabietola: 550	Triticale: 213 Mais: 232 Liquame suini: 28 Melasso barbabietola: 431	3,14E+06	5,51E+06	Cessione totale	Impianto recupero calore fumi su cogenerazione 526 kWe per alimentare due gruppi ORC da 18 + 18 kWe		
Az. Agr. ERIDANO di Zermiani F.lli s.s. Società Agricola Piacenza (PC) (anno di realizzazione 2011)	2012-2013-2014	BIOGAS	* P.e.n. (kWe): 1156 P.t.r.(kWt): 788 A.u.i.: 6,94%	Silos di stoccaggio con alimentazione continua. 2 digestori primari con diametro di 23 m il primo e 26 m il secondo, per un'altezza utile di 5 m. T del processo 40°C. La vasca di stoccaggio del digestato è coperta, con un diametro di 26 m; il liquido è stoccato separatamente in 2 silos coperti aventi diametro di 30 m ed altezza di 5 m.	90% Aziendale 10% Extra aziendale. Superficie a colture dedicate 404 ha	Colture dedicate; effluenti zootecnici	Insilato di mais: 15993,33 Insilato di erba: 4410,33 Liquame e letame bovino: 1460 (anno 2014)	Insilato di mais: 245 Insilato di erba: 166 Liquame e letame bovino: 25 (anno 2014)	4,69E+06	8,42E+06	Parziale autoc consumo, vendita GSE	Riscaldamento dei digestori, dell'essiccatore e di una parte di capannone di 1.500 m³		
TENUTA DI BAGNOLI DI GIOVANNI MUSINI Bagnoli di sopra (PD) (anno di realizzazione 2009)	2012-2013-2014	BIOGAS	* P.e.n.(kWe): 999 P.t.r.(kWt):1581 A.u.i.: 7%	Sistema di alimentazione dell'impianto continuo, 2 vasche di alimentazione di 6 m di altezza, diametro di 11,50 m e 2200 m3 ciascuna; pluri-stadio, digestione mesofila, T 38° - 42° C. Digestato liquido stoccato in laguna e in una vasca di post fermentazione. Sistema di desolfurazione del biogas tramite sistemi naturali.	90% Aziendale, 10% Extra aziendale- Superficie a colture dedicate 348 ha	Colture dedicate	Barbabietola: 818,33 Mais ceroso: 12477,66 Grano ceroso: 3529,33 Triticale: 2408 (anni 2013-2014) Sorgo: 1753,66 Granello: 826,5 (anni 2013-2014)	Barbabietola: 142 Mais ceroso: 239 Grano ceroso: 176 Triticale: 168 (anni 2013-2014) Sorgo: 141 Granello: 296 (anni 2013-2014)	4,21E+06	7,06E+06	Cessione totale	Riscaldamento delle vasche di fermentazione e post-fermentazione, telersaldamento di uffici, locali ed abitazioni di pertinenza dell'azienda per una cubatura complessiva di 5.100 m³.		
SOCIETA' AGRICOLA LA CERESINA DEI FRATELLI BALDISSERI SILVANO EPIETRO S.S. San Pietro in Gù (PD)	2012-2013-2014	BIOGAS, 2 digestori MESOFILO monostadio	* P.e.n.(kWe): 999 P.t.r.(kWt):1085 A.u.i.: 8,50%	Silos di stoccaggio con sistema di alimentazione continua. Vasca di 5.913 m³ di stoccaggio. Due digestori monostadio di volume utile netto rispettivamente di 1.447 m³ e 2.264 m³. T di lavoro di 43-44°C. Sistema di desolfurazione del biogas con sistemi naturali.	100% Aziendale. Superficie a colture dedicate 215 ha e 992 capi bovini	Colture dedicate; effluenti zootecnici	Silomais 1° racc.: 1410 (anni 2013-2014) Pastone mais 2° racc.: 2502 (anni 2013-2014) Pulizia medicaio invernale: 84 (anno 2014) Lolietto ceroso: 2600 (anni 2014) Mais granello: 2420 (anni 2013-2014) Sorgo ceroso: 1669 (anno 2013) Triticale ceroso: 2847 (anni 2013) Letame + liquame bovini: 13095 (anni 2013-2014)	Silomais 1° racc.: 220 (anni 2013-2014) Pastone mais 2° racc.: 335 (anni 2013-2014) Pulizia medicaio invernale: 120 (anno 2014) Lolietto ceroso: 206 (anno 2014) Mais granello: 590 (anni 2013-2014) Sorgo ceroso: 165 (anno 2013) Triticale ceroso: 206 (anno 2013) Letame + liquame bovini: 120 (anni 2013-2014)	5,56E+06	7,54E+06	Cessione totale	Riscaldamento del digestore anaerobico, recupero termico mediante turbina ORC, riscaldamento acqua di abbeverata dei bovini.		
SOCIETA' AGRICOLA SALGAS S.S. DI ANDRETTA FILIPPO E C. an Stino di Livenza (VE) (anno di realizzazione 2011)	2012-2013-2014	BIOGAS doppio stadio MESOFILO	* P.e.n.(kWe):999 P.t.r. (kWt): 586 A.u.i.: 8,74%	Platea di stoccaggio con alimentazione continua. Impianto bi-stadio. N°2 vasche gemelle. Ø 26 m; volume utile 2.920 m3; Altezza 5 m; Mesofilia (40-46 °C). Sistema di desolfurazione del biogas tramite torri	90% Aziendale 10 % Extra aziendale. Superficie a colture dedicate 340 ha e 2.200 capi bovini	Colture dedicate; effluenti zootecnici	Silomais: 11856 Pastone mais: 381 (anno 2014) Silosorgo: 2273 Insilato di orzo: 2035 Farina di mais: 943 (anno 2014) Letame + liquame bovini: 11883	Silomais: 202 Pastone mais: nd Silosorgo: 151 Insilato di orzo: 206 Farina di mais: 630 (anno 2014) Letame + liquame bovini: 20,16	4,12E+06	8,63E+06	Cessione totale	Riscaldamento digestori; torre di desolfurazione; frigoassorbitore		

