



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

TRATTORI A BIOMETANO PER RIDURRE L'UTILIZZO DELLE RISORSE FOSSILI NELLE LAVORAZIONI DI PIENO CAMPO

TIPO TESI: compilativa

Studente:
LORENZO LUCIANI

Relatore:
PROF. ESTER FOPPA PEDRETTI

Correlatore:
DOTT. ALESSIO ILARI

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

A me stesso,
per la dedizione, la determinazione
e la forza di non essermi mai tirato indietro
di fronte alle difficoltà

SOMMARIO

SOMMARIO	3
ELENCO DELLE TABELLE.....	5
ELENCO DELLE FIGURE	6
INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI	7
CAPITOLO 1 IL BIOGAS DA RIFIUTI URBANI	10
1.1 Generalità.....	10
1.2 Caratteristiche del processo	12
1.3 La frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU).....	14
CAPITOLO 2 IL BIOMETANO	17
2.1 Produzione ed utilizzo del biometano.....	17
2.2 Processi di pulizia del biogas.....	18
2.2.1 Desolforazione.....	18
2.2.2 Rimozione di silossani.....	18
2.2.3 Rimozione dell'ammoniaca	18
2.2.4 Rimozione dell'umidità.....	18
2.2.5 Rimozione dell'ossigeno e dell'azoto	19
2.3 Upgrading del biogas e produzione del biometano.....	19
2.3.1 Adsorbimento.....	19
2.3.2 Scrubbing (lavaggio) con acqua.....	20
2.3.3 Scrubbing (lavaggio) con composti organici	20
2.3.4 Scrubbing (lavaggio) chimico.....	20
2.3.5 Processi con membrane	20
2.4 Confronto tra i diversi processi.....	21
CAPITOLO 3 NORMATIVA E SVILUPPO DEGLI IMPIANTI	22
3.1 Normativa italiana e dell'Unione Europea.....	22
3.2 Diffusione degli impianti per la produzione di biometano	23
3.3 Impianti a biometano da FORSU	24

CAPITOLO 4 METANO VS DIESEL.....	26
4.1 Utilizzo del biometano come combustibile.....	26
4.2 Test di banco e in campo	27
4.2.1 Test di banco.....	27
4.2.2 Test di campo.....	28
4.2.3 Prove di funzionalità di campo del trattore.....	29
CAPITOLO 5 IL TRATTORE DEL FUTURO	31
5.1 Il trattore a metano prodotto in serie.....	31
5.2 Caratteristiche del nuovo trattore.....	32
5.2.1 Caratteristiche tecniche.....	32
5.3 Confronto in campo	33
5.4 Altre realizzazioni.....	34
CONCLUSIONI	36
BIBLIOGRAFIA	38

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1-1: Composizione generale del biogas	12
Tabella 1-2: Produzione di biogas di alcuni composti organici	13
Tabella 5-1: Tabella dei consumi di gasolio per l'impiego agevolato in agricoltura (U.M.A., Regione Abruzzo)	33
Tabella 5-2: Costo totale di carburante per la coltivazione di 1 ettaro di cereali autunno-vernini	34

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1-1: Principali biomasse (più o meno adatte alla produzione di biogas)	11
Figura 1-2 Processo di digestione anaerobica (Polito).....	13
Figura 1-3: Quantitativi dei rifiuti sottoposti al trattamento biologico, anni 2013-2022 (Fonte ISPRA).....	15
Figura 1-4: Composizione merceologica della frazione organica da raccolta differenziata sottoposta a trattamento biologico, anno 2022 (fonte ISPRA).....	16
Figura 2-1: Schema generale di conversione biogas-biometano (Mezzadri M.)	17
Figura 3-1: Schema generale del ciclo biogas- biometano	23
Figura 4-1: rappresentazione delle prestazioni di coppia e potenza dei diversi motori (fonte CREA).....	28
Figura 5-2: Ciclo del biometano finalizzato all'uso in campo.....	31

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

Al giorno d'oggi il tema dell'inquinamento è sempre più in rilievo nel tema ambientale. L'inquinamento non è altro che un'alterazione dell'ambiente di origine antropica o naturale. Possiamo dividere l'inquinamento in atmosferico, idrico e del suolo. Non esiste a priori una sostanza o un fattore di per sé inquinante o non inquinante ma dipende dall'ecosistema nel quale ci si trova. Ad esempio, se consideriamo l'atmosfera, le sostanze inquinanti sono tutti gli agenti fisici, chimici e biologici modificanti le caratteristiche naturali atmosferiche che possono causare un effetto dannoso su esseri viventi e ambiente; questi agenti di solito non sono presenti nella normale composizione dell'aria, oppure lo sono ad un livello di concentrazione inferiore. I principali inquinanti atmosferici sono il monossido (CO) e il biossido di carbonio (CO₂), gli idrocarburi incombusti (HC), il particolato (PM), gli ossidi di azoto (NO_x), benzene, idrocarburi policiclici aromatici e aldeidi. I loro effetti visibili sono l'aumento dell'effetto serra, imputabile alla CO₂, le piogge acide, dovute alla presenza di anidride carbonica che forma acido carbonico, e del biossido di zolfo (SO₂) e vari ossidi di azoto, che formano rispettivamente acido solforico (H₂SO₄) ed acido nitrico (HNO₃) i quali abbassano notevolmente il PH dell'acqua piovana. Tutti gli elementi inquinanti colpiscono l'uomo indirettamente, con gli effetti ambientali visti precedentemente, e non solo. Infatti, molti di essi sono cancerogeni e colpiscono prevalentemente le vie respiratorie causando la formazione di tumori. Per questo nel corso degli anni si è cercato di ridurre le emissioni tramite normative nazionali ed internazionali. Queste leggi hanno progressivamente imposto parametri sempre più ristrettivi grazie anche ai progressi tecnologici che hanno portato alla modifica di sistemi antiquati e all'introduzione di nuovi dispositivi per incrementare l'efficienza e ridurre le emissioni. Insieme al progresso tecnologico ha preso piede anche la ricerca di nuovi combustibili da utilizzare per la produzione di energia e per la locomozione, in parte perché le risorse petrolifere sono destinate ad esaurirsi, in parte per riuscire a ridurre nell'immediato l'inquinamento atmosferico. In particolar modo si è posta l'attenzione sul riutilizzo del materiale di scarto, non solo affinché esso sia riciclato, ma anche per sfruttare le sue proprietà. Per esempio, il materiale organico scartato tutti i giorni dai ristoranti, dalle industrie di alimenti e anche dalla cucina di casa propria può essere usato per la produzione di

energia. Infatti, esso viene stoccato in appositi impianti insieme a scarti provenienti da allevamenti, aziende agricole e/o colture dedicate al fine di ottenere un gas combustibile chiamato Biogas.

Alla base di questa tesi vi è un'analisi sull'effettiva capacità di produrre biometano, derivante da digestione anaerobica della biomassa, per l'alimentazione, sotto forma di combustibile, di un trattore studiato e sperimentato negli anni, con conseguente applicazione in campo. In particolare, si pone l'attenzione sulla produzione di biomassa derivante dalla frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU). Le motivazioni che mi hanno spinto ad approfondire questo tema sono di duplice natura. L'interesse sulla produzione di energia dal riciclo di sottoprodotti di scarto, nato e coltivato durante il periodo dello studio universitario, e la proiezione di un'agricoltura sempre più innovativa a livello tecnologico e nel rispetto dell'ambiente e di tutti i suoi componenti. L'obiettivo dell'elaborato è quello di fornire un'analisi complessiva del processo di produzione di biogas e successiva trasformazione in biometano con particolare riferimento all'utilizzo in campo confrontando ipotetici consumi tra un trattore a diesel e l'equivalente a biometano. Per la realizzazione dell'elaborato sono state effettuate delle ricerche in merito alla generalità dei diversi processi come base di spiegazione e successivamente, attraverso altre ricerche specifiche e l'utilizzo di alcuni calcoli aritmetici, sono state definite le sostanziali differenze in campo ipotizzando la coltivazione di cereali autunno-vernini. La tesi è suddivisa in quattro capitoli: nel primo capitolo viene fornita un'introduzione al biogas soffermandosi sulle diverse matrici utilizzabili; successivamente vengono esposte quelle che sono le tecnologie di produzione del biogas (entrando di più nello specifico) per poi concludere con l'evidenziare la matrice oggetto di studio, la FORSU. Nel secondo capitolo, invece, viene esposto il biometano: anche in questo caso partendo dalla generalità per poi soffermarsi sulle specifiche tecniche di pulizia ed upgrading finale aggiungendo nozioni sugli obiettivi dell'unione europea. Con il terzo capitolo, dopo un breve richiamo al biometano come combustibile, viene posto in rilievo uno studio relativo al confronto di due trattori agricoli identici che differenziano solo nel tipo di carburante utilizzato. Nel quarto capitolo, ci si addentra nel 'trattore a biometano', dalla sua nascita, agli sviluppi negli anni, e ponendo eventuali riscontri di coinvolgimento sulla base di alcuni dati, facendo riferimento alle caratteristiche costruttive della casa madre, confrontando i motori alimentati con diverso combustibile, e sulla base di valori tabellari di riferimento vengono effettuati dei calcoli che permettono di confrontare i diversi dispendi energetici dei due motori. Grazie a questo elaborato è stato possibile fornire un quadro

generale sull'utilizzo del biometano nel lavoro in campo, esponendo i risultati nelle conclusioni finali.

