

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

**Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse naturali e
Ambiente**

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie Animali

TESI DI LAUREA

Applicazione della digestione anaerobica in aziende zootecniche montane

Application of Anaerobic Digestion in Mountain Livestock Farms

Relatore:

Prof. Andrea Pezzuolo

Correlatore:

Ing. Giovanni Ferrari

Laureanda:

Chiara Bernardi

Matricola n.

1221468

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

INDICE

RIASSUNTO	3
ABSTRACT	4
1. INTRODUZIONE	5
1.1. LA ZOOTECNIA TRENTINA E IL CARICO DI EFFLUENTI	5
1.2. OBIETTIVI DELLA TESI	7
2. LA DIGESTIONE ANAEROBICA.....	8
2.1. IL PROCESSO DI DIGESTIONE ANAEROBICA	8
2.2. APPLICAZIONE IN AMBITO AGRO-ZOOTECNICO	15
2.3. DIFFUSIONE ED EVOLUZIONE NEGLI ULTIMI 20 ANNI	24
2.3.1. EVOLUZIONE NELL'AREALE TRENTINO	33
2.4. SISTEMI COMPENSORIALI	38
2.5. BIOMETANO	39
2.5.1. PROCESSI DI PURIFICAZIONE	39
2.5.2. POSSIBILITÀ E PROSPETTIVE	42
3. MATERIALI E METODI.....	47
3.1. RACCOLTA DATI E ANALISI DEGLI EFFLUENTI PRODOTTI	47
3.2. DESCRIZIONE DEL QUESTIONARIO	48
3.3. CARATTERISTICHE DEL CAMPIONE INTERVISTATO	49
4. RISULTATI	55
4.1. IL CONTESTO ZOOTECNICO E LA PRODUZIONE DI EFFLUENTE	55
4.2. IMPIANTI DI DIGESTIONE ANAEROBICA	58
4.2.1. CARATTERISTICHE AZIENDALI	58
4.2.2. CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO A DIGESTIONE ANAEROBICA.....	63
CONCLUSIONI.....	73
BIBLIOGRAFIA.....	75

RIASSUNTO

Il concreto sviluppo dei processi di digestione anaerobica per la valorizzazione energetica di biorisorse agro-zootecniche ha avuto inizio circa una ventina di anni fa grazie ad adeguati incentivi e linee normative dedicate.

Per approfondire ed inquadrare la tematica anche in chiave moderna, è stato utile, specialmente in un periodo storico di crisi energetica come quello attuale, analizzare anche la produzione di biometano, le possibilità e le prospettive che questa filiera può offrire in un'ottica di sostenibilità economica ed ambientale. La diffusione di tali tecnologie ha preso piede anche nel comparto agro-zootecnico dove, se corretta dimensionata, si è rivelata adatta e funzionale ad aziende che, autonomamente o in società, hanno intrapreso un'azione di valorizzazione degli effluenti. Il caso studio oggetto di analisi nel seguente elaborato di tesi è quello della realtà montana trentina, la quale, soprattutto negli ultimi anni, si sta orientando verso l'applicazione della filiera del biogas. In seguito ad un'analisi della consistenza bovina in Provincia di Trento negli ultimi dieci anni e all'osservazione del carico di azoto ad oggi prodotto per ogni comune, la tesi descrive, gli impianti biogas attualmente associati agli allevamenti bovini entro il territorio provinciale.

In seguito all'analisi del comparto bovino trentino attuale, grazie ad un questionario, sono state raccolte risposte da parte di un campione rappresentato da 8 impianti (5 privati e 3 consortili). I quesiti posti vertevano su temi relativi alle specificità degli allevamenti, dei digestori, dei prodotti ottenuti dal processo e ai loro conseguenti utilizzi. I risultati ottenuti hanno inquadrato le caratteristiche dei diversi impianti tra cui la potenza (non superiore ai 300 kW/impianto), l'ubicazione, la capacità di sfruttare al meglio il prodotto, la volontà di implementarne lo sviluppo e la propensione a sensibilizzare la società sui vantaggi della filiera in una zona tanto vocata sia all'agricoltura che al turismo.

Nonostante la consistenza bovina entro il territorio provinciale sia in progressivo calo, alcune zone risultano interessate da un'alta densità in termini di carico d'azoto derivante dagli allevamenti. La presenza di impianti di digestione anaerobica dai quali si ottiene una forma azotata meno impattante, permette, anche nelle zone vulnerabili recentemente individuate, di limitare gli effetti negativi che un eccessivo carico di effluenti provoca.

ABSTRACT

The exponential development of anaerobic digestion technology in order to exploit waste materials has occurred since the last decade mainly thanks to appropriate incentives and a greater involvement of the competent authorities.

To deepen and better frame the issue, it has been useful, especially in a historical period of energy crisis such as the present, also analyse the production of biomethane, the possibilities and prospects that this sector can offer in terms of economic and environmental sustainability. The spread of this technology has also taken hold in the agro-zootechnical sector where it has proved to be suitable and functional for companies that, independently or in society, have undertaken the choice of obtaining energy and digestate from livestock manure. An example, reported by this paper, is that of the Trentino mountain reality which, especially in recent years, is oriented towards the application of the biogas supply chain. Following an analysis of the bovine consistency in the Province of Trento in the last ten years and the observation of the nitrogen load currently produced for each municipality, the thesis describes the biogas plants currently associated with cattle farms within the province.

Following the analysis of the current bovine sector in Trentino, through the use of a questionnaire, replies were collected from a sample of 8 plants (including 5 private and 3 consortiums). The questions asked concerned issues relating to the specificities of farms, digesters, products obtained from the process and their uses. The results obtained have framed the characteristics of various plants including the power (not exceeding 300 kW per plant), but also the location in mountainous areas, the ability to make the most of the product, the will to implement the development and propensity, to sensitize the population on the advantages that this can offer in an area suited to both agriculture and tourism.

Despite the cattle population in the province, due to the economic crisis that heavily weighs on the livestock sector, is gradually decreasing, some areas are affected by a high density in terms of nitrogen load from livestock. The presence of anaerobic digestion plants from which a less impacting nitrogen form is obtained, allows, even in the newly identified vulnerable areas, to limit the negative effects that an excessive load of effluents causes.

1. INTRODUZIONE

1.1. LA ZOOTECCNIA TRENTINA E IL CARICO DI EFFLUENTI

Al giorno d'oggi, l'inquinamento ambientale e l'utilizzo di fonti fossili per la produzione di energia sono problematiche sempre più discusse. Tra le varie potenzialità di energie alternative e sostenibili, una delle soluzioni prese in considerazione è quella di produrre energia a partire dalle risorse di scarto biologico attraverso la digestione anaerobica.

Questa tecnologia si sta rivelando un'interessante opportunità in particolare nel settore agro-zootecnico dove gli effluenti degli allevamenti possono essere valorizzati sia per coprire i fabbisogni energetici nelle aziende che per finalità agronomiche.

Negli ultimi anni anche la zootecnia trentina si è attivata per promuovere azioni che possono contribuire a ridurre la dipendenza energetica e a concorrere per sostenere l'ambiente, a maggior ragione per la tutela del territorio montano. Sempre più imprenditori agricoli, stimolati anche da iniziative di incentivo, stanno iniziando ad intraprendere la scelta di diversificare il proprio reddito con entrate date dalla vendita di energia prodotta massimizzando il recupero di composti ad elevato valore aggiunto, per ridurre l'impatto ambientale e migliorare l'accettazione sociale delle strutture anche in un'ottica di valorizzazione turistica.

Il comparto zootecnico trentino infatti, è uno dei pilastri portanti per l'economia locale anche per il ruolo che ricopre nel mantenere il paesaggio alpino, strettamente collegato al settore turistico. Come nel resto del Paese, anche a livello provinciale si assiste però alla diminuzione del numero di allevamenti di bestiame da latte e ad un aumento di attività dimensionalmente più grandi (Pieratti et al., 2013).

Il patrimonio zootecnico trentino ha subito un dimezzamento in termini di numero di capi dalla metà del secolo scorso al 2017 e contemporaneamente a questo fenomeno, l'evoluzione e l'influenza del mercato sul comparto, hanno portato un interessante aumento della produzione di latte per capo (Tabella 1.1.1) (Bertanza e Ferrari, 2019).

Anno	Numero capi		Latte (tonnellate)
	Totale	Vacche da latte	
1951	101.289	58.389	140.000
2001	46.500	24.500	138.000
2005	47.202	24.617	132.100
2007	47.674	24.608	133.480
2008	47.443	24.099	127.671
2009	46.034	22.891	131.343
2010	45.862	22.940	129.293
2011	46.604	23.329	131.867
2012	47.118	23.277	138.612
2013	47.102	23.528	133.012
2014	46.596	22.975	132.806
2015	47.796	23.823	139.010
2016	47.723	23.354	145.120
2017	47.384	23.550	148.800

*Tabella 1.1.1: Numero di capi bovini e produzione di latte in provincia di Trento (1951-2017)
(Bertanza e Ferrari, 2019)*

Tale riorganizzazione nelle zone montane ha avuto certamente ricadute anche sulla gestione e manutenzione dei terreni agricoli particolarmente per le colture seminative. Attualmente le aziende zootecniche totali nella Provincia di Trento sono circa 2000 e la superficie destinata a sfalcio e pascolo si aggira intorno ai 92.000 ettari. (Dallapiccola, 2021). Nel fondovalle si concentrano perlopiù realtà con un numero maggiore di capi allevati, adottando soprattutto negli ultimi anni un modello produttivo vicino alle aziende di pianura, con utilizzo di alimenti extra aziendali per far fronte alle elevate esigenze nutrizionali degli animali. Le aziende ubicate nelle valli con altitudine superiore alle precedenti, si caratterizzano in una forma di allevamento meno intensiva con un numero di capi medio inferiore alle 40 unità e con un'alimentazione derivante soprattutto da fieni autoprodotti e dal pascolo estivo. (Battaglini et al., 2010).

Sebbene in un range esteso di tempo gli allevatori hanno ampliato strutture e spinto i loro animali a produrre, negli ultimi cinque anni si osserva il fenomeno inverso; la crisi che stiamo attraversando, la quale determina un consistente aumento dei costi di produzione e un progressivo decremento del prezzo del latte, contribuisce di fatto a contenere e ridefinire il numero di capi allevati (Pieratti et al., 2013).

Nonostante la digestione anaerobica non risolva il problema dell'eccesso di azoto all'interno degli effluenti liquidi, se sostenuta da adeguati strumenti legislativi, si rivela una soluzione possibile e vantaggiosa per le aziende agricole trentine; non solo viene generata energia per far fronte ad alcuni costi di produzione nell'ottica dell'economia

circolare, ma fornisce anche un prodotto come il digestato, ammendante alternativo a fertilizzanti di sintesi.

Un'innovazione che si rivela promettente oltre che per la gestione sostenibile dello smaltimento di reflui zootecnici (soprattutto dopo l'istituzione delle nuove Zone vulnerabili da nitrati), anche in termini di prospettive future; ne sono esempio la produzione di biometano e di concime utilizzabile anche in viticoltura e frutticoltura, altri settori portanti dell'agricoltura trentina.

Ad oggi gli impianti operativi collegati agli allevamenti bovini sono otto di cui tre consortili e cinque privati; uno a Romeno con 12 soci conferitori, uno a Predazzo con 6 e uno a Villa Agnedo con 12. Le restanti cinque aziende sono ubicate a Malè, Peio, Sarche, Bleggio Superiore e Breguzzo. Inoltre a Bondo e a Pinè sono due gli impianti in fase di realizzazione.

1.2. OBIETTIVI DELLA TESI

Il presente lavoro di tesi ha come obiettivo quello di fornire una fotografia attuale della realtà trentina in termini di quantificazione degli effluenti zootecnici e di potenziale valorizzazione attraverso processi di digestione anaerobica. La valutazione quantitativa e spaziale delle deiezioni zootecniche è stata condotta con il supporto della Banca Dati Nazionale dell'Anagrafe Zootecnica.

Attraverso la somministrazione di un questionario, si è svolto poi un diretto monitoraggio presso impianti di digestione anaerobica (aziendali e consortili) attualmente presenti sul territorio Provinciale osservandone gestione, consistenza di effluenti palabili e non palabili, fasi del processo di fermentazione e prodotti ottenuti.

L'elaborato, oltre a far riferimento a vantaggi e possibilità future resi disponibili da tale tecnologia, mira a investigare le possibili areali ad alto carico zootecnico in cui possono essere applicati processi di digestione anaerobica sia a scala aziendale che comprensoriale.

2. LA DIGESTIONE ANAEROBICA

2.1. IL PROCESSO DI DIGESTIONE ANAEROBICA

La digestione anaerobica è un processo biologico che avviene in assenza di ossigeno libero e che prevede la degradazione della sostanza organica complessa per merito di microrganismi e batteri. La degradazione si divide in 4 fasi (Figura: 2.1.1):

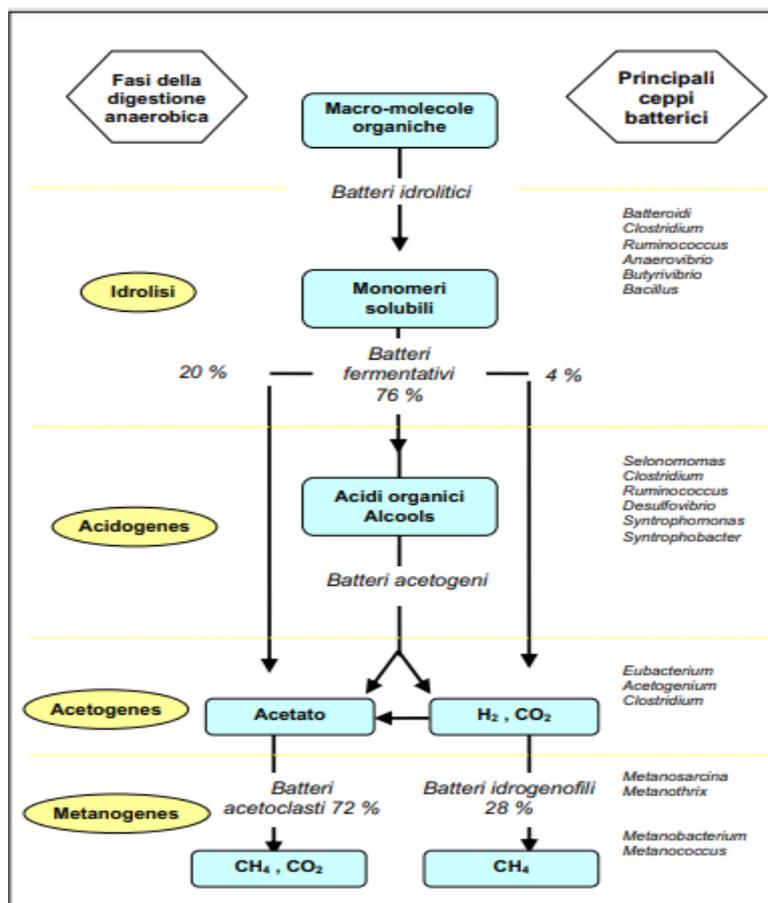


Figura 2.1.1: Fasi del processo di digestione anaerobica e principali ceppi batterici coinvolti (Fonte: APAT, 2005)

- **IDROLISI:** fase che consiste nella degradazione dei composti organici complessi quali proteine, grassi e carboidrati da parte dei batteri idrolitici in strutture più semplici;
- **ACIDOGENESI:** in questa fase i batteri fermentativi agiscono sulle sostanze organiche originate dall'idrolisi convertendole in acidi grassi volatili a catena medio-corta (propionato e butirrato), alcoli, acido solfidrico, idrogeno e anidride carbonica;
- **ACETOGENESI:** fase che coinvolge i batteri acetogeni e prevede la formazione di acido acetico, formico, anidride carbonica ed idrogeno molecolare a partire dagli acidi grassi;

- **METANOGENESI:** durante questa fase, si ha la formazione di metano (CH_4) per mezzo di due possibili vie: la prima prevede l'ossidazione anaerobica dell'idrogeno operata dai batteri idrogenotrofi; l'altra prevede l'azione di batteri acetoclastici, i quali degradano l'acido acetico formando CH_4 e CO_2 .

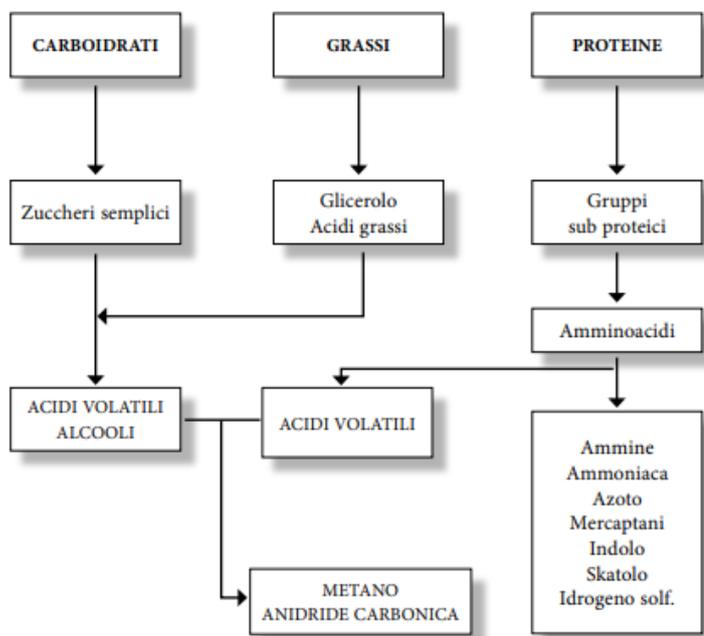


Figura 2.1.2: Schema di decomposizione delle varie sostanze organiche durante il processo (Piccinini et al., 2008)

Le reazioni che coinvolgono i batteri metanigeni sono lente e particolarmente sensibili a variazione delle condizioni durante il processo; per tale motivo si punta ad agevolarle con pretrattamenti sul substrato e monitorandone i vari parametri (APAT, 2005).

Le condizioni ottimali e fondamentali per le reazioni corrispondono: all'assenza di ossigeno, a valori di pH tra 6,5 e 7,5, ad un'elevata umidità del substrato (>50%), al rapporto C/N tra 20 e 40 e alla temperatura (D'Apote e Migliardi, 2010).

La velocità con cui vengono degradati i materiali organici varia infatti soprattutto in funzione della temperatura con cui si svolge il processo:

- 10-25 °C la digestione è PSICROFILA: il tempo di degradazione è 30-90 gg;
- Circa 35 °C la digestione è MESOFILA: il tempo di degradazione è 15-40 gg;
- Circa 55 °C la digestione è TERMOFILA: il tempo di degradazione è 10-20 gg (Piccinini et al., 2008).

Altra classificazione a livello tecnologico distingue la digestione anaerobica in tre categorie:

- **Digestione a umido** (*wet digestion*) caratterizzata da un contenuto di sostanza secca di circa il 10% nel digestore;
- **Digestione semisecca** (*semi-dry digestion*) caratterizzata da un contenuto di sostanza secca di circa il 25% nel digestore;
- **Digestione a secco** (*dry digestion*) caratterizzata da un contenuto di sostanza secca elevata che comporta la possibilità di movimentazione della biomassa tramite l'utilizzo di mezzi meccanici come pale gommate (Iesbiogas, 2022).

Vi è poi un'ulteriore ripartizione in:

- **Processo monostadio**: quando le fasi di idrolisi, fermentazione acida e metanigena avvengono contemporaneamente in un unico reattore;
- **Processo bi-stadio**: quando si ha un primo digestore nel quale il substrato organico viene prima idrolizzato e quindi convertito in acido acetico, idrogeno e CO₂; mentre la fase metanigena avviene in un secondo digestore.

Le varie fasi partono in seguito all'introduzione della biomassa (che funge da substrato) in appositi digestori. Essa viene demolita al loro interno in percentuali tra il 40 e il 60% per generare digestato e biogas (Nextville, 2022).

Il biogas rappresenta il prodotto "primario" della fermentazione, una fonte alternativa per la produzione di energia rinnovabile. Esso possiede un alto potere calorifico e può essere convertito in elettricità e calore grazie ad un cogeneratore. Nello specifico è una miscela di gas costituita dal 50-75% di metano (CH₄), da un 25-45% di anidride carbonica (CO₂), 0,5-3% di azoto (N₂), 0,1% di monossido di carbonio (CO), 0,02-2% di acido solfidrico (H₂S), idrogeno e tracce di ammoniaca (D'Apote e Migliardi, 2010).

Tra le biomasse di partenza idonee ad essere trasformate troviamo quelle provenienti da residui agricoli, reflui zootecnici, fanghi di depurazione, scarti organici dell'agro-industria, frazione organica dei rifiuti urbani, FORSU (materiale proveniente dalla raccolta differenziata dell'organico) e colture di integrazione (Iesbiogas, 2022).

L'eventuale stoccaggio degli effluenti da allevamento è adattato alle normative vigenti e consiste in platee (o concimaie) coperte per la matrice palabile, mentre in vasche di raccolta coperte per la matrice non palabile. Biomasse ed insilati vengono conservati generalmente in sili orizzontali o silobag. (Pezzuolo, 2021)

Prima di essere introdotti nel digestore, i materiali possono essere sottoposti a pretrattamenti funzionali con lo scopo di accelerare il processo di degradazione:

Metodi fisico/meccanici: necessari soprattutto per materiali molto fibrosi o a lenta digeribilità in quanto consistono nel ridurre le dimensioni delle particelle; ciò permette di evitare: fenomeni di occlusioni a carico di pompe e agitatori, aumento di superficie attaccabile dai microrganismi durante il processo e di conseguenza una maggior resa in metano (Rossi e Bientinesi, 2016). I principali metodi sono:

- Estrusione: indicata per paglia, stocchi, insilati di cereali, vinacce etc. Viene effettuata una buona disgregazione delle matrici fibrose grazie all'attrito tra due cilindri elicoidali in metallo duro che ruotano incorporando il materiale umido da trattare; comporta elevata usura e manutenzione;
- Macinazione: impiegata su matrici con poca resa in quanto dotate di epicarpo protettivo che riduce l'attacco enzimatico; le cariossidi vengono incise o spezzate per consentire l'azione degli enzimi idrolitici;
- Disgregazione con pulper: i prodotti vengono omogeneizzati e sminuzzati all'interno di un serbatoio (*pulper*) collegato alle linee di carico delle diverse biomasse e/o al digestato; differente dagli altri sistemi perché lavora a liquido e intimizza al carico la flora batterica presente nel digestato o nel liquame. Il processo è generalmente riscaldato;
- Ultrasuoni o sonicazione: il trattamento prevede l'utilizzazione di sistemi elettronici e/o idrodinamici per generare ultrasuoni i quali agevolano la frantumazione delle pareti cellulari e delle molecole organiche.



Figura 2.1.3: Pulper installato in un impianto di biogas: si osservano le linee di carico delle matrici solide e del digestato per la diluizione, nonché le linee di scarico verso il digestore (Fabbri, 2013)

Metodi termici:

- Pretrattamento termico: effettuato a 150-180°C al fine di solubilizzare la lignina ed idrolizzare una frazione dell'emicellulosa per originare acidi, catalizzatori della reazione stessa; da questo trattamento si formano fenoli che, specialmente in ambiente acido risultano tossici nei confronti dei batteri metanigeni;
- Steam-explosion: tratta la biomassa con vapore ad una temperatura anche oltre ai 240°C e la sottopone ad una pressione maggiore di 10 bar per alcuni minuti per provocare l'esplosione delle membrane cellulari;
- Pressure-cooking: simile al trattamento precedente ma in sostituzione al vapore impiega acqua calda per solubilizzare in particolar modo l'emicellulosa; è consigliabile effettuarlo mantenendo un ambiente acido per evitare la formazione di composti antagonisti.