AZIENDA	ANNI DI RIFERIMENTO DEI DATI	IMPIANTO			CARATTERISTICHE DELLA FILIERA				BIOGAS (Nm³)	ENERGIA PRODOTTA (kWh) **Dati mediati	DESTINAZIONE ENERGIA ELETTRICA	DESTINAZIONE ENERGIA TERMICA	***ALTRE INFO
		TIPOLOGIA	IMPIANTO DI COGENERAZIONE	CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE	PROVENIENZA MATRICI	MATRICI UTILIZZATE	BIOMASSE (t) **Dati mediati	Resa (Nm³/t) **Dati mediati	BIOGAS (Nm³)				
ACETO Bisignano (CS) (anno di realizzazione 2011)	2012-2013-2014	Biogas a due fasi con processo METANIGENO-MESOFILO	* P.e.n.(kWe): 561 P.t.r.(kWt): 772 A.u.i.: 6,23%	Silos di stoccaggio con alimentazione continua. Vasche in cemento armato di dimensioni: (50m x 30 m x 6 m di altezza) + (26m x 12 m x 6 m di altezza) + (vasca da 1.500 m3 ovale) per una capienza di circa 12.500 m3. 4 digestori: 2 primari e 2 secondari. Temperatura digestori 40°C. Sistema di desolfurazione del biogas tramite carboni attivi	100% Aziendale. Superficie a colture dedicate 45 ha e 1.633 capi bovini	Colture dedicate, effluenti zootecnici, sottoprodotti	<u>Insilato mais:</u> 1236,66 <u>Insilato triticale:</u> 1136,66 <u>Liquame e letame bovino:</u> 37838,33 <u>Avicoli:</u> 1850 (anno 2013) <u>Bucce d'arancia:</u> 7312,5 (anni 2013 -2014) <u>Melasso d'agrumi:</u> 797,5 (anni 2013-2014) <u>Scarti ortaggi:</u> 2385 (anni2013-2014) <u>Cruscami e farinaccio:</u> 532,5 (anni 2013-2014)	<u>Insilato mais:</u> 213,33 <u>Insilato triticale:</u> 176,66 <u>Liquame e letame bovino:</u> 37,83 <u>Avicoli:</u> 130 (anno 2013) <u>Bucce d'arancia:</u> 70 (anni 2013 -2014) <u>Melasso d'agrumi:</u> 395 (anni 2013-2014) <u>Scarti ortaggi:</u> 67,5 (anni2013-2014) <u>Cruscami e farinaccio:</u> 445 (anni 2013-2014)	3,36E+06	7,44E+06	Cessione totale	Parziale utilizzo nell'impianto stesso per mantenere a temperatura i digestori; utilizzo in uno scambiatore di calore per produrre:1. acqua sanitaria per i lavaggi nell'impianto di mungitura e dei refrigeratori del latte; 2. riscaldamento dell'ufficio e della abitazioni aziendali; 3. preparazione del latte alimentare per i vitellini in fase di svevamento; 4. mantenimento in temperatura (durante il periodo invernale) del melasso di barbabietola, stoccato in cisterne di acciaio inox.	
AGRICARIGNANO S.R.L. SOCIETA' AGRICOLA Parma (PR) (anno di realizzazione 2010)	2012-2013-2014	BIOGAS mesofilo	**P.e.n.(kWe): 999 P.t.r.(kWt): 900 A.u.i.: 6%	Platea di stoccaggio con alimentazione discontinua. 2 fermentatori isolati e riscaldati, capacità 2.713 m3 con 2 agitatori idraulici a immersione e tecnologia d'immissione di solidi, monocopertura a telo, 2 post fermentatori. Sistema di desolfurazione del biogas con sistemi naturali	80% aziendale, 20% extra aziendale. Superficie a colture dedicate 225 ha	Colture dedicate, effluenti zootecnici, sottoprodotti	<u>Mais:</u> 7416,66 <u>Sorgo:</u> 2000 <u>Triticale:</u> 1567,66 <u>Letame e liquame bovini:</u> 4166 (anni 2013-2014) <u>Cipolla:</u> 233,33 <u>Bucchette di pomodoro:</u> 323,75 <u>Polpa di barbabietole:</u> 66,66	<u>Mais:</u> 251 <u>Sorgo:</u> 162 <u>Triticale:</u> 176 <u>Letame e liquame bovini:</u> 45 (anni 2013-2014) <u>Cipolla:</u> 158 (anni 2012-2013) <u>Bucchette di pomodoro:</u> 158 (anno 2014) <u>Polpa di barbabietole:</u> 119 (anno 2014)	2,74E+06	7,44E+06	Cessione totale	Riscaldamento dei digestori e per la propagazione del calore all'interno dell'impianto, per essiccazione foraggio.	