Capitolo 1

IL BIOGAS DA RIFIUTI URBANI

1.1 Generalità

Il biogas è un combustibile gassoso ottenuto dalla trasformazione anaerobica di biomasse di scarto di origine animale e vegetale. Questa trasformazione può avvenire spontaneamente nelle discariche, in ambiente naturale o agricolo limitandosi alla soddisfazione di alcune condizioni quali: la presenza di materiali putrescibili, l'elevata umidità e la parziale o completa assenza di ossigeno atmosferico. Nel momento in cui avviene naturalmente la produzione di biogas, parallelamente viene a crearsi un problema a livello ambientale in quanto i gas emessi concorrono all'aumento dell'effetto serra, essendone anch'essi i responsabili, infatti, i composti organici volatili presenti nel biogas sono dannosi per l'ambiente e per l'uomo. Reagiscono con gli NO_x (ossidi di azoto) e formano O_3 (ozono) e particolato secondario per reazione fotochimica. È facilmente deducibile che questo processo a livello naturale e spontaneo può essere riprodotto all'interno di un impianto specializzato per la digestione anaerobica, producendo biogas in condizioni controllate dove deve essere considerata la velocità delle reazioni biochimiche coinvolte, che è strettamente legata alla temperatura, infatti le nuove tecniche impiantistiche tendono a privilegiare condizioni mesofile (32-42°) o termofile (50-57°). Le sostanze organiche che vengono utilizzate nel processo possono derivare da diversi settori produttivi:

- agricolo, con i reflui zootecnici, i residui colturali e/o dalle colture dedicate (mais, sorgo ecc.)

- agroindustriale, per quanto riguarda gli scarti di macellazione, di industrie lattiero-casearie, dell'orto-frutticolo

- industriale, come fanghi di depurazione

- civile, depurazione di fanghi e FORSU (frazione organica rifiuti solidi urbani).

Figura 1-1: Principali biomasse (più o meno adatte alla produzione di biogas)

Biomassa	Sostanza secca (s.s)(g/kg t.q.)	Solidi volatili (g/Kg s.s.)	Azoto (g/Kg s.s.)	Produzione potenziale di Biogas	
				Metodo respirometrico (mg O ₂ /g s.s in 20 Ore)	Test di biogassificazione (m ³ /t s.s.)
Insilato di Mais	300±6	315±3	16±1	184±19	668±21
Insilato di Sorgo	200±4	905±3	16±1	88±39	594±37
Farina di Mais	327±7	969±1	46±1	167±15	690±19
Farina di Riso	890±18	891±2	27±1	106±21	582±11
Granella di Mais	267±5	954±2	21±1	153±23	685±24
Liquame Suino	30±1	602±1	164±3	125±1	387±8
Liquame Bovino	18±1	799±5	10±1	36±7	135±8
Pollina	235±5	680±1	134±2	86±11	416±27
Deiezioni di coniglio	371±7	861±1	179±3	45±5	351±10
Rifiuto organico selezionato (1)	551±11	983±2	20±0	189±78	781±103
Rifiuto organico selezionato (2)	481±10	949±13	32±1	245±20	782±40
Rifiuto organico selezionato (3)	452±9	954±13	28±1	265±7	777±45
Scarti di frutta e verdura	237±5	915±2	28±1	171±33	667±3
Scarti di carne e pesce	424±8	960±1	88±2	378±72	980±56
Scarti di macellazione	190±4	998±2	21±3	139±4	540±0
Bucce di mandorle	682±14	940±2	24±1	98±12	687±144
Scarti della panificazione	660±13	984±1	21±2	112±23	731±178
Scarti lattiero-caseari	144±3	924±1	0.2±0.1	293±20	783±120
Fango di depurazione impianto (1)	193±4	689±2	46±1	83±3	240±5
Fango di depurazione impianto (2)	221±4	642±3	34±1	143±81	285±22
Olio di oliva	996±20	1000	0	377±20	1549±6
Olio di girasole	989±20	1000	0	407±144	1523±7
Burro	850±17	1000	0	243±81	1282±176

Il dato maggiormente interessante, riportato da questa tabella, è naturalmente il potenziale metanigeno, ossia la capacità che ciascuna biomassa ha di produrre metano tramite digestione anaerobica.

La sostanza organica subisce una degradazione biologica in condizione di anaerobiosi (in assenza, cioè, di ossigeno molecolare, come O₂, o legato ad altri elementi), con la successiva formazione di diversi prodotti, i più abbondanti dei quali sono due gas, il metano (CH₄) e l'anidride carbonica (CO₂) insieme ad altri sottoprodotti quali solfuro di idrogeno (H₂S), l'ammoniaca (NH₃), l'azoto (N₂) e l'ossigeno (O₂).

Tabella 1-1: Composizione generale del biogas

COMPOSIZIONE BIOGAS	% DI CONCENTRAZIONE
METANO (CH ₄)	50-80 %/Vol.
ANIDRIDE CARBONICA (CO ₂)	20-50 %/Vol.
AMMONIACA (NH ₃)	0-300 ppm
ACIDO SOLFIDRICO (H ₂ S)	50-5000 ppm
AZOTO (N ₂)	1-4 %/Vol.
OSSIGENO (O ₂)	< 1 %/Vol.
UMIDITA' (H ₂ O)	Saturato al 2-5 % in massa

1.2 Caratteristiche del processo

Nel processo vengono coinvolti diversi gruppi microbici interagenti tra loro: i batteri idrolitici, i batteri acidificanti (acetogeni ed omoacetogeni) ed i batteri metanigeni, quelli cioè che producono metano e CO₂. Il processo biodegradativo si compone delle seguenti fasi: una prima fase di idrolisi dei substrati complessi accompagnata da acidificazione con formazione di acidi grassi volatili, chetoni ed alcoli; una successiva fase acetogenica, in cui, a partire dagli acidi grassi, si ha la formazione di acido acetico, acido formico, biossido di carbonio ed idrogeno molecolare, ed, infine, un'ultima fase in cui, a partire dai prodotti della fase precedente, avviene la metanizzazione, cioè la formazione di metano a partire dall'acido acetico o attraverso la riduzione del biossido di carbonio utilizzando l'idrogeno come co-substrato. In minor misura si ha la formazione di metano a partire dall'acido formico.

Più nello specifico nell'Idrolisi ed acidificazione, per intervento di diversi gruppi batterici, si ha la degradazione di substrati organici complessi quali proteine, grassi e carboidrati, con formazione di composti semplici, quali aminoacidi, acidi grassi e monosaccaridi in forma solubile. I microrganismi acidogeni fermentanti operano l'ossidazione dei substrati organici semplici a piruvato che viene poi trasformato in acidi grassi volatili, alcoli e chetoni che rappresentano i substrati di partenza per la successiva fase acetogenica.

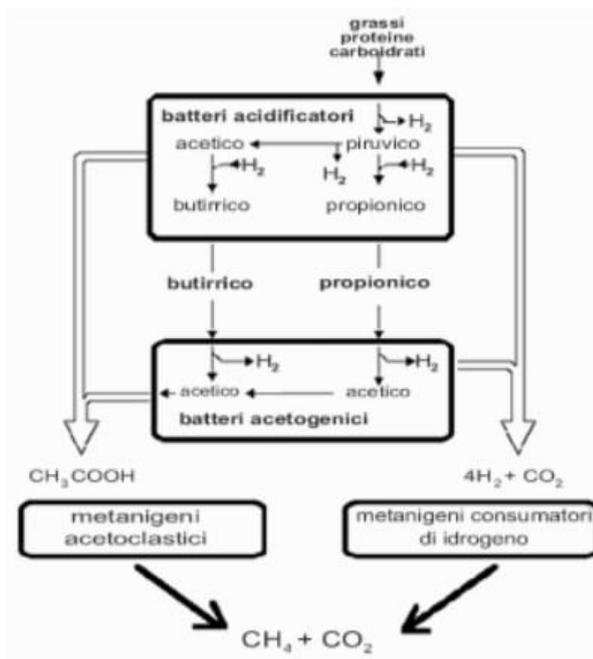
Tabella 1-2: Produzione di biogas di alcuni composti organici

COMPONENTE ORGANICA	PRODUZIONE TEORICA DI BIOGAS (Nm ³ /t s.v.)
CARBOIDRATI	750
GRASSI	1390
PROTEINE	800

Nell'acetogenesi, a partire dai substrati formati nel corso della fase di idrolisi ed acidificazione, i batteri acetogeni producono acido acetico, acido formico, CO₂ ed H₂.

Infine, nella metanogenesi, avviene la produzione di metano (CH₄) che rappresenta la conclusione della catena trofica anaerobica. Il metano, infatti, è l'unico composto non reattivo nell'intero processo di digestione anaerobica e può, pertanto, essere considerato il prodotto finale dell'intero processo. La produzione del metano può avvenire attraverso due differenti vie di reazioni: una via prevede la metanogenesi ad opera dei batteri idrogenotrofi, che operano l'ossidazione anaerobica dell'idrogeno, mentre la seconda via, la cosiddetta via acetoclastica, prevede la dismutazione anaerobica dell'acido acetico con formazione di metano e biossido di carbonio.

Figura 1-2 Processo di digestione anaerobica (Polito)



1.3 La frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU)

Per alimentare una centrale da 1 MW usando solamente prodotti appositamente coltivati occorrono circa 300 ha di terreno a disposizione. Pertanto, se ciò venisse effettuato su grande scala per molte migliaia di ettari su terreni agricoli di pregio già utilizzati per l'alimentazione umana o animale, si sottrarrebbe terreno alla produzione di derrate alimentari. È pertanto fondamentale regolamentare la percentuale e la tipologia di superficie nazionale coltivabile a biomasse, per mantenere un equilibrio fra colture dedicate all'alimentazione umana o animale e colture dedicate alla produzione di energia (Anon., *Biogas*). Per questo motivo, nonostante la presenza di diverse matrici, il rifiuto urbano rappresenta uno dei flussi solidi più importanti da inviare a smaltimento, sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo, soprattutto al giorno d'oggi in cui la raccolta differenziata, il riciclaggio e la valorizzazione di sottoprodotti sono sempre più oggetto di studio ed evoluzione per salvaguardare l'impatto sull'ambiente e sulla salute umana, riducendo la quantità dei rifiuti prodotti e permettere di sviluppare le più appropriate tecnologie di trattamento. L'utilizzo della digestione anaerobica per trattare i rifiuti consente sia di conseguire un notevole recupero energetico, attraverso l'utilizzo del biogas prodotto, sia di produrre, attraverso il trattamento aerobico del fango digerito, un residuo utilizzabile come ammendante organico in agricoltura o per ripristini ambientali. Di certo il recupero energetico è il fattore più interessante, in quanto il biogas prodotto, costituito per la maggior parte da metano (circa il 50-60%), utilizzabile come combustibile, ha un elevato potere calorifico (4000-5000 kcal/Nm³) e pertanto può essere convertito in diverse forme di energia utili quali: calore, elettricità e cogenerazione (produzione congiunta di elettricità e calore).

