

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
Dipartimento di AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE  
NATURALI E AMBIENTE

Corso di laurea in scienze e tecnologie agrarie

La produzione di biogas da biomasse agricole.  
Valutazione dell'utilizzo di colture alternative e  
cover crops.

Relatore  
Prof. Malagoli Mario

Laureanda/o  
Gechelin Giovanni  
Matricola n. 2007422



## **Indice**

<i>Abstract</i> .....	5
1. <i>Introduzione</i> .....	8
2. <i>Normativa</i> .....	9
2.1. <i>Obiettivi ONU</i> .....	9
2.2. <i>In Europa</i> .....	9
2.3. <i>PAC 2023-2027</i> .....	10
2.4. <i>In Italia</i> .....	10
3. <i>Il mais nella produzione di biogas</i> .....	12
4. <i>Sistemi a doppia coltura</i> .....	13
5. <i>Le cover crops</i> .....	14
5.1. <i>Cover crops energetiche</i> .....	15
6. <i>Le specie</i> .....	15
6.1. <i>Loiessa</i> .....	15
6.2. <i>Segale</i> .....	17
6.3. <i>Triticale</i> .....	18
6.4. <i>Sorgo</i> .....	20
6.5. <i>Veccia comune</i> .....	21
7. <i>Il digestato</i> .....	22
7.1. <i>Normativa sull'utilizzo agronomico del digestato</i> .....	24
7.2. <i>Effetti sul carbonio e azoto</i> .....	25
8. <i>Esempi di processi per la produzione del biogas</i> .....	26
8.1. <i>Caso di un'azienda agricola nel Nord-Est italiano</i> .....	26
8.2. <i>Caso di tre aziende agricole in Lombardia (Nord Italia)</i> ,.....	28
8.3. <i>Caso di studio in Danimarca</i> .....	29
9. <i>Conclusioni</i> .....	30
<i>Bibliografia</i> .....	30
<i>Sitografia</i> .....	35
<i>Fonti iconografiche</i> .....	36
<i>Indice tabelle</i> .....	37



## ***Riassunto***

Negli ultimi anni il cambiamento climatico è sempre più evidente per questo si cercano soluzioni sostenibili per ridurre le cause e gli effetti. Un punto centrale riguarda l'utilizzo di fonti di energie rinnovabili e a bassa impronta ecologica. In questa tesi, dopo uno sguardo alla normativa sull'argomento, vengono analizzate delle pratiche per cui si utilizzano biomasse agricole per la produzione di biogas, un carburante a basso impatto ambientale. In agricoltura il biogas viene prodotto in digestori alimentati a mais "verde" con un'evidente criticità sulla sostenibilità del sistema. In alternativa, possono essere considerate la coltivazione di cover crops energetiche e il sistema a doppia coltivazione con cui si riescono a massimizzare le rese dei terreni. Di questi sistemi vengono evidenziati pregi, difetti e criticità. Sono poi analizzate alcune colture alternative da inserire nella rotazione per la produzione di biogas. Attenzione va anche rivolta al residuo della digestione anaerobica, ovvero il digestato, di cui verranno esplicitati gli effetti sul suolo.

## ***Abstract***

In last years, climate change became evident, so sustainable solutions are being found to reduce its causes and effects. A possible solution concerns the use of renewable energy sources with a low ecological footprint. In this thesis, starting to the legislation on the subject, practices are analyzed whereby agricultural biomasses are used for the production of biogas, which is a fuel with low environmental impact. In agriculture, biogas is produced in digesters fed by "green" corn with an obvious criticality in the sustainability of the system. Alternatively, cultivation of energetic cover crops and the double cropping system, with which land yields can be maximized, can be considered. The strengths, weaknesses and critical issues of these systems are highlighted. Then are analyzed some alternative crops to be included in the rotation for the production of biogas. Attention must also be paid to the residue of anaerobic digestion, i.e. the digestate, whose effects on the soil will be explained.