Metodi biologico-enzimatici: prevedono la miscelazione della biomassa con enzimi cellulolitici ed emicellulosolitici al fine di favorire il processo degradativo delle molecole organiche agevolandone l'attacco da parte dei batteri; l'efficacia del metodo dipende dal substrato, dalle dimensioni delle fibre di cellulosa, quantità e concentrazione degli enzimi, pH e temperatura;

Metodi chimici: attraverso l'utilizzo di basi (come soda, idrossido di calce o ammoniaca) o acidi (acido solforico, nitrico etc.) che rompono i legami ligno-cellulosici delle frazioni fibrose per incrementare la digeribilità. Nonostante l'esistenza di numerose tecniche per pretrattare le biomasse, in genere, matrici a facile degradabilità come i trinciati di mais, utilizzati in un impianto correttamente dimensionato, non hanno necessità di pretrattamenti (Fabbri, 2013).

Il carico di quello che poi, nell'insieme, sarà il substrato all'interno del reattore, può avvenire in diverse modalità. La distinzione principale è quella tra matrici palabili e non palabili. Per quelle palabili, come lo sono letame ed insilati, vengono utilizzati pale gommate o telescopici che vanno a riversare il prodotto dentro "vasche di carico" dotate di sistema di miscelazione o trincia-miscelazione con coclee o pistoni.

Le matrici non palabili vengono invece caricate mediante pompe centrifughe o volumetriche possibilmente associate a trituratorie che agiscono soprattutto in presenza di materiali ricchi di sostanza secca.

Il digestore, in funzione all'umidità della sostanza di carico, può essere alimentato singolarmente (*batch*) ovvero può venire pulito regolarmente e riempito con partite nuove di biomassa o, più comunemente, alimentato in maniera continua (Rossi e Bientinesi, 2016).

In funzione alla potenza, alla dieta prevista, all'ubicazione, esistono diverse tipologie di impianti biogas; generalmente sono costituiti in orizzontale o in verticale, totalmente fuori terra oppure totalmente o parzialmente interrati. La tipologia più comune è quella a forma cilindrica su asse verticale con copertura in plastica (Styrodur, 2022).

Per mantenere in ogni caso la corretta temperatura interna, normalmente le pareti verticali dei digestori vengono coibentate grazie a del materiale isolante.

Nella maggior parte dei casi, la termoregolazione della biomassa durante il processo viene garantita da tubi (in acciaio o materiale plastico) posti all'interno del digestore, dentro i quali scorre acqua calda. (Pezzuolo, 2021), (Rossi, Bientinesi, 2016).

L'applicazione di pannelli isolanti sulle pareti, sul fondo e sul soffitto per limitare quanto più possibile le perdite di calore all'interno dei grandi contenitori, risulta essere fondamentale. A seconda delle scelte costruttive ci troviamo di fronte a strutture differenti e conseguentemente a diversi materiali termoisolanti come: polistirene, polietilene, polistirolo e lana di roccia (Styrodur, 2016).

All'interno del digestore è presente un sistema di miscelazione essenziale perché oltre a favorire il contatto tra microrganismi e substrato, riduce i problemi di sedimentazione (specialmente per i liquami suini) ed evita le stratificazioni di materiale, omogeneizzando la temperatura su tutta la superficie.

I principali sistemi per la miscelazione del contenuto sono quelli a pale (soprattutto per matrici con alta percentuale in sostanza secca), ad elica e quelli idraulici che possono essere azionati da un motore sommerso all'interno del digestore o posizionato esternamente.

Elemento fondamentale dell'impianto biogas è il gasometro; la copertura può corrispondere ad una soletta in calcestruzzo o ad un telo; la più diffusa è quella a doppia membrana, ancorata ermeticamente alle pareti, resistente agli agenti atmosferici e dotata di apparecchiature per la misurazione dei vari parametri; il gasometro stocca il biogas prodotto e la doppia membrana permette la formazione di una camera d'aria che assicura la costanza di pressione (Pezzuolo, 2021).

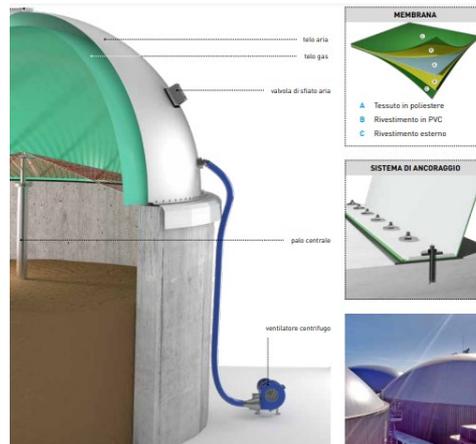


Figura 2.1.4: Esempio di copertura per un impianto industriale con relativi materiali (Fonte: Ecomembrane, 2020)

Il biogas raccolto in seguito al processo di fermentazione è, come accennato all’inizio del paragrafo, una fonte di energia rinnovabile che, a seconda delle opportunità, può essere valorizzata sotto forma di energia termica e/o elettrica tramite combustione in cogeneratori, in energia termica tramite combustione in caldaia, in elettricità attraverso generatore oppure trasformato in biometano.

Il cogeneratore consiste nella produzione combinata e contemporanea di elettricità e di calore a partire da un unico combustibile e rappresenta nella maggior parte dei casi, la miglior alternativa specialmente in quanto fornisce il calore necessario alla fermentazione (Fabbri e Piccinini, 2012). Innanzitutto, perché il biogas possa essere convogliato alla cogenerazione, deve essere prima sottoposto a trattamenti di purificazione. Tali trattamenti possono consistere in:

- Filtrazione: separazione dei solidi in sospensione prima dell’aspirazione nei condotti di ricircolo o alimentazione delle utenze (Tempco, 2009);
- Deumidificazione: rimozione del vapore acqueo tramite condensazione del gas abbassando la temperatura (esempio con appositi frigoriferi);
- Desolfurazione: rimozione dell’acido solfidrico in quanto è un composto che corrode e rallenta la digestione; essendo però inevitabile la sua formazione, si ricorre ad una desolfurazione anaerobica insufflando aria in modo controllato (si permette così lo sviluppo di batteri presenti nelle biomasse che degradano l’acido) (Pezzuolo, 2021).

Il motore endotermico per la cogenerazione permette un rendimento fino al 40% di elettricità e circa del 45% in calore. Quest’ultima, al netto di quella utile a mantenere i

digestori in temperatura, può essere distribuita in rete agli edifici tramite sistemi di teleriscaldamento e/o sfruttata per soddisfare fabbisogni aziendali.

Come per quella termica, anche la quota di energia elettrica non destinata all'autoconsumo, può essere ceduta in rete (parzialmente o totalmente) ovvero venduta (a GSE oppure ad altri operatori sul libero mercato) (Nextville, 2022).

Impianti con specifici requisiti possono richiedere anche il servizio di Scambio sul Posto che secondo la definizione di GSE “è una particolare forma di autoconsumo in sito che consente di compensare l'energia elettrica prodotta e immessa in rete in un certo momento con quella prelevata e consumata in un momento differente da quello in cui avviene la produzione. Nello Scambio sul Posto si utilizza quindi il sistema elettrico quale strumento per l'immagazzinamento virtuale dell'energia elettrica prodotta ma non contestualmente auto consumata” (GSE, 2022).

Come argomentato in seguito, nel punto 2.5. del testo, una soluzione sempre più considerata è quella dell'*upgrading* ovvero separare la CO₂ dal biogas per ottenere biometano, combustibile con buon potere calorifero da utilizzare direttamente o immettere nella rete nazionale.

2.2. APPLICAZIONE IN AMBITO AGRO-ZOOTECNICO

Come spesso discusso, l'agricoltura e la zootecnia generano più che emissioni di CO₂, soprattutto emissioni di metano (CH₄) e protossido di azoto (N₂O), oltre che di ammoniaca (NH₃); nel 2018 il settore agricolo ha costituito la principale fonte di metano e protossido di azoto, con una quota del 45% e del 58% rispettivamente del totale nazionale, mentre per le emissioni di anidride carbonica l'agricoltura rappresenta lo 0,2% del totale nazionale.

Il grafico 2.2.1 fa riferimento alle emissioni di *Greenhouses Gases* (GHG) per diverse attività agricole; le emissioni di metano derivano dalle fermentazioni enteriche (73,8% delle emissioni di CH₄) e dalla gestione degli effluenti zootecnici (18,1% delle emissioni di CH₄), il restante da coltivazione del riso e combustione di residui colturali. Le emissioni di protossido di azoto, infine, derivano dagli apporti azotati (urea) nella concimazione dei suoli agricoli (79 % delle emissioni di N₂O) e dalla gestione degli effluenti zootecnici (20,8% delle emissioni di N₂O), il restante da combustione di residui colturali (Area Tecnica CIB, 2020).

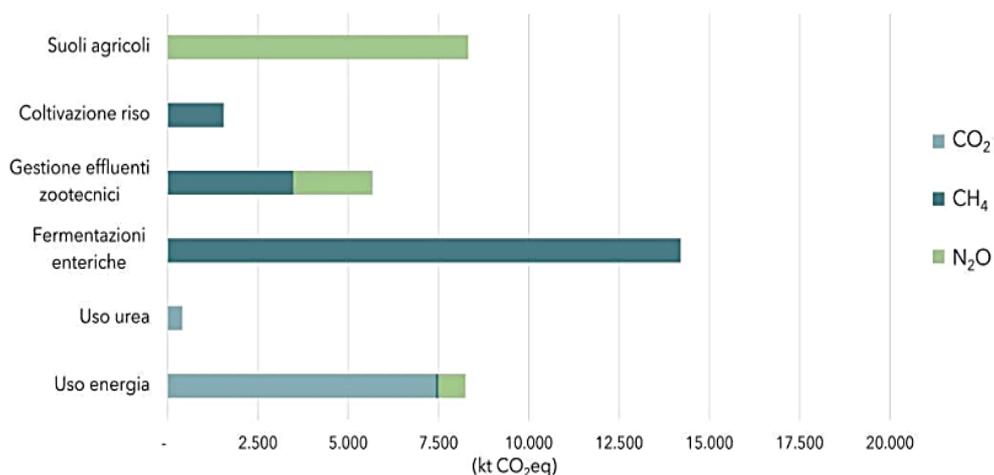


Grafico 2.2.1: Ripartizione delle emissioni di GHG dell'agricoltura per tipo di gas serra e per tipologia di attività (Area Tecnica CIB, 2020)

Per il settore agro-zootecnico la digestione anaerobica rappresenta un punto di forza a livello economico e ambientale; risulta essere una soluzione efficace in quanto limita il più possibile le emissioni di GHG e odori valorizzando matrici che altrimenti andrebbero inutilizzate e che in seguito a trattamenti stabilizzanti assumono un valore aggiunto (Chiabrando, 2018).

Se prendiamo in considerazione la produzione di biogas applicata in questo settore, possiamo dire che la sostanza organica d'interesse è prevalentemente quella derivante da effluenti zootecnici (deiezioni palabili e non palabili degli allevamenti), da scarti del settore agroindustriale (residui di lavorazione e trasformazione dei prodotti agricoli), da colture ortofrutticole, seminate e sottoprodotti (Colonna et al., 2009).

A seconda del materiale con cui viene alimentato l'impianto, distinguiamo la digestione mono-prodotto (con solo effluenti zootecnici) e la co-digestione (integrata con colture erbacee e sottoprodotti che aumentano la produzione di metano) (Pezzuolo, 2021). Gli impianti che trattano esclusivamente liquami zootecnici, in particolare suinicoli, non essendo adatti a digerire altri materiali, hanno la possibilità di utilizzare tecnologie a basso costo che non comportano, ad esempio, la presenza di vasche coibentate.

Gli impianti destinati alla digestione di soli liquami si distinguono in:

- **Impianti a freddo:** basati su una tecnologia semplificata ed economica che prevede una vasca di accumulo dei liquami non coibentata coperta con un telo di materiale plastico; il processo al suo interno avviene in condizioni psicrofile. Il processo al suo interno avviene in condizioni psicrofile e garantisce stabilizzazione del prodotto

e diminuzione degli odori ma variabilità nella resa in quanto influenzata fortemente dal variatore dell'ambiente esterno;

- Impianti riscaldati: a differenza degli impianti a freddo, la vasca di accumulo è riscaldata per mezzo di scambiatori di calore a serpentina evitando così la variabilità della resa.

Gli impianti di co-digestione invece possono gestire liquami suini, bovini e avicoli sia singolarmente che in contemporanea a colture energetiche e/o residui organici di diversa natura (Nextville, 2022).

Gli effluenti zootecnici utilizzabili corrispondono alle deiezioni solide e liquide di animali da allevamento eventualmente misti a matrici usate come lettiera (quali paglia, sabbia, segatura etc.). La quantità di sostanza secca prodotta nell'allevamento può essere raccolta con due modalità:

- sottoforma di effluente pompabile con poco lettime: liquame;
- sottoforma di effluente palabile con lettiera in abbondanza: letame.

La gestione tradizionale delle deiezioni animali, specialmente dai ricoveri sino allo stoccaggio e alla distribuzione in campo, può essere considerata una delle principali fonti di emissioni di metano, ammoniaca e, in parte minore, di perossido d'azoto. Per questo, sfruttando i vantaggi, si cerca di ridurre quanto più possibile il tempo che intercorre tra il momento in cui gli animali producono le deiezioni e il loro ingresso nel digestore; i sistemi di pulizia ed allontanamento dei reflui, da questo punto di vista, sono di fatto in continua evoluzione. A seconda dei quantitativi di lettiera possono essere adottati diversi sistemi di rimozione negli allevamenti: con pavimento pieno si utilizzano pala raschiante, raschiatori automatici o lavaggio a ricircolo (*flushing*) sulla superficie; con pavimento fessurato la fossa sottostante può prevedere lo stoccaggio (non consigliabile) oppure la rimozione rapida con *flushing* o con raschiatori (Rossi, 2020), (Fabbri e Piccinini, 2012). La disponibilità degli effluenti e le loro caratteristiche dipendono da molteplici fattori tra cui la specie allevata, la stabulazione, la dieta e la gestione aziendale. Generalmente hanno umidità elevata e rese in biogas regolari ma non eccessive ed è per tale motivo che spesso sono associate in co-digestione con matrici organiche ad elevata densità energetica (Rossi e Bientinesi, 2016).

In seguito la Tabella 2.2.1 che quantifica, indicativamente, il volume di liquame e letame ottenuto a seconda della categoria di animale, tipo di stabulazione, presenza di lettiera o meno.

Tipologia di stabulazione	Liquami (m³/mese)	Letame (m³/mese)
Vacche da latte (peso medio 600 kg)		
Stabulazione fissa		
Con lettiera	0,45	1,60
Senza lettiera	1,50	
Stabulazione libera a cuccette		
Senza o con uso modesto di lettiera	1,50	
Con lettiera groppa a groppa	0,60	0,90
Con lettiera testa a testa	0,45	1,40
Stabulazione libera con lettiera		
Con asportazione di lettiera ogni 3 mesi	0,55	
Con asportazione di lettiera ogni 30-60 giorni	0,55	1,40
Con scarico continuo (lettiera inclinata)	0,40	1,70
Bovini da rimonta e vitelloni (peso medio 300 kg)		
Stabulazione libera in box a pavimento fessurato	0,60	
Stabulazione libera a lettiera		
Solo in zona di riposo	0,25	
Anche in zona di alimentazione	0,10	1,00
Con lettiera inclinata	0,10	1,00
Vitelli (peso medio 125 kg)		
Svezamento su lettiera	0,03	0,25
Svezamento su fessurato	0,30	
Ingrasso in box singolo	0,90	

Tabella 2.2.1: Produzione in volume di letame e liquame in funzione della stabulazione e della categoria dei bovini (Alfano et al., 2011)

La necessità di biomasse utili per alimentare il digestore spinge vantaggiosamente verso l'abbandono delle monoculture e a diversificare le rotazioni con l'inserimento di colture intercalari di copertura (*cover crop*, *catch crop*) e azoto-fissatrici.

Oltre ai residui delle produzioni, come paglie di cereali, stocchi, sarmenti di vite e ramaglie di potatura, infatti, per la produzione di biogas possono essere immesse colture dedicate come quelle insilate quali mais ceroso, sorgo, triticale etc; ma anche cereali autunno vernini (grano e orzo) (D'Apote e Migliardi, 2010). Tali prodotti hanno rese produttive superiori a quelle dei sottoprodotti (reflui zootecnici, siero di latte...) e l'impiego di colture energetiche ad alta resa negli impianti consente di ridurre il

consumo di suolo poiché, a parità di energia prodotta, è necessaria una quantità minore di biomassa e di terreno (Chiabrando, 2018).

Per poter formulare una razione del digestore quanto più funzionale, oltre a considerarne il prezzo, è importante prendere atto della produttività potenziale di una biomassa. Le colture non alimentari ad uso energetico, oltre a possedere un buon potenziale in termini di resa in biogas (come indicato anche nella Tabella 2.2.2) ed ottimizzare quindi la produzione in co-generazione con i reflui zootecnici, sono realizzabili in azienda; sono inoltre promotrici di un sistema a ciclo chiuso dal momento che il digestato che ne deriva può essere impiegato come fertilizzante sulle aree in cui le stesse vengono coltivate (Piccinini et al., 2008).

Biomasse	m³ biogas/t SV
Deiezioni animali (suini, bovini, avi-cunicoli)	200-500
Residui colturali (paglia, colletti barbabietole, etc.)	350-400
Scarti organici agro-industria (siero, scarti vegetali, lieviti, fanghi e reflui di distillerie, birrerie e cantine etc.)	400-800
Scarti organici macellazione (grassi, contenuto stomacale ed intestinale, sangue, fanghi di flottazione etc.)	550-1000
Fanghi di depurazione	250-350
Frazione organica rifiuti urbani	400-600
Colture energetiche (mais, sorgo zuccherino, erba, etc.)	550-750

Tabella 2.2.2: Resa indicativa in biogas (m³ per tonnellata di solidi volatili) (Piccinini et al., 2008).

La perplessità principale riguardo l'impiego di prodotti insilati, distintamente nel comprensorio del Parmigiano-Reggiano, è legato alla possibile propagazione delle spore di clostridi che potrebbero aumentare la contaminazione dei terreni a foraggiere destinate all'alimentazione delle bovine da latte. Il controllo della contaminazione ambientale da spore di *Clostridium* (componente batterica particolarmente dannosa per le produzioni casearie) in aziende che producono latte per Parmigiano Reggiano è da tempo oggetto di attenzione da parte del disciplinare di produzione.

La diffusione di tali microrganismi all'interno della filiera latte segue uno schema preciso: le produzioni vegetali imbrattate di terra possono contenere spore che si ripresentano e si propagano negli alimenti conservati; il numero di spore negli alimenti condiziona a sua volta quello nelle feci che inevitabilmente contaminano l'ambiente di allevamento, gli animali, gli impianti di mungitura ed infine il latte; le feci poi, tornando come concimi organici al terreno, restituiscono al suolo le spore.

Dato che il numero di spore nel latte è correlato strettamente al loro numero nelle feci, la preoccupazione che compaiano difetti nei formaggi a lunga stagionatura (il più comune è il gonfiore tardivo causato da *Clostridium tyrobutyricum*) non è da sottovalutare (Fabbri e Piccinini, 2012).

D'altra parte i clostridi collaborano nella fermentazione anaerobica contribuendo all'idrolisi dei composti organici e alla produzione di acidi grassi, anidride carbonica ed idrogeno molecolare per la produzione di metano.

A proposito del problema di contaminazione che matrici insilate potrebbero procurare al processo di digestione anaerobica, sono stati effettuati vari studi tra cui un monitoraggio di diversi impianti biogas all'interno dell'area Parmigiano-Reggiano e Grana Padano.

Rilevato scarsamente impattante l'incremento di spore in uscita rispetto a quello in entrata nel digestore, a sostegno di analisi precedentemente acquisite, si ribadisce che le buone pratiche agronomiche come la produzione di alimenti di qualità e la distribuzione in campo di effluenti e digestati nei modi e nei tempi adeguati, restano le tappe fondamentali per la prevenzione della contaminazione (Rossi et al., 2017).

In ambito agro-zootecnico sono considerate biomasse utili anche i sottoprodotti dell'industria agroalimentare, ottenuti in seguito alla trasformazione di materie prime agricole come bucce di pomodoro e frutti, scarti di frutta non conforme agli standard, siero di latte e scarti dell'industria della carne (Rossi e Bientinesi, 2016).

Nella seguente Tabella 2.2.3 sono illustrate la propensione e le eventuali criticità di vari sottoprodotti agricoli.

Substrato	Propensione alla digestione anaerobica	Criticità
Liquami suini	Ottima	Contenuto di sostanza secca e organica variabile in funzione della tipologia di allevamento
Liquami bovini	Ottima	Contenuto di sostanza secca correlato al sistema di allevamento
Effluenti avicoli	Buona-ottima	Contenuto di azoto, produzione di idrogeno solforato, sedimenti
Paglia di cereali	Lenta	Diluizione, triturazione, croste
Stocchi di mais	Buona se verdi, lenta se secchi	Diluizione, triturazione, croste
Buccette di pomodoro	Buona	Scarsa biodegradabilità, stagionalità
Scarti lavorazione frutta varia e ortaggi	Ottima	Acidità, umidità, stagionalità, sedimentazione dei semi, odori
Scarti lavorazione uva (vinacce)	Medio-bassa	lenta biodegradabilità delle componenti lignocellulosica
Scarti lavorazione olive (sanse)	Buona-ottima	Stagionalità, presenza di frammenti di nocciolino (sedimentazione), necessità di bilanciamento C/N
Scarti lavorazione degli agrumi (pastazzo)	Buona	Stagionalità, Acidità, necessità di bilanciamento C/N
Scarti di macellazione	Buona	Triturazione, azoto, grassi, odori, lipidi
Siero di latte e altri prodotti derivati	Ottima	Acidità, umidità, necessità di bilanciamento C/N

Tabella 2.2.3: Vantaggi e criticità delle biomasse di scarto (Piccinini, 2022)

I parametri chimici per valutare una biomassa e formulare una razione equilibrata e produttiva sono rappresentati dal:

- Contenuto di solidi totali che per i digestori più diffusi in agricoltura deve essere inferiore al 10%;
- Contenuto di solidi volatili e carbonio che indica la quantità di sostanza organica presente e potenzialmente trasformabile in biogas (i liquami zootecnici maturati generalmente ne contengono circa 60-70%);
- Contenuto di azoto è fondamentale per lo svolgimento dei processi e il rapporto con il carbonio è indicato < 30 . Un rapporto insufficiente rispetto al carbonio rallenta le reazioni;
- Rapporto C/P (carbonio/fosforo) ottimale tra 120 e 150;
- Rapporto C/K (carbonio/potassio) ottimale tra 45 e 100 (Adani et al., 2008).

Interessante è la similarità tra microbiologia presente nel digestore e quella nel rumine di una bovina; questo aspetto, assieme alla disponibilità di effluenti 365 giorni all'anno, permette di inoculare giornalmente l'impianto con tutta la flora batterica utile al corretto equilibrio di fermentazione e quindi rende il comparto zootecnico predisposto all'applicazione di tali tecnologie.

Nello specifico caso di un'azienda zootecnica, la scelta di installare un impianto di digestione anaerobica (o aderire comunque ad una società con altri allevamenti) vede altri punti di forza primo tra tutti il biogas come prodotto in sé. Infatti, come per la digestione tradizionale, lo sfruttamento di questa risorsa è un vantaggio; a maggior ragione nella realtà aziendale si rivela utile dal punto di vista della produzione di energia termica per esempio per riscaldare gli edifici, le stalle, l'acqua di abbeverata per gli animali e/o per l'essiccazione dei foraggi.