AGRIENERGY SOC. AGR. SRL Forlì (FC) (anno di realizzazione 2008)	2013-2014-2015	BIOGAS a più stadi TERMOFILO	* P.e.n.(kWe): 845 P.t.r.(kWt): 800 A.u.i.: 4,88%	Platea di stoccaggio e alimentazione dell'impianto discontinua. Digestore di 5.000 m3, pluristadio, con agitatore a pale meccaniche. 1 vasca 45 x 46 m altezza 2,50 m e tempo di permanenza 3 mesi	30% Aziendale, 70% Extra aziendale. Superficie a colture dedicate 46 ha	Colture dedicate, effluenti zootecnici, sottoprodotti	<u>Sorgo:</u> 26186,66 <u>Mais:</u> 8454 <u>Triticale:</u> 2105 (anno 2015) Segale: 0 <u>Grano tenero:</u> 392 (anno 2015) <u>Liquame e letame bovino:</u> 2622 <u>Liquami suini:</u> 1433 (anni 2013-2014) <u>Bucchette di pomodoro:</u> 570 (anno 2014) <u>Setacciatura mais:</u> 153,5 (anni 2013-2014) <u>Farina di cereali:</u> 16,9 (anno 2013) <u>Semi vari e soia:</u> 178,33 <u>Verdure:</u> 6099,33 <u>Frutta:</u> 3358 (anni 2014-2015) <u>Foraggio in pellet:</u> 3215,33	<u>Sorgo:</u> 148 <u>Mais:</u> 162 <u>Triticale:</u> 148 (anno 2015) Segale: nd <u>Grano tenero:</u> 148 (anno 2015) <u>Liquame e letame bovino:</u> 26,8 <u>Liquami suini:</u> 26 (anni 2013-2014) <u>Bucchette di pomodoro:</u> 120 (anno 2014) <u>Setacciatura mais:</u> 498 (anni 2013-2014) <u>Farina di cereali:</u> 498 (anno 2013) <u>Semi vari e soia:</u> 498 <u>Verdure:</u> 48 <u>Frutta:</u> 53 (anni 2014- 2015) <u>Foraggio in pellet:</u> 302	7,34E+06	6,00E+06	Parziale autoconsumo, vendita GSE	Riscaldamento locali uffici 300 m3; recupero fumi di scarico per scambio termico diretto su essiccatoio rotante; recupero acqua radiatori di raffreddamento e utilizzo in essiccatoio a serra con scambio acqua/aria.	
AZIENDA AGRICOLA VEGGIA EZIO Località Canel (AT) (anno di realizzazione 2010)	2013-2014-2015	BIOGAS Digestore ad uno stadio in MESOFILIA	* P.e.n.(kWe): 998 P.t.r.(kWt): 576 A.u.i.: 6,7%	Silos di stoccaggio con alimentazione continua. Vasche altezza 8 m x 30 m. Digestori di dimensioni 26x6m; mono-stadio; T di lavoro 44-45°C. Impianto di caricamento della biomassa nel fermentatore dotato di estrusore. Sistema di desolfurazione del biogas ad additivo con ferro.	70% circa a aziendale, 30% circa extra -aziendale. Superficie a colture dedicate 387 ha, 972 capi suini e 115.000 avicoli	Colture dedicate, effluenti zootecnici, sottoprodotti	<u>Trinciato erba:</u> 7847,67 <u>Trinciato mais:</u> 7102,67 <u>Trinciato sorgo:</u> 3761,67 <u>Trinciato triticale:</u> 5068,67 <u>Erba rotoballe:</u> 3000 (anno 2013) <u>Paglia:</u> 100 (anno 2013) <u>Liquame e letame bovino:</u> 2060,33 <u>Effluenti suini:</u> 8931 <u>Effluenti avicoli:</u> 2239,33	<u>Trinciato erba:</u> 110 <u>Trinciato mais:</u> 215,66 <u>Trinciato sorgo:</u> 176,33 <u>Trinciato triticale:</u> 169,66 <u>Erba rotoballe:</u> 190 (anno 2013) <u>Paglia:</u> 300 (anno 2013) <u>Liquame e letame bovino:</u> 69 <u>Effluenti suini:</u> 13 <u>Effluenti avicoli:</u> 145	4,72E+06	8,31E+06	Cessione totale	Realizzazione di un impianto di separazione meccanica ed un impianto di essiccazione del digestato. Il sistema di recupero di calore utilizzato permette di recuperare calore sia dai fumi di scarico che dal circuito di raffreddamento ad acqua del motore a biogas. La potenza termica attualmente viene utilizzata per circa il 16% come autoconsumo dell'impianto. La restante quota (84%) viene interamente impiegata nel processo di essiccazione.	