## 1. Introduzione

Negli ultimi anni si è assistito ad un cambiamento climatico evidente: la temperatura media annuale italiana è cresciuta di un grado (ISPRA, 2023) e le autorità europee stimano che ogni decennio a livello mondiale crescerà di 0,2°C (Commissione europea, 2023). Ciò va a creare grossi squilibri negli ecosistemi andando a variare la fenologia degli organismi, esponendo ad un rischio sempre più alto i soggetti più deboli. Aumentando le temperature anche le riserve di acqua dolce vengono ridotte sempre di più e ciò va ad impattare anche sulla distribuzione, intensità e frequenza delle precipitazioni: la siccità in Europa causa quasi 9 miliardi di euro di danni all'anno (Commissione europea, 2023).

Queste sono solo alcune delle conseguenze degli aumenti delle temperature ma la causa principale riguarda l'aumento dei gas serra in atmosfera (ARPAV, 2023). Essi derivano principalmente dalla combustione di combustibili fossili i quali sono un'ottima fonte di energia a costi relativamente bassi anche se soggetti a variazione (MiSE, 2023). Nel processo di combustione, producono molte sostanze nocive e climalteranti che vanno a modificare sempre più l'atmosfera rendendola insalubre. Si ha uno spostamento del carbonio dal suolo all'aria, il quale verrà reincorporato in tempi molto lunghi e per questo, secondo studi condotti dall'IPCC (IPCC, 2022), non solo è necessario utilizzare energia con zero emissioni, ma è fondamentale sequestrare i gas serra già presenti.

La domanda di energia però è costante (ISTAT, 2022) e risulta complesso limitare l'utilizzo. Attraverso delle soluzioni sostenibili si può tamponare l'impatto ambientale generato, mantenendo comunque il medesimo livello di fornitura.

Una tra varie soluzioni per ridurre l'impronta ecologica viene proposta dal settore agricolo, andando a usare biomasse di scarto come stock di carbonio al posto dei fossili. Le biomasse possono essere utilizzate in diversi processi energetici tra cui la digestione anaerobica, processo biologico di degradazione della sostanza organica in condizioni anaerobiche controllate, finalizzato alla produzione del biogas, e con produzione di digestato (D.M. 25/02/2016<sup>1</sup>).

Il biogas è la frazione gassosa prodotta all'interno di fermentatori (Figura 1) da parte di un mix di batteri metanigeni, i quali possono utilizzare numerosi substrati (D.L. 03/04/2006<sup>2</sup>). Dal biogas si ricava il biometano tramite un processo chiamato upgrading. La produzione di biogas è nata dall'esigenza di smaltire in modo proficuo grosse quote di materiale organico come la frazione organica dei rifiuti urbani (forSU), effluenti zootecnici e vari residui colturali. Successivamente la tecnica produttiva si è evoluta andando a integrare nella dieta dei digestori colture dedicate ricche di sostanze altamente fermentescibili per migliorare le rese.



Figura 1. Impianto di digestione anaerobica

<sup>1</sup> D.M. 25/02/2016, Link: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2016/04/18/16A02762/sg>

<sup>2</sup> D.L. 03/04/2006, n.152, Link: <https://www.gazzettaufficiale.it/dettaglio/codici/materiaAmbientale>

Questo fatto può generare diverse problematiche perché l'utilizzo di suolo per la coltivazione di colture energetiche va a sottrarre spazio alle coltivazioni utili a produrre derrate alimentari. L'Europa infatti con la direttiva 2018/2001<sup>3</sup> sulle energie rinnovabili ha impostato dei criteri che limitano i luoghi in cui è possibile coltivare per produrre biomassa ed ha imposto dei limiti al di fuori dei quali le colture energetiche così come la fermentazione anaerobica non sono sostenibili.

Anche l'Italia ha stabilito delle linee guida sulla produzione di biomassa energetica: come si può leggere nel D.M. 02/03/2018<sup>4</sup>, il legislatore ha stabilito che la quota di energia da biocarburanti prodotti a partire dai cereali e da altre colture amidacee, zuccherine e oleaginose e da colture coltivate su superfici agricole come colture principali destinate a fini di produzione energetica, nel 2020 doveva essere inferiore al 7% del quantitativo, in termini energetici, di benzina e gasolio immesso in consumo nei trasporti nello stesso anno. Nel 2021 doveva essere inferiore al 6,7%. Riguardo a questo limite non sono però conteggiate le colture di copertura, di secondo raccolto e altre matrici.