Nella figura 2.2.3 è riportato un esempio schematico della filiera del biogas applicato alla realtà agro-zootecnica.

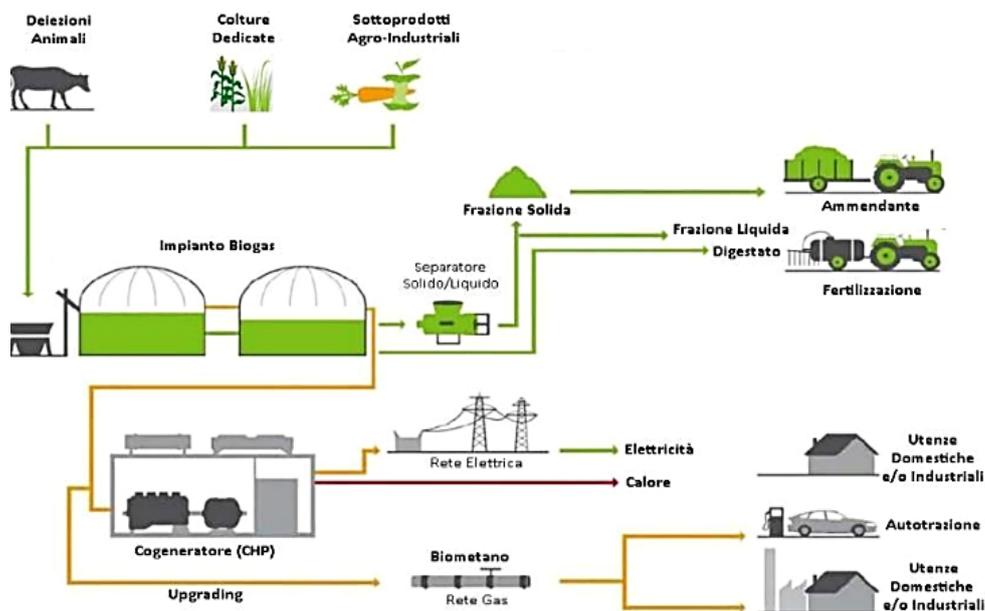


Figura 2.2.1: Rappresentazione schematizzata della filiera del biogas, esempio di economia circolare

(Rossi e Bientinesi, 2016)

Trattando del valore della digestione anaerobica, ci si sofferma quasi esclusivamente sulla produzione di biogas e sulle sue destinazioni. Tuttavia, per comprendere appieno il potenziale della filiera, in modo particolare entro il settore agricolo, non può essere trascurato il digestato.

Il digestato di origine agricola, residuo che rimane sul fondo del digestore, è classificato come effluente (DM 7 aprile 2006 n.209) e si presenta come materiale fluido con particelle solide in sospensione. In base ai flussi in ingresso, il digestato viene distinto principalmente in:

- Agro-zootecnico: prodotto con paglia, sfalci, potature, materiale agricolo derivante da colture agrarie, effluenti da allevamento, materiale agricolo e forestale non destinato a consumo alimentare;
- Agroindustriale: prodotto da acque reflue, residui di attività agroalimentare, acque di vegetazione di frantoi e sanse umide, sottoprodotti di origine animale oltre alle biomasse previste per quello agro-zootecnico. (Rossi e Bientinesi, 2016).

Esso, grazie alle sue caratteristiche fertilizzanti, utilizzato mediante tecniche agronomiche idonee, è l'elemento chiave per la logica del "ciclo chiuso" per un'azienda agricola. Può infatti sostituire i concimi di sintesi assicurando il mantenimento della sostanza organica nei terreni rappresentando, oltre che un beneficio ambientale, un significativo risparmio a livello economico.

Prima di essere utilizzato però, necessita di trattamenti adeguati; quello più diffuso a cui viene sottoposto è la separazione solido-liquido che genera un solido palabile stabilizzato (con circa 20-30% di s.s.) e un liquido chiarificato (con circa 2-8% di s.s.) agevolando la gestione del trasporto e dello stoccaggio.

La matrice solida, meno digerita, grazie alle sue proprietà ammendanti, migliora la struttura del terreno specialmente per colture ortofrutticole e vivaistiche che richiedono grandi quantità di materiale organico.

Nella frazione liquida, accumulata in vasche di stoccaggio, si concentrano azoto in forma ammoniacale insieme a micro e macro elementi nutritivi facilmente assimilabili che la rendono un buon concime a pronto effetto sfruttabile nella fertirrigazione. La separazione meccanica delle due frazioni, non porta ad una rimozione dell'azoto presente ma ne determina la ridistribuzione; inoltre evita la formazione della crosta superficiale (D'Apote e Migliardi, 2010), (Rossi e Bientinesi, 2016).

Altri trattamenti che possono essere effettuati sono quelli biologici applicabili su entrambe le matrici.

Le principali tecniche biologiche utilizzate per la frazione liquida sono:

- **Trattamento biologico aerobico** (fanghi attivi) il quale si svolge in nitrificazione, denitrificazione e sedimentazione; ha lo scopo di rimuovere l'elevata concentrazione di azoto organico e ammoniacale nella matrice (rimozione fino al 70-90%);
- **Filtrazione a membrane** che si classifica in ultrafiltrazione, nanofiltrazione, microfiltrazione e osmosi inversa; effettua una depurazione della sostanza in entrata rimuovendo varie particelle inquinanti che vengono trattenute dalle membrane.
- **Strippaggio** che si divide in strippaggio vero e proprio e fase di *scrubber*; ha l'obiettivo di trasformare l'ammoniaca dallo stato liquido a quello gassoso per poi produrre solfato d'ammonio utilizzabile come fertilizzante agricolo.

Le principali tecniche biologiche utilizzate per la frazione solida sono:

- **Essiccamento:** in seguito alla separazione solido-liquida permette di ottimizzare i costi e stoccaggio degli effluenti originando due prodotti:
 - La parte solida essiccata (con un tenore di azoto ridotto) è utilizzabile sia come ammendante che come materiale da lettiera nell'allevamento;
 - Solfato d'ammonio ottenuto dalla reazione tra acido solforico e azoto ammoniacale che evapora durante il processo.

- **Compostaggio:** processo che avviene in presenza di ossigeno grazie all'attività di microrganismi aerobi; ha lo scopo di degradare la componente organica ed ottenere un prodotto stabilizzato, privo di patogeni (Biocustom, 2022).

Sono in fase di arrivo le nuove regolamentazioni che definiscono “Le caratteristiche e le modalità di applicazione per l'utilizzazione agronomica del digestato equiparato ai fertilizzanti di origine chimica” in attuazione del decreto legge n. 21 del 21 marzo 2022. In particolare l'articolo 21 richiede la sostituzione dei fertilizzanti chimici di sintesi con il digestato equiparato nei Piani di utilizzazione agronomica.

Si definisce digestato equiparato quello ottenuto dalla digestione anaerobica di sostanze e materiali da soli o in miscela tra loro. L'obiettivo è quello di promuovere la diffusione di pratiche ecologiche nella fase di produzione del biogas e ridurre l'uso di fertilizzanti chimici, limitando anche i costi di produzione.

Il decreto regola esclusivamente la frazione liquida o chiarificata del digestato equiparato ai fertilizzanti di origine chimica in quanto esso può rappresentare un'opportunità in termini sia di fertilità del suolo che di carbon storage (cattura e sequestro del carbonio). La sostanza organica contenuta nel digestato è, infatti, fortemente stabilizzata grazie al processo degradativo anaerobico e la sua frazione liquida o chiarificata ha un'efficienza di impiego dell'azoto pari all'urea, ma un impatto ambientale inferiore.

L'utilizzazione agronomica del digestato è già disciplinata dal Dm n. 5046 del 25 febbraio 2016 dunque questa nuova norma si concentra più ha riconoscere digestato come un prodotto di forte valore fertilizzante.

2.3. DIFFUSIONE ED EVOLUZIONE NEGLI ULTIMI 20 ANNI

La diffusione degli impianti, se ci si riferisce al comparto agricolo, è avvenuta a partire dalla fine degli anni 2000 consentendo al settore primario di raggiungere importanti mete in termini di diversificazione del reddito e di miglioramento delle performances ambientali a partire dalle singole aziende zootecniche. Il settore, oltre lanciare l'economia rurale locale, ha risposto positivamente ai traguardi a cui l'Europa ancora nel 2022 continua a puntare.

In questi anni, l'incremento e l'adattamento di strutture adibite a tali tecnologie, ha permesso di rafforzare le filiere agricole ed agroindustriali da diversi punti di vista.

L'applicazione di impianti biogas ha permesso lo sfruttamento costante di sottoprodotti e/o matrici che altrimenti andrebbero inutilizzate ed ha reso possibile il miglioramento della qualità media delle colture agricole stoccate.

Da un lato economico e per alcune tipicità strutturali dell'agricoltura, questa tecnologia non sarebbe in grado di garantire, entro il settore, forza e capacità tali da remunerare i capitali investiti. Gli scarsi prezzi dei prodotti agricoli che soprattutto oggi mettono in ginocchio l'allevatore, unitamente a criticità logistiche (dimensione media delle aziende e prezzi della terra) e storico-culturali (basso livello di innovazione e poca propensione ad aggregarsi), pongono l'agricoltura italiana in una pesante condizione di crisi; Ne consegue che la Produzione Standard (ovvero il valore medio ponderato della produzione lorda totale compresa sia di prodotti principali che di quelli secondari) per addetto, per unità di superficie e per azienda, si pone a livelli insoddisfacenti rispetto a concorrenti europei come l'Olanda o rispetto ai grandi produttori europei quali Francia e Germania. Questa circostanza, come si può interpretare dalla Tabella 2.3.1, avvantaggia produzioni internazionali che giungono sui nostri mercati con un prezzo inferiore generando un calo della domanda per i prodotti nazionali (Chiabrandò, 2018).

In questo contesto si aggiunge la diffusa tendenza, oltre che ad avviare la produzione di agroenergia, specialmente nei territori montani, anche quella di sviluppare servizi legati ad attività connessa a quella agricola (agriturismo, fattorie didattiche, servizi agro-meccanici a terzi), ad accorciare la filiera (vendita diretta, chilometro zero) e ad erogare servizi di agricoltura sociale.

I risultati raggiunti negli ultimi anni nel settore delle agroenergie sono decisamente importanti: nel solo settore biogas l'agricoltura italiana al 2018 ha fatturato circa 2 miliardi di euro all'anno di energia elettrica incentivata. Nei territori della pianura padana, ove la produzione di biogas è particolarmente consistente, il fatturato energetico incide in modo decisamente maggiore su quello complessivo del settore agricolo.

Stato membro	Aziende n	SAU ha	PS M€	Addetti n	SAU media ha	PS/az	PS/ha	Addetti/ha	€ PS/addetto	Az. Sussist %
Denmark	35.050	2.614.600	10.062	49.480	74,60	287.088	3.849	0,02	203.364	0%
Netherlands	55.680	1.796.260	23.087	147.200	32,26	414.638	12.853	0,08	156.841	0%
Belgium	36.890	1.354.250	8.038	55.350	36,71	217.891	5.935	0,04	145.221	0%
Luxembourg	1.970	130.650	365	3.400	66,32	185.283	2.794	0,03	107.355	0%
Germany	276.120	16.715.320	49.249	490.060	60,54	178.361	2.946	0,03	100.496	0%
Sweden	62.940	3.012.640	5.159	55.970	47,87	81.962	1.712	0,02	92.169	0%
United Kingdom	185.060	16.673.270	25.403	285.760	90,10	137.271	1.524	0,02	88.898	0%
France	456.520	27.814.160	61.343	708.170	60,93	134.371	2.205	0,03	86.622	2%
Austria	132.500	2.669.750	6.142	101.740	20,15	46.351	2.300	0,04	60.365	0%
Italy	1.145.710	12.598.160	51.689	874.950	11,00	45.115	4.103	0,07	59.077	25%
Czech Republic	26.530	3.455.410	5.082	103.270	130,25	191.555	1.471	0,03	49.210	16%
Spain	945.020	23.229.750	38.366	801.160	24,58	40.598	1.652	0,03	47.888	4%
Finland	49.710	2.233.080	3.515	79.090	44,92	70.702	1.574	0,04	44.438	0%
Slovakia	25.660	1.889.820	1.931	46.690	73,65	75.270	1.022	0,02	41.367	62%
Estonia	16.700	995.100	802	19.880	59,59	47.997	805	0,02	40.319	29%
Ireland	137.560	4.883.650	6.325	160.750	35,50	45.979	1.295	0,03	39.346	0%
Cyprus	34.940	111.930	617	16.680	3,20	17.650	5.510	0,15	36.972	56%
Malta	9.210	11.120	98	5.110	1,21	10.642	8.814	0,46	19.181	29%
Greece	684.950	4.553.830	7.575	448.220	6,65	11.059	1.663	0,10	16.900	16%
Hungary	430.000	4.670.560	6.532	391.730	10,86	15.192	1.399	0,08	16.676	60%
Portugal	258.980	3.641.690	5.144	313.830	14,06	19.863	1.413	0,09	16.392	42%
Latvia	69.930	1.930.880	1.221	76.860	27,61	17.465	633	0,04	15.890	39%
Bulgaria	202.720	4.468.500	3.843	248.020	22,04	18.957	860	0,06	15.494	0%
Poland	1.410.700	14.405.650	25.006	1.649.400	10,21	17.726	1.736	0,11	15.160	18%
Lithuania	150.320	2.924.600	2.226	148.350	19,46	14.810	761	0,05	15.006	45%
Slovenia	69.900	488.400	1.159	79.970	6,99	16.578	2.373	0,16	14.490	57%
Croatia	134.460	1.562.980	2.035	159.360	11,62	15.134	1.302	0,10	12.769	52%
Romania	3.422.030	12.502.540	12.105	1.587.650	3,65	3.538	968	0,13	7.625	86%

SAU: Superficie Agricola Utilizzata

PS: Produzione Standard

Az. Sussistenza: aziende agricole la cui produzione è destinata per più del 50% al reimpiego familiare

Tabella 2.3.1: Caratteristiche strutturali delle aziende agricole europee nel 2016 a confronto (Chiabrandò, 2018)

Una quota di terreni agricoli italiani è stata destinata alla coltivazione di biomasse energetiche, sottraendo dal mercato quantitativi di cereali, foraggi, non facilmente valorizzabili ed agevolmente, purtroppo, sostituiti da importazioni di commodities internazionali (mais, frumento, carne bovina, etc.). Le superfici oggi impiegate a biomassa energetica rappresentano solo una parte di quelle che la politica agricola comunitaria obbligava fino a qualche anno fa a non coltivare per evitare l'accumulo di

eccedenze agricole (*set aside* obbligatorio). In Italia, dunque, non è l'agroenergia a sottrarre prodotti alle filiere agroalimentari nazionali, ma è piuttosto la filiera agroalimentare nazionale che non riesce a valorizzare giustamente produzioni agricole domestiche, più costose rispetto alla concorrenza internazionale. La soluzione è quella, come ribadito più volte, del supporto tramite adeguate politiche.

La messa a riposo dei terreni (*set aside*) è stata introdotta per la prima volta dalla Commissione Europea nel 1988, per contrastare la sovrapproduzione di cereali in Europa attraverso la misura che permetteva di ridurre l'offerta cerealicola atta a limitare gli alti costi di gestione degli stock e adattare il settore cerealicolo europeo alle condizioni di mercato.

Nel corso degli anni, però, il *set aside* obbligatorio ha impedito al settore cerealicolo europeo di adattarsi alle fluttuanti condizioni di mercato, caratterizzate da una crescente domanda di cereali per l'alimentazione umana, per l'alimentazione animale e per la produzione di biocarburanti. Così il ritiro obbligatorio dei seminativi è stato completamente abolito a partire dal 2009, a seguito delle decisioni PAC.

Nel 1993 il *set aside* interessava il 15% della superficie aziendale a cereali, semi oleosi e piante proteiche per un totale di circa 619.630 ettari a riposo. Nel 2007, prima dell'abolizione, il *set aside* riguardava il 10% dei seminativi per un totale di circa 423.370 di terreni incolti.

Per lenire l'impatto negativo del *set aside* sui redditi dei produttori e frenare l'abbandono dell'attività produttiva nelle zone marginali, la riforma del 1992 (Reg. 1765/92) introdusse la possibilità coltivare colture non-food sui terreni a riposo. Con le riforme del 1999 e del 2003, successivamente, la produzione di colture non-food sul *set aside* è stata legata alla produzione di biomasse per fini energetici, prevedendo la possibilità di produrre colture energetiche sul *set aside*. L'utilizzo del mais come coltura energetica ha quindi in parte sostituito la messa a riposo dei terreni e dato un'alternativa agli agricoltori.

Dal 2008 l'installazione di impianti biogas ha affiancato la progressiva riduzione della superficie coltivata. Dal Grafico 2.3.1 si vede, oltre all'andamento del *set aside* dal 1993 (anno della sua costituzione) fino al 2007 (ultimo anno in cui è stato applicato), l'estensione dei terreni destinati a colture energetiche per produrre biogas dal 2007 al 2016, calcolati utilizzando i MW (megawatt) di biogas agricolo installati in Italia; le colture energetiche hanno sostituito il *set aside* raggiungendo un picco di 228.000 ettari.

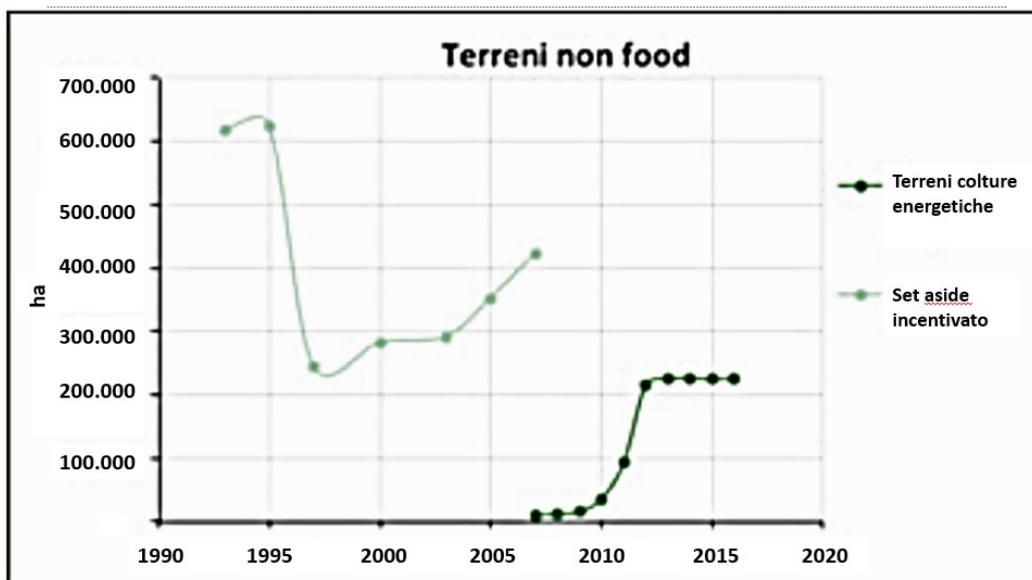


Grafico 2.3.1: Andamento dei terreni italiani destinati a colture energetiche per biogas e andamento del set aside (Chiabrandò, 2018)

A causa dell'espansione delle aree urbanizzate e della cessata coltivazione delle terre, la superficie agricola ha mostrato una decisa diminuzione della superficie agricola; dal 1993 al 2016, la SAU è diminuita del 15%, con l'effetto di una diminuzione anche dei terreni potenzialmente disponibili per colture alimentari, non dovuta particolarmente dallo sviluppo degli impianti biogas anzi, l'utilizzo di colture energetiche ha consentito e tuttora consente di utilizzare terreni che altrimenti rimarrebbero improduttivi.

La produzione di biogas da matrici agro-zootecniche ha avuto in questi anni una funzione di conservazione del territorio agricolo in quanto ha permesso di utilizzare colture come silomais e sorgo provenienti da superfici *set aside*.

Prendendo in esame il prezzo di mercato dei prodotti agricoli, da sempre influenzato da dinamiche internazionali, si può dire che ha avuto un andamento oscillatorio a partire dagli anni successivi al 2009-2012, picco dell'avvio degli impianti biogas. Per questo è prevedibile, come oggi, che il costo di approvvigionamento delle biomasse agricole nobili sarà difficile da sostenere senza aiuti politici ed incentivi.

I costi di approvvigionamento dei reflui zootecnici si sono, al contrario, mantenuti piuttosto costanti e risultano esclusivamente legati a dinamiche locali ed ai costi reali di approvvigionamento. L'andamento storico del prezzo delle biomasse energetiche risulta rappresentabile dalla coltura energetica di riferimento nei contesti padani: il mais.

La produzione di mais dagli anni '90 fino ad oggi è cresciuta stabilmente in modo da raggiungere nel 2006 circa 700 milioni di tonnellate con un incremento del 40% rispetto

a circa 500 milioni del 1990. Contemporaneamente la superficie utilizzata per coltivarlo è salita da circa 130 milioni di ettari a oltre 144 milioni di ettari, con una variazione del 12%.

L'andamento dei prezzi del mais negli ultimi 20 anni, per effetto del mercato e per cause ambientali, ha subito fluttuazioni importanti; dopo una fase congiunturale di crescita dei prezzi del mais, coincisa con il momento di massima espansione degli impianti (2009-2012), si è verificata una fase di significativa contrazione dei prezzi proprio quando il sistema del biogas nazionale ha raggiunto l'apice di consumo di materie prime (fino al 2018).

Dal 2007 al 2011 c'è stata un'evoluzione in termini di numeri di impianti, tipologia e dimensione con un maggior interesse verso la co-digestione di biomasse di origine diversa (Piccinini et al., 2011).

Settore	Impianti operativi (n.)	Impianti in costruzione (n.)	Totale (n.)
Agro-zootecnico [Ⓢ]	199	74	273 [Ⓢ]
FORSU + fanghi di depurazione [Ⓢ]	14	0	14
Reflui dell'agroindustria [Ⓢ]	30	2 [Ⓢ]	32
Totale	243	76	319

Tabella 2.3.2: Numero di impianti di biogas censiti nel 2010 suddivisi per settore di attività (Piccinini et al., 2011)

A inizio 2010 sono stati individuati 319 impianti di biogas di cui 273 operativi con effluenti zootecnici, colture energetiche e sottoprodotti/residui agroindustriali (impianti agro-zootecnici), 77% in più rispetto al 2007 (154 impianti). Per quanto concerne il settore dei rifiuti, invece, nel 2010 erano 14 gli impianti a FORSU (in parte in codigestione con fanghi di depurazione). Una trentina erano invece quelli funzionanti da reflui esclusivamente agro industriali. Lo scenario di mercato del biogas di 10 anni fa ha iniziato a caratterizzarsi con la costruzione di impianti di digestione anaerobica di dimensioni mediamente elevate, tra 500 e 1.000 kW (36,6%), quasi sempre costituiti da co-digestione di effluenti e colture dedicate e/o sottoprodotti. Il numero di impianti di taglia intermedia ha verificato un incremento in particolar modo proprio tra il 2007 e il 2010 (aumento del 118%), con lo sviluppo del settore. Gli impianti di taglia intermedia (101-500 kW), invece, sono aumentati del 118%.

Dalla tabella 2.3.3 si può invece osservare la distribuzione di biogas, non solo agro-zootecnici, sul territorio nazionale risalente a un decennio fa. Risulta evidente una

maggiore densità nelle regioni della Pianura Padana, nella quale è peraltro presente anche la maggior parte delle produzioni zootecniche del nostro Paese.