AZIENDA	ANNI DI RIFERIMENTO DEI DATI	IMPIANTO			CARATTERISTICHE DELLA FILIERA				BIOGAS (Nm ³)	ENERGIA PRODOTTA (kWh) **Dati mediati	DESTINAZIONE ENERGIA ELETTRICA	DESTINAZIONE ENERGIA TERMICA	***ALTRE INFO
		TIPOLOGIA	IMPIANTO DI COGENERAZIONE	CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE	PROVENIENZA MATRICI	MATRICI UTILIZZATE	BIOMASSE (t) **Dati mediati	Resa (Nm ³ /t) **Dati mediati	BIOGAS (Nm ³)				
COOPERATIVA PRODUTTORI SUINI PRO SUS S.C.A. Vescoavato (CR) (anno di realizzazione 2011)	2013-2014-2015	BIOGAS digestore anaerobico a gassificazione con motore endotermico	* P.e.n.(kWe): 998 P.t.r.(kWt): 556 A.u.i.: 9%	Silos di stoccaggio con alimentazione continua. Vasche in cemento armato. Digestore primario volume utile: 3.800 m ³ ; diametro interno 21,5 m; altezza utile 9 m; altezza pareti 9,9 m. Digestore secondario volume: 600 m ³ ; diametro interno 10 m; altezza 7,20 m; altezza pareti 8,20 m. T 49-52°C	80 % aziendale – 20 % extra aziendale Uso esclusivo di sottoprodotti	Sottoprodotti	<u>Pacchi intestinali:</u> 5013,33 <u>Acque di lavaggio ricche di solidi:</u> 6483,32 <u>Sostanze carboniose:</u> 313836 <u>Acque industriali:</u> 36653,5	<u>Pacchi intestinali:</u> nd <u>Acque di lavaggio ricche di solidi:</u> nd <u>Sostanze carboniose:</u> nd <u>Acque industriali:</u> nd	5,07E+07	8,28E+06	Cessione totale	Recupero energia termica per uso industriale (riscaldamento vasche acqua calda e sterilizzatori) circa 40%	
Azienda Agricola Barchetti di Bettoni Giacomo e Figli s.s. soc agricola, Grontardo (CR) (anno di realizzazione 2010)	2012-2013-2014	BIOGAS	* P.e.n.(kWe):998 P.t.r.(kWt): 588 A.u.i.: 9,13%	Due digestori da 2.400 mc e un post fermentatore da 7.000 mc	90% Aziendale, 10% Extra aziendale con 245 ha a colture dedicate e 5500 capi suini	Colture dedicate; effluenti zootecnici	<u>Triticale:</u> 3862,67 <u>Mais:</u> 64039,33 <u>Liquame e letame suini:</u> 25550 (anni 2012-2013)	<u>Triticale:</u> 300 (anni 2012 - 2013) <u>Mais:</u> 500 (anni 2012 - 2013) <u>Liquame e letame suini:</u> nd	3,39E+07	8,55E+06	Cessione totale	Riscaldamento dei digestori e scrofaia aziendale.	
PEZZA SOCIETA' SEMPLICE AGRICOLA Busseto (PR) (anno di realizzazione 2010)	2012-2013-2014	BIOGAS	* P.e.n.(kWe): 999 P.t.r.(kWt):nd A.u.i.: 8,6%	Sistema costituito da 3 digestori operanti in mesofilia.	100% Aziendale, con 432 ha a colture dedicate	Colture dedicate , sottoprodotti	<u>Mais:</u> 10450 (anni 2012-2013) <u>Sorgo:</u> 3722,5 (anni 2012-2013) <u>Triticale:</u> 4800 (anni 2012-2013) <u>Farina di mais:</u> 100 (anno 2012) <u>Loietto:</u> 380 (anno 2013) <u>Orzo:</u> 830 (anno 2013)	<u>Mais:</u> 219,5 (anni 2012-2013) <u>Sorgo:</u> 179 (anni 2012-2013) <u>Triticale:</u> 199,5 (anni 2012-2013) <u>Farina di mais:</u> 560 (anno 2012) <u>Loietto:</u> 160 (anno 2013) <u>Orzo:</u> 132 (anno 2013)	4,14E+06	5,33E+06	Parziale autoconsumo aziendale per l'alimentazione dei carichi elettrici dell'impianto e parziale vendita al GSE con T.O.	100%, riscaldamento edifici 1260 mc oltre acqua sanitaria	