## 2. Normativa

### 2.1. Obiettivi ONU

L'organizzazione delle nazioni unite (ONU) ha stilato un programma d'azione per le persone, il pianeta e la prosperità chiamato Agenda 2030. Essa è formata da 17 obiettivi per uno sviluppo sostenibile, in molti di essi si parla di agricoltura, biodiversità ed energia. In particolare negli Obiettivi 2 (Porre fine alla fame, raggiungere la sicurezza alimentare, migliorare la nutrizione e promuovere un'agricoltura sostenibile)<sup>5</sup>, e 15 (Proteggere, ripristinare e favorire un uso sostenibile dell'ecosistema terrestre)<sup>6</sup> viene sottolineata l'importanza della coltivazione di specie a destinazione alimentare e la necessità di aumentare la biodiversità in agricoltura e la sostanza organica nel terreno che sta diminuendo conseguentemente all'ampio utilizzo di fertilizzanti chimici.

L'Obiettivo 7 (Assicurare a tutti l'accesso a sistemi di energia economici, affidabili, sostenibili e moderni)<sup>7</sup> pone invece l'accento sulla disponibilità energetica e sul fatto che essa derivi da fonti sostenibili.

### 2.2. In Europa

Nel quadro normativo europeo sono molti gli articoli che parlano di sostenibilità ambientale, energie rinnovabili biogas, bioenergie, cover crops. In particolare la direttiva UE 2018/2001<sup>8</sup> sulle energie rinnovabili. In essa si parla della quota di energia rinnovabile prodotta e del suo consumo lordo

---

<sup>3</sup> Direttiva UE 2018/2001, Link: <https://temi.camera.it/leg18/post/i-principali-contenuti-della-direttiva-red-ii.html>

<sup>4</sup> D.M. 2/03/2018, Link: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2018/03/19/18A01821/sg>

<sup>5</sup> Onu, obiettivo 2, Agenda 2030, Link: <https://www.istat.it/storage/rapporti-tematici/sdgs/2020/goal2.pdf>

<sup>6</sup> Onu, obiettivo 15, Agenda 2030, Link: <https://www.istat.it/storage/rapporti-tematici/sdgs/2020/goal15.pdf>

<sup>7</sup> Onu, obiettivo 7, agenda 2030, Link: <https://www.istat.it/storage/rapporti-tematici/sdgs/2023/goal7.pdf>

<sup>8</sup> Direttiva UE 2018/2001, Link: <https://temi.camera.it/leg18/post/i-principali-contenuti-della-direttiva-red-ii.html>

europeo che deve essere almeno del 32% dell'energia totale. Dal punto di vista agronomico vengono anche sottolineati i metodi, le specie e la quantità e tipi di terreno da utilizzare per produrre biomassa energetica affinché risulti energia rinnovabile, infatti la norma riporta che è inopportuno utilizzare biocarburanti e combustibili da biomassa prodotti da colture alimentari o foraggere. È inoltre vietata la coltivazioni su suoli protetti o con caratteristiche particolari (es. torbiere)<sup>9</sup>.

### 2.3. PAC 2023-2027

Nella nuova politica agricola comunitaria si parla molto di rivoluzione verde e anche di eco schemi. Sono stati stanziati vari milioni di euro per promuovere questi sistemi che servono per aumentare la sostenibilità ambientale dell'agricoltura. In particolare l'eco schema 4<sup>10</sup> introduce l'obbligo (se si vuole usufruire dei soldi stanziati) di introdurre nell'avvicendamento colturale colture foraggere o leguminose così da preservare la fertilità del terreno.

Per gli adempimenti all'eco schema 4 e agli impegni agro climatici SR03, dal 2024 saranno obbligatorie le disposizioni della BCAA 7 “*Rotazione delle colture nei seminativi, ad eccezione delle colture sommerse*”. Essa introduce l'obbligo di inserire una coltura secondaria di diverso genere rispetto alla primaria in un appezzamento in un anno, andando così a interrompere la monosuccessione, alcuni esempi sono riportati nella Tabella 1 (Confagricoltura, 2023) (A. Frascarelli, 2023).