Regione	Effluenti zootecnici + sottoprodotti agroindustriali + colture energetiche	FORSU + fanghi di depurazione	Reflui dell'agro-industria	Fanghi di depurazione civile (1)	Biogas da discarica rifiuti urbani (2)	Totale
Abruzzo	1	-	1	-	4	6
Basilicata	3	-	1	-	-	4
Calabria	3	-	-	-	5	8
Campania	2	-	3	5	18	28
Emilia-Romagna	36	1	7	21	21	86
Friuli Venezia Giulia	4	-	-	3	7	14
Lazio	4	-	1	5	11	21
Liguria	-	-	-	5	11	16
Lombardia	102	3	4	12	29	150
Marche	2	-	-	7	11	20
Molise	-	-	-	-	2	2
Piemonte	35	1	1	21	28	86
Puglia	1	-	1	11	19	32
Sardegna	7	1	-	-	4	12
Sicilia	-	-	2	-	12	14
Toscana	3	1	1	10	19	34
Trentino-Alto Adige	33	2	-	8	2	45
Umbria	3	-	-	2	3	8
Valle d'Aosta	1	-	-	-	-	1
Veneto	33	5	10	11	26	85
Totale	273	14	32	121	232	672

Tabella 2.3.3: Distribuzione, nel 2010, degli impianti biogas per settore nelle regioni italiane (Piccinin et al., 2011)

Oggi, circa 10 anni dopo, è differente il quadro descrittivo della bioeconomia italiana, rappresentata per oltre il 60% dalla filiera agro-alimentare. Nel settore biogas, il nostro Paese si colloca al quarto posto al mondo dopo Germania, Cina e Stati Uniti, con circa 2200 impianti operativi, di cui circa 1.730 nel settore agricolo e circa 470 nel settore rifiuti e fanghi di depurazione, per un totale di circa 1.450 MWel installati, di cui (circa 1000 nel settore agricolo) (Piccinini, 2022).

Fonte GSE: Rapporto Statistico 2020	2017		2018		2019		2020	
	n°	MWe	n°	MWe	n°	MWe	n°	MWe
TOTALE BIOGAS	2117	1443,9	2136	1448,0	2177	1455,4	2201	1452,2
- Biogas da rifiuti urbani	410	411,2	403	405,4	398	402,0	386	392,7
- Biogas da fanghi depurazione	78	44,8	79	44,1	80	44,1	81	44,6
- Biogas agricolo (*)	1629	987,9	1654	998,5	1699	1009,3	1734	1014,9
TOTALE BIOENERGIA	2913	4135,0	2924	4180,4	2946	4119,7	2944	4105,9

Tabella 2.3.4: Numeri degli impianti biogas con relativa produzione in Megawatt elettrico dal 2017 al 2020 (Piccinini, 2022)

Si precisa che l'83,4% della produzione complessiva nazionale di energia elettrica da biogas è fornita dalle regioni dell'Italia settentrionale, come la cartina (Figura 2.3.1) indica.

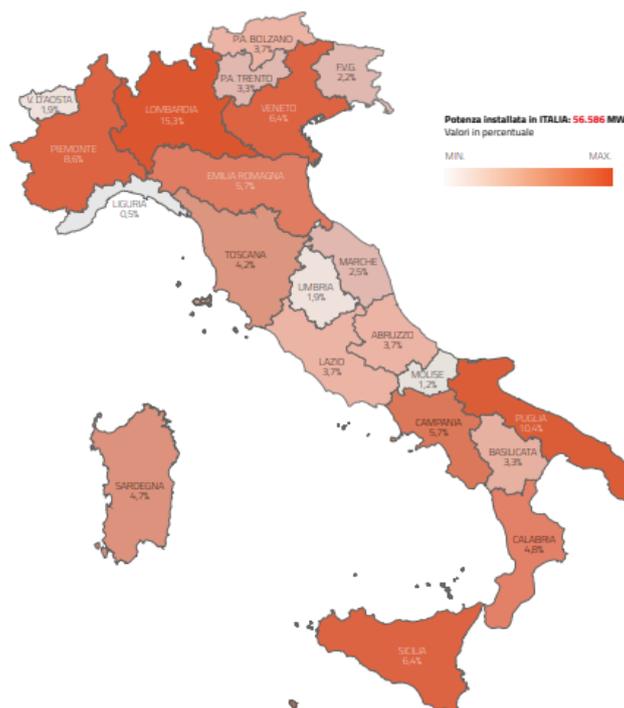


Figura 2.3.1: Distribuzione regionale della potenza installata a fine 2020 (Fonte: GSE, 2020)

Questi dati sembrano fornire un quadro di un settore in piena presa di coscienza e maturità sul fronte tecnologico/industriale. Si prospetta in progressivo aumento l'interesse da parte delle istituzioni verso queste fonti rinnovabili sia per il contributo che possono fornire al raggiungimento degli ambiziosi obiettivi di decarbonizzazione che per le ricadute positive in termini di economia circolare per il settore agricolo e

zootecnico, per l'industria agroalimentare, per il trattamento dei fanghi di depurazione e dei rifiuti organici urbani (Gugliotta e Repetto, 2022).

Da un recente censimento dell'Agricoltura Istat, è emerso che nell'arco di dieci anni si è verificato un incremento del 198% di imprese che promuovono reti energetiche alternative. Questa è la conseguenza data dagli effetti della guerra in Ucraina che portano il nostro Paese a voler, il più possibile, ridurre la dipendenza energetica dall'importazione estera (Barbacovi, 2022).

Riferendosi al tema evoluzione della filiera negli anni, si deve tener conto delle normative che la regolano. Per quanto riguarda gli impianti che attualmente producono energia elettrica da biogas e che, per motivi oggettivi legati alle dimensioni o alla distanza dalla rete gas, non sono nelle condizioni di convertire la produzione verso il biometano, tra le alternative vi è quella di proseguire con la produzione elettrica, anche aumentandone l'efficienza e l'attenzione per la sostenibilità ambientale, come disciplinato dal Decreto Legislativo 199/2021.

Tale decreto legislativo 8 novembre 2021, n. 199, di attuazione della Direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 dicembre 2018, norma infatti l'uso dell'energia da fonti rinnovabili (c.d. Dlgs Red 2), e oltre a recepire la Direttiva Red 2, promuove una serie di interventi per l'attuazione del PNRR.

In attesa dell'approvazione del decreto FER 2 per l'incentivo sulle rinnovabili, anche quest'anno, la continuità per gli impianti di piccola taglia sarà garantita solo dall'intervento del Parlamento che, nell'ambito del Decreto legge convertito il 25 febbraio 2022, ha previsto per il 2022 le risorse necessarie all'apertura di una procedura di "registro" riservata agli impianti di biogas di potenza fino a 300 kW.

Il Governo e il Parlamento hanno dovuto mettere in atto una serie di interventi finalizzati a contrastare gli effetti della crisi energetica e inflazionistica derivante in primis dal conflitto russo-ucraino. Tra queste misure, ne sono state previste diverse con lo scopo di eliminare degli ostacoli o di migliorare la gestione delle produzioni rinnovabili da biogas. Nel corso del passaggio di conversione del Decreto Legge 17/2022, contenente misure urgenti per il contenimento dei costi dell'energia (cosiddetto DL Energia), è stato approvato un emendamento che allarga la gamma dei sottoprodotti ammessi a produrre il digestato agroindustriale. Con questa manovra si favorisce una gestione più efficace degli impianti aumentando, in prospettiva, la disponibilità di digestato da usare come fertilizzante in sostituzione di quelli chimici.

Sono previsti degli interventi in favore della produzione rinnovabile da biogas anche dal Decreto Legge 21/2022, cosiddetto DL Taglia prezzi, emendamento che permetterà agli impianti agricoli esistenti di incrementare la propria capacità produttiva e immettere così sul mercato quote aggiuntive di energia rinnovabile per far fronte alle richieste energetiche dovute alla guerra in Ucraina; la norma prevede, nei limiti di un aumento del 20 %, che non sia necessario l'acquisizione di permessi, autorizzazioni o atti amministrativi di assenso comunque denominati. In ogni caso si comprende che la definizione del quadro di riferimento è in continua evoluzione (Nigo e Murano, 2022).

2.3.1. EVOLUZIONE NELL'AREALE TRENINO

La Giunta provinciale di Trento, con deliberazione dell'952 dell'11 giugno 2021, ha approvato il Piano Energetico Ambientale Provinciale (PEAP) 2021-2030, documento definitivo di programmazione provinciale che attraverso 12 linee strategiche trasversali accompagna la transizione energetica ed ambientale del Trentino. Il piano ha un ruolo importante e strategico in quanto racchiude in sé sia le manovre di mitigazione del cambiamento climatico previste dalla Legge provinciale 19/2013 che prevedeva la riduzione del 50% delle emissioni al 2030, sia il nuovo limite istituito alla Climate Law europea che alza il target al 55% (Tonina, 2022).

All'interno della Provincia di Trento inoltre, solo dal giugno 2021 con delibera n.1015 del 18.06.21, sono state sancite le prime Zone vulnerabili da Nitrati (ZVN) ovvero "zone di territorio che scaricano direttamente o indirettamente composti azotati di origine agricola o zootecnica in acqua inquinate o che potrebbero esserlo in conseguenza di tali tipi di scarichi" (art.74 del D. Lgs.152/06).

Le aree in questione sono state così definite in seguito alla valutazione sulla base di specifici criteri:

- Nitrati ad una concentrazione superiore a 50 mg/L nelle acque sotterranee;
- Nitrati ad una concentrazione superiore a 50 mg/L nelle acque superficiali;
- Eutrofizzazione (eccessivo arricchimento di nutrienti) nelle acque superficiali.

Il parametro delle acque sotterranee è risultato conforme e quello relativo alle acque superficiali ha sfiorato la soglia dei 50 mg/L non comunque per cause di origine agricola. In quattro corpi idrici del territorio trentino si evidenziano, al contrario, segnali riconducibili all'eutrofizzazione (secondo il terzo criterio elencato) e pertanto i bacini afferenti sono stati individuati come ZVN di origine agricola.

Nella Figura 2.3.1.1 sono segnalate le ZVN che comprendono due corpi idrici del Fiume Brenta (Valsugana), uno del Rio Moscabio (Alta val di Non) e uno del Lago della Serraia (Baselga di Pinè).

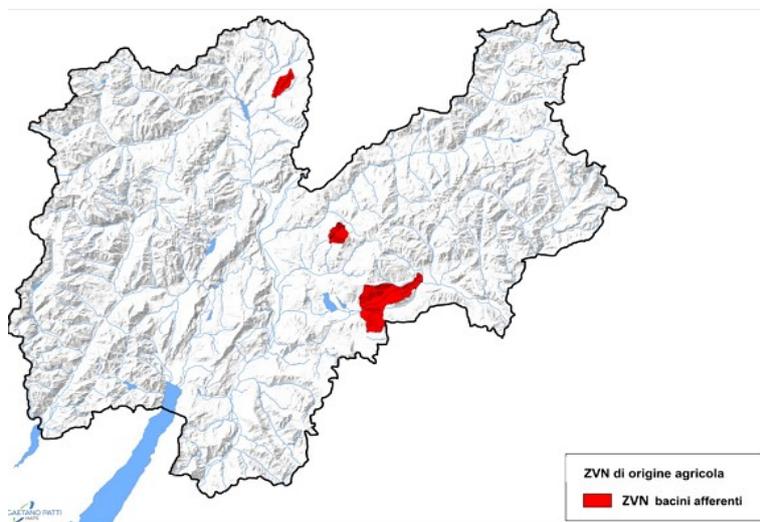


Figura 2.3.1.1: In rosso sono indicate le ZVN di origine agricola in Provincia di Trento (Frisanco, 2021)

È importante tenere in considerazione che, indipendentemente dalle possibili fonti di apporto eccessivo di nutrienti, scatta la definizione di ZVN qualora sia presente nel bacino afferente al corpo idrico una superficie agricola coltivata a foraggiere (frutteto e vigneto hanno necessità di apporti azotati più contenuti e di conseguenza con scarse perdite di elementi nutritivi).

Secondo quanto detto dunque, se un corso d'acqua localizzato a valle di campagne coltivate, presenta delle problematiche, la prima azione è quella di intervenire sulla concimazione (organica + minerale). Quindi come prima e più tangibile tra le conseguenze nelle ZVN avremo una limitazione degli apporti di azoto al campo (per un periodo transitorio di 2 anni a 210 kg/ha e poi a 170 kg/ha, anziché il limite di 340 kg/ha) (Frisanco, 2021).

Altro punto cruciale del settore è quello della gestione degli effluenti zootecnici. Il Decreto n. 5046 del 25 febbraio 2016 è quello che norma i criteri generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e delle acque reflue, nonché per la produzione e l'utilizzazione agronomica del digestato.

Lo scopo della normativa nazionale è quello di consentire alle sostanze nutritive ed ammendanti contenute negli effluenti di cedere proprietà al suolo realizzando un effetto concimante, ammendante, irriguo, fertirriguo o correttivo sul terreno oggetto di

utilizzazione agronomica, in conformità ai fabbisogni quantitativi e temporali delle colture.

La Provincia di Trento, con deliberazione della Giunta Provinciale n.1545 del 24 agosto 2018, in vigore da gennaio 2019, recepisce ed integra, entro la propria competenza, il Decreto n. 5046/2016.

La gestione prevede alcuni adempimenti, che variano a seconda della quantità di azoto di origine zootecnica prodotto e/o utilizzato dall'azienda. Ogni categoria di animali produce un determinato quantitativo di azoto in funzione del peso, dell'età e della specie. I valori riportati in tabella esprimono l'azoto prodotto al campo, cioè al netto delle perdite per emissioni di ammoniaca. Per esempio, una vacca da latte produce 83 kg di azoto all'anno, mentre un capo da rimonta di età superiore ai 6 mesi ne produce 36 kg. In funzione del numero dei capi allevati e quindi dell'azoto prodotto, ogni azienda è riconducibile ad una diversa classe dimensionale.

KG DI AZOTO/ANNO produttori e/o utilizzatori	CONSISTENZA ALLEVAMENTO BOVINO DA LATTE (IN UBA)
≤ 1000 kg di azoto	≤ 12
1000 < kg di azoto < 3000	da 13 a 36
3001 < kg di azoto < 6000	da 37 a 72
> 6000 kg di azoto	> 73

Tabella 2.3.1.1: Classi dimensionali degli allevamenti (Ioriatti, 2019)

Una delle novità negli ultimi anni per le aziende ubicate in provincia di Trento è l'introduzione dell'obbligo della comunicazione che nei prossimi anni andrà ad integrare il fascicolo aziendale. Si intende una comunicazione che, 30 giorni prima dell'utilizzazione dei reflui d'allevamento, il legale rappresentante deve effettuare. La comunicazione semplificata deve essere redatta da chi produce o utilizza più di 3.000 kg all'anno di azoto da effluenti. La comunicazione ordinaria viene compilata da chi produce o utilizza più di 6.000 kg all'anno di azoto da effluenti e da tutte le aziende tenute alla predisposizione del PUA (Piano di Utilizzazione Agronomica). Sono invece esonerate le aziende che producono fino a 3.000 kg di azoto all'anno.

Nella comunicazione semplificata (da 3.000 kg di azoto al campo fino a 6.000 kg) devono essere riportate, oltre alle informazioni già presenti nel fascicolo aziendale, le dimensioni degli stoccaggi delle deiezioni. Nella comunicazione ordinaria (superiore ai 6.000 kg di azoto prodotto e/o utilizzato) oltre a quanto previsto per la semplificata, si

dovranno calcolare i quantitativi di azoto e di effluente prodotti in relazione alla tipologia di stabulazione. Sono richieste, inoltre, informazioni sintetiche riguardanti il sistema di rimozione degli effluenti, eventuali trattamenti, le tecniche e le attrezzature utilizzate per la distribuzione delle deiezioni.

L'obbligo di redazione del Piano di Utilizzazione Agronomica provinciale, efficace per una corretta utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e del digestato in funzione delle tipicità degli allevamenti e delle caratteristiche del suolo agrario provinciale, è per le aziende in possesso di impianto di digestione anaerobica e/o per quelle con una consistenza che supera le 500 UBA. La durata massima del PUA è di 5 anni e deve essere aggiornato quando intervengano variazioni del 20% delle superfici aziendali, del carico UBA o del rapporto fra questi.

Un'altra novità introdotta dalla nuova normativa è rappresentata dai volumi minimi di stoccaggio, che devono essere di 90 giorni per il letame e le frazioni solide dei separati e di almeno 120 giorni per gli effluenti non palabili. Per quanto riguarda il letame non è consentito portarlo in campo prima di 90 giorni di permanenza in concimaia o in lettiera permanente (Ioriatti, 2019).

Anche in materia di distribuzione inoltre, le norme da rispettare si distinguono per i vari prodotti. L'utilizzo del letame è vietato in specifiche situazioni:

- Sulle superfici non interessate dall'attività agricola (eccetto le aree a verde pubblico/privato e le aree soggette a recupero ed a ripristino ambientale);
- nei boschi, ad esclusione degli effluenti di allevamento rilasciati dagli animali nell'allevamento brado;
- entro 5 metri di distanza dalle sponde di corsi d'acqua;
- per le acque lacuali entro 5 metri di distanza dall'inizio dell'arenile;
- sui terreni gelati, innevati, con falda acquifera affiorante, con frane in atto e terreni saturi d'acqua, fatta eccezione per i terreni adibiti a colture che richiedono la sommersione;
- in tutte le situazioni in cui l'autorità competente prevede provvedimenti di divieto volti a prevenire il contagio di malattie infettive, infestive e diffusive per gli animali, per l'uomo e per la difesa dei corpi idrici;
- nelle zone di tutela assoluta e di rispetto di pozzi, sorgenti e punti di captazione di acque superficiali a fini potabili individuate dalla medesima;

- nei parchi naturali e nelle aree protette ove il divieto sia previsto all'interno dei relativi piani di gestione.

L'utilizzo dei liquami è vietato:

- Sulle superfici non interessate dall'attività agricola (eccetto le aree a verde pubblico/privato e le aree soggette a recupero ed a ripristino ambientale);
- nei boschi, ad esclusione degli effluenti di allevamento rilasciati dagli animali nell'allevamento brado;
- sui terreni gelati, innevati, con falda acquifera affiorante, con frane in atto e terreni saturi d'acqua, fatta eccezione per i terreni adibiti a colture che richiedono la sommersione;
- in tutte le situazioni in cui l'autorità competente prevede provvedimenti di divieto volti a prevenire il contagio di malattie infettive, infestive e diffuse per gli animali, per l'uomo e per la difesa dei corpi idrici;
- entro 10 metri dalle sponde dei corsi d'acqua;
- a distanza inferiore a 3 m dalle strade provinciali e statali e dai binari ferroviari;
- entro 5 m dai centri abitati e dalle abitazioni, dalle strutture o attrezzature aperte al pubblico se i liquami ed assimilati vengono interrati entro 12 ore. Per l'utilizzo di digestato o chiarificato, se non interrati ne è vietato lo spandimento entro 10 m ed entro 30 m se viene utilizzato liquame tal quale;
- nei casi in cui i liquami possano venire a diretto contatto con i prodotti destinati al consumo umano;
- in orticoltura, a coltura presente, nonché su colture da frutto, a meno che il sistema di distribuzione non consenta di salvaguardare integralmente la parte aerea delle piante;
- dopo l'impianto della coltura nei parchi o giardini pubblici, campi da gioco ad uso pubblico;
- su colture foraggere nelle tre settimane precedenti lo sfalcio del foraggio o il pascolamento.

Per limitare il rischio di perdite di nutrienti causate da dilavamento e percolazione su terreni con pendenza superiore al 10%, devono essere assicurate la copertura vegetale del suolo e/o l'applicazione di appropriate pratiche agronomiche per la conservazione del suolo.

Le aziende che producono ed utilizzano digestato sono tenute a rispettare i seguenti adempimenti previsti dal DM 5046/2016:

- registrazione dei materiali di ingresso nell'impianto;
- redazione e conservazione delle registrazioni delle operazioni di utilizzazione agronomica del digestato sui terreni nella propria disponibilità ovvero di cessione del digestato a soggetti terzi;
- redazione del PUA;
- invio della comunicazione preventiva ordinaria;
- il rispetto delle disposizioni dei regolamenti vigenti (Sandri, 2019).

2.4. SISTEMI COMPRESORIALI

Una delle criticità riscontrate dall'applicazione di impianti di digestione anaerobica, è sicuramente l'accettabilità da parte delle culture locali; questo aspetto si evidenzia proprio nelle zone montane dove, data anche l'importante vocazione al turismo, l'immagine riveste un ruolo fondamentale.

La costruzione di strutture che all'apparenza e a chi non ne conosce la funzionalità vera e propria, risulta industriale ed impattante, può essere ostacolata.

L'innovazione anche nel settore agro-zootecnico ha permesso di adattare soluzioni meno impattanti anche dal punto di vista organizzativo: i sistemi comprensoriali.

Pensando ad esempio alla prospettiva del biometano o alle altrettanto interessanti prospettive legate al teleriscaldamento, appurata la caratteristica dimensione ridotta degli impianti di biogas agro-zootecnici italiani (a maggior ragione nelle zone montane), l'opzione associativa in consorzi potrebbe rivelarsi l'unica strada per superare alcuni problemi, come quelli relativi alla difficoltà di accesso alla rete, l'onerosità dei costi di *upgrading* e la possibilità di accesso ai sistemi incentivanti che, ad esempio, nel caso del biometano, tutt'oggi sembrano ritagliati appositamente al settore dei rifiuti (Gallo, 2018).

2.5. BIOMETANO

2.5.1. PROCESSI DI PURIFICAZIONE

Come descritto nei paragrafi precedenti, a seconda della sua destinazione, il biogas in uscita, prima di essere utilizzato, deve subire processi di purificazione; di norma infatti, il biogas destinato alla produzione di energia elettrica, viene sottoposto ad una raffinazione grezza che prevede filtrazione, desolforazione e deumificazione.

A partire dal biogas, grazie ad una raffinazione più spinta, è anche possibile ottenere un gas naturale adatto ad essere immesso in rete. In questa categoria rientra il biometano, definito dalla normativa italiana come “gas ottenuto a partire da fonti rinnovabili avente caratteristiche e condizioni di utilizzo corrispondenti a quelle del gas metano e, quindi, idoneo alla immissione nella rete del gas naturale”.

Il gas naturale è costituito da una miscela composta per circa il 90% da metano, il 10% da etano e diverse altre sostanze, quali vapore acqueo, acido solfidrico, elio, azoto molecolare, gas di petrolio; questi ultimi composti e molecole vengono in genere rimossi prima di immettere il gas naturale nelle reti di distribuzione.

	Biogas	Gas naturale
Metano	50-70%	93-98%
Etano	-	< 3%
Propano	-	< 2%
Azoto	< 3%	< 1%
Ossigeno	< 2%	< 1%
Diossido di carbonio	25-40%	
Acqua	2-7%	
Solfuro di idrogeno	< 1%	
Ammoniaca	< 1%	
Silossani	tracce	

Tabella 2.5.1: Composizioni medie del biogas e del gas naturale (Pieratti et al., 2013)

Il biometano è invece un gas che contiene prevalentemente metano (98% circa) e per produrlo, il biogas viene sottoposto a processo di purificazione (deidratazione, desolforazione, rimozione di ammoniaca gassosa, mercaptani, polveri) e *upgrading* (rimozione dell’anidride carbonica) sino a raggiungere la qualità del gas naturale. Solo

previa compressione ed odorizzazione, il biometano può poi essere immesso nella rete del gas.

Il primo trattamento corrisponde alla deidratazione (o deumidificazione) e consiste nella rimozione del vapore acqueo presente nel biogas in uscita dall'impianto di digestione anaerobica; il trattamento può avvenire per mezzo di sistemi di raffreddamento (per esempio con opportune macchine frigorifere), compressione, assorbimento in soluzioni a base di glicoli o ricorrendo a sali igroscopici (assorbimento su ossido di silicio o carbone attivo).