CAT Correggio (RE) (anno di realizzazione 2010)	2013-2014-2015	BIOGAS con 2 fermentatori e 1 post fermentatore riscaldati anaerobici e MESOFILI	* P.e.n.(kWe): 998 P.t.r.(kWt):880 A.u.i.: 8%	Platea di stoccaggio con alimentazione continua. Due Fermentatori e un post fermentatore riscaldati operanti in regime di mesofilia ad una temperatura di 42°C. Vasca residui coperta e non riscaldata con una T di 25-30°C. Dimensioni delle vasche: 2 digestori primari con volume 2.500 m ³ ; un post fermentatore con volume 3.200 m ³ ; 2 vasche residui ciascuna con volume 4.400 m ³ di cui una coperta e miscelata.	100% Aziendale. Superficie a colture dedicate 350 ha, 1.000 capi bovini e 4.000 capi avicoli	Colture dedicate, effluenti zootecnici, sottoprodotti	<u>Mais:</u> 10166 (anni 2014-2015) <u>Sorgo:</u> 1095 (anni 2014-2015) <u>Triticale:</u> 4217 (anni 2014-2015) <u>Effluenti bovini:</u> 3598,5 (anni 2014-2015) <u>Effluenti avicoli:</u> 88,5 (anni 2014-2015) <u>Polpe:</u> 1192,5 (anni 2014-2015) <u>Graspi:</u> 1531,5 (anni 2014-2015)	<u>Mais:</u> 220 (anni 2014-2015) <u>Sorgo:</u> 170 (anni 2014-2015) <u>Triticale:</u> 180 (anni 2014-2015) <u>Effluenti bovini:</u> 45 (anni 2014-2015) <u>Effluenti avicoli:</u> 170 (anni 2014-2015) <u>Polpe:</u> 160 (anni 2014-2015) <u>Graspi:</u> 60(anni 2014-2015)	3,64E+06	7,86E+06	Parziale autoconsumo, vendita in rete	Utilizzo della energia termica per il riscaldamento delle vasche di digestione per una potenza media di circa 140 kW. La parte rimanente di energia termica è utilizzata per l'essiccato con potenza 750 kW termici.	
BIOENERGY SOC. COOP. AGR. (anno di realizzazione 2010)	2013-2014-2015	BIOGAS con digestore anaerobico MESOFILO MONOSTADIO	* P.e.n.(kWe): 994 P.t.r.(kWt):1200 A.u.i.: 16%	Platea di stoccaggio con alimentazione continua. Assenza di pretrattamento del digestato. Digestore monostadio mesofilo 40°C, volume 65808 m ³ . Dimensionamento delle vasche 12.400 m ³ . 2 scambiatori di calore a fasci tubieri	100% Aziendale. Superficie a colture dedicate 302 ha	Colture dedicate	<u>Mais:</u> 6805 (anni 2014-2015) <u>Triticale:</u> 1250 (anno 2014) <u>Sorgo:</u> 6670 (anno 2014-2015) <u>Farina:</u> 570 (anno 2014)	<u>Mais:</u> 184,5 (anni 2014-2015) <u>Triticale:</u> 176(anno 2014) <u>Sorgo:</u> 166 (anno 2014-2015) <u>Farina:</u> 590 (anno 2014)	2,92E+06	6,28E+06	Cessione parziale GSE	Processo produttivo impianto, riscaldamento uffici, alimentazione impianto	
SOCIETÀ COOPERATIVA AGRICOLA BIO CANALI Buriasco (TO) (anno di realizzazione 2010)	2014-2015-2016	BIOGAS con digestore anaerobico MESOFILO BISTADIO	* P.e.n.(kWe):998 P.t.r.(kWt): 573 A.u.i.: 6,5%	Silos e platea di stoccaggio con alimentazione discontinua. 2 vasche di stoccaggio del digestato di superficie rispettivamente di 1.114 m ² e 1.010 m ² per una volumetria complessiva di 10.620 m ³ . 2 digestori: 1° digestore altezza pari a 6 m, superficie utile vasca pari a 531 m ² . T 39-48 °C, sistema di miscelazione interna a pale ad asse orizzontale; 2° digestore altezza pari a 8 m, superficie utile vasca pari a 531 m ² , T 39-48°C. Sistema di desolfurazione del biogas a torri	70 % Aziendale 30% Extra aziendale Superficie a colture dedicate 5 ha e 500 capi bovini	Colture dedicate; effluenti zootecnici	<u>Insilato di mais:</u> 12252 (anno 2014) <u>Triticale:</u> 96 (anno 2014) <u>Sorgo:</u> 12 (anno 2014) <u>Pastone di mais:</u> 320 (anno 2014) <u>Liquame:</u> 21276 (anno 2014) <u>Letame bovino:</u> 6237 (anno 2014)	<u>Insilato di mais:</u> 230 (anno 2014) <u>Triticale:</u> 200 (anno 2014) <u>Sorgo:</u> 200(anno 2014) <u>Pastone di mais:</u> 400 (anno 2014) <u>Liquame:</u> 77 (anno 2014) <u>Letame bovino:</u> 32 (anno 2014)	4,81E+06	8,11E+06	Cessione totale	Essiccazione, impianti alghe e Ittico, telericaldamento.	