La frazione umida dei rifiuti urbani ha un'umidità (>65%) e una putrescibilità tale da essere molto adatta alla digestione anaerobica e se raccolta nel modo giusto è fondamentale nel sistema di gestione dei rifiuti e di tutto il sistema. Non da sottovalutare, però, che: la presenza di matrici non compostabili obbliga una fase di pretrattamento della FORSU; il digestato prodotto dalla digestione non può essere direttamente distribuito sul terreno in quanto viene classificato come rifiuto speciale, pertanto, deve essere sottoposto a processi di compostaggio per la produzione di ammendanti organici; la concentrazione degli impianti in determinate zone fa sì che siano più elevati i costi di trasporto dalle zone più lontane.

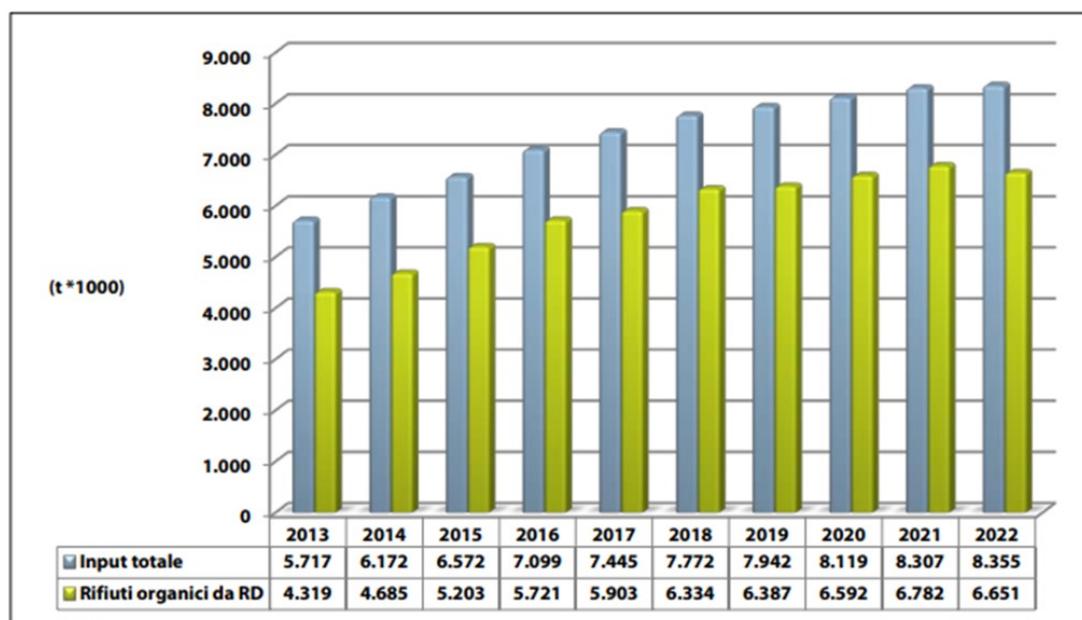
L'interesse verso i sistemi integrati di trattamento si mostra particolarmente rilevante nell'anno 2022, caratterizzato dalla riduzione di 8 unità nel settore del compostaggio, contrapposta all'entrata in esercizio di 9 nuovi impianti di trattamento integrato (di cui 4 oggetto di riconversione da trattamento aerobico e 1 di digestione anaerobica completato con

la sezione di trattamento aerobico) e di 1 impianto di sola digestione anaerobica. Ne deriva un ulteriore incremento della capacità di trattamento dell'intero settore che passa da circa 11,2 milioni di tonnellate dell'anno 2021 a circa 12 milioni di tonnellate. Nell'anno 2022, l'intero sistema è costituito da 358 unità operative, e, in particolare:

- 285 impianti dedicati al solo trattamento aerobico (compostaggio);
- 51 impianti di trattamento integrato anaerobico/aerobico;
- 22 impianti di digestione anaerobica (19 al nord, 1 al centro, 2 al sud)

Il grafico mostra l'andamento dei quantitativi di rifiuti gestiti nel periodo dal 2013 al 2022, con il dettaglio riferito alla frazione organica proveniente dalla raccolta differenziata (umido + verde). L'analisi dei dati mostra una progressiva crescita del settore sia con riferimento alle quantità complessivamente trattate (+ 46,1% tra il 2013 ed il 2022), che con riferimento alla sola frazione organica, i cui quantitativi aumentano, nello stesso periodo, del 54%.

Figura 1-3: Quantitativi dei rifiuti sottoposti al trattamento biologico, anni 2013-2022
(Fonte ISPRA)

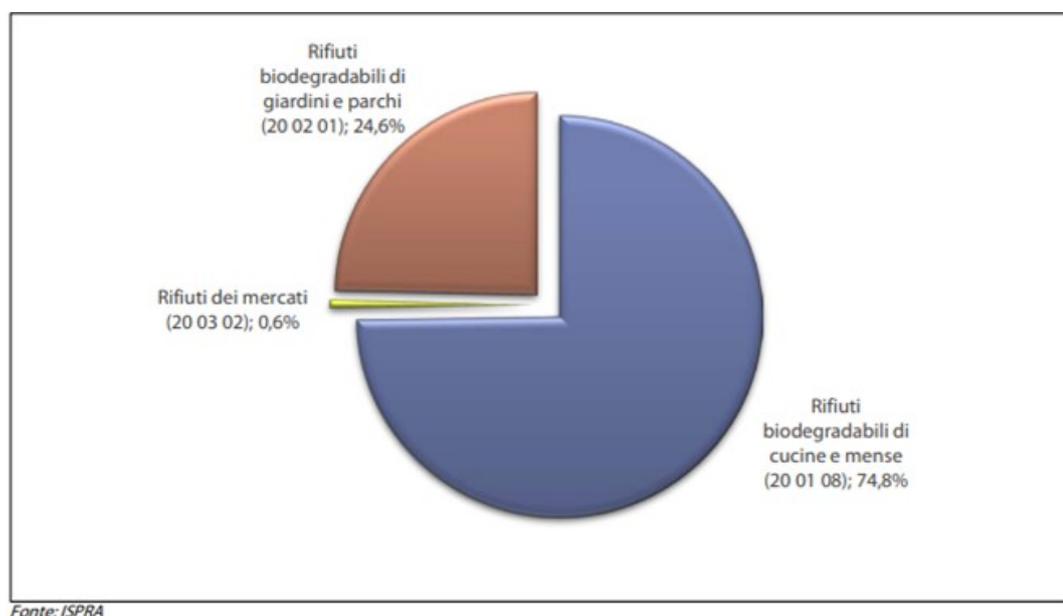


Fonte: ISPRA

Nell'anno 2022, la quantità totale di rifiuti recuperati attraverso i processi di trattamento biologico (circa 8,4 milioni di tonnellate) non evidenzia variazioni di rilievo, mostrando, rispetto al 2021, un lieve incremento di 47 mila tonnellate (+ 0,6%). La quota dei rifiuti organici, che passa da circa 6,8 milioni di tonnellate a circa 6,7 milioni di tonnellate (pari al 79,6% totale trattato), segna, invece, una contrazione di circa 132 mila tonnellate (-1,9%)

determinata, essenzialmente, dal minore contributo dei rifiuti biodegradabili provenienti dalla manutenzione di giardini e parchi (codice EER 200201) che, presumibilmente, non sono interamente destinati alla produzione di ammendanti ma, in parte, avviati ad altre tipologie di gestione quali, ad esempio, la sola triturazione e riduzione in pellets o la produzione di biomasse combustibili. (Fonte: ISPRA)

Figura 1-4: Composizione merceologica della frazione organica da raccolta differenziata sottoposta a trattamento biologico, anno 2022 (fonte ISPRA)

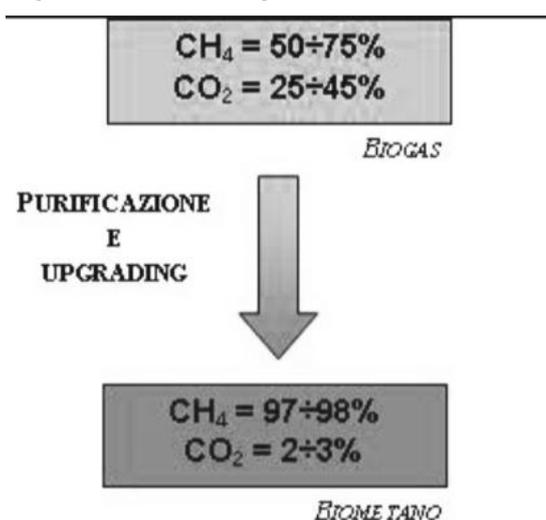


Capitolo 2 IL BIOMETANO

2.1 Produzione ed utilizzo del biometano

Grazie a uno schema di incentivi a favore della produzione di biocarburanti, la tendenza, in forte consolidamento a partire dal 2018, è quella di accrescere un sistema di trattamento ancora più strutturato, che fa seguire alla linea di produzione del biogas un processo di upgrading per la produzione di biometano, ovvero un gas da fonti rinnovabili con proprietà identiche a quello del gas naturale, ma generato attraverso il trattamento di purificazione del biogas (upgrading), per essere utilizzato nell'autotrazione o immesso nella rete di distribuzione del gas naturale. Nello specifico, per la maggior parte delle applicazioni, il biogas prodotto dal processo di digestione anaerobica deve essere opportunamente purificato e migliorato, eliminando tutti quei componenti che risultano dannosi per le attrezzature o per l'applicazione prevista o che ne riducono il contenuto energetico. In particolare, è necessario rimuovere il principale contaminante costituito dall'H, S, oltre a Na, O₂, silossani, eventuali composti organici volatili, CO₂, e NH₃, se presenti in quantità non trascurabili.