La coltura secondaria per essere considerata valida deve:

- rimanere nel campo almeno 90 giorni;
- essere adeguatamente gestita portando a termine il ciclo produttivo.

Le disposizioni sono normate attraverso il D.M. 09/03/2023 n. 147385.

### 2.4. In Italia

Nello stato italiano è promossa la produzione di biogas in modo sostenibile. Ciò viene normato dal D.M. biometano 02/03/2018<sup>11</sup>. Il decreto promuove l'utilizzo di biocarburanti avanzati ne stabilisce la definizione e le matrici che possono essere utilizzate per produrli. I biocarburanti avanzati sono quelli prodotti a partire da materie prime esplicitate nell'allegato A “materie prime” del D.M. biometano<sup>12</sup>. Nella lista sono presenti le cover crops energetiche purché coltivate prima e dopo una coltura principale. L'aumento di produzione di biocarburanti avanzati da cover crops energetiche è un vantaggio anche per i distributori di carburanti: il D.L. 199/2021<sup>13</sup> ha stabilito che ogni distributore di carburanti deve avere una quota minima del 16%

<sup>9</sup> Direttiva U.E. 2018/2001, Link:

[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L\\_.2018.328.01.0082.01.ITA](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2018.328.01.0082.01.ITA)

<sup>10</sup> <https://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/24512>

<sup>11</sup> D.M. 2/03/2018, biometano, Link: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2018/03/19/18A01821/sg>

<sup>12</sup> Allegato A, D.M. biometano, 2 marzo 2018, Link: [https://www.gse.it/documenti\\_site/Documenti%20GSE/Servizi%20per%20te/BIOMETANO/Allegato%20A\\_Materie%20pri me.pdf](https://www.gse.it/documenti_site/Documenti%20GSE/Servizi%20per%20te/BIOMETANO/Allegato%20A_Materie%20pri me.pdf)

<sup>13</sup> D.L. 08/11/2021, n.199, Link: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2021/11/30/21G00214/sg>

entro il 2030, calcolata tra la somma dei biocarburanti avanzati immessi in consumo nell'anno su carburanti totali immessi in consumo nell'anno. I biocarburanti avanzati derivati anche da cover crops energetiche, hanno peso doppio su questo rapporto, aumentandolo notevolmente.

Anche in altri decreti sono riportate disposizioni riguardo alla produzione del biogas. Per esempio ne è riportata la definizione nella Parte V, allegato X del D.L. 152/06<sup>14</sup>.

Nel D.M. 25/02/2016<sup>15</sup> invece sono riportate la definizione del digestato e tutte le caratteristiche necessarie al suo impiego e la definizione della digestione anaerobica e le matrici utilizzabili.

Tabella 1. Esempi di applicazione della BCAA7

1° anno	2° anno	Rispetto Bcaa 7	Motivazione
<b>grano duro</b>	grano duro	no	stesso genere botanico
<b>grano duro</b>	grano tenero	no	stesso genere botanico
<b>mais</b>	mais	no	stesso genere botanico
<b>tabacco</b>	tabacco	no	stesso genere botanico
<b>grano</b>	mais	si	cambio di genere botanico
<b>erba medica</b>	erba medica	si	coltura pluriennale
<b>carciofo</b>	carciofo	si	coltura pluriennale
<b>riso</b>	riso	si	esenzione riso
<b>grano duro bio</b>	grano duro bio	si	esenzione bio
<b>mais Sqnpi</b>	mais Sqnpi	si	esenzione Sqnpi
<b>melone pieno campo</b>	melone pieno campo	no	stesso genere botanico
<b>melone sotto tunnel</b>	melone sotto tunnel	si	coltura sotto protezione
<b>loietto-mais</b>	loietto-mais	si	coltura secondaria
<b>grano-soia</b>	grano-soia	si	coltura secondaria
<b>grano-sorgo &gt;90gg *</b>	grano	si	coltura secondaria
<b>tabacco-favino &lt;90 gg *</b>	tabacco	no	coltura secondaria di durata non adeguata