Viene poi effettuata la rimozione di acido solfidrico (desolforazione) agendo sulla fase liquida all'interno del digestore (come descritto nel capitolo 2.1.) o sul biogas da convertire. Nel secondo caso, la desolforazione può avvenire in un reattore specifico all'interno dell'impianto o nella stessa colonna ove avviene il processo di *upgrading*.

Si può agire mediante l'aggiunta controllata di ossigeno per favorire l'attivazione dei batteri, tramite l'assorbimento su carboni attivi e/o tramite assorbimento chimico (utilizzando per esempio chelati ferrici).

Anche il processo di *upgrading* può avvenire applicando diverse tecnologie e metodi che possono essere di tipo:

Fisico

- Adsorbimento a pressione oscillante: il materiale adsorbente è all'interno di due colonne nelle quali vengono applicate diverse pressioni. A pressione elevata la CO₂ viene assorbita dal materiale e, all'abbassarsi della pressione, il materiale si rigenera. Sulla base di questo principio, il biogas grezzo, quando l'adsorbente si satura, passa ad una colonna "rigenerata".
- Lavaggio con acqua a pressione: è la tecnica più comune e si basa sulla differenza di solubilità, tra la CO₂, in cui è maggiore e il CH₄. Negli impianti di lavaggio, il gas grezzo attraversa una colonna di trattamento riempita di materiale plastico per aumentare la superficie di contatto tra fase gassosa e quella liquida. All'interno di tale colonna, il gas incontra un flusso di liquido in controcorrente. Il liquido esce "arricchito" con CO₂, mentre il gas è prevalentemente costituito da CH₄.
- Lavaggio fisico con solventi organici: è molto simile all'impianto con lavaggio ad acqua sotto pressione con la differenza che, rispetto a quest'ultimo, la CO₂ è assorbita da un solvente organico. Il vantaggio di usare tale solvente organico anziché l'acqua, sta nel fatto che la CO₂ è più solubile nel glicole organico che in

acqua quindi, a parità di capacità di *upgrading*, il flusso della fase liquida può essere inferiore.

- Separazione attraverso membrane: le membrane a secco sono costituite da materiali permeabili alla CO₂, all'H₂S gassoso e all'NH₃ (meno permeabili all'H₂S, all'O₂, all'N₂ e al CH₄). Il processo di separazione è solitamente effettuato in due fasi; prima di entrare nel fascio di fibre, il gas subisce un trattamento di filtrazione allo scopo di eliminare H₂O(g) e contaminanti, quali gocce di olio e aerosol. Il metodo di separazione tramite membrane è quello classico per *l'upgrading* del gas da discarica.

Chimico:

- Lavaggio chimico: i composti amminici utilizzati sono essenzialmente la monoetanolammina (MEA) oppure dimetiletanolammina (DMEA). Grazie alle soluzioni amminiche la CO₂ viene assorbita nella fase liquida e reagisce chimicamente con l'ammina presente. Questa reazione chimica è altamente selettiva, cosicché le perdite di CH₄ durante il processo di *upgrading* possono addirittura essere inferiori allo 0,1%. L'ammina legata con la CO₂ si può rigenerare per riscaldamento. Occorre notare che l'H₂S eventualmente presente nel gas grezzo viene anch'esso assorbito dalla soluzione amminica e saranno quindi necessarie temperature più alte per la rigenerazione delle ammine. È quindi fortemente consigliata la rimozione preventiva dell'H₂S, prima dell'*upgrading*.

I vantaggi nell'utilizzo di una tecnologia piuttosto che di un'altra, dipendono dai vari contesti locali. In ogni caso il sistema a membrana, sfruttando diverse configurazioni, ed essendo quello più economico, offre la possibilità di adattarsi a tanti tipi di impianti anche di piccola taglia (es. 100 Nm³/h di biometano trattato).

Perché il biometano possa essere immesso in rete, è necessario che rispetti la compatibilità con le caratteristiche del gas stabilite dalla rete locale. Il biometano quindi deve subire un ulteriore percorso di purificazione con trattamenti di condizionamento (addizione di propano per raggiungere il potere calorifico del gas presente), odorizzazione ed infine compressione, la cui intensità dipende dalla pressione a cui si trova il gas con cui il biometano è destinato a mescolarsi.

2.5.2. POSSIBILITÀ E PROSPETTIVE

Le possibili vie del biometano sono del tutto equivalenti a quelle del gas naturale (inteso come metano): stazioni di rifornimento di carburante poste più o meno nei pressi dell'impianto di produzione di biogas, co-generazione in impianti centralizzati (ove in particolare il calore prodotto dal cogeneratore possa essere usato in maniera più efficiente), utenze domestiche (riscaldamento e cottura), utenze industriali. È quindi evidente come in questo modo il biometano può rappresentare un mezzo energeticamente flessibile, un vettore energetico "pulito" e sostenibile che consente di sfruttare al massimo la risorsa biogas rispetto alla sua alternativa elettrica (Mezzadri et al., 2010), (Pieratti et al., 2013).

Il biometano, derivando dalla tecnologia consolidata del biogas, presenta anche le criticità tecniche legate proprio alla parte relativa al biogas e all'attenzione necessaria sul processo biologico. Per contare su biometano di ottima qualità occorre partire da biogas contenente una quantità sostanziosa di CH₄.

Quando si parla di biometano solitamente vengono sollevati due temi: l'inquinamento e l'odore, aspetti centrali in quasi tutte le discussioni riferite a biogas e biometano. A questo proposito si risponde con il rispetto di obblighi a livello ambientale attraverso interventi strutturali e monitoraggi periodici di tutti i parametri necessari.

Il biometano italiano diventa interessante anche per l'impiego nei trasporti, specie per i trasporti pesanti (sottoforma di Gas Naturale Compresso CNG oppure Liquefatto LNG), per il suo ridotto impatto ambientale soprattutto rispetto alle alternative come gasolio e metano.

A tal proposito, uno studio promosso da CIB (Consorzio Italiano Biometano) e Iveco, ha analizzato scenari diversi, differenziati per materia prima per la produzione di biogas e per la presenza o meno di cattura della CO₂ durante il processo di upgrading, riferendosi al mercato italiano, uno tra i primi in Europa per numero di veicoli alimentati a metano e per la presenza di stazioni di rifornimento di CNG e LNG.

I risultati ottenuti dimostrano che nel settore della mobilità, il biometano liquefatto permette la riduzione delle emissioni di gas serra fino al 121,6% rispetto all'impiego di gasolio e una diminuzione del 65% di biossido di azoto. Lo sviluppo del LNG rappresenta oggi l'unica alternativa all'utilizzo dei carburanti fossili immediatamente disponibile nel comparto del trasporto pesante di difficile elettrificazione (Balocchi, 2022).

Prima del suo avanzamento però, il biocarburante è stato oggetto di molte discussioni e dubbi a livello internazionale dati dalla diffidenza verso la sua sostenibilità; per anni e ancora oggi, le prospettive collegate a questo tema sono in continua rivalutazione soprattutto per la paura delle possibili ricadute sull'industria italiana.

Anche fino a dieci anni fa infatti, le strategie di normazione nazionali erano focalizzate sull'incentivazione dell'energia elettrica presentando il biometano come una scelta poco conveniente. Nonostante lo scetticismo, già nel 2013, il Piano Bioenergia di Trento ha ipotizzato degli scenari relativi alla realtà di montagna per l'applicazione di tale innovazione; questo fa capire come anche oggi la novità del biometano può trovare impiego ed adattarsi al mondo trentino. Oltre a sfruttare gli impianti per il trattamento della FORSU nel fondovalle e quelli di depurazione delle acque reflue, la chiave è quella di unire le risorse disponibili quali reflui zootecnici ed il territorio fortemente vocato al turismo; la valorizzazione energetica di residui zootecnici, può trovare destinazione, per esempio, nel rifornimento di stazioni di servizio sfruttate dai numerosi turisti stagionalmente presenti nelle zone montane.

Si è poi pensato come nelle comunità montane tale opzione può, ancora oggi, esaltare l'immagine delle produzioni e dei territori, dotando di un valore aggiunto i prodotti commercializzati e quindi consentendo alle aziende locali di distinguersi maggiormente sul mercato. Certo è che queste nuove soluzioni di scala medio-grandi, poco si adattano alle aziende medio-piccole tipiche del settore trentino.

Anche adesso si continua a puntare sull'accettabilità da parte delle comunità locali e dei loro rappresentanti facendo sì che impianti di piccole dimensioni riescano ad integrare le nuove tecnologie sfruttando la possibilità di unirsi in organizzazioni cooperative (Pieratti et al., 2013).

Le soluzioni che fino a dieci anni fa erano ipotesi comunque, hanno iniziato a concretizzarsi: l'azienda BioEnergia Trentino Srl (società attiva dal 2012) ha promosso la realizzazione dell'impianto *upgrading* per la produzione di biometano; un impianto che, dal luglio del 2021, lavora circa 60.000 tonnellate di rifiuti organici e di verde urbano provenienti da tutto il Trentino in biometano per alimentare 67 autobus che oggi circolano in città (Raicaldo, 2022).

Un altro esempio è il caso dell'impianto Wipptal di Vipiteno (BZ), il quale produce biometano ricorrendo al 100% a deiezioni delle vacche da latte del territorio per poi recuperare tutta la CO₂ emessa dal processo, liquefarla e venderla alle industrie (Giuliani e Gandini, 2022).

Si comprende allora come questa prestante fonte rinnovabile può essere la chiave per svincolare l'Italia dalla dipendenza dei fossili, contando anche sul fatto che il nostro Paese è già al secondo posto per la produzione di biometano da matrice agricola in Europa, che a sua volta è il principale produttore mondiale insieme a Cina e Stati Uniti (Balocchi, 2022).

Ancor di più oggi, con l'effetto del conflitto in Ucraina, con le tensioni geopolitiche già presenti prima del conflitto e con le conseguenti ripercussioni sul mercato dell'energia, un' Europa ancora troppo basata sui combustibili fossili di importazione, rischia di rimanere a tappeto. A costo di trarre effetti solo a distanza di qualche anno, è importante condividere fin da subito una strategia a livello europeo e adattare le politiche ambientali migliori in base al potenziale energetico dei singoli Paesi (Raicaldo, 2022).

In data 18 maggio 2022 la Commissione Europea ha illustrato nel dettaglio il nuovo pacchetto REPowerEU: una serie di strumenti finalizzati soprattutto ad autonomizzare l'UE dall'importazione dei combustibili fossili russi. Oltre a specifiche direttive, il programma, comprende un vero e proprio “Piano d'azione per il biometano” con misure che promuovono la produzione e l'uso sostenibile del biogas e del biometano, nonché l'immissione di quest'ultimo nella rete del gas. La sua diffusione si rivela anche economicamente vantaggiosa. All'inizio di quest'anno il prezzo del gas naturale ha superato i 200 euro e tutt'ora rimane comunque elevato. Mentre questo accade, i costi tipici di produzione del biometano in Europa si abbassano, oscillando tra i 55 e i 100 €/MWh, a seconda del luogo, della materia prima, delle dimensioni e della configurazione dell'impianto (Sainz et al, 2022). Nella seguente Figura 2.5.2.1 si osservano i diversi vantaggi che la crescita della filiera in materia di produzione di biometano può portare in Europa.

Come risposta alla crisi causata dal Covid-19, per contrastare l'effetto economico e sociale della pandemia, il Governo Italiano ha inoltre approvato il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).

Il PNRR ha stanziato circa 2 miliardi di euro per rafforzare il comparto del biometano italiano, con la prospettiva che esso, se diretto nella rete gas potrà contribuire a raggiungere gli obiettivi al 2030 con una riduzione di gas a effetto serra rispetto al ciclo vita del metano fossile tra l'80-85 %.

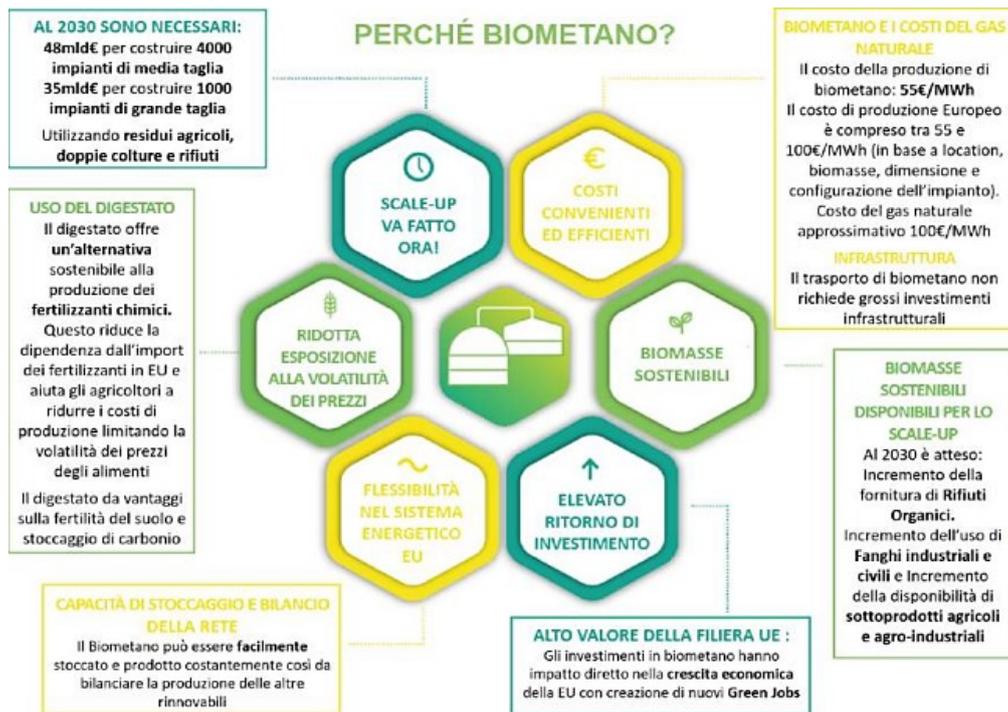


Figura 2.5.2.1: Vantaggi dell'incremento di produzione di biometano a livello europeo (Sainz et al., 2022)

L'investimento per rafforzare lo sviluppo del biometano italiano prevede il raggiungimento di quattro obiettivi:

- la riconversione e il miglioramento dell'efficienza degli impianti biogas agricoli esistenti tramite la produzione totale o parziale di biometano da sfruttare in diversi campi, dall'industria, ai trasporti, al residenziale;
- il supporto e la realizzazione di nuovi impianti per produrre biometano, attraverso un contributo del 40% dell'investimento;
- la valorizzazione del digestato come alternativa ai fertilizzanti di sintesi aumentando le "buone pratiche sostenibili" nel corso di tutto il processo di produzione;
- la spinta a sostituire veicoli obsoleti e poco efficienti con mezzi alimentati a metano/biometano per innovare anche la meccanizzazione agricola (Nigo, 2021), (Balocchi, 2022).

L'immediata applicazione delle misure del piano, potrebbe garantire la produzione di oltre 4 miliardi di metri cubi di biometano al 2026, pari a circa il 30% dell'obiettivo del nostro Governo di sostituzione delle forniture di gas naturale importato dalla Russia; entro il 2030 il settore del biometano dovrebbe arrivare a fornire il 20% delle attuali importazioni di gas fossile UE dalla Russia senza corposi investimenti infrastrutturali

ma con l'immissione diretta nella rete del gas esistente. Toccando un traguardo simile si può puntare a raggiungere, entro il 2050, il triplo del potenziale. Per ambire a raggiungere la serie di obiettivi UE, è necessario continuare in fretta sulla strada delle riforme, come precedentemente accennato, semplificando i processi di qualifica degli impianti per la loro messa in esercizio commerciale considerati i tempi attualmente insostenibili per le imprese (Balocchi, 2022), (Sainz et al., 2022).

Secondo le previsioni di EBA (European Biogas Association), nei prossimi 8 anni, solo grazie a sostegni legislativi, possono essere investiti 48 miliardi di euro per la costruzione di 4.000 unità di medie dimensioni e 35 miliardi di euro per la costruzione di 1.000 impianti di grandi dimensioni. È un obiettivo ambizioso ma raggiungibile come dimostra la vicina Germania che in 9 anni ha costruito 6.000 impianti (Figura 2.5.2.2) (Sainz et al., 2022).

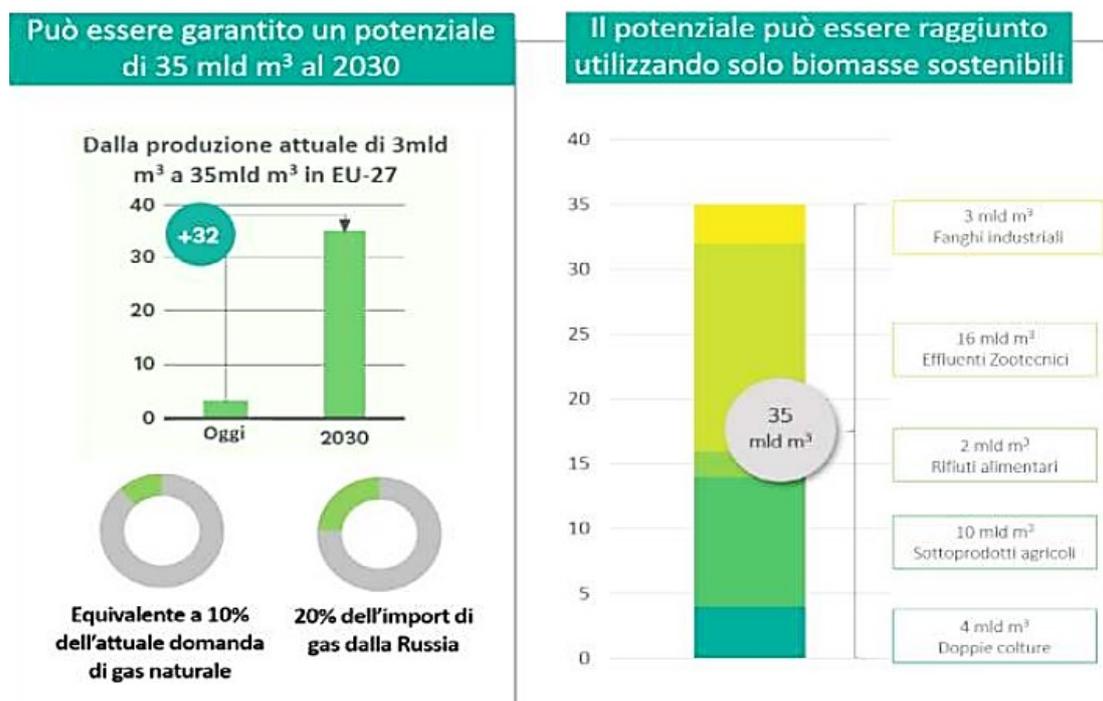


Figura 2.5.2.2: Potenziale di produzione biometano al 2030 attraverso l'utilizzo di biomasse sostenibili (Sainz et al., 2022)

3. MATERIALI E METODI

3.1. RACCOLTA DATI E ANALISI DEGLI EFFLUENTI PRODOTTI

Per contestualizzare l'applicazione dei sistemi di digestione anaerobica nell'ambito agro-zootecnico provinciale trentino, è stato utile osservare l'evoluzione del comparto in termini di numero di capi e, in linea con lo studio, stimare il carico di azoto generato dagli allevamenti di bovine presenti sul territorio.

Per costruire le linee demografiche sono stati considerati i dati registrati nella sezione statistiche della Banca Dati Nazionale dell'Anagrafe Zootecnica (BDN) in riferimento alla specie bovina a partire da giugno 2012 fino a giugno dell'anno corrente.

I dati raccolti comprendono sia il numero delle varie tipologie di allevamenti bovini presenti all'interno della Provincia, che il numero di capi in modo da disporre di un quadro evolutivo più chiaro e completo.

A partire dai dati disponibili relativi al 2022, è stato poi quantificato l'azoto totale prodotto dalle vacche in lattazione e dalla rimonta, sulla base dei valori indicati nell'Allegato I del D.M n. 5046 25 febbraio 2016.

Categoria animale e tipologia di stabulazione	Azoto al campo (al netto delle perdite)			
	Totale		nel liquame	nel letame ^(a)
	kg/capo/anno	kg/t p.v./anno	kg/t p.v./anno	kg/t p.v./anno
Vacche in produzione (latte) (peso vivo: 600 kg/capo) ^(c)	83	138		
• fissa o libera senza lettiera			138	
• libera su lettiera permanente			62	76
• fissa con lettiera, libera su lettiera inclinata			39	99
• libera a cuccette con paglia (groppa a groppa)			85	53
• libera a cuccette con paglia (testa a testa)			53	85
Rimonta vacche da latte (peso vivo: 300 kg/capo) ^(d)	36,0	120		
• libera in box su pavimento fessurato			120	
• libera a cuccette senza paglia o con uso modesto di paglia			120	
• fissa con lettiera			26	94
• libera con lettiera permanente solo in zona riposo (asportazione a fine ciclo)			61	59
• libera con lettiera permanente anche in zona di alimentazione; libera con lettiera inclinata			17	103
• vitelli su pavimento fessurato			120	
• vitelli su lettiera			20	100

Figura 3.1.1: Tabella valori al campo per anno di azoto (Elab. Allegato I D.M n. 5046/2016)

L'elaborazione dei dati ha permesso di rapportare la densità di produzione di azoto (espressa in kg/ha/anno) nei diversi comuni della Provincia di Trento.

3.2. DESCRIZIONE DEL QUESTIONARIO

L'elaborato si pone come scopo quello di osservare nello specifico la realtà zootecnica trentina attuale che include allevamenti di bovine da latte i quali hanno scelto autonomamente o in società, di valorizzare gli effluenti prodotti dai propri animali attraverso sistemi di digestione anaerobica.

I dati sono stati raccolti sulla base di un questionario specifico che ha permesso principalmente di inquadrare le caratteristiche delle aziende coinvolte in particolar modo legate ai fattori influenzanti la dieta del digestore, il processo che avviene all'interno dell'impianto e di conseguenza il prodotto ottenuto.

Servendosi di un questionario risulta più efficace ed immediato rilevare informazioni standard sulle varie aziende tenendo conto dell'importanza del renderlo più facilmente comprensibile agli allevatori dal punto di vista tecnico.

Il questionario si compone di quesiti relativi sia all'azienda in termini di ubicazione, consistenza di capi, categoria ed alimentazione che alla descrizione del digestore con rispettivi prodotti in entrata e in uscita.

La raccolta dei dati è risultata efficace a livello di azienda privata in quanto le informazioni ottenute sono più precise e poco variabili. Diverso è dal lato dei consorzi per i quali la gestione è ben diversa dal primo contesto.

Il questionario è costituito quindi da varie sezioni riguardanti sia le aziende coinvolte che l'impianto; le sezioni del questionario comprendono:

- Informazioni generiche dell'impianto che ne indicano la localizzazione, l'anno d'installazione, la potenza elettrica, quella termica (espressa in kilowatt) e la tipologia con eventuale numero di aziende conferitrici;
- i dati relativi agli allevamenti che descrivono la consistenza media annua suddivisa per categoria di capi allevati, la stabulazione per ogni categoria ed il materiale da lettiera utilizzato;
- indicazioni relative al tipo di dieta degli animali e alla modalità di somministrazione;
- dati riferiti alla struttura del digestore quali numero di fermentatori, materiali di costruzione, materiali isolanti con rispettivi spessori, posizionamento rispetto al terreno e sistemi di miscelazione;
- quesiti relativi al sistema di carico nel digestore, quantitativi della biomassa immessa ed eventuali pre-trattamenti effettuati;

- informazioni legate ai prodotti in uscita dal digestore come quelle relative ai trattamenti eseguiti sul digestato in seguito alla fermentazione, modalità e tempi di stoccaggio, modalità di distribuzione in campo e destinazioni d'utilizzo dell'energia prodotta con corrispondenti percentuali;
- una parte dedicata alla consistenza aziendale in termini di superficie agricola con particolare riferimento a quella destinata a spandimento del digestato considerando la localizzazione ed i vincoli paesaggistici;
- un quesito finalizzato a comprendere i possibili progetti futuri legati alla funzionalità dell'impianto.