Figura 2-1: Schema generale di conversione biogas-biometano (Mezzadri M.)



2.2 Processi di pulizia del biogas

In seguito, verranno riportati i vari metodi disponibili per la pulizia di un biogas.

2.2.1 *Desolforazione*

Durante la fase di desolforazione, la rimozione di H₂S può avvenire:

- Agendo sulla fase liquida del materiale presente nel digestore, tramite l'applicazione di metodi di precipitazione chimico-fisica operata mediante l'addizione di cloruro ferroso (FeCl₂), cloruro ferrico (FeCl₃) o solfato di ferro (FeSO₄).

- Agendo sul biogas da sottoporre o sottoposto a upgrading (si può operare in un reattore specifico ovvero contestualmente al processo di rimozione della CO₂ nella stessa colonna ove avviene il vero e proprio processo di upgrading).

2.2.2 *Rimozione di silossani*

Con il termine "silossani" si indicano quei composti che contengono legami Si-O con gruppi organici. Durante la digestione anaerobica i silossani non si decompongono e quindi possono essere facilmente trovati nel biogas grazie alla loro alta volatilità. Il maggior problema legato alla presenza dei silossani nel biogas consiste nel fatto che essi producono silice microcristallina (MCS) ad esempio durante il processo di combustione. L' MCS ha proprietà simili al vetro e lo sporco di superfici metalliche genera abrasione, surriscaldamento ed in generale deterioramento delle parti meccaniche dei motori. È da sottolineare che, se il biogas proviene da digestione di deiezioni animali, i silossani non sono presenti per cui il problema riguarda solo il biogas prodotto da discariche di rifiuti urbani.

2.2.3 *Rimozione dell'ammoniaca*

L'ammoniaca viene solitamente separata quando il biogas viene essiccato mediante raffreddamento visto che la sua solubilità in acqua liquida è alta. Inoltre, la maggior parte delle tecnologie per la rimozione dell'anidride carbonica sono selettive per la rimozione di ammoniaca. Di solito non si necessita di ulteriore pulizia.

2.2.4 *Rimozione dell'umidità*

Il biogas che esce dai digestori è sempre saturo d'acqua e il contenuto di acqua assoluto dipende dalla temperatura (a 35° C, il contenuto di acqua del biogas è solitamente del 5%). Questa acqua deve essere essiccata se il biogas deve essere utilizzato per l'iniezione nella rete o per il carburante dei veicoli, e anche per le turbine a gas e per la cogenerazione. L'acqua può

essere rimossa mediante separazione fisica (condensa) ed essiccazione chimica (adsorbimento).

2.2.5 Rimozione dell'ossigeno e dell'azoto

La presenza di ossigeno e/o di azoto nel biogas indica l'ingresso di aria nel sistema. Questo è comune nel biogas da discarica, che viene raccolto tramite tubazioni permeabili poste in leggera depressione. Bassi livelli di ossigeno non sono un problema, ma alti livelli possono creare rischi di esplosione. In alcuni processi di purificazione come il PSA e le membrane, il contenuto di ossigeno e di azoto viene in parte ridotto.

2.3 Upgrading del biogas e produzione del biometano

Per upgrading si intende essenzialmente la rimozione della anidride carbonica dal biogas in modo da ottenere da un gas avente una maggiore densità energetica.

Pressure Swing Adsorption (PSA)

Con questa tecnica l'anidride carbonica viene separata dal biogas grazie all'adsorbimento su un solido a pressioni elevate. Il materiale adsorbente, generalmente un carbone attivo o una zeolite, viene poi rigenerato riducendo la pressione prima che la colonna venga pressurizzata di nuovo. Se il gas da trattare contiene H_2S , esso verrà adsorbito in maniera irreversibile dal solido. Inoltre, anche eventuale acqua presente nel gas grezzo potrebbe danneggiare la struttura del materiale adsorbente. Pertanto, entrambi devono essere rimossi prima dello step di PSA.

2.3.1 Adsorbimento

In un processo di adsorbimento il biogas grezzo viene messo in intimo contatto con una corrente di liquido in una colonna (generalmente riempita di materiale inerte per aumentare l'area di contatto). Il fattore determinante in questo processo è costituito dal fatto che l'anidride carbonica è maggiormente solubile del metano nella soluzione liquida utilizzata. Il liquido uscente dalla colonna sarà pertanto ricco in anidride carbonica, mentre il gas uscente lo sarà in metano. La soluzione adsorbente può essere composta semplicemente da acqua, o da composti organici per adsorbimenti fisici o, infine, da composti (organici e non) per adsorbimenti chimici.

2.3.2 *Scrubbing (lavaggio) con acqua*

La CO₂ possiede una solubilità superiore al metano, in acqua, per cui verrà preferibilmente disciolta in essa, soprattutto a basse temperature. In una colonna di lavaggio ad acqua, pertanto, la corrente di gas si arricchirà in metano e la corrente di liquido in CO₂.

Il lavaggio con acqua rappresenta la tecnica di upgrading tra le più utilizzate e diversi impianti sono disponibili commercialmente a seconda della capacità richiesta.

2.3.3 *Scrubbing (lavaggio) con composti organici*

Il lavaggio con composti organici è simile a quello con l'acqua, con l'unica ed importante differenza che l'anidride carbonica è adsorbita fisicamente da un solvente organico, ad esempio il glicole polietilenico. Anche in questo caso la rigenerazione avviene per via termica o per depressurizzazione. Il processo è in grado di rimuovere allo stesso tempo H₂S, acqua, ossigeno ed azoto.

2.3.4 *Scrubbing (lavaggio) chimico.*

Il lavaggio chimico utilizza soluzioni alcaline o soluzioni di ammine. L'anidride carbonica non viene solo adsorbita dalla soluzione liquida ma reagisce chimicamente con essa. La reazione chimica è particolarmente selettiva per cui le perdite di metano sono estremamente ridotte (<0.1%). Come nei casi precedenti il liquido contenente la CO₂ deve essere rigenerato termicamente. L' H₂S viene assorbita dalla soluzione amminica ma questo comporta ulteriori difficoltà dello step di rigenerazione. Pertanto, è buona pratica rimuovere l'H₂S in ogni caso prima dello step di upgrading.

2.3.5 *Processi con membrane*

Le membrane utilizzate per l'upgrading del biogas sono costituite da materiali che sono permeabili all'anidride carbonica, all'acqua ed all'ammoniaca ma non sono permeabili all'azoto ed al metano. Anche in questo caso è buona norma eliminare preventivamente l'H₂S. Le proprietà di questa tecnica di separazione dipendono dalla tipologia di membrana utilizzata, ovvero materiali polimerici come cellulosa acetato (CA), policarbonato (PC) bromurato, poliimmidi (PI) e polifenilenossido (PPO). Per mantenere delle buone prestazioni di processo, è necessario rimuovere dal biogas acqua ed eventuali gocce d'olio e idrocarburi. Per aumentare quanto più possibile la vita dell'impianto è importante prevedere un pretrattamento di rimozione dell'idrogeno solforato mediante carboni attivi.

2.4 Confronto tra i diversi processi

In generale, il biogas viene compresso a 5-20 bar ed alimentato alla fase di upgrading. Con questa configurazione, tuttavia, non è possibile superare il 95% di recupero del CH₄. Con

riferimento al più maturo processo gas-gas, comunque, il vantaggio principale del trattamento con membrane è legato alla disponibilità di una tecnologia compatta che richiede costi energetici e di impianto relativamente bassi; inoltre, essa è facilmente applicabile a piccole taglie impiantistiche a differenza di processi come la PSA o gli assorbimenti. Tuttavia, sebbene l'investimento iniziale sia basso, le membrane tendono ad usurarsi facilmente nel tempo perdendo di efficienza. È spesso necessario sostituire i moduli ogni 2-5 anni, a differenza di una tipica vita d'impianto per le altre tecnologie di 10 anni. Oltre ai processi a membrana, le tecnologie oggi più utilizzate nei processi di upgrading sono la PSA, il lavaggio con acqua, il lavaggio con composti organici ed il lavaggio chimico.

Capitolo 3

NORMATIVA E SVILUPPO DEGLI IMPIANTI

3.1 Normativa italiana e dell'Unione Europea

La prima norma relativa al biometano risale al Decreto del 5 dicembre 2013 con il quale vengono previsti degli incentivi sul biometano per l'immissione in rete, per la cogenerazione e per i trasporti, stabilendo le caratteristiche fisico-chimiche necessarie affinché possa essere immesso nella rete e le modalità di misurazione delle quantità in ingresso e in uscita dai metanodotti. Con il decreto sono stati individuate tre categorie d'impianto per le quali sono stati definiti diversi aspetti normativi, come ad esempio la data di primo funzionamento e/o inserimento nella rete del gas naturale, l'obbligo di connessione di terzi o sistemi di trasporto secondari non connessi alla rete di trasporto, un'unità di misura standardizzata per misurare la capacità produttiva dell'impianto e le disposizioni fiscali da applicare a ogni impianto. Dato al soggetto produttore la facoltà di immettere in rete il biometano, l'assegnazione degli incentivi avviene da parte del GSE pubblicando annualmente un bollettino informativo con l'elenco degli impianti ammessi agli incentivi. L'incentivo può avvenire a condizione che l'impianto abbia una capacità produttiva di almeno 250 standard metri cubi/ora e se la tipologia delle materie impiegate per la produzione del biometano risultano essere dei rifiuti in una percentuale di almeno il 50% in peso. Il decreto appena illustrato verrà sostituito con il decreto del 2 marzo 2018 che promuove l'uso del biometano e degli altri biocarburanti avanzati nel settore dei trasporti in linea con la Direttiva Europea sulla promozione dell'energia da fonte rinnovabile. Con tale decreto, si predispone un aggiornamento per dare priorità al biometano da impiegare nel settore dei trasporti, rinviando l'uso e l'applicazione dello stesso a un successivo decreto da emanare a valle del raggiungimento del target delle fonti rinnovabili nei trasporti. Entra in vigore il decreto 8 novembre 2021 con il quale vengono posti gli strumenti, i meccanismi, gli incentivi e il quadro istituzionale, finanziario e giuridico, necessari per accelerare il percorso di crescita sostenibile del Paese in coerenza con gli obiettivi europei di decarbonizzazione del sistema energetico al 2030 e di completa decarbonizzazione al 2050. Verranno attuati nel decreto del 15 settembre 2022 con il quale si recano disposizioni per la definizione degli incentivi al biometano immesso nella rete

Il biogas, prodotto della digestione anaerobica (AD) di rifiuti, se opportunamente trattato, ha la capacità di sostituire i combustibili fossili nei trasporti o per la produzione di elettricità (Koonaphapdeelert et al., 2020).