\* da granella o insilato

<sup>14</sup>D.L. 03/04/2006, n.152, Link: <https://www.gazzettaufficiale.it/dettaglio/codici/materiaAmbientale>

<sup>15</sup>D.M. 25/02/2016, Link: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2016/04/18/16A02762/sg>

### 3. Il mais nella produzione di biogas

Il mais (Figura 2) è sicuramente la coltura più comune utilizzata per la produzione di biogas, dal punto di vista storico probabilmente è la prima introdotta in questi sistemi per la sua abbondanza e diffusione e per le sue caratteristiche. È vocata alla produzione di biogas perché genera grandi quantità di biomassa (ISTAT, 2023) e stocca nelle cariossidi amido altamente fermentescibile. Essendo una coltura storicamente presente in pianura padana viene favorita rispetto ad altre sia per la grande resa perché le tecniche colturali sono da tempo note e sempre più sviluppate dagli agricoltori. Il mais inoltre è oggetto di studio da parte dell'ingegneria genetica per ottimizzarne la produzione, l'utilizzo dei nutrienti, dell'acqua e altre caratteristiche. Per il mais da trinciato è stato sviluppato un ibrido a basso contenuto di lignina (BMR) che potrebbe portare vantaggi all'efficienza delle fermentazioni nel digestore dato che la lignina le limita. Grazie alla numerosa varietà di ibridi e alla moltitudine di classi (FAO) di maturazione esistenti, esso può essere messo a coltura in diversi periodi dell'anno (ISPRA, 2010). Ha rese in campo, in biogas e biometano eccellenti (M. Negri, 2014); anche la qualità non è da meno infatti presenta bassi tenori di H<sub>2</sub>S (A. Braghin, ) facilmente removibile con sistemi economici.

Però è una coltura che ha come scopo principale la produzione di alimenti ad uso zootecnico e in minor rilevanza per l'alimentazione umana quindi la sua coltivazione dovrebbe essere volta a questi obiettivi.

Può essere utilizzato anche per produrre bioplastiche o altri prodotti a base di amido essendone molto ricco.

Affinché assicuri rese abbondanti, il necessita di cure colturali importanti generando notevoli

asportazioni di elementi nutritivi (Tabella 2) e acqua dal terreno per cui l'agricoltore è costretto a concimare e irrigare di più rispetto ad

N (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	K <sub>2</sub> O (kg/ha)
200-220	90-100	180-200

Figura 2. Campo di mais



altre colture.

Essendo diffusissima la sua coltivazione (ISTAT, 2023), molte sono le avversità che lo colpiscono e per questo gli interventi con prodotti fitosanitari sono imperativi. Meno performanti sono altre colture che però possono essere altrettanto sfruttabili per la produzione di biogas. Si sta guardando a queste soluzioni per ridurre le problematiche generate dalla

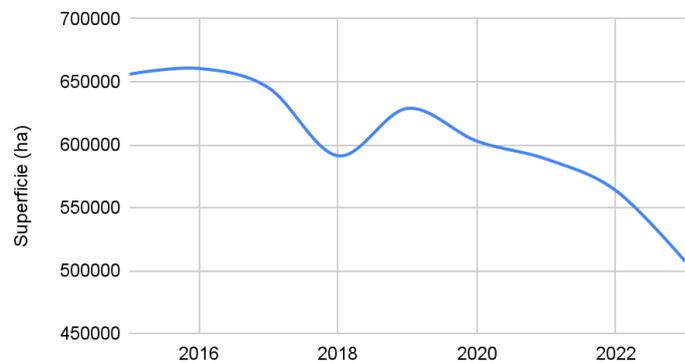
<sup>16</sup> ISPRA, *Studio sull'utilizzo di biomasse combustibili e biomasse rifiuto per la produzione di energia*, 2010, <https://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/rapporti/Rapporto1112010bassa.pdf>

<sup>17</sup> [https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2021-03/allegato\\_i\\_-\\_fertilizzazione\\_2021.pdf](https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2021-03/allegato_i_-_fertilizzazione_2021.pdf)

coltivazione del mais, per aumentare la biodiversità nell'agroecosistema e per sfruttare alcuni servizi che queste colture apportano.