* P.e.n. :Potenza elettrica nominale , P.t.r. :Potenza termica recuperabile , A.u.i.: Autoconsumo impianto

** I dati delle biomasse, delle rispettive rese e dell'energia prodotta sono stati mediati rispetto agli anni di riferimento (specificati nella seconda colonna della tabella presenti nelle schede impianto) . Laddove alcuni dati di uno o più anni non sono disponibili, nelle rispettive celle sono specificati gli anni di riferimento utilizzati per il calcolo della media.

***LE ALTRE INFO PRESENTI NELLE SCHEDE DEGLI IMPIANTI RIGUARDANO I DATI ECONOMICI (costi di esercizio e manutenzione, fermi ordinari e straordinari, e tempo di rientro degli investimenti in anni) non utili in questo studio.



ALLEGATO IV - Dati delle aziende di riferimento per la Classe 3 (CL3)

DATI RELATIVI ALL'ENERGIA ELETTRICA

FLUSSO	Herambiente di Valtana	Impianto Bolzano
EE ceduta alla rete (GJ/anno)	5,97E+04	5,16E+03
EE autoconsumata (GJ/anno)	6,71E+03	4,26E+03
Biomassa totale impiegata (ton/anno)	6,00E+4	1,22E+4
EE totale (ceduta+autoconsumo)(GJ/anno)	5,97E+04 + 6,71E+03 = 6,64E+4	5,16E+03 + 4,26E+03 = 9,42E+3
EE totale (ceduta+autoconsumo)(GJ/ton)	6,64E+4/6,00E+4 = 1,11	9,42E+3/1,22E+4 = 0,77