Nel 2018 gli impianti attivi erano 6 con 86 mln di m³/anno di biometano prodotto. Nel 2020 in Italia sono entrati in funzione 11 nuovi impianti e nel 2021 gli impianti di produzione tra biogas e biometano erano circa 2000. Sono attualmente 85 gli impianti di produzione del biometano, con una producibilità attesa pari a 572 milioni di smc all'anno. A livello europeo, invece, l'anno record finora è stato il 2021, con una produzione di biometano che ha raggiunto i 3 miliardi di metri cubi. In relazione all'Italia la filiera biogas- biometano presenta specifici vantaggi rispetto alle altre fonti di energia rinnovabile (FER):

- Può essere realizzata in impianti ad alta efficienza con costi di produzione ridotti utilizzando biomasse di origine italiana

- Raffinando il biogas, il biometano può essere accumulato tramite la buona rete gas dotta e gli stoccaggi utilizzati per il gas naturale

- La capillarità della rete gas italiana permetterebbe un possibile uso per tutta la popolazione

- Non è necessario avere un impianto di produzione nelle vicinanze grazie alla rete di fornitura.

3.3 Impianti a biometano da FORSU

In Italia, nel sessennio dal 2013 al 2018, la frazione organica dei rifiuti urbani differenziati è passata da circa 5,2 milioni tonnellate/annuo a ben 8,7 milioni tonnellate/annuo con 326 impianti di compostaggio o combinati di digestione anaerobica/compostaggio producendo anche circa 2 milioni di tonnellate di compost.

Il CIC (consorzio italiano compostatori) ha calcolato che in uno scenario di raccolta differenziata della frazione umida pienamente sviluppato, se tutta la FORSU fosse trasformata in biometano, con un potenziale di biometano di circa 675 milioni di Nm³/anno (Normal metrocubo/anno), tale quantità sarebbe sufficiente per alimentare l'intera flotta di veicoli dedicati alla raccolta differenziata dei rifiuti urbani. Nel giugno 2017 il primo impianto italiano per la produzione di biogas da rifiuti a matrice organica si è allacciato alla rete, immettendo quindi biometano ottenuto dalla FORSU. A fine 2020 sono 12 gli impianti di digestione anaerobica e compostaggio italiani in grado di produrre biometano esclusivamente dal trattamento dei rifiuti organici della raccolta differenziata e di immettere il biometano nelle reti nazionali di trasporto o distribuzione, per essere valorizzato nel settore dell'autotrazione.

Secondo stime CIC, una ipotesi realistica indica in 200-250 milioni di m3 la produzione nazionale di biometano da rifiuti entro il 2025.

Capitolo 4

METANO VS DIESEL

4.1 Utilizzo del biometano come combustibile

Considerando che il biometano potrebbe essere immesso nella rete di gas naturale o avendo la possibilità, le aziende agricole, di autoprodursi biometano, ecco che oltre agli autotrasporti potrebbe essere utile l'utilizzo come carburante nei motori endotermici delle macchine agricole. A partire dal 2009 si sono avuti i primi sviluppi di prototipi di trattori agricoli e forestali alimentati a metano da parte di importanti ditte costruttrici. La casa costruttrice CNH (Case-New Holland) produce il primo prototipo di trattore con motore endotermico a metano (2013), dal quale poi, ha continuamente testato prototipi di trattori alimentati a metano in tutto il mondo fino ad arrivare al 2020 quando inizieranno a vedersi i primi esemplari di serie al lavoro nei campi. Alla fine del 2013 vi è stata la pubblicazione del Decreto "Modalità di incentivazione del biometano immesso nella rete del gas naturale" del Ministero per lo Sviluppo economico. Queste azioni evidenziano come esistano e siano concrete le condizioni tecniche necessarie all'introduzione di trattori alimentati a biometano che rappresenta uno degli impieghi più interessanti del biogas. Obiettivo della presente linea di ricerca è di tracciare la reale possibilità di inserimento del biometano nella filiera agricola, in particolare come combustibile per i trattori, ma anche per altri usi (ad es.: motopompe per irrigazione). Gli aspetti economici delle varie soluzioni tecniche ipotizzabili per le aziende agricole produttrici di biometano, anche grazie agli incentivi introdotti, sembrano molto incoraggianti anche se i costi per l'acquisto di trattori specifici dovessero subire incrementi del 10-20% rispetto a macchine convenzionali di livello equivalente. Inoltre, la purificazione del biogas in biometano, la possibilità di una sua immissione nella rete di distribuzione e la sua elevata possibilità di stoccaggio (14,7 miliardi di m³; MSE, 2010), rendono molto interessante la possibilità di sviluppo di una rete capillare di stazioni di servizio del metano. Sono, infatti, circa 1.000 i distributori di metano in Italia (Fonte: metanoauto.com, 2012) e circa altrettanti gli impianti di biogas agro-zootecnico (Fonte: CRPA, 2013) attrezzabili come stazioni di upgrading del biogas e di distribuzione di biometano. Un'associazione regionale svedese di portatori d'interesse nel settore del biogas, dichiara che il potenziale di trattori alimentati a

metano potrebbe essere di 3-4 trattori per ogni stazione di rifornimento. Pertanto, considerando in Italia solo il 50% dei 2000 distributori di metano potenzialmente utilizzabili, si può stimare, prudenzialmente, in circa 3-4000 unità il parco trattori alimentabile a metano, quindi meno dell'1% dell'attuale parco trattori nazionale.

4.2 Test di banco e in campo

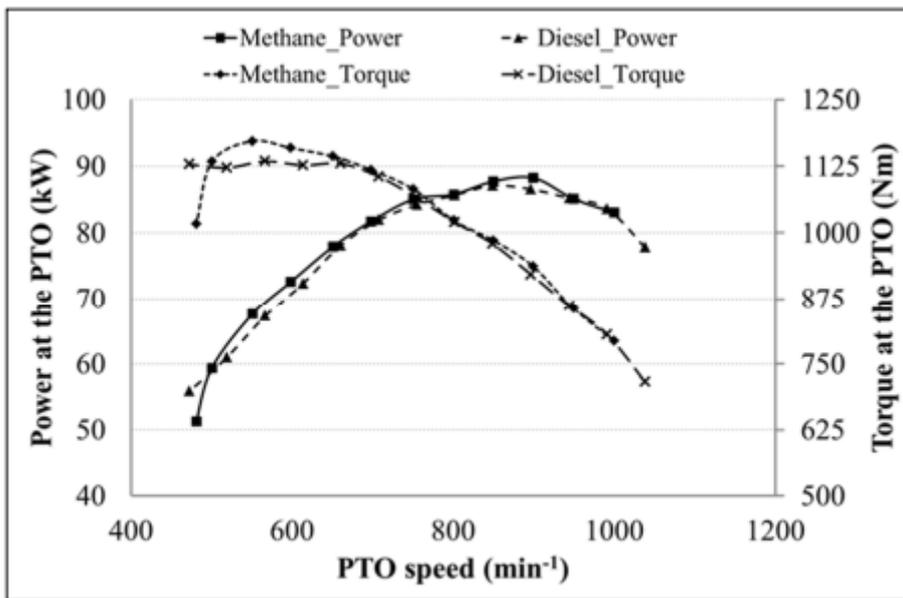
Come descritto precedentemente, nel 2013 è stato progettato e realizzato il primo trattore a metano, sul quale è stata condotta un'attività sperimentale relativa a un confronto, in condizioni di laboratorio, con l'equivalente trattore a diesel. Le condizioni di laboratorio hanno fatto riferimento ai Codici dell'OCSE, per la misura del baricentro e la valutazione delle prestazioni alla presa di potenza e in pista. Successivamente, il trattore a metano è stato utilizzato in condizioni di campo per valutarne le prestazioni e l'autonomia in operazioni aventi un diverso livello di intensità. Le condizioni di campo hanno previsto di utilizzare il trattore a biometano in un'azienda commerciale ad indirizzo cerealicolo-zootecnico in abbinamento a tre macchine operatrici (rimorchio, ripuntatore, erpice) aventi richieste diversificate in termini di prestazioni del trattore. Per lo sviluppo del progetto è stato identificato un trattore commerciale multifunzionale di media potenza a quattro ruote motrici (New Holland T6.140). Questa tipologia di trattori è generalmente soggetta ad un'alta frequenza di utilizzo con un'ampia gamma di operazioni e con un elevato interscambio di attrezzi. Il trattore scelto è stato adattato per ricevere un motore a metano con potenza nominale di 100 kW di potenza e le relative bombole di gas. Le prestazioni del prototipo sviluppato sono state testate con l'obiettivo di confrontare il trattore alimentato a metano con un trattore diesel standard appartenente alla stessa categoria in termini di potenza, dimensioni, impostazioni e utilizzo (NH T6050 Elite). In particolare, la potenza nominale del trattore diesel confrontato era di 93,2 kW mentre la potenza massima di 101,4 kW. I test sono stati effettuati sia in laboratorio che in campo. Considerando che, in Italia, all'epoca della sperimentazione non erano ancora state rilasciate specifiche ufficiali per la produzione, la distribuzione e l'uso di biometano, è stato utilizzato il metano comune delle normali stazioni di servizio.