Negli ultimi anni il mais ha sofferto molto a causa del clima instabile infatti si è verificata la presenza di gelate tardive che vanno ad uccidere le piantine appena emerse. Non da meno sono le problematiche apportate da estati sempre più calde, che oltre al maggior consumo di acqua della coltura, favoriscono lo sviluppo di micotossine. Infatti negli ultimi anni la coltivazione del mais in pianura padana sta diminuendo (Figura 3).

Figura 3, Superficie coltivata a mais in Italia (ISTAT, 2023).



#### 4. Sistemi a doppia coltura

Uno dei fattori più importanti è l'ottimizzazione delle rese di biogas ad ettaro all'anno. I sistemi a doppia coltura sono la soluzione ideale per chi deve produrre colture solamente come feedstock per il digestore oppure per aziende zootecniche. Questa tecnica consiste nello seminare una coltura subito dopo la raccolta della precedente andando a produrre due raccolti in un solo anno in un solo appezzamento (M. Negri, 2014). Per esempio ad ottobre si semina un cereale vernino come il triticale che verrà raccolto e trinciato in tarda primavera, dopodichè si semina mais classe 4-500 che verrà insilato anch'esso oppure trebbiato per produrre granella (Figura 4). Questo sistema può essere vantaggioso per le aziende agricole con una grande consistenza di stalla, che necessitano di produrre cereali autunno vernini al fine di produrre per esempio orzo e paglia per l'alimentazione degli animali e d'estate seminare mais o soia precoci per produrre biogas o mangimi.

È vantaggioso anche perché dopo una coltura estiva come il mais si potrebbe seminare una coltura di copertura la quale potrebbe apportare numerosi benefici non al solo terreno ma a tutto l'agroecosistema, utilizzata come sovescio o raccolta per produrre biogas.

La doppia coltura però, come verrà ribadito più volte nella seguente tesi, se non ben gestita rischia di penalizzare la coltivazione della seconda coltura in successione andando a ridurne drasticamente le rese. Le colture potrebbero andare in competizione per nutrienti e/o acqua e produrre un risultato contrario all'atteso.

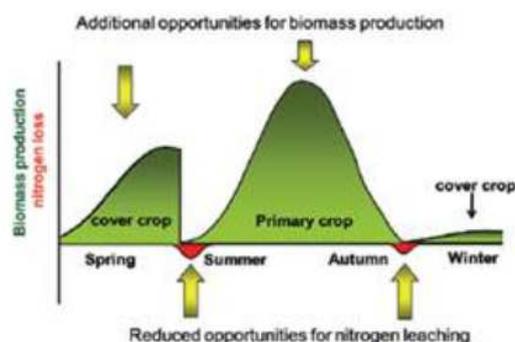


Figura 4. Esempio di avvicendamento colturale con cover crops

## 5. Le cover crops

Le cover crops (colture di copertura), sono delle colture che si vanno a inserire nella successione colturale quando il terreno è incolto. (L. Bechini, 2020) Si seminano appena dopo la raccolta di una coltura principale al fine di non lasciare il terreno libero. Esse vengono talvolta definite cover crops multiservizio in quanto oltre a proteggere il terreno, vanno anche a migliorarne le caratteristiche. Non solo del suolo ma talvolta anche dell'agroecosistema andando a incrementare la biodiversità e assorbire inquinanti anche dell'aria.

Proteggono fisicamente la superficie dall'azione di erosione idrica ed eolica, possono sequestrare composti tossici ed evitare lisciviazione di sostanze come i nitrati o nutrienti che saranno poi disponibili alle colture successive, alcune specie per questo vengono chiamate anche "catch crops". Limitando la discesa dei composti negli orizzonti meno superficiali del terreno e nelle falde acquifere, anche l'acqua sotterranea rimarrà qualitativamente migliore (Launay, 2022).

Non meno importante è l'aumento dell'albedo delle superfici che assorbendo i raggi solari più efficientemente, va a mitigare la temperatura sia del suolo sia dell'aria creando un ambiente più favorevole.

Fotosintetizzando vanno a sequestrare carbonio inorganico all'atmosfera rendendolo organico e facilmente incorporabile nel terreno favorendo un aumento degli stock di carbonio del suolo e conseguente aumento di sostanza organica riducendo il rischio di desertificazione sempre maggiore negli ultimi anni.