3.3. CARATTERISTICHE DEL CAMPIONE INTERVISTATO

Le aziende intervistate, tutte collocate in Provincia di Trento, sono rappresentate sia da allevamenti di bovine da latte dotate di impianto biogas privato sia da allevamenti associati conferenti ad un impianto consortile.

All'interno della cartina (Figura 3.2.1) sono rappresentate le localizzazioni delle 8 installazioni; i primi cinque segnaposti, di colore giallo, indicano le aziende con impianto privato, mentre i restanti di colore rosso, indicano i tre impianti consortili.

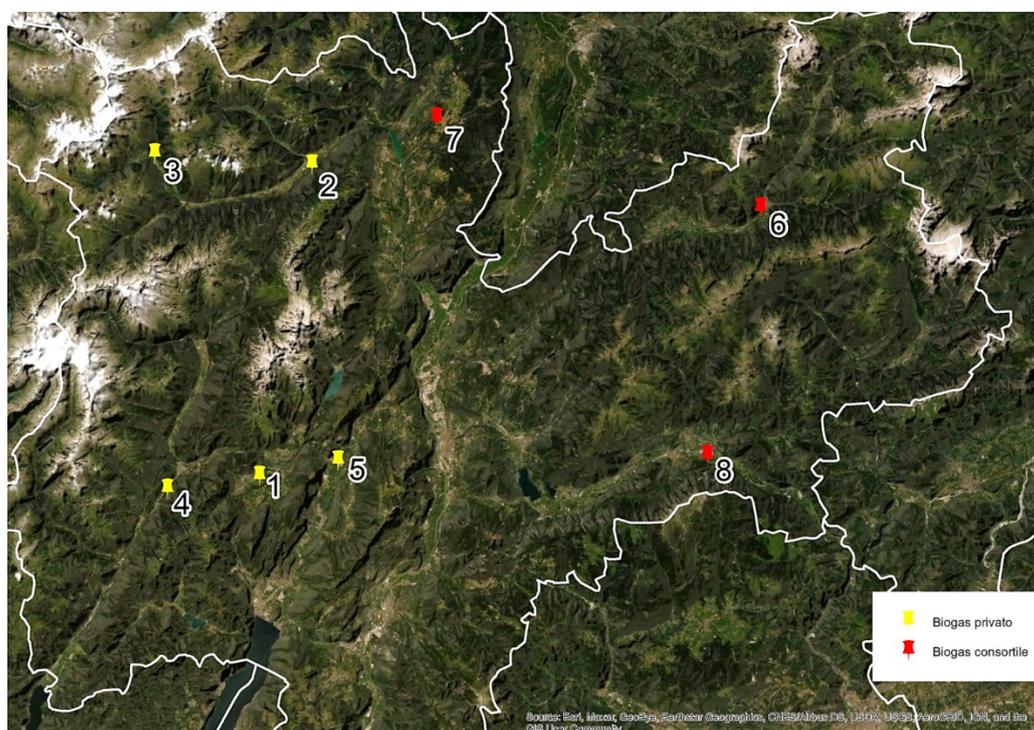


Figura 3.2.1: Cartina della Provincia di Trento su cui sono indicate le localizzazioni degli impianti campione

Impianto numero 1

L'impianto numero 1, tra quelli intervistati, è il più grande privato in termini di produzione energetica ed è ubicato nel comune di Comano Terme. L'installazione, dal 2011, è adiacente all'allevamento di bovini destinati alla produzione di latte ed alimenta un cogeneratore da 250 kW di potenza elettrica.

L'azienda dispone di circa 112 ettari di terreno di proprietà. L'allevamento comprende circa 750 bovine, di cui 400 vacche in lattazione (su cuccette con paglia), 50 vacche in asciutta e 300 capi in rimonta (su lettiera) e vitelli.

L'impianto di biogas consta di due fermentatori concentrici seguiti da un terzo. Questi sono alimentati ad elevata frequenza integralmente con liquami e letami del bestiame aziendale. Il sistema di carico al digestore prevede 2 pre-vasche, una dedicata alla raccolta del liquame e una alla raccolta del letame.

Le deiezioni delle vacche in lattazione vengono raccolte ad ogni mungitura (2 volte al giorno) in un canale che le convoglia nella pre-vasca del primo fermentatore con un sistema di pompe;

Il sistema di immissione delle sostanze solide ha una capacità di stoccaggio di circa 30 m³ ed è dotato di coclee di trasporto.

Per la fermentazione degli effluenti zootecnici l'impianto è costituito da due vasche in calcestruzzo armato di 3000 m³ ciascuna, di cui la prima si compone in un anello esterno di 1800 m³ ed uno interno di 1200 m³, che rispettivamente fungono da primo e secondo fermentatore. Entrambe hanno solaio in calcestruzzo armato e sono dotati di impianto di desolfurazione con la differenza che il primo ha un sistema di riscaldamento con tre anelli in acciaio INOX e presenta due agitatori ad elica laterali mentre il secondo possiede un anello ed un agitatore verticale a pale.

È poi presente un terzo fermentatore, dotato di riscaldamento ad un anello, di un impianto di desolfurazione e un gasometro con cupola in materiale plastico.

È installato anche un impianto a tappeto di essiccazione; il materiale che viene essiccato è il digestato tal quale in uscita dalla linea di fermentazione dell'impianto biogas attraverso una condotta di liquame. Per rendere il materiale adeguato al processo, è presente anche un sistema che miscela il digestato tal quale con il digestato essiccato (la rimanente parte di digestato essiccato viene espulsa mediante un'apposita coclea e stoccata in sacchi); la rimanente parte di digestato tal quale viene stoccata e poi utilizzata per la concimazione dei terreni quasi per la totalità prossimi all'azienda.

Viene inoltre recuperato anche il calore dei fumi di scarico miscelandoli all'aria di essiccazione aspirata dall'esterno e riscaldata tramite degli scambiatori a piastre.

Impianti 2 e 3

Gli impianti 2 e 3 si uguagliano per caratteristiche costruttive. Sono localizzati uno a Malè ed uno a Peio, presso i rispettivi allevamenti e raggiungono una produzione di energia elettrica pari a 50 kW l'uno. Entrambe si costituiscono di un fermentatore in cemento armato totalmente interrato.

L'impianto numero 2, viene alimentato giornalmente con liquame e letame di 140 animali stabulati liberamente su pavimentazione piena: 90 vacche in lattazione e 25 manze in cuccette, 5 manzette e 20 vitelli su lettiera permanente.



Figura 3.2.2: Tramoggia di carico e container dell'impianto ubicato a Malè

Nell'impianto situato a Peio invece vengono giornalmente immesse le deiezioni solide e liquide di circa 5 vitelli in box, 70 bovine in produzione e 28 manze stabulate liberamente in cuccette.

La prima azienda dispone di 31 ha di proprietà tra prati stabili e meleti mentre quest'ultima ne detiene altrettanti tra prati e pascoli.

Impianti 4 e 5

I fermentatori 4 e 5 possono essere definiti dei micro impianti; sono situati fuori terra, la struttura principale è in acciaio INOX ed è coperta dalla cupola gasometrica in telo plastico.

Il n° 4, da 22 kW_e è ubicato a Breguzzo ed è applicato ad un allevamento che lo alimenta con letame e liquame di circa 135 animali tra bovine in lattazione e rimonta (in cuccette) e di circa 15 animali da rimonta su lettiera permanente. Gli ettari coltivati dall'azienda sono circa 55.

L'impianto rappresentato dal n° 5, situato a Sarche, produce 33 kW di potenza elettrica. L'allevamento, il quale immette la totalità degli effluenti nel biodigestore, gestisce circa 110 vacche in lattazione su cuccette con paglia e pavimentazione fessurata, circa 50 capi da rimonta su lettiera e vitelli (circa 30). La superficie aziendale ammonta a circa 82 ettari.



Figura 3.2.3: Impianto biogas privato a Sarche

Impianto 6

Il sesto impianto intervistato, dalla potenza di 125 kW_e, si trova a Predazzo, fuori dal centro abitato, è consortile ed è basato sul funzionamento bi-stadio grazie alla presenza di due fermentatori sotto terra ed una vasca parzialmente interrata con gasometro. Un digestore da 500 m³ e un post-digestore di 1200 m³. Le aziende conferitrici sono 6 e si trovano per la maggior parte all'interno del comune, distanti mediamente 1,5 km dall'impianto. La biomassa che conferiscono è esclusivamente liquame di bovine in lattazione allevate (420 animali in totale). Le aziende sono tutte a stabulazione libera, il 50% con pavimentazione fessurata, le restanti con pavimentazione piena. In media le aziende hanno 80 capi in produzione (la meno consistente ne possiede 40, la più grande 120). Il prelievo dalle vasche di stoccaggio dei liquami aziendali per il trasporto verso l'impianto, viene effettuato a rotazione, in base alla necessità e dunque in funzione al numero di capi in gestione. I liquami vengono versati nella pre-vasca con sistema di pompe. Il digestato liquido poi ottenuto, in quantità uguali a quelle d'ingresso, viene sia stoccato presso l'impianto che presso le aziende conferitrici le quali sono dotate di idonee vasche per solo digestato liquido. La somma delle superfici in proprietà delle 6 aziende corrisponde a circa 281 ettari.



Figura 3.2.4: Fase di carico del digestato liquido da parte del camion



Figura 3.2.5: Pareti dei due digestori interrati dell'impianto di Predazzo



Figura 3.2.6 e 3.2.7: Impianto consortile di Predazzo. Nelle immagini si distinguono il gasometro parzialmente interrato ed il sito di stoccaggio della materia solida di scarto della digestione dei liquami

Impianto 7

A Romeno, in Val di Non, è installato l'impianto n° 7, il maggiore in termini di numero di soci conferitori. Le aziende in società sono 12, possiedono complessivamente c.a. 314 ha (in media 26,1 ha/azienda) e apportano tutte deiezioni solide e liquide dei capi allevati, eccetto due aziende che immettono esclusivamente liquame. Complessivamente gli animali dei soci sono 720. Quasi la totalità delle aziende alleva le bovine in lattazione in stabulazione libera su cuccette e su pavimentazione piena, la rimonta, escluse tre stalle che non la gestiscono, su lettiera inclinata.

Un'azienda inoltre, possiede circa una quarantina di cavalli adulti. L'impianto raggiunge i 300 kWe, è dotato di due fermentatori uguali in acciaio INOX con copertura

in materiale plastico da 2000 m³ l'uno, una vasca di stoccaggio per la frazione liquida (sempre in acciaio INOX con telo plastico) e un capannone per lo stoccaggio di quella solida. Dal vascone per il materiale liquido, i consorziati possono prelevare il liquido e portarlo direttamente nei campi senza doverlo lasciare stoccare in azienda.

Le stalle più vicine, a monte all'impianto, conferiscono i liquami tramite 1 km di tubazioni per caduta evitando l'inquinamento del trasporto con i camion.

Per le restanti aziende è previsto un servizio dedicato, una o due volte a settimana che raccoglie il liquame per poi portarlo a destinazione.

Impianto 8

L'impianto n° 8 si trova a Villa Agnedo e attualmente vi conferiscono 12 aziende situate nei comuni limitrofi (l'allevamento più lontano dista circa 10 km). Tutte le aziende conferiscono sia liquame che letame di 720 bovine in totale, allevate per la maggior parte a stabulazione libera su cuccette e di 415 animali da rimonta (gestiti perlopiù su lettiera permanente) tra manze, manzette e vitelli.

La consegna degli effluenti ed il ritiro del materiale in uscita sono a carico dei soci conferitori i quali dispongono complessivamente di 400 ha di superficie (l'azienda dimensionalmente più grande possiede c.a. 70 ha).

una vasca di miscelazione semi interrata, con capacità pari a 452 m³, in cui viene stoccato il liquame, un deposito coperto per il letame (costituito da un silo orizzontale), un sistema di carico del materiale palabile e due fermentatori con sovrastante cupola in telo PVC; uno dei due contenitori coperti (dalla capacità di 2.352 m³) recupera il biogas, l'altro (dalla capacità di 4704 m³) garantisce lo stoccaggio finale del digestato liquido.



Figura 3.2.8: Impianto consortile di Villa Agnedo (Caumo, 2016)

4. RISULTATI

4.1. IL CONTESTO ZOOTECNICO E LA PRODUZIONE DI EFFLUENTE

Consistenza bovina nella Provincia di Trento

Dal grafico 4.1.1 ricavato dall'elaborazione dei dati forniti dalla BDN dell'Anagrafe Zootecnica, si osserva la mutazione del numero di allevamenti bovini all'interno del territorio provinciale di Trento, dal 2012 ad oggi.

La rappresentazione grafica fa riferimento sia agli allevamenti da latte (linea blu) che agli allevamenti da carne (linea rossa), i quali racchiudono stabilimenti per animali da ingrasso, autoconsumo, linea vacca vitello, vitelli a carne bianca e riproduttori a fine carriera.

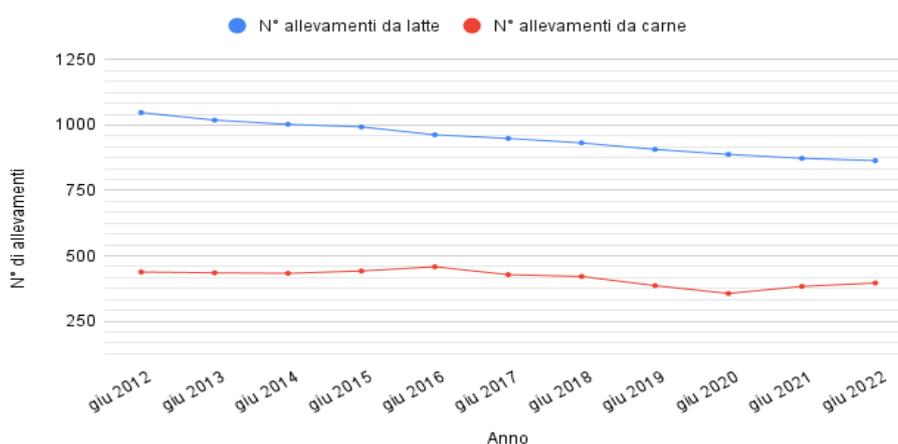


Grafico 4.1.1: Evoluzione del numero di allevamenti bovini (sia da latte che da carne) nella Provincia di Trento

A giugno 2012 gli allevamenti da latte erano 1048 mentre quelli da carne 438. Il comparto della produzione di latte fino ad oggi ha subito, come si nota, una progressiva diminuzione del numero di stabilimenti che a giugno 2022 risultavano 864, circa il 17,6% in meno rispetto a dieci anni fa.

Anche gli allevamenti da carne, nello stesso tempo, sono diminuiti, riducendosi del 9,6% circa; a differenza dell'altro orientamento produttivo però, il decremento è stato altalenante. L'andamento della linea rossa in effetti si presenta piuttosto costante e indica un aumento del numero di allevamenti nel 2015 e 2016 rispetto all'anno precedente. Attualmente le aziende che gestiscono bovine con attitudine alla produzione di carne sono 396, rispetto ai 438 del 2012.

In concomitanza, oltre che per gli allevamenti, il calo si è verificato, ed ancora oggi continua a verificarsi, per il numero di capi allevati. Analizzando i seguenti grafici si

nota la variazione, nello stesso arco temporale, in termini di consistenza di bovine da latte (Grafico 4.1.2) e da carne (Grafico 4.1.3) sul territorio provinciale. Relativamente al comparto latte, a giugno 2012 i capi allevati in Provincia di Trento ammontavano a 36.616; fino al 2016 il numero è aumentato arrivando a 37.184 bovine (568 in più rispetto a quattro anni prima). Dal 2016 al 2017 il decremento è stato irrilevante (da 37.184 bovine a 37.129) per poi continuare progressivamente e in modo più consistente fino ad oggi, in cui i capi allevati risultano essere circa 33.810 (7,6% in meno rispetto a 10 anni fa).

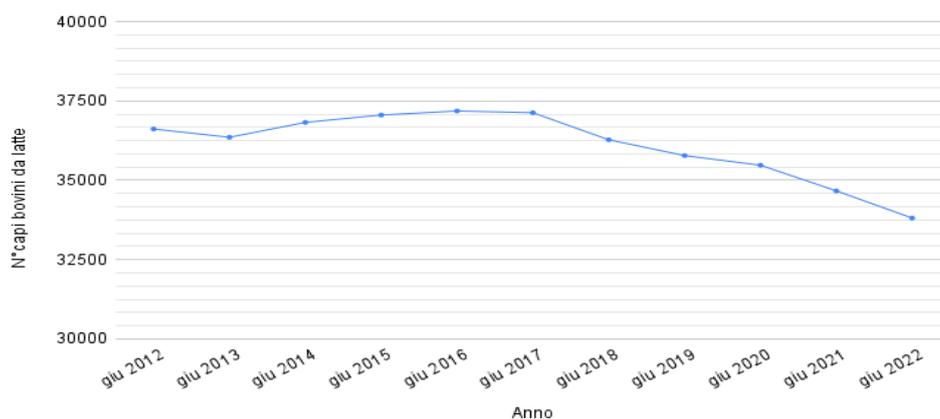


Grafico 4.1.2: Evoluzione del numero di capi di bovini da latte nella Provincia di Trento

Per quanto riguarda l'evoluzione della densità numerica dei capi da carne, la linea rossa descrive una tendenza altalenante soprattutto dal 2012, in cui gli animali erano circa 7.225, fino al 2016 in cui erano 6.609. Il decremento più sostanziale lo si osserva tra il 2014 ed il 2015 (1.108 capi in meno). Dopo un altro leggero rialzo, negli ultimi due anni il dato si sta progressivamente riducendo. Ad oggi il numero di bovine destinate alla produzione di carne nella Provincia di Trento ammonta a 5608, circa il 22,3% in meno rispetto ai valori del 2012.

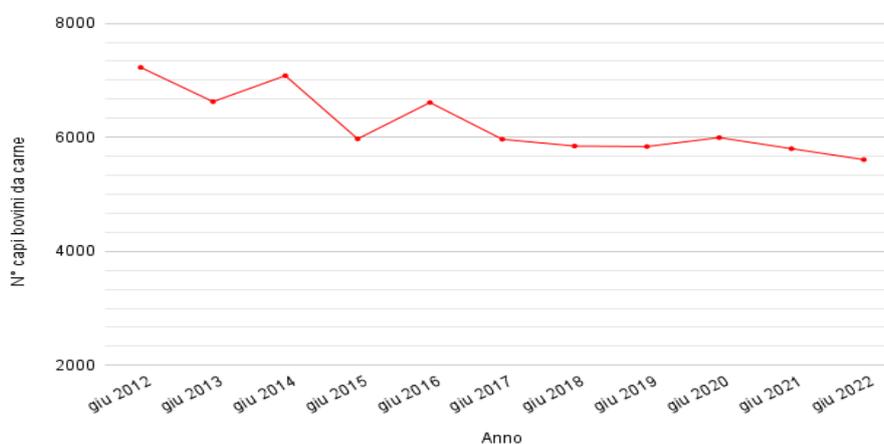


Grafico 4.1.3: Evoluzione del numero di capi di bovini da carne nella Provincia di Trento

Dalla valutazione, in particolar modo per il comparto latte, si dimostra come la crisi energetica e il deprezzamento del latte, stiamo avendo forti ripercussioni sugli allevatori.

Carico di azoto

A partire dall'acquisizione dei dati dimostrati, in riferimento all'anno 2022, si è potuto risalire alla quantità di azoto prodotta in kg/ha/anno all'interno di ogni comune appartenente alla Provincia di Trento.

Le dosi di azoto totale ammontano, sulla base dell'Allegato I Tabella 2 del D.M. n° 5046 25 febbraio 2016, a 83 kg/anno per vacca in produzione e a 36 kg/anno per capo da rimonta. Nella Figura 4.1.1 è rappresentata la cartina della Provincia con le delimitazioni dei confini comunali così da poter analizzare il carico d'azoto prodotto dalla bovinicoltura da latte nelle diverse zone in funzione alla superficie e di conseguenza alla disponibilità di suolo per lo smaltimento.

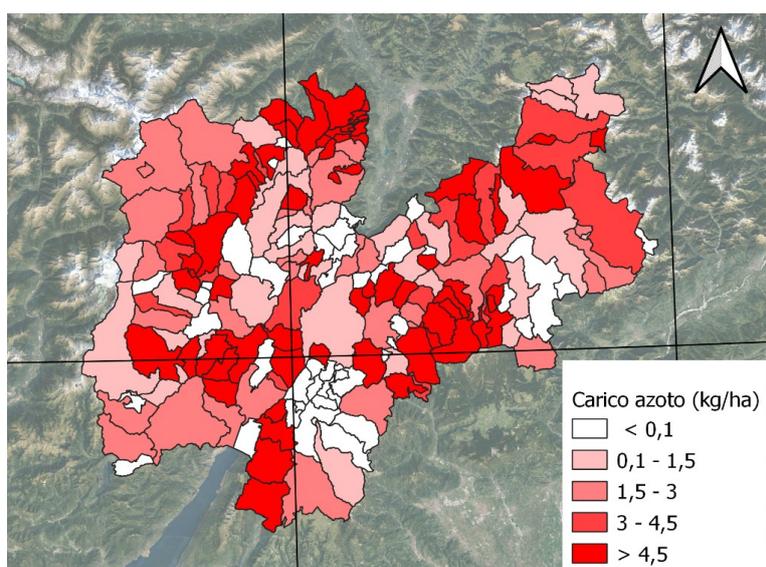


Figura 4.1.1: Mappa dei comuni della Provincia di Trento con rispettivo carico d'azoto (kg/ha) prodotto dai bovini da latte

Dalla mappa si può osservare come quasi la metà dei comuni identificati, evidenziano un carico d'azoto rapportato alla superficie, elevato (superiore a 4,5 kg/ha). Dai dati, il comune più impattante da questo punto di vista si è rivelato essere Comano Terme, luogo dove trova ubicazione uno degli impianti intervistati.

Altro aspetto analizzabile è quello delle Zone vulnerabili. Come citato nel paragrafo 2.3, in Provincia di Trento sono state recentemente identificate e si può confrontare che

(Figura 4.1.2), specialmente per la zona in cui sono compresi alcuni appezzamenti detenuti dai consorziati di Romeno, le aree segnalate sono corrispondenti a quelle con alta densità d'azoto prodotto (Figura 4.1.1).