4.2.1 Test di banco

I test di laboratorio miravano a valutare la potenza massima del motore e la coppia disponibile alla presa di potenza (pdp) e alla barra, il baricentro del trattore e il campo visivo dell'operatore. La potenza e la coppia misurate alla pdp forniscono i valori effettivamente disponibili all'utente finale e forniscono dati facilmente confrontabili tra i trattori. I test sono

stati eseguiti seguendo il codice OCSE n. 2 (OCSE, 2013) collegando i trattori, tramite la presa di potenza, ad un freno dinamometrico a correnti parassite Zollner B500A (Kiel, Germania) per ottenere curve motore “potenza vs giri” e “coppia vs giri” senza correzione per perdite nella trasmissione di potenza tra la presa di potenza e il banco dinamometrico. I trattori sono stati azionati dopo un periodo di riscaldamento sufficientemente lungo perché la potenza si stabilizzasse, quindi, i comandi del regolatore sono stati impostati per la massima potenza. La potenza massima riportata è stata la media di sei letture effettuate durante il periodo di prova con una variazione di potenza inferiore al 2% rispetto alla media

Figura 4-1: rappresentazione delle prestazioni di coppia e potenza dei diversi motori (fonte CREA)



4.2.2 Test di campo

Il test di potenza alla barra fornisce la massima forza di trazione disponibile per il trattore in ogni marcia o velocità. Il test è stato eseguito azionando i trattori a diverse velocità su una superficie di asfalto pulita, orizzontale e asciutta senza discontinuità, mentre un veicolo dinamometrico collegato alla parte posteriore del trattore ha frenato applicando carichi crescenti. Durante tutti i test di trazione, il controllo dell’acceleratore è stato impostato alla massima potenza. Per ogni impostazione delle marce (alla velocità e alla trazione corrispondenti alla massima potenza in ogni specifica marcia), sono stati misurati il regime del motore, la potenza, la trazione alla barra, la velocità e lo slittamento delle ruote. Sono stati registrati solo i valori fino al 15% dello slittamento medio della ruota. Entrambi i trattori erano

equipaggiati con pneumatici nuovi delle stesse dimensioni, modello e pressione di gonfiaggio (1,6 bar). Poiché la posizione del baricentro influisce sulla stabilità laterale e longitudinale e considerando che anche la massa e la posizione delle bombole del gas, con particolare riferimento a quelle installate in una posizione elevata sul lato posteriore della cabina, potrebbe influire sull'assetto del trattore, è stata determinata la posizione del baricentro. Questa misura è stata fatta in conformità con la norma ISO 789-6: 1982 (confermata nel 2014). A tale scopo sono stati utilizzati apparecchi di prova costituiti da quattro piattaforme digitali portatili per la pesatura delle singole ruote di veicoli pesanti collegate a un registratore di dati a quattro canali (Dini Argeo, Modena, Italia); le dimensioni delle piattaforme erano 700 x 450 x 58 mm ciascuna con una portata massima di 10.000 kg. Per misurare l'inclinazione del trattore, è stato installato un inclinometro digitale EN 17 Fisco Solatronic (The Solar Design Company, Machynlleth, Regno Unito) con una risoluzione di 0,1 °. Il trattore era stato inclinato a 20° per mezzo di una gru a ponte di 16t di capacità. Entrambi i trattori erano pieni di carburante, con un peso extra di 75 kg sul sedile per simulare la presenza di un conducente; tutti gli pneumatici sono stati gonfiati a 1,6 bar. Il campo di visione dell'operatore rappresenta un elemento ergonomico legato alla visibilità: attualmente, la valutazione normativa prevista dalla direttiva 74/347 / CEE del Consiglio tiene conto solo della vista dell'emiciclo anteriore; alla luce della particolare posizione delle bombole di metano (posizionate all'esterno dei montanti posteriori della cabina) in questo studio la visibilità è stata determinata applicando gli standard ISO 5006-1 e 5006-2 (1991, 1993) che considera il campo visivo a 360°. Il test aveva lo scopo di valutare gli "effetti di mascheramento" dei componenti strutturali del trattore che limitano la visione dell'operatore, misurando le ombre proiettate su un cerchio a terra ad una distanza di 12 m.

4.2.3 Prove di funzionalità di campo del trattore

Per valutare le prestazioni del trattore durante le più comuni operazioni agricole, è stata effettuata la prova del trattore presso l'azienda agricola "La Bellotta" (situata nella pianura nord-est di Torino, nei comuni di Venaria Reale e Robassomero, Italia, dove il terreno è caratterizzato da superfici piane, fertili e irrigue. I test sono stati eseguiti con l'obiettivo di ottenere la capacità di lavoro, seguendo il metodo proposto da Reboul (1964, CIOSTA - Commissione Internazionale per l'Organizzazione Scientifica del Lavoro in Agricoltura), e i parametri di prestazione (potenza del motore, velocità e consumo di carburante), registrando i dati rilevanti dalla centralina elettronica del motore (ECU). In questi test gli pneumatici del trattore alimentati a metano sono stati gonfiati a 0,8 bar sia sull'asse anteriore che su quello posteriore. Le macchine operatrici usate erano un erpice a dischi a due file combinato con denti a molla e un rullo cestello tandem (Lemken, Germania) con una larghezza di lavoro di

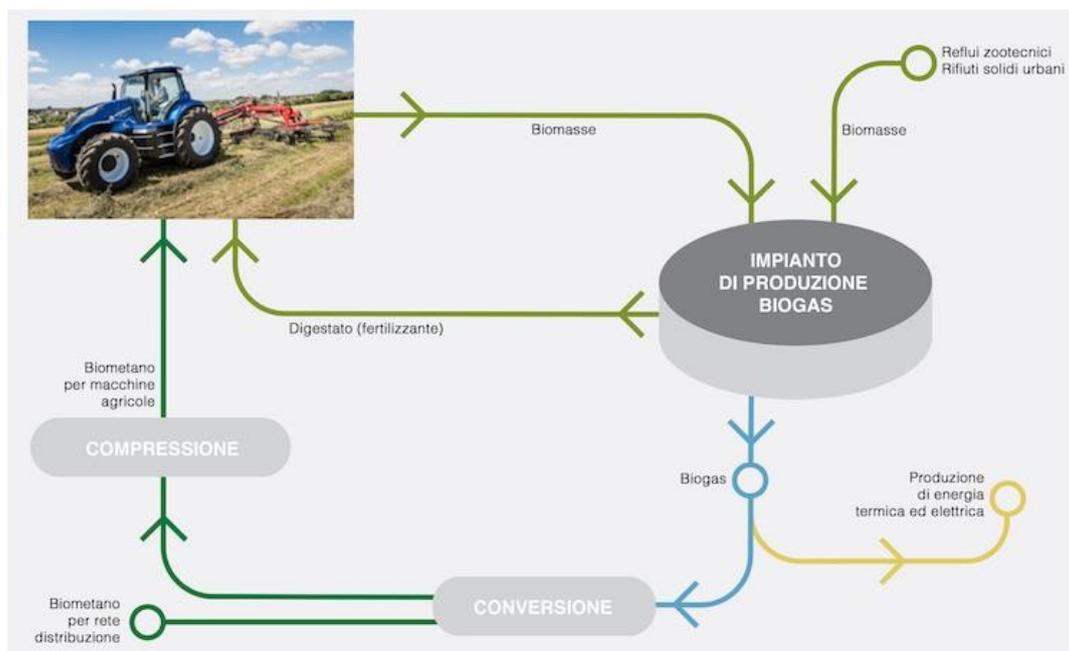
4,0 m. Il peso dell'attrezzo era di 1727 kg; un dissodatore a 5 denti (Pegoraro, Italia) con una larghezza di lavoro di 2,5 m e profondità di lavoro di 400/500 mm. Il peso dell'attrezzo era di 1100 kg.; un rimorchio a due assi (Crosetto, Italia) largo 2.0 m e lungo 5.0 m. Durante queste attività, grazie ai dati sulle prestazioni del trattore acquisiti in continuo alla velocità di 0,1 Hz tramite il CAN-bus del trattore (Controller Area Network), è stato possibile valutare i seguenti parametri operativi: consumo di carburante; regime del motore; coppia del motore; velocità; potenza del trattore; capacità di lavoro. I risultati relativi alla potenza del motore richiesta per il trattore alimentato a metano sono stati calcolati in conformità agli standard AS49E EP496.3 (ASAE, 2006). Il prototipo sviluppato era la prima generazione di trattori alimentati a metano grazie a una recente evoluzione della legislazione europea. In condizioni controllate, il prototipo di trattore a metano ha mostrato prestazioni simili ad un modello comparabile ma azionato da motore diesel. In condizioni di campo, il problema principale è stata l'autonomia che, nello studio, ha rappresentato il 40% di un trattore standard comparabile. Questo potrebbe non essere un problema se l'azienda agricola producesse in proprio il biometano o se si trovasse vicino a una stazione di rifornimento o se i compiti assegnati al trattore a metano all'interno della flotta aziendale fossero focalizzati su un uso a bassa intensità di energia. In questi casi l'unico limite potrebbe essere quello di evitare le attività che richiedono di essere lontani dalla sede aziendale. I risultati leggermente sfavorevoli ottenuti sui trattori a metano considerando il campo visivo del guidatore e la posizione del baricentro sono dovuti principalmente alle bombole di gas utilizzate in questo progetto che erano quelle disponibili sul mercato; i futuri sviluppi nei materiali, tuttavia, prevedono nuove forme e pesi, con nuove possibilità di layout per i trattori a metano. Il prototipo di trattore alimentato a metano ha dimostrato di essere un'idea che, per aziende opportunamente organizzate, è sicuramente di interesse sia per quanto riguarda le tipologie di utilizzo che le problematiche ambientali.

Capitolo 5 IL TRATTORE DEL FUTURO

5.1 Il trattore a metano prodotto in serie

Il trattore T6 Methane Power è un tassello fondamentale per completare il progetto di Energy Independent Farm, l'elemento di chiusura di un ciclo completo neutro dal punto di vista delle emissioni di CO₂, che va dal campo alla generazione di energia per ritornare di nuovo al campo (fonte: CNH).