EE = Energia Elettrica

DATI RELATIVI AL CALORE

FLUSSO	Herambiente di Valtana	Impianto Bolzano
Calore ceduto (GJ/anno)	1,10E+5	7,92E+3
Calore autoconsumato (GJ/anno)	7,42E+3	1,80E+3
Biomassa totale impiegata (ton/anno)	6,00E+4	1,22E+4
Calore ceduto per unità di biomassa (GJ/ton)	1,10E+5/6,00E+4 = 1,83	7,92E+3/1,22E+4 = 0,65
Calore totale (ceduto+autoconsumo) (GJ/anno)	1,10E+5 + 7,42E+3 = 1,17E+5	7,92E+3 + 1,80E+3 = 9,72E+3
Calore totale (ceduto+autoconsumo) (GJ/ton)	1,17E+5/6,00E+4 = 1,96	9,72E+3/1,22E+4 = 0,80



ALLEGATO V - Dati di inventario delle biomasse delle Classi 1 (CL1) e 2 (CL2)

AZIENDE 701-1700 KW	CLASSE ENERGETICA	MAS	PASTINE DI MAS	INFIATO/ TRINCATO DI MAS	MAS CEROSIO	SEGALE	SORGO	TRINCATO/ INFIATO DI SORGO	SORGO CEROSIO	TRITICALE	INFIATO/ TRINCATO DI TRITICALE	TRITICALE CEROSIO	GRANO	INFIATO DI GRANO	GRANO CEROSIO	LOETTO	LOETTO CEROSIO	ORZO	INFIATO DI ORZO	FRUMENTO	GRANELLA	BARBIEROTTO LA	GRAMINACEE (SORGO, LOETTO)	ERBA ROTONDALE	INFIATO/ TRINCATO DI ERBA	PAGLIA	CULTURE DESICCATI (non specificate in Botanic)	INFIATO	ACQUE (vegetali, industriali, di lavaggio)	*SCARTI ALIMENTARI	**EFFLUENTI ZOOTECNICI	***SOTTOPRODOTTI	FILIZIA MEDICATA INVERNALE	ENERGIA PRODOTTA (MWh)	BOMBAE TRASPORTATE (t)
SOCIETA AGRICOLA FONTANA S.R.L. Castel San Giovanni (PC) (anno di realizzazione 2009)	300- 800 KW	6.95E-03	-	-	-	-	-	-	-	1.30E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.9E-02	3.0E-04	-	-	5.61E-06	0.00E-00	
Ag. Agr. ERICANO di Zanetti F & S. Società Agricola Pianosa (PT) (anno di realizzazione 2011)	1000 KW	-	-	1.60E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.41E-03	-	-	-	-	1.48E-03	-	-	8.40E-06	2.19E-03	
TINFA DI BAGNOLI DI GIOVANNI MURRI Bagno di Varco (PC) (anno di realizzazione 2009)	1000 KW	-	-	-	1.26E-04	-	1.73E-03	-	-	2.41E-03	-	-	-	-	3.33E-03	-	-	-	-	-	8.27E-02	8.18E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.66E-06	2.16E-03	
SOCIETA AGRICOLA LA CERESINA SFRUTTATELLI BALDASSARI SALVANO FERRIOLI S. S. (anno di realizzazione 2011)	1000 KW	-	2.90E-03	1.41E-03	-	-	-	-	-	1.87E-03	-	-	-	-	-	2.86E-03	-	-	-	-	2.42E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.31E-04	-	8.40E-01	7.54E-06	0.00E-00
SOCIETA AGRICOLA SALVATI S.R.L. DI ANDRETTA FILIPPO E C. - ex Siro di Lancia (VE) (anno di realizzazione 2011)	1000 KW	-	3.81E-02	1.19E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.04E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.4E-02	1.19E-04	-	-	8.83E-06	2.937,1	
ACETO Biagino (CS) (anno di realizzazione 2011)	1000 KW	-	-	1.24E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1E-04	3.78E-04	-	-	7.44E-06	0.00E-00		
AGRICOLTURA S.R.L. SOCIETA AGRICOLA PIANO (PR) (anno di realizzazione 2010)	1000 KW	7.42E-03	-	-	-	-	2.99E-03	-	-	1.57E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.98E-02	4.17E-03	-	-	7.44E-06	3.19E-03		
AGROENERGY SOC. AGR. SRL Fusi (FC) (anno di realizzazione 2008)	1000 KW	8.45E-03	-	-	-	-	2.62E-04	-	-	2.11E-03	-	-	-	-	3.01E-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.94E-02	-	6.00E-06	3.00E-04	