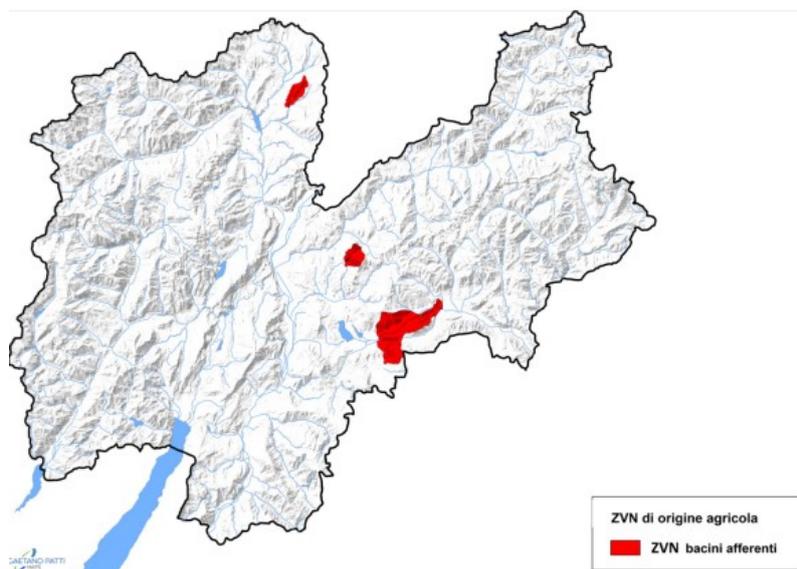


Figura 4.1.2: Cartina della Provincia di Trento con le Zone Vulnerabili ai Nitrati di origine agricola evidenziate

In riferimento a quanto presentato, le modalità d'azione sono definite dall'Art.9 comma 5 e all'Art.10 della delibera della Giunta Provinciale n°1545/2018 il quale riporta “la quantità di azoto al campo di origine zootecnica apportato da effluenti di allevamento, da soli o in miscela con digestato agro-zootecnico prodotto con effluenti di allevamento, non deve superare il limite di 340 kg per ettaro per anno, inteso come quantitativo medio aziendale” (le dosi massime applicabili dell'azoto efficiente (MAS) sono calcolate considerando la diversa produttività tra le colture di fondovalle e quelle poste in quota) La Direttiva Nitrati (91/676/CEE) definisce invece il limite per le Zone Vulnerabili da Nitrati che è pari a 170 kg N/anno/ettaro.

4.2. IMPIANTI DI DIGESTIONE ANAEROBICA

4.2.1. CARATTERISTICHE AZIENDALI

Le buone pratiche gestionali degli effluenti come la frequenza di rimozione delle deiezioni e l'aggiunta di un materiale di lettiera nel substrato, contribuiscono ad una maggiore resa energetica di un impianto di biogas per questo è importante considerare anche i sistemi stabulativi delle aziende.

Stabulazione

Le Tabelle 4.2.1 e 4.2.2 presentano i sistemi di stabulazione adottati dalle varie aziende private oggetto dell'elaborato. Nella Tabella 4.2.1 sono riportati i numeri dei capi adulti rispettivamente categorizzati sulla base della tipologia di allevamento, per la totalità in forma libera. Con l'identificativo "X" si descrive la caratteristica della pavimentazione; si può notare come solo in uno dei 5 casi, sia presente quella fessurata per le vacche in produzione e la gestione dei reflui avviene anche grazie ad un separatore della frazione liquida da quella solida. L'asportazione delle deiezioni avviene, in tutti i casi, grazie alla presenza di raschiatori.

Dalla tabella emerge anche che, secondo le buone pratiche di gestione legate al benessere animale soprattutto in materia di sanità ed igiene, la totalità delle bovine è allevata su cuccette (le 25 appartenenti agli allevamenti 1 e 2, segnalate su lettiera permanente, sono animali separati per scelte manageriali, normalmente presenti data anche la dimensione maggiore delle due stalle).

Codice impianto	1	2	3	4	5
Stabulazione					
Pavimento pieno	X	X	X	X	
Pavimento fessurato					X
Cuccette	440	90	70	90	95
Lettieria permanente	10				15

Tabella 4.2.1: Stabulazione aziendale delle bovine adulte negli allevamenti privati

La Tabella 4.2.2 è invece specifica per la rimonta allevata di età superiore ai 6 mesi. Tutte le aziende riportate allevano i corrispondenti numeri di capi indicati su pavimentazione piena. Della prima azienda rappresentata, considerata la dimensione maggiore in termini di consistenza capi, si può distinguere più facilmente la suddivisione degli animali in media stabulati su cuccette e su lettiera permanente. Il numero relativamente inferiore invece, che indica la rimonta dell'azienda n° 2 presente su lettiera permanente, corrisponde ad un gruppo di allevamento separato in uno spazio apposito.

Codice impianto	1	2	3	4	5
Stabulazione					
Pav. Pieno	X	X	X	X	X
Pav. fessurato					
Cuccette	45	25	28	45	
Lettiera permanente	75	5			50

Tabella 4.2.2: Stabulazione aziendale della rimonta (animali > 6 mesi di età)

Per rappresentare i dati relativi alle realtà consortili, i numeri riferiti ai diversi allevamenti, sono stati accorpati nelle seguenti tabelle, rispettivamente all'impianto a cui conferiscono. Questo è stato possibile dal momento che i criteri gestionali delle diverse aziende, facenti parte dello stesso consorzio, sono perlopiù simili tra loro e di conseguenza ne deriva che gli effluenti destinati ad essere immessi nei vari impianti biogas, abbiano caratteristiche analoghe.

Nella Tabella 4.2.3 sono riportati i dati sommati. Le "X" che denotano entrambe le alternative, includono le diverse strutture delle aziende.

La quota di rimonta nella prima colonna non è riportata in quanto l'impianto 6 (situato a Predazzo) prevede la digestione di liquame esclusivamente proveniente dalle vacche in produzione allevate in appositi spazi differenti rispetto a quelli dedicati a manze e manzette. Tutte le aziende conferitrici sono organizzate in forma libera su cuccette; il 50 % di queste gestiscono le bovine di cui raccolgono i reflui per la fermentazione, su pavimento pieno in cemento armato; le restanti 3 su fessurato.

L'asportazione dei reflui sulle corsie fessurate viene effettuata frequentemente grazie a sistemi di pulizia automatici (*robotic scrapers*) mentre nei casi in cui la pavimentazione è piena, la pulizia avviene (generalmente ad ogni mungitura) per mezzo di raschiatori.

Codice impianto	6	7	8
Stabulazione			
Pavimento pieno	X	X	X
Pavimento fessurato	X	X	X
Posta fissa			45
Cuccette	485	685	625
Lettiera permanente		35	50

Tabella 4.2.3: Stabulazione aziendale delle bovine adulte negli allevamenti consortili

L'impianto di Romeno, comprensivo di 12 aziende le quali consistono per la maggior parte in una gestione a stabulazione libera su cuccetta, comprende anche la presenza di un allevamento di 40 cavalli (non riportati in tabella). Dei 12 allevamenti bovini, 4 sono dotati di pavimentazione fessurata (circa il 56 % sul totale delle bovine adulte).

La quasi totalità delle aziende aderenti alla cooperativa di Villa Agnedo invece (indicato dal n° 8), alleva le bovine da latte a stabulazione libera su cuccetta; il numero 50 rappresentativo dei capi gestiti su lettiera permanente, come giustificato nella sezione dedicata alla descrizione delle aziende private, si riferisce alla quota di animali che, per motivi di organizzazione (per esempio suddivisione della mandria in gruppi), viene separata in spazi dedicati.

Il 6% delle bovine sul totale allevate dalle 12 aziende in società, si trovano in stabulazione fissa.

La gestione dei reflui si basa per la maggior parte delle aziende su sistemi di asportazione per mezzo di raschiatori installati nelle corsie.

La Tabella 4.2.4 riporta la consistenza della rimonta di 10 allevamenti associati di Romeno (due stalle non destinano le deiezioni della rimonta alla digestione) e dei 12 conferenti all'impianto di Villa Agnedo. Fatta eccezione per un allevamento della Valsugana che prevede la stabulazione di manze e manzette in cuccette, tutti gli altri le allevano su lettiera permanente. Come accennato precedentemente, ad oggi l'impianto di Predazzo raccoglie solo le deiezioni prodotte dalle bovine in lattazione e per tale motivo nella colonna non sono registrate le corrispettive quote.

Codice impianto	6	7	8
Stabulazione			
Pavimento pieno		X	X
Pavimento fessurato			
Posta fissa			
Cuccette			25
Lettiera permanente		195	300

Tabella 4.2.4: Stabulazione aziendale della rimonta (> 6 mesi di età) negli allevamenti consorziati

Oltre al numero di animali inseriti nelle 4 tabelle descritte precedentemente, tutte le aziende citate allevano anche vitelli (rimonta di età inferiore ai 6 mesi) in parte all'interno di idonei box e in parte su lettiera andante; la gestione è comunque risultata essere equivalente in tutte le diverse situazioni aziendali. Vengono citati separatamente

in quanto aspetti come la pulizia, l'asportazione, la lettiera e la destinazione finale delle deiezioni sono piuttosto variabili.

In seguito (Tabella 4.2.5) sono riportate indicativamente le quote rappresentative del numero di vitelli per ogni azienda/consorzio.

Codice impianto	1	2	3	4	5	6	7	8
N° vitelli allevati	180	20	5	20	30	-	64	90

Tabella 4.2.5: Numero di vitelli allevati mediamente all'anno nelle aziende coinvolte di cui le deiezioni vengono digestate

Materiali di lettiera

Altro fattore importante per definire specialmente la biomassa sottoposta a processo di digestione e di conseguenza la resa in termini di caratteristiche del digestato e di potenzialità energetica, riguarda il materiale di lettiera distribuito sulle lettiere e nelle cuccette dei vari allevamenti.

Dall'indagine eseguita attraverso il questionario, è stato riscontrato che tutti gli impianti privati fanno uso di paglia trinciata sia all'interno delle cuccette che sulle lettiere adibite alla rimonta (Tabella 4.2.6).

La maggioranza delle aziende facenti parte del consorzio n°6, utilizzano come materiale paglia trinciata; due aziende distribuiscono nelle cuccette segatura mentre, in alcuni casi viene sfruttato come lettiera il digestato solido ricavato dal processo di fermentazione. Quattro delle 12 aziende collegate all'impianto di Romeno sono dotate, negli spazi dedicati alle bovine in produzione, di materassini su cui viene sparsa frequentemente della calce (o materiale basico); la restante parte utilizza come lettiera la paglia. Infine, le stalle ubicate in Valsugana, coinvolte nel sistema dell'impianto n°8, utilizzano in maggior numero segatura e in piccola parte paglia o calce su materassini.

Codice impianto	1	2	3	4	5	6	7	8
Materiale da lettiera (%)								
Paglia	100	100	100	100	100	50	70	10
Segatura						30		80
Digestato solido						20		
Materassino con calce							30	10

Tabella 4.2.6: Percentuale dei materiali di lettiera utilizzati nelle varie aziende

Alimentazione

Le aziende 1, 5 e quelle associate all'impianto di Villa Agnedo, considerata la loro ubicazione e quindi la disponibilità per vocazione del suolo a diversificare la produzione di prodotti adatti alla dieta degli animali, adottano, per alimentare i loro bovini, il sistema Unifeed; somministrano dunque una razione costante e bilanciata durante tutto l'anno compresa di una vasta gamma di alimenti, tra cui insilati (specie mais ceroso). I restanti 21 allevamenti, situati in zone montane, sono caratterizzati da una dieta somministrata a secco la cui formulazione prevede l'utilizzo principale di fieni autoprodotti (principalmente sfusi) e concentrati.

4.2.2. CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO A DIGESTIONE ANAEROBICA

Anno di installazione dell'impianto

Nella Tabella 4.2.7 sono raccolti i corrispondenti anni di avvio dei vari impianti. Il primo ad essere installato è stato l'impianto privato situato a Comano Terme, di proprietà dell'allevamento di bovine da latte dimensionalmente maggiore sul territorio provinciale. Dopo 4 anni, come si deduce dalla tabella, la tecnologia ha iniziato a svilupparsi progressivamente. Il primo consortile, in funzione dal 2016, è quello ubicato a Villa Agnedo, nella Bassa Valsugana.

Codice impianto	1	2	3	4	5	6	7	8
Anno d'installazione	2011	2015	2017	2020	2021	2019	2020	2016

Tabella 4.2.7: Anno di installazione dei corrispondenti impianti presi a campione

Potenza degli impianti

Il Grafico 4.2.1, riporta la potenza termica (in colore blu) e quella elettrica (in colore rosso) dei vari impianti. I valori relativi al calore, non corrispondono, per la maggior parte degli impianti, a quelli dell'elettricità prodotta. La cogenerazione prevede un rapporto differente tra i due tipi di energia. Una quota di energia termica infatti, (generalmente l'equivalente dell'energia elettrica dichiarata), viene riutilizzata direttamente dal processo tecnologico mentre la restante, in esubero, viene destinata a differenti scopi.

Delle aziende intervistate, quelle di Malè e Peio, come si osserva dal grafico, hanno dichiarato che tale rapporto corrisponde ad 1 kWe: 1 kWt. Diversamente avviene invece per gli altri impianti dove il valore della termica supera quello dell'elettrica fino a risultare addirittura il doppio (es. impianti 4, 5 e 7).

Il grafico, indica le potenzialità delle varie costruzioni da cui se ne derivano le dimensioni. All'interno della Provincia di Trento, gli impianti zootecnici attualmente presenti non superano i 300 kWe e dunque rientrano tutti nella definizione di piccola taglia. I digestori di Romeno e di Villa Agnedo, a cui rispettivamente conferiscono 12 allevamenti, sono i più grandi mentre quello di Predazzo, di 125 kWe, è il più piccolo consortile.

Per quanto riguarda gli aziendali, quello situato a Comano Terme produce 250 kWe e quello più piccolo, a Breguzzo, ne genera solo 22.

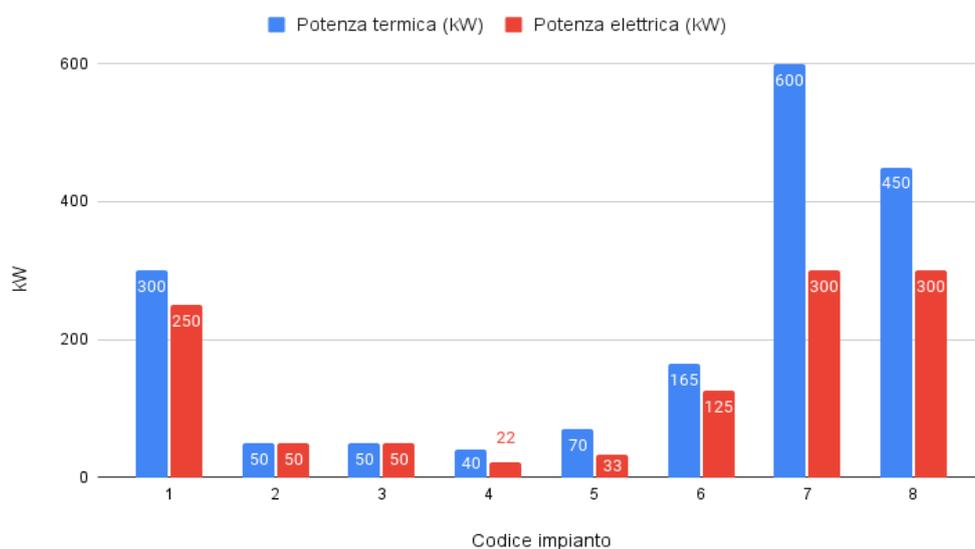


Grafico 4.2.2: Potenza termica e potenza elettrica prodotte dagli otto impianti

Utilizzo dell'energia

L'energia elettrica prodotta di tutti gli otto impianti è connessa alla rete di distribuzione e venduta. Per quanto concerne il calore invece, come vuole dimostrare il Grafico 4.2.3, le aziende lo utilizzano in maniera differente. L'energia termica co-generata viene in parte utilizzata per il riscaldamento dei tre fermentatori e per scopi domestici attraverso il teleriscaldamento coprendo due abitazioni (circa 120 kW, il 40%); la rimanente parte (circa il 60%) è utilizzata per il sistema di essiccazione del digestato nell'impianto a nastro e per l'acqua di abbeverata all'interno della stalla.

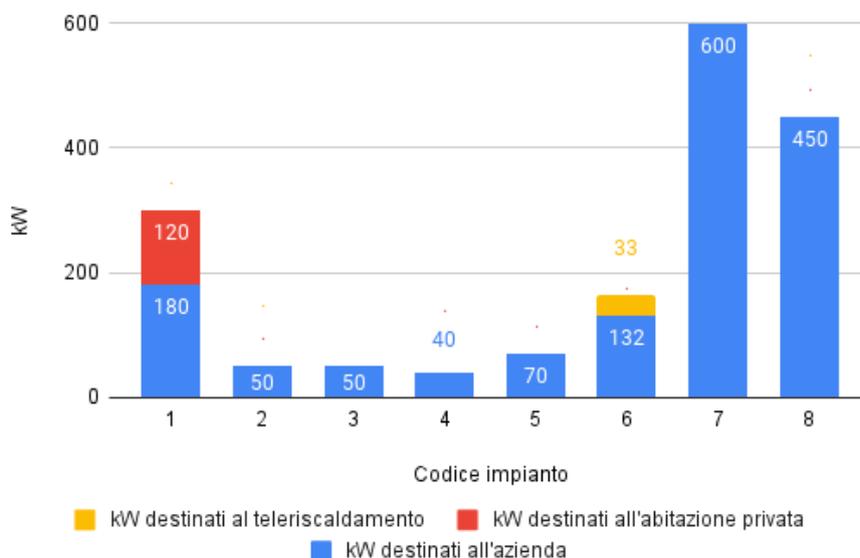


Grafico 4.2.3: Diverse destinazioni ed utilizzi dell'energia termica prodotta dagli impianti

Gli impianti 2, 3, 4 e 5 sfruttano interamente l'energia termica prodotta, extra all'uso che ne fa il digestore, nell'allevamento per scaldare l'acqua degli abbeveratoi e del lavaggio (ad esempio della vasca refrigerante e della sala di mungitura). Oltre a queste destinazioni, una quota di calore generata dall'impianto di Breguzzo (n° 4), è destinata al funzionamento dell'essiccatoio per i foraggi aziendali.

L'impianto consortile di Predazzo riutilizza l'80% (circa 132 kWt) dell'energia prodotta per mantenere la temperatura del processo all'interno dei digestori interrati; la società vende al comune il rimanente 20% tramite un sistema di teleriscaldamento che indirizza il calore alle abitazioni, alle scuole e ai numerosi alberghi presenti sul territorio. A Romeno il 100% dell'energia termica è destinata all'azienda. L'energia prodotta in esubero, non diretta al riscaldamento della biomassa in fermentazione, si rivela utile al riscaldamento dell'edificio dedicato agli uffici della società gestente e ai singoli consorziati che la sfruttano ad esempio per i sistemi di essiccazione del foraggio.

Anche il calore prodotto dall'impianto di Villa Agnedo è destinato esclusivamente all'azienda; in primis l'energia viene riutilizzata dal processo per riscaldare la pre-vasca e i due digestori; la restante quota permette di riscaldare l'edificio adibito agli uffici del consorzio.

Caratteristiche costruttive principali

Nella seguente tabella si fa riferimento alle caratteristiche costruttive dei diversi impianti per quanto riguarda i fermentatori entro il quale si svolge il processo.

Dalla Tabella 4.2.8 possiamo dedurre che l'impianto n°1, a Comano Terme, date le consistenti dimensioni aziendali, prevede una digestione in più stadi; consta infatti, come scritto nel paragrafo 3.3 in due vasche in cemento armato di cui una costituita da un anello esterno ed uno interno che fungono rispettivamente da primo e secondo fermentatore; la seconda vasca accoglie il digestato in uscita dai fermentatori precedenti. Un processo a più stadi (precisamente bi-stadio) consente di trattenere il più possibile l'alimento a contatto con i microrganismi aumentando la resa in biogas ed è adottato anche negli impianti biogas consortili (6, 7 e 8).

Il materiale più utilizzato per le vasche è il cemento armato mentre, in minor parte, alla realizzazione, è stato utilizzato l'acciaio INOX. A tal proposito è interessante osservare la differenza di spessore dei due materiali.

Gli impianti sono dotati inoltre, di un volume di accumulo del biogas prodotto ovvero una cupola gasometrica in materiale plastico resistente a vento, pioggia e raggi UV, che copre la superficie delle vasche di stoccaggio del digestato tal quale; nei casi in cui viene effettuato il processo bi-stadio, la copertura in telo plastico è posta generalmente sull'ultimo fermentatore eccetto per i consorzi trattati n° 7 e 8 per i quali si trova su entrambe i digestori; come si nota invece per impianti più piccoli (n° 4 e 5) il telo ricopre l'unico contenitore presente. Il materiale isolante ed innovativo più sfruttato, principalmente per le pareti, è il polistirene.

Per quanto riguarda la miscelazione della massa durante il processo, la totalità degli intervistati adotta un sistema ad elica.

Trattamenti degli effluenti in entrata

Tra i pre-trattamenti possibili sugli effluenti da immettere nel digestore, le aziende, oltre ad eseguire tutte la separazione solido-liquido delle matrici e la miscelazione della massa nelle vasche di stoccaggio prima della digestione, eseguono anche trattamenti chimici; in special modo l'impianto di Predazzo e di Villa Agnedo, per adattare la biomassa al processo, aggiungono, in quantità variabile e quando necessario, acido solfidrico (H₂S) o cloruro ferrico.

Codice impianto	1	2	3	4	5	6	7	8
N° fermentatori	3	1	1	1	1	2	2	2
Pareti	Cemento armato	Cemento armato	Cemento armato	Acciaio INOX	Acciaio INOX	Cemento armato	Acciaio INOX	Cemento armato
Spessore pareti (cm)	30	40	40	0,30	0,40	30	0,6	25
Isolante pareti	Polistirene	Polistirene	Polistirene	Polistirene	Polistirene	Polistirene	Polistirene	Polistirolo
Spessore isolante (cm)	20	10	10	6	6	10	10	6
Tetto fermentatori	Cemento armato	Cemento armato	Cemento armato	Telo plastico	Telo plastico	Cemento armato	Telo plastico	Telo plastico
Spessore tetto (cm)	35	50	50	-	-	50	-	-
Isolante tetto	Polistirene	Polistirene	Polistirene	Nessun isolante	Lana di roccia	Polistirene	Nessun isolante	Nessun isolante

Tabella 4.2.8: Alcune delle caratteristiche costruttive degli impianti campione

Razione del digestore

La razione degli otto impianti intervistati è costituita esclusivamente da effluenti zootecnici prodotti dagli allevamenti già descritti. Tutte le aziende immettono nei digestori liquame e letame fatta eccezione per quelle facenti parte del consorzio di Predazzo che conferiscono solo la matrice non palabile prodotta dalle vacche in lattazione. Oltre alla scelta e all'utilizzo del materiale di lettiera, la potenzialità energetica dell'impianto varia in funzione della quantità di materia palabile e non palabile introdotta. Infatti, una gestione dell'impianto con solo liquame è meno performante rispetto ad una razione costituita da una miscela di entrambi gli effluenti. Il carico della biomassa all'interno degli impianti aziendali (1, 2, 3, 4, 5) può essere effettuato più frequentemente ed è maggiormente sostenibile in quanto le strutture adibite all'allevamento e quelle responsabili del processo di fermentazione sono adiacenti. A Predazzo, un servizio camion addetto, raccoglie a rotazione (generalmente una o due volte a settimana per azienda) dai siti di stoccaggio delle singole aziende, in funzione alla quantità necessaria per l'attività dei fermentatori, il liquame che poi conferisce e scarica nel sistema impiantistico consortile. Per quanto riguarda l'impianto di Romeno invece, lo stesso metodo è sfruttato dalle aziende situate a distanza maggiore mentre, per ridurre l'inquinamento su strada, gli allevamenti a monte vicini al biodigestore, convogliano i reflui tramite un sistema di tubazioni interrate. Infine, per il consorzio di Villa Agnedo, il trasporto degli effluenti al sito è a carico dei singoli allevatori conferenti.

Nel Grafico 4.2.4 sono raffigurate le rispettive quantità di liquame e letame immesse giornalmente nei diversi digestori. In rapporto a questi valori, è indicata la corrispondente quota di energia elettrica normalmente prodotta.