Figura 5-1: Ciclo del biometano finalizzato all'uso in campo



Il New Holland T6 Methane Power è il primo trattore di serie al mondo alimentato al 100% a metano: fondamentale per ridurre le emissioni dirette di CO₂ senza avere delle carenze in termini di prestazioni. Con questo trattore, che si può rifornire direttamente dalla rete gas o da specifiche stazioni a biomassa, New Holland fornisce una soluzione eco-sostenibile a tutte le esigenze agricole. Presenta stesse potenza, coppia e vita utile del corrispettivo trattore con motore a diesel, ma con una costante incidenza dei costi di gestione. Infatti, a fronte delle oscillazioni dei prezzi riguardanti i combustibili fossili e della mancanza di certezza relativa alle politiche agricole nazionali legate al Green Deal, l'approvvigionamento di biometano

presenta costi legati alla sua produzione aziendale. Ciò significa che, il T6 Methane Power, risponde esattamente allo stesso modo e consente di portare a termine le stesse attività, ma in modo più sostenibile e con costi operativi certi legati alle operazioni meccaniche.

5.2 Caratteristiche del nuovo trattore

Parlando ora della vera rivoluzione di questo trattore, ovvero il fatto di essere alimentato a metano, c'è da sottolineare che questo genera il 10% in meno di CO₂, con una riduzione in totale di più dell'82% rispetto a qualsiasi altro trattore alimentato in modo diverso (noi siamo agricoltura). A livello strutturale il trattore introdotto all'inizio degli anni '20 ha una potenza massima, con EPM - ISO TR14396 - ECE R120, pari a 129 kW. A differenza del prototipo, sul quale è stato prodotto lo studio, viene aumentata la capacità dei serbatoi del metano a 185 l (o 32 kg di gas naturale compresso CNG) e con la possibilità di applicare un serbatoio supplementare (posizionato anteriormente al posto della zavorra) che aumenta la quantità fino a 270 l, suddividendo il contenuto in 7 serbatoi incorporati nella struttura, senza andare a creare problemi all'operatore a livello di visibilità, come riscontrato, invece, nel primo prototipo. Il motore offre la stessa potenza e coppia del suo equivalente diesel, con una riduzione fino al 98% di particolato, riduce le emissioni di CO₂ dell'11% e le emissioni complessive dell'80%, consentendo di raggiungere emissioni di CO₂ prossime allo zero quando utilizza il biometano.

5.2.1 Caratteristiche tecniche

Il NH t6 alimentato a diesel ha un peso operativo che varia tra le 6.3 t alle 6.5 t equipaggiato con un motore NEF da 6.728 cm³ e un serbatoio per carburante standard da 218 l che può essere maggiorato per arrivare ad avere una capienza totale di 263 l. Per le nuove normative, relative alle emissioni dei gas di scarico, nella struttura del trattore deve essere incorporato un ulteriore serbatoio per l'AD blue, ovvero un additivo a base di urea che viene utilizzato per ridurre gli ossidi di azoto (NOx) dei gas di scarico dei motori endotermici a diesel. Il serbatoio ha una capacità di 31 l e il suo consumo varia tra i 5 l e i 9 l ogni 100 l di carburante, incrementando, così, i costi di rifornimento della macchina agricola. Per quanto riguarda il t6 Methane Power, il peso operativo risulta invariato rispetto al t6 a diesel in quanto strutturalmente sono identici. Monta, anch'esso, un motore NEF a 6 cilindri con una cilindrata di 6.728 cm³. La capacità del serbatoio, applicato al posto di quello per il diesel, è di circa 79 kg di metano.

5.3 Confronto in campo

Per quanto riguarda le lavorazioni di pieno campo, basandoci su valori tabellari di riferimento (U.M.A.), e prendendo in considerazione il caso della coltivazione dei cereali autunno-vernini possiamo osservare:

Tabella 5-1: Tabella dei consumi di gasolio per l'impiego agevolato in agricoltura (U.M.A., Regione Abruzzo)

	Lavori ordinari	Altri lavori	Benzina
1. Cereali autunno vernini e legumi da granella	L/Ha	L/Ha	L/Ha
Lavori preparatori di base (per ciascuna lavorazione prevista: scasso, dissodamento, spetramento meccanico ecc.)		130	
Aratura/zappatura	95		
Erpicatura	33		
Rullatura	7		
Semina	15		
Concimazione	9		
Diserbo/trattamenti	12		
Mietitrebbiatura		40	
Raccolta paglia	14		
Trasporti vari	15		
Irrigazione di soccorso		100	
Totale	200		0

Tenendo conto che i lavori preparatori di base, la raccolta e l'irrigazione di soccorso vengono effettuati con diverse macchine agricole semoventi e non con un trattore, avremo un consumo di circa 200 l/ha di gasolio e di conseguenza dai 10 ai 20 l/ha di additivo AD blue. Constatando da tabelle, il prezzo medio del gasolio per uso agricolo nell'anno 2023 è stato di circa 1,160 €/l (TESEO - Milano: Prezzo del Gasolio Agricolo – CLAL) mentre quello dell'AD blue varia tra i 0,70 €/L e i 2 €/L (Gazzetta motori). Supponendo di usufruire del metano rifornendosi dalla rete al prezzo di 1,43€/l (calcolato con la media prezzi mensili 2023) e attraverso dei semplici calcoli, possiamo determinare la spesa necessaria, relativa ai due combustibili, per la coltivazione completa di un ettaro di seminativo di cereali autunno-vernini.

Tabella 5-2: Costo totale di carburante per la coltivazione di 1 ettaro di cereali autunno-vernini

	CONSUMI	PREZZO MEDIO DI MERCATO	TOTALE
CH⁴	140 l/ha	1,43 €/l	200,2 €
DIESEL	200 l/ha	1,16 €/l	232 €
AD BLUE (solo per il diesel)	10/20 l/ha	1,35 €/l	13,5-27 €

I consumi di combustibile e annessi (AD blue) per la coltivazione di un ettaro di seminativo autunno-vernini sono deducibili dalla tabella 5-2. Tenendo conto che con il metano si ha una riduzione del 30% (la valutazione del risparmio è effettuata sulla base delle sperimentazioni esistenti e citate precedentemente nel testo), le spese scendono fino ai 200 €/ha rispetto ai 250 €/ha circa del diesel e AD blue. Se si considerano i vantaggi ambientali, come citato nelle sperimentazioni analizzate precedentemente, questi sono sicuramente più interessanti anche di quelli economici. A livello pratico il trattore New Holland t6 Methane Power ha le stesse potenzialità di un t6 classico di pari potenza. Infatti, svolge esattamente le stesse funzioni sia nei trasporti che nelle lavorazioni di pieno campo con la semplice ma fondamentale differenza del combustibile utilizzato.

5.4 Altre realizzazioni

Oltre alla disponibilità di trattori alimentati a biometano, stanno iniziando ad apparire altre macchine agricole alimentate a metano (e, quindi, potenzialmente, a biometano) tanto da poter iniziare a delineare linee di meccanizzazione quasi completamente alimentate con questo tipo di carburante. Attraverso un'indagine è stato possibile individuare le seguenti attrezzature: un carro miscelatore semovente alimentato a metano ed un caricatore telescopico (in fase di trasformazione per l'alimentazione a metano). Si può, quindi, iniziare ad ipotizzare linee di meccanizzazione composte da: trattori multifunzione per il trasporto di prodotti agricoli, caricatori telescopici per il carico/movimentazione di prodotti agricoli e carri miscelatori per la preparazione e distribuzione di razioni zootecniche. Ipotizzando che tali attrezzature facciano tutte capo ad aziende cerealicolo-zootecniche, appare evidente l'opportunità, per le numerose aziende zootecniche produttrici di biogas, di prendere in considerazione una parziale

sostituzione del proprio parco macchine con attrezzature alimentate da carburante autoprodotta. Inoltre, questo utilizzo potrebbe essere un'opportunità di sviluppo sia per i costruttori tradizionali, sia per i trasformatori di macchine; per questi ultimi potrebbe esistere un mercato molto interessante qualora i costruttori non fossero interessati a progettare direttamente i modelli a metano per lo scarso numero di macchine attualmente ipotizzabile nel breve-medio periodo. In previsione di un futuro sempre più sostenibile, è stato prodotto in Lituania, dal gruppo agro-alimentare Auga, il primo trattore che combina alimentazione a biometano e trazione elettrica. Il biometano alimenta un motore a combustione interna da 290 kW, abbinato a un generatore la cui energia viene trasmessa direttamente ai quattro motori elettrici alloggiati nelle ruote.

Durante il funzionamento in condizioni normali, quando la quantità di elettricità generata è maggiore del fabbisogno del trattore, la riserva di energia viene immagazzinata in batterie per essere utilizzata in lavori a basso consumo energetico o durante un carico di punta. Un tale sistema, pertanto, non spreca energia in condizioni di basso carico, utilizza un motore relativamente piccolo ma efficiente ed è in grado di mettere a disposizione una notevole potenza laddove necessario. E il tutto gioca a favore di un incremento dell'autonomia operativa del trattore. Il design brevettato dell'azienda lituana consente al suo trattore ibrido M1, a biometano ed elettrico, di ospitare bombole di gas biometano più grandi, così da garantire, una autonomia di lavoro pari a 12 ore come dichiarato da Kęstutis Juščius (amministratore delegato Auga). Quanto al secondo ostacolo alla diffusione dei trattori alimentati a biometano, vale a dire lo scarso sviluppo delle infrastrutture delle stazioni di rifornimento di biometano, la risposta del gruppo Auga è stata quella di posizionare su una piattaforma nella parte posteriore del trattore le sei bombole di stoccaggio del biometano, offrendo la possibilità di una loro rapida sostituzione una volta esaurite, eliminando la necessità di tornare in azienda durante la giornata per fare rifornimento. I trattori del primo lotto di produzione sono attualmente in fase di test nelle aziende agricole e sono stati preparati per la produzione in serie alla fine del 2023.