Marchio Soci Agraria di Tondino Castella s.n.c. s.r.l. C. Colabro - Savigliano (TV) (anno di realizzazione 2010)	1000 KW	4.94E-04	-	-	-	-	1.33E-03	-	-	2.48E-03	-	-	-	-	4.94E-02	-	-	-	-	2.10E-03	-	-	-	-	-	-	-	4.9E-02	3.17E-03	-	-	8.83E-06	8.96E-03		
AZIENDA AGRICOLA VEGGA EDZO Locatelli Canale (TV) (anno di realizzazione 2010)	1000 KW	-	-	7.10E-03	-	-	-	3.76E-03	-	-	5.07E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.09E-03	7.88E-03	1.00E-02	-	-	-	-	1.32E-04	-	-	8.31E-06	1.14E-04	
VERGNERO SOC. CONS. ARL Lendinara (PD) (anno di realizzazione 2010)	1000 KW	9.67E-03	-	-	-	-	-	-	-	3.95E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.77E-04	0.00E-00		
COOPERATIVA PRODUTTORI SUINI PRO S.R.L. A. Vassolengo (CR) (anno di realizzazione 2011)	1000 KW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.37E-04	5.01E-03	-	3.14E-05	-	8.29E-06	6.98E-04		
Azienda Agraria Franchetti di Bettini - Casanova F.lli s. soc. agricola, Casanova (CR) (anno di realizzazione 2010)	1000 KW	6.40E-04	-	-	-	-	-	-	-	3.86E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.96E-04	-	-	8.85E-06	9.35E-03	
PEZZA SOCIETA SEMPLICE AGRICOLA Basso (PR) (anno di realizzazione 2010)	1000 KW	1.95E-04	-	-	-	-	3.72E-03	-	-	4.8E-03	-	-	-	-	3.80E-02	-	8.30E-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0E-02	-	-	-	5.33E-06	0.00E-00		
CAT Energie (RE) (anno di realizzazione 2010)	1000 KW	1.02E-04	-	-	-	-	1.10E-03	-	-	4.22E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.72E-03	3.69E-03	-	-	7.88E-06	0.00E-00		
BIENERGY SOC. COOP. AGR. (anno di realizzazione 2010)	1000 KW	6.87E-03	-	-	-	-	6.87E-03	-	-	1.29E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.79E-02	-	-	-	6.29E-06	0.00E-00		
SOCIETA COOPERATIVA AGRICOLA BO CANALI Basso (TS) (anno di realizzazione 2010)	1000 KW	-	3.22E-02	1.23E-04	-	-	-	-	-	1.20E-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.72E-04	-	-	8.11E-06	1.27E-04	
TOTALE BOMBAE 700-1400 KW		1.75E+00	3.28E+00	4.99E+04	1.29E+04	0.09E+00	4.28E+04	3.78E+00	1.07E+03	2.75E+04	5.07E+00	2.89E+00	3.82E+00	8.09E+06	3.93E+03	3.88E+02	2.69E+00	8.39E+02	2.94E+03	2.11E+00	3.25E+03	8.19E+02	0.00E+00	1.89E+00	1.22E+00	1.09E+02	0.00E+00	0.00E+00	4.37E+04	2.9E+04	1.79E+00	3.14E+00	8.40E+01	1.23E+00	1.48E+00

*SCARTI ALIMENTARI (SOMMA DELLE VOCS): ORTOPUTTA E PATATE DI SCARTO; FARINE, BORO DI LATTE, VERDURE, FRUTTA, MELASSA, BUCCIA DI ARANCA, SCARTI DI ORTAGGI, BUCCETTE DI POMODORO, POLPA DI BARBIEROTTO, CPELLA, SEMI VIRE SIA, SPEZZATELLE DI MAS, PACHYINTERRALI, POLPE, DRAPPI

** EFFLUENTI ZOOTECNICI (SOMMA DELLE VOCS): LQUARI E LETAMI BOVINI SUINI, AVICOLI, EQUINI, CONIGLI, ALTRI

*** SOTTOPRODOTTI (SOMMA DELLE VOCS): SANGIA, SERO, SETACCATURA MAS, FORAGGIO IN PELLET, SOTTOPRODOTTI NON SPECIFICATI

AGROALIMENTARE

EDILIZIA COSTRUZIONI

ENERGIA

LEGNO ARREDO

ISBN 978-88-8286-385-2



enea.it