Molte tra le aziende trentine nominate, coinvolte nel sistema di digestione anaerobica, attuano la pratica dell'alpeggio. Tale situazione può risultare un problema soprattutto per le realtà consortili; per ovviare alla mancanza di effluenti disponibili, e quindi per mantenere l'attività del processo anaerobico, il carico in primavera viene gestito diversamente e, durante il periodo estivo, si ricorre all'utilizzo di riserve stoccate nei mesi precedenti.

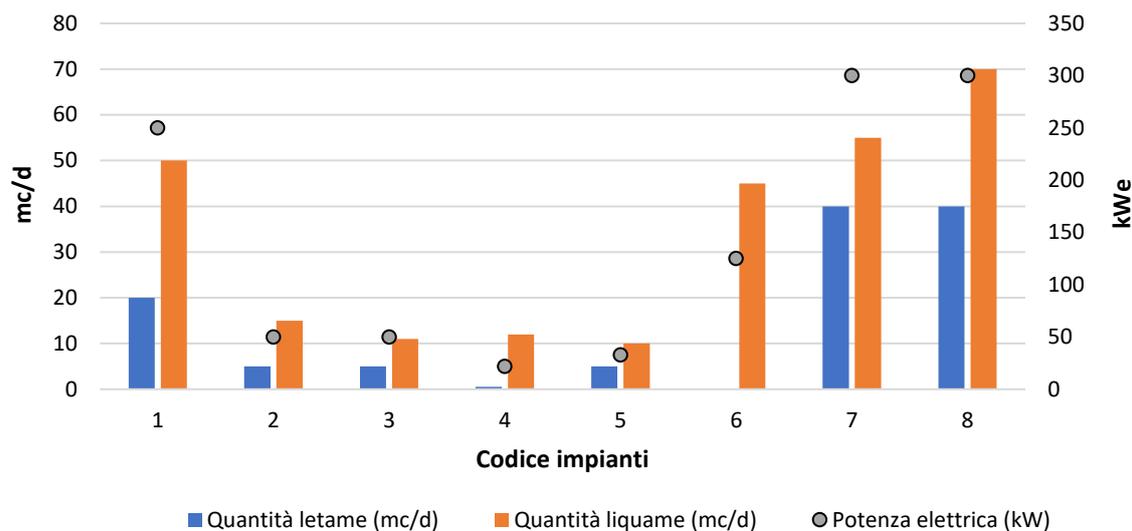


Grafico 4.2.4: Metri cubi di effluenti zootecnici immessi giornalmente nei diversi impianti di digestione anaerobica in relazione all'energia elettrica prodotta (kWe)

Trattamento del digestato

Il digestato in uscita dall'impianto viene stoccato in ogni caso prima della distribuzione e, dalle risposte ai quesiti, è risultato che il periodo minimo di maturazione è di circa 4 mesi; tale periodo, per Predazzo, è un limite richiesto anche da normative comunali.

È stato poi constatato che non si verifica, durante lo stoccaggio nelle varie aziende, la formazione della crosta superficiale grazie anche all'azione di sistemi agitatori presenti in quasi tutte le situazioni.

L'impianto consortile di Romeno prevede un sito adibito allo stoccaggio il quale agevola il lavoro dei soci. Quello di Predazzo invece prevede che, come per la raccolta, un sistema di camion riporti la quota di digestato equivalente a quella di liquame conferita, alle vasche di maturazione presenti in tutte le aziende dei soci.

L'impianto situato a Comano terme inoltre effettua l'essiccazione del digestato tramite l'immissione di aria calda ottenuta da uno scambiatore acqua/aria che utilizza parte dell'energia termica del circuito di raffreddamento del cogeneratore; in tal modo permette ridurre il volume di liquido per lo spandimento e al contempo produrre un ammendante di elevata qualità, privo di infestanti e ricco di elementi minerali, venduto per utilizzi agricoli extra-aziendali. L'essiccatore installato presso l'azienda è un sistema a tappeto.

Superficie utilizzata a spandimento

Nel Grafico 4.2.5 sono presentate le superfici appartenenti alle aziende intervistate; relativamente alle realtà consortili, per avere un quadro d'insieme, le superfici su cui i soci distribuiscono il digestato, sono state accorpate. Nei casi identificati con il codice 1, 2 e 7, la Superficie Agricola Utilizzabile (SAU) totale destinata a spandimento del digestato è maggiore rispetto a quella aziendale pertanto ne deriva che per sfruttare completamente il prodotto fertilizzante, può essere necessario cedere la quota in eccesso ad aziende terze. Le restanti realtà prese in considerazione, eccezione fatta per gli impianti 4 e 6, a causa di scarsità di prodotto o per la presenza di vincoli che possono limitare lo spandimento su alcune zone, presentano una parte di superfici aziendali non destinata alla distribuzione del digestato.

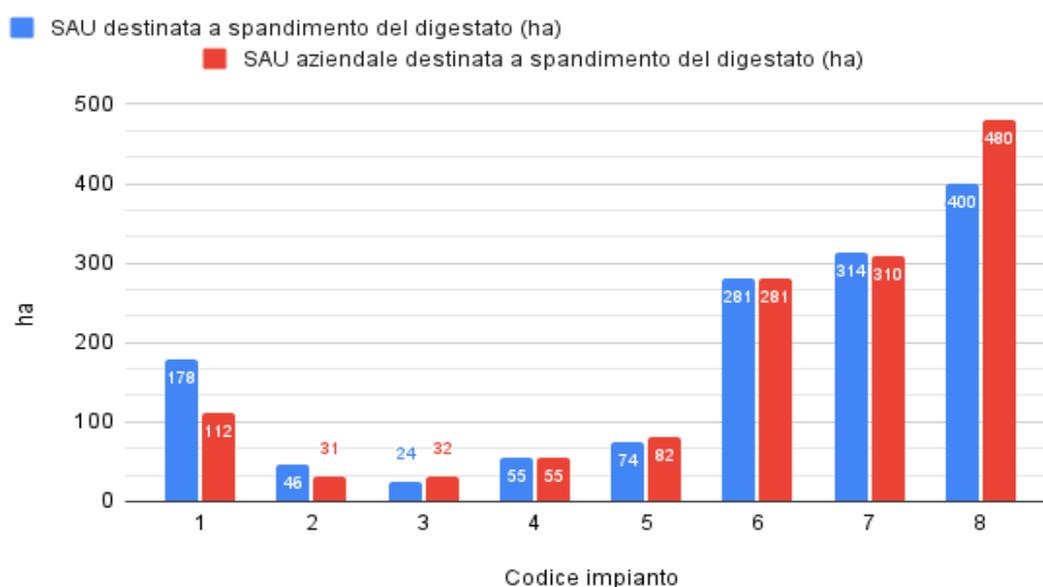


Grafico 4.2.5: Ettari delle superfici aziendali ed extra-aziendali destinati allo spandimento del digestato per ogni relativo impianto

Nello specifico, le superfici adibite allo spandimento del digestato comprendono anche appezzamenti dedicati a colture non destinate ad alimentazione zootecnica.

Come indica il Grafico 4.2.6, delle superfici complessive necessarie per lo spandimento del digestato prodotto da tutti gli impianti coinvolti, l'82,3% corrisponde a prati e pascoli. L'importanza di tale percentuale è spiegata dal fatto che la realtà agricola trentina, essendo prettamente legata al territorio montano comprende numerose superfici destinate allo sfalcio e al libero pascolamento.

La frazione del grafico rappresentativa della percentuale di superficie destinata alla coltivazione di mais ceroso (9,3 %) è riferita agli allevamenti situati nelle zone di fondovalle, più simili alle realtà di pianura, che somministrano una dieta Unifeed agli animali (aziende 1,5 e quelle facenti parte del consorzio di Villa Agnedo).

Nonostante ciò, in dimostrazione del fatto che l'applicazione della tecnologia può trovare legami anche con diversi indirizzi produttivi presenti su un territorio come quello trentino, si osserva all'interno del grafico, anche la presenza di ettari destinati alla coltivazione di meli e patate. A sostegno di ciò, un'altra buona parte degli effluenti fermentati, viene ceduta ad aziende terze non zootecniche.

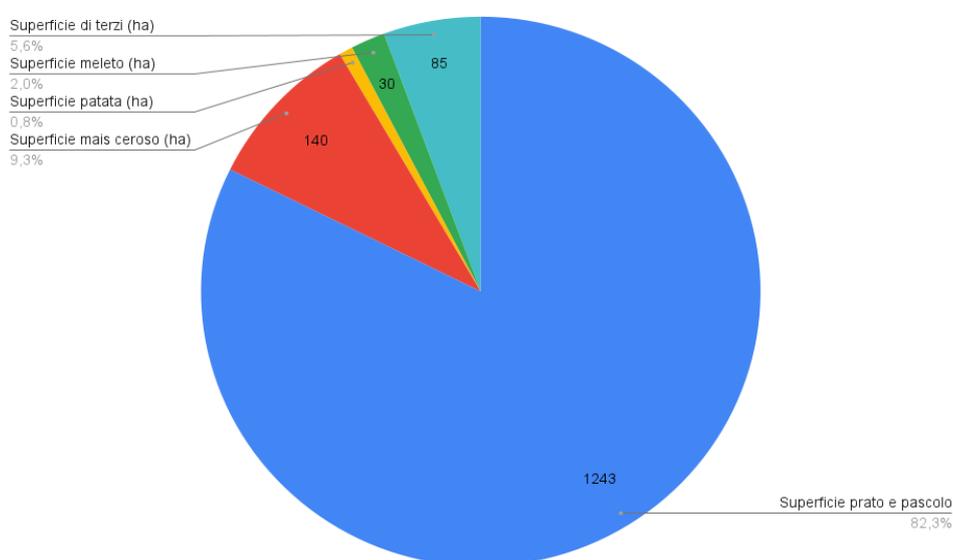


Grafico 4.2.6: Ripartizione delle superfici, sulla base della destinazione colturale, su cui viene distribuito il digestato delle varie aziende

Nella mappa 4.2.1 sono riportate, oltre alle localizzazioni dei biodigestori, anche la posizione degli appezzamenti più distanti dai corrispettivi impianti. Le aziende identificate con i codici 1 e 3 dispongono di appezzamenti perlopiù adiacenti all'azienda con una distanza massima non superiore a 7 km. L'azienda indicata con il codice 5 e quelle conferenti all'impianto n°8, in Valsugana, hanno appezzamenti con una distanza media elevata, pari anche a 20 km; ciò è spiegato dall'ubicazione in fondovalle dove le superfici frutticole e viticole, per vocazione, superano quelle destinate a scopi zootecnici.

Le restanti aziende, non nominate, pur avendo una distanza media ridotta, tra gli appezzamenti destinati allo spandimento e l'impianto (circa 3 km), possiedono anche prati ad altitudini e distanze superiori che rendono lo spostamento più complesso.

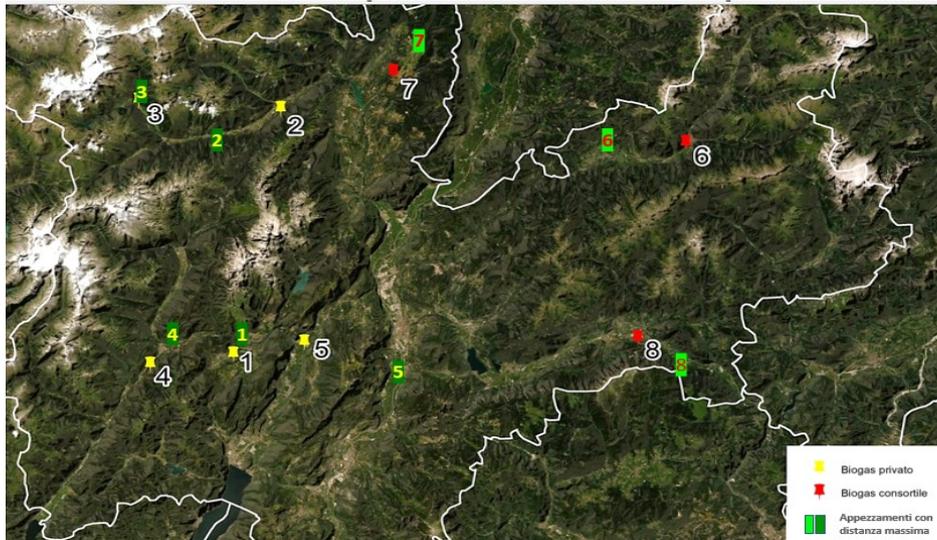


Figura 4.2.1: Appezamenti con la massima distanza da ogni relativo impianto destinati allo spandimento del digestato

In base alle risposte ottenute dagli allevatori dall'indagine è riscontrato che gli impianti già presenti, soprattutto quelli da poco avviati e di piccole dimensioni, sono disposti ad implementare gli utilizzi e la valorizzazione del prodotto ottenuto dalla digestione anaerobica sfruttando, per esempio, l'energia termica nell'abitazione di proprietà.

L'impianto consortile di Predazzo prospetta di aumentare la produzione ed integrare anche la digestione, oltre che del solo liquame, anche delle deiezioni palabili.

L'impianto consortile di Romeno, ubicato in una zona particolarmente vocata alla frutticoltura come lo è la Valle di Non, ha l'idea di costruire una seconda struttura adiacente per completare il progetto di partenza, per sfruttare la matrice solida e l'energia termica prodotta; il progetto prevede la realizzazione di un impianto apposito per l'ottenimento di compost palabile e quindi più appetibile all'utilizzo su suolo agricolo soprattutto nella melicoltura.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi aveva come obiettivo principale quello di rappresentare l'attuale situazione trentina in materia di gestione e valorizzazione degli effluenti zootecnici attraverso la filiera della digestione anaerobica. Grazie ad un'analisi tecnica, strutturale e gestionale, è stato possibile comprenderne al meglio i processi e le relative peculiarità per identificarne i vantaggi e le possibili applicazioni entro la realtà zootecnica montana.

Dallo studio è emerso che sottoprodotti come ad esempio l'umido urbano e, come dimostrato in questo elaborato, gli effluenti zootecnici possano diventare una risorsa in grado di generare energia (elettrica e termica) e prodotto fertilizzante (digestato). A tal proposito si è osservata la possibilità di sfruttare questa tecnologia anche per ottenere un biocombustibile maggiormente purificato rispetto al "biogas", ovvero il biometano.

L'elaborato ha permesso di evidenziare come tale tecnologia sia applicabile anche al comparto agro-zootecnico e, più nel dettaglio, ad una realtà come quella della Provincia Autonoma di Trento. Il comparto zootecnico trentino, sta vedendo un progressivo calo del numero di capi bovini, tuttavia il carico di azoto presente a causa degli effluenti, soprattutto in specifiche zone provinciali e nelle Zone Vulnerabili ai Nitrati recentemente istituite, rappresenta uno dei maggiori problemi attuali di inquinamento.

Con l'aiuto di un questionario volto ad ottenere un'analisi degli impianti biogas (aziendali e consortili) attualmente presenti sul territorio, oltre a descriverne criteri di gestione e caratteristiche tecnico-specifiche, è stato possibile correlare il quadro odierno che vede la presenza di otto impianti di digestione anaerobica, con il contesto della produzione dei reflui zootecnici;

Mediante lo studio del processo produttivo di fermentazione, e l'elaborazione dei risultati ottenuti dai questi posti alle aziende, sono stati identificati i vantaggi che l'installazione di impianti associati ad allevamenti zootecnici può comportare. Tra questi vanno citati la diversificazione del reddito, la produzione di un effluente stabilizzato rispetto a quello di partenza, la riduzione delle emissioni di metano, ammoniacale e odore in atmosfera durante lo spandimento che si riflette in modo positivo sul turismo.

Si è constatato come incentivi e normative per il progresso tecnico degli impianti già presenti e la realizzazione di nuovi siano la base per lo sviluppo futuro del settore.

Tuttavia, come accennato in precedenza, il percorso per l'accettazione delle strutture impiantistiche, impattanti a livello paesaggistico, da parte delle comunità locali è complesso; la soluzione a ciò può essere la costituzione di consorzi, come quelli di Predazzo, Romeno e Villa Agnedo, che permettono di valorizzare più effluenti con un unico sistema impiantistico. Nell'ottica di sfruttare i vantaggi sopra esposti, in Trentino è in fase la realizzazione di un impianto e l'attivazione di un altro.

In conclusione la crisi energetica e settoriale che stiamo vivendo può incentivare un più ampio utilizzo e sviluppo della tecnologia trattata valorizzando un comparto, come quello zootecnico, che può nuovamente assumere, come lo era in passato, un ruolo centrale all'interno delle comunità montane.

BIBLIOGRAFIA

- Decreto Interministeriale 25.2.2016 n.5046. "Criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e delle acque reflue di cui all'art. 112 del Decreto legislativo 3 aprile 2006 n. 152, nonché per la produzione e l'utilizzazione agronomica del digestato di cui all'art. 52, comma 2-bis del decreto legge 22 giugno 2012, n. 83, convertito in legge 7 agosto 2012 n. 134.
- Adani F. et al..2008. I fattori che rendono ottimale la razione per il digestore. *Informatore Agrario* 40: 19-22.
- Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (APAT). 2005. *Digestione anaerobica della frazione organica dei rifiuti solidi*.
- Agrillo A..2022. Energia da fonti rinnovabili in Italia. Rapporto statistico 2020. GSE-Gestore dei Servizi Energetici S.p.A. p.40.
- Alfano V. et al..2011. Disponibilità delle biomasse. *Biomasse ed energia*. ENAMA – Ente nazionale per la meccanizzazione agricola.
- Area Tecnica CIB..2020. Le emissioni dell'agricoltura italiana oggi. *Farming For Future*.2020: 7-9.
- Balocchi A..2022. Biogas e biometano: l'alternativa italiana sostenibile al gas fossile c'è. <https://www.infobuildenergia.it/appfondimenti/biometano-italiano-pnrr-transizione-energetica/#Biogas-e-biometano-in-Italia-numeri-prospettive-limiti-da-superare>.
- Battaglini L. et al..2010. *Zootecnia di montagna: Quali strategie per il futuro?* Trento: Nuove Arti Grafiche.
- BDN dell'Anagrafe Zootecnica istituita dal Ministero della Salute presso il CSN dell'Istituto "G. Caporale" di Teramo. 2022.
- Bertanza P. e Ferrari S..2019. Frisona e Bruna alpina su tutte, ma con metà capi il doppio di latte di Terra Trentina 2: 34-35.
- Biocustom..2022. I trattamenti del digestato. <https://www.biocustom.it/2022/04/14/i-trattamenti-del-digestato/>.
- Chiabrando A..2018. Evoluzione del biogas nel settore agricolo. *Biogas: driver per la filiera agroalimentare*. Quaderno CMA – strategia 2024. Milano: FIPER – Federazione Italiana Produttori di Energia da Fonti Rinnovabili.
- Coldiretti..2022. Energia: Coldiretti, contro caro prezzi triplica produzione da campi. <https://trentinoalloadige.coldiretti.it/news/energia-coldiretti-contro-caro-prezzi-triplica-produzione-da-campi/>.
- Colonna N. et al..2009. La stima del potenziale di biogas da biomasse di scarto del settore zootecnico in Italia. *Report RSE (201)*.
- D'Apote L. e Migliardi D..2010. Valorizzazione energetica del biogas. Roma-ENAMA – Ente nazionale per la meccanizzazione agricola.
- Ecomembrane S.r.l..2022. https://www.consorziobiogas.it/wp-content/uploads/2020/02/ECOMEMBRANE_Catalogo_ITA.pdf.
- Fabbri C. e Piccinini S..2012. *Bovini da latte e Biogas*. Reggio Emilia: Centro Ricerche Produzioni Animali - C.R.P.A. S.p.A.
- Fabbri C..2013. Pre-trattamento delle biomasse per migliorare le performance. *Agroenergie* 5: 94-96.
- Frisano G..2021. Zone Vulnerabili da Nitrati anche in Trentino. *L'allevatore* 04: 10-12.
- Gallo V..2018. Biogas agricolo: una leva di competitività per l'agricoltura e zootecnia italiana! *Biogas: driver per la filiera agroalimentare*. Quaderno CMA –

- strategia 2024. Milano: FIPER – Federazione Italiana Produttori di Energia da Fonti Rinnovabili pp. 86-91.
- Gestore dei Servizi Energetici GSE S.p.A..2022. Scambio sul posto. https://www.gse.it/servizi-per-te/fotovoltaico/scambio-sul-posto_
 - Giuliani D. e Gandini D..2022. Diminuire le emissioni viaggiando. Il paradosso del biometano. Euronews. https://it.euronews.com/2022/07/27/biometano-biogas-crisi-energetica-gas-energie-rinnovabili-motori-termici-energia-elettrica_
 - Gugliotta A. e Repetto G.P..2022. Biogas e biometano: cosa, come, dove. Energia 2022.
 - Iesbiogas .2022. Digestione anaerobica. <https://www.iesbiogas.it/ies-agri-e-farm/digestione-anaerobica/>.
 - Ioriatti C..2019. Effluenti zootecnici: nuove disposizioni provinciali. Fondazione Mach notizie 1: 1-4.
 - Mezzadri M. et al..2010. Aspetti tecnici, normativi ed economici in Italia e in alcuni Paesi UE e studio di fattibilità applicato a due impianti di biogas realizzati in provincia di Treviso. Purificazione e upgrading del biogas in biometano. Padova: Veneto Agricoltura – AIEL: Associazione Italiana Energie Agroforestali.
 - Nigo C. e Murano R..2022. PNRR: il lungo percorso verso la definizione dei decreti attuativi su biogas e biometano. Biogas informa 38: 10-14.
 - Nigo C..2021. Le opportunità del PNRR per lo sviluppo del biometano in agricoltura. Biogas informa 35: 8-11.
 - Pezzuolo A..2021. “Comunicazione personale”.
 - Piccinini S. et al..2008. Energia dal biogas. Padova: AIEL - Associazione Italiana Energie Agroforestali.
 - Piccinini S. et al..2011. La produzione di biogas del settore agricolo in Italia. Agriregionieuropa anno 7 n.24.
 - Piccinini S..2022. Il biogas in Italia e l’opportunità del biometano per la competitività delle imprese e la de carbonizzazione. Mitigazione del cambiamento climatico: il contributo di agricoltura e foreste.
 - Pieratti et al..2013. Piano di azione per le biomasse. Trento: UNITN e FEM – bioenarea.
 - Raicaldo P..2022. Gli autobus di Trento vanno a biometano grazie all'idea di Nikolaus. La Repubblica.
 - ReteAmbiente S.r.l..2022. Tecnologie rinnovabili. https://www.nextville.it/Tecnologie-Rinnovabili/10/Tecnologie-Rinnovabili_
 - Rossi C. e Bientinesi I..2016. Linee guida per realizzare impianti per la produzione di biogas/biometano “fatti bene”. ISAAC project.
 - Rossi L. et al. 2017. Clostridi, convivenza possibile tra biogas e prodotti dop. L’Informatore Agrario 3: 69-72.
 - Sainz A. et al. 2022. Il contributo del biometano nel piano repowereu. Biogas informa 38: 26-28.
 - Sandri S..2019. Speciale zootecnia: gestione e utilizzo degli effluenti zootecnici e relative comunicazioni. Agricoltura Trentina 3: 18-21.
 - Styrodur. 2016. Isolamento di impianti biogas. <https://www.styrodur-italia.it/isolamento-di-impianti-biogas/>
 - Tempco S.r.l..2009. Depurazione del biogas per gli impianti di cogenerazione. https://www.tempco.it/blog/1516/depurazione-del-biogas-per-gli-impianti-di-cogenerazione_
 - Tonina M. 2022. Piano Energetico Ambientale Provinciale 2021-2030. <https://www.provincia.tn.it/Documenti-e-dati/Documenti-di-programmazione-e-rendicontazione/Piano-Energetico-Ambientale-Provinciale-2021-2030>.