CONCLUSIONI

Le potenzialità del biometano sono diverse. Produrre una miscela così utile al fabbisogno energetico della comunità e che allo stesso tempo sia rinnovabile, ecologica e programmabile risulta una grande opportunità. I materiali impiegati nella produzione sono accessibili a tutti e facilmente reperibili in ogni ambiente, infatti, poiché i materiali usati sono rappresentati dagli scarti civili, agroalimentari e industriali, è importante istruire la comunità ad evitare gli sprechi di prodotti utili alla sua produzione attraverso la raccolta differenziata e smaltimento di rifiuti recuperabili. Tutti i prodotti, dunque, devono essere separati in maniera opportuna in modo da poter essere utilizzati per la formazione del biogas e biometano senza danneggiare gli impianti di produzione. La flessibilità del prodotto è un altro punto di forza del biometano che può essere sfruttato in qualsiasi campo di applicazione: dal diretto inserimento nella rete di metanodotti per l'utilizzo di energia prodotta come fonte termica, alla trasformazione del prodotto in energia elettrica attraverso appositi cogeneratori, all'utilizzo del materiale più raffinato nei veicoli di trasporto come carburante. Tutte le fonti rinnovabili per eccellenza, come energia solare, eolica, energia proveniente dall'acqua sono illimitate e disponibili a tutti a un basso costo, ma esse non possono essere programmate, ciò le rende poco efficienti ed utilizzabili in maniera continua. Al contrario, il biometano che proviene da rifiuti e scarti è sempre reperibile a un costo di materia prima quasi nulla e garantisce la circolarità dell'economia perché fa sì che uno scarto, destinato alla discarica possa essere convertito in una risorsa. Anche se i vantaggi sono molto più numerosi, la produzione del biogas e biometano comporta alcuni svantaggi come, ad esempio, il consumo del suolo agricolo, qualora in impianti agricoli sia necessario un'integrazione con colture dedicate che comportano utilizzo di fattori di produzione tra cui, in particolare, l'acqua e l'utilizzo del suolo. Inoltre, il digestato proveniente dalla digestione anaerobica della FORSU deve essere trattato prima della distribuzione sui terreni come ammendante, in quanto risulta essere un rifiuto speciale; più o meno invasiva voglia essere, è una spesa da prendere in considerazione. Spesso, tali impianti di produzione sono numerosi e maleodoranti e hanno un impatto non indifferente sia sul paesaggio che sull'ambiente se mal gestiti. I pericoli più grandi provenienti da una cattiva manutenzione sono i rischi di sversamento, contaminazione e dispersione di gas

nel territorio circostante che vanno ad inquinare le falde acquifere o l'aria, con fumi e cattivi odori. A livello italiano, inoltre, la concentrazione di impianti in alcune zone fa sì che sia difficile il reperimento del biometano nelle zone più distanti. Per quanto riguarda il trattore a biometano, invece, possiamo anche qui determinare vantaggi e svantaggi. Innanzitutto, è da affermare che, il suo studio e la sua progettazione hanno determinato una base per il futuro dell'agricoltura anche in seguito alle normative e agli incentivi europei/italiani per la produzione di biometano nel raggiungimento di determinati obiettivi. L'utilizzo in campo potrebbe oggettivamente cambiare le carte in tavola dell'agricoltura italiana in quanto ha le stesse capacità del suo omonimo a diesel e ridurrebbe le emissioni, sia in termini diretti che indiretti. Ovviamente ci vorrà del tempo prima che questo cambiamento possa avvenire in quanto la reperibilità del biometano è ancora limitata quindi sarebbe un problema rifornirsi di carburante, come lo è nel caso del diesel: la limitata presenza di impianti nel centro e sud Italia condiziona il prezzo di mercato sulla base dei maggiori costi di trasporto. Dagli studi effettuati il trattore risulta avere un'autonomia insufficiente al raggiungimento delle ore lavorative giornaliere, problema risolvibile aggiungendo un serbatoio secondario anteriormente ma che, allo stesso tempo, potrebbe risultare pericoloso nel momento in cui avvenga un sinistro che provochi una compressione del serbatoio, quindi del metano al suo interno, con le relative conseguenze.

BIBLIOGRAFIA

- Amico, D., 2019. *Dal biogas al biometano: aspetti normativi e incentivazione*.
- Anon., . *Biogas*.
- Bacenetti, J., 2014. *Biometano : un'opportunita'*.
- Bacenetti, J., Lijó, L., Cantarella, P. & Negri, M., 2014. *La sostenibilità del biogas*.
- Barbuto, A., Monteleone, M. & Lombardi, M., 2015. *Le potenzialità della FORSU per lo sviluppo sostenibile delle aree rurali*.
- Bensaid, S., Fino, D. & Russo, N., 2010. *BioH2Power: From Waste to Renewable Gaseous Fuels for Current and Future Vehicles*.
- Blengini, G. A. & Fantoni, M., 2009. *Life Cycle Assessment di scenari alternativi per il trattamento della FORSU*.
- Calabrò, S., 2009. *Valutazione dei sottoprodotti*.
- Candilo, L. D., 2012. *Applicazione della Metodologia LCA(Life Cycle Assesment): La sostenibilità ambientale di Impianti a Biomassa della regione Emilia Romagna*.
- Cavinato, C., Giuliano, A., Novarino, D. & Ruffino, B., 2012. *Pretrattamenti di fanghi e FORSU per l'ottimizzazione della digestione anaerobica*.
- Cecchi, F. et al., 2002. *Characteristics of the organic fraction of municipiapl solid wastes in Europe for different sorting strategis and related performances of the anaerobic digestion process*.
- Corbellini, V., Insabato, G. & Malpei, F., 2015. *Biometano: tecnologie di upgrade, norme e valutazioni economiche*.
- Dell'Antonia, D. et al., 2014. Preliminary Study of Biogas Production from Agricultural Waste in Friuli Venezia Giulia (Nord-East of Italy). *Environmental Sciences*, pp. 1-11.
- Fiorese, G., 2008. *Biomasse per l'energia: aspetti ecologici, energetici ed economici*.
- Franceschinini, N., 2013. *Motori a biogas: prestazioni ed emissioni*.

- Mazzeo, S., 2018. *Progettazione ed analisi tecnico-economica di un impianto a digestione anaerobica per la produzione di biometano.*
- Niola, I., 2011. *Esempi di lavorazioni pericolose: il trattamento dei rifiuti.*
- Novarino, D. & Zanetti, M., 2011. *Digestione anaerobica della frazione organica di RSU.*
- Paccagnella, D., 2011. *Biogas da rifiuto umido organico.*
- Panin, S., 2015. *Upgrade di un impianto di digestione anaerobica alla luce del Decreto Biometano (n°295/2013) e valorizzazione del digestato in agricoltura.*
- Salerno, L., 2018. *Analisi energetica di un impianto di produzione di biometano avanzato da FORSU con recupero del calore cogenerativo. = Energy analysis of a biomethane production plant from organic waste with cogenerative heat recovery.*
- Schievano, A. et al., 2009. *WHAT IS THE DIGESTATE.*
- Simio, L. D., 2009. *Combustibili Gassosi per l’Alimentazione di Motori Alternativi a Combustione Interna.*

RINGRAZIAMENTI

Alla fine di questo elaborato, mi sembra doveroso dedicare uno spazio per ringraziare tutte le persone che, con il loro supporto, mi hanno aiutato in questo percorso di studi universitari.

Per prima cosa, vorrei ringraziare la mia relatrice prof.ssa Ester Foppa Pedretti, per i suoi preziosi consigli e per la sua disponibilità e gentilezza. Grazie per avermi fornito spunti fondamentali nella stesura di questo lavoro e per avermi indirizzato nei momenti di indecisione.

Ringrazio anche il mio correlatore, il dott. Alessio Ilari per essersi messo a disposizione attraverso dei validi consigli e delle delucidazioni in modo da migliorare l'elaborato.

A mamma e papà, quale occasione migliore per scrivere due righe... Grazie per quello che avete fatto e continuate a fare, per tutti gli sforzi per darci la possibilità di raggiungere tutti i nostri obiettivi. Se sono il ragazzo di oggi è soprattutto grazie a voi...

A Manuel e Diego, i miei fratelli, quelli con cui gli scherzi e le risate sono all'ordine del giorno ma anche i litigi non sono da meno, spero solo che possano continuare ad essere costruttivi come lo sono stati fino ad oggi.

Ai nonni, punto di riferimento per tutti; la vostra umiltà vi ha sempre contraddistinto e se la famiglia che avete creato è così bella è soprattutto grazie a voi e ai valori che ci avete trasmesso... Ed io ne vado molto fiero.

Agli zii, alle zie e a Simone, grazie perché anche i vostri consigli e la vostra presenza sono serviti e serviranno per crescere.

A Maria, che è arrivata nel mezzo di questo percorso di studi ma che è stata fondamentale nel raggiungimento dell'obiettivo. Grazie per supportarmi e sopportarmi sempre.

Ad Alessandro, l'amico trovato ai tempi della scuola che poi è diventato come un fratello.

Mi hai convinto tu ad intraprendere questo percorso, l'abbiamo affrontato insieme supportandoci a vicenda dall'inizio alla fine e senza di te, fidati, non sarebbe stato lo stesso.

Agli amici e alle amiche di sempre o quasi: Manolo, Matteo, Gianmarco; Mattia, Stefano, Francesco, Davide, Natasha, Federica, Aurora, Desire e Stefania. Tra alti e bassi, abbracci,

risate e litigi non posso che vantarmi di avere un gruppo strepitoso dove regna l'amicizia e il bene per l'altro viene sempre al primo posto. Mi fate sentire sempre a casa.

A Giammarco e Jhonny, perché la nostra amicizia è il frutto di un rapporto sano dove ognuno esprime il proprio pensiero, condiviso o non che voglia essere, ma con la consapevolezza che il nostro legame non cambi.

Grazie anche a chi ci è stato e chi ci sarà perché tutto influenza, nel bene e nel male, la mia crescita personale.

Vi voglio bene.

Lorenzo