Con le radici aumentano il drenaggio sottosuperficiale creando una migliore porosità rispetto al terreno nudo andando così a sfavorire ristagni idrici che causando sbalzi di pH del suolo andrebbero a penalizzare la flora batterica presente, indispensabile per mantenere la fertilità.

Le cover crops inoltre svolgono un servizio di contenimento delle malerbe in quanto per competizione o per allelopatia ne limitano lo sviluppo. La competizione non si intende solo quella a livello dei nutrienti o dell'acqua, ma anche quella legata allo spazio per svilupparsi e alle radiazioni solari che le piante riescono ad intercettare.

Un altro vantaggio della coltivazione di cover crops è dato dalla riduzione della pressione selettiva nei confronti dei patogeni e delle fitopatie, alternando correttamente le specie si può limitare la diffusione massiva di patogeni specializzati e malerbe specifiche e resistenti al contrario dell'effetto delle monocolture (Launay, 2022).

Le cover crops però hanno delle controindicazioni in quanto possono andare in competizione con la coltura successiva consumando stock di nutrienti e acqua utili. Possono inoltre essere un vivaio per specie di patogeni nocivi per cui bisogna effettuare una scelta ben accurata in funzione della coltura principale che si vuole seminare. Un altro limite di questi sistemi è dato all'aumento di costi variabili che l'azienda deve sostenere per comprare la semente e per gestire la coltura. Inoltre potrebbe servire un parco macchine più ampio e adatto data la maggior quantità di colture da gestire. (Launay, 2022) (L. Bechini, 2020)

### 5.1. Cover crops energetiche

Le cover crops energetiche sono ugualmente colture di copertura delle quali però si va a raccogliere la parte epigea non effettuando la concimazione verde. Se utilizzate nel processo di digestione anaerobica, restituiscono al terreno la quota di carbonio e nutrienti attraverso la distribuzione in campo del residuo dei digestori ovvero il digestato.

Le cover crops energetiche assomigliano molto alle colture intercalari utilizzate per produrre foraggi, infatti il sistema è analogo alla “doppia coltura”. Essendo colture non tanto diffuse, l’inserimento delle cover crops nella rotazione può non risultare immediato, la scelta delle classi di precocità è fondamentale per evitare sovrapposizioni negli avvicendamenti (Launay, 2013).

Le cover crops energetiche sono elencate all’interno dell’allegato A del D.M. biometano 03/02/2018<sup>18</sup>.

Le specie ammesse sono:

- Favino (*Vicia faba minor*)
- Erba medica (*Medicago sativa* L.)
- Facelia (*Phacelia* spp.)
- Loiessa (*Lolium* spp.)
- Rapa invernale (*Brassica rapa* L.)
- Senape abissina (*Brassica carinata* L.)
- Sorgo (*Sorghum* spp.)
- Tabacco (*Nicotiana tabacum* L.)
- Trifoglio (*Trifolium* spp)
- Triticale (*Triticum secalotriticum*)
- Sulla (*Hedysarum coronarium* L.)
- Veccia (*Vicia sativa* L.)

Di seguito verranno analizzate le potenzialità di alcune cover crops energetiche.

## 6. Le specie

### 6.1. Loiessa

- Generalità e caratteristiche

La loiessa (*Lolium multiflorum var.westeruoldicum*) (Figura 5), è una graminacea annuale utilizzata per produrre foraggi e biomassa. È una coltura vocata alla produzione di insilati in quanto i tessuti sono ricchi di zuccheri fermentescibili (T. Vítěz, 2015). Tollera discretamente le basse temperature e l’umidità infatti è una coltura autunno vernina ma può essere anche seminata in primavera. Esistono varietà diploidi e triploidi, quest’ultime sono più produttive in termini di biomassa.

---

<sup>18</sup>Allegato A, D.M. biometano, 2 marzo 2018, Link:

[https://www.gse.it/documenti\\_site/Documenti%20GSE/Services%20per%20te/BIOMETANO/Allegato%20A\\_Materie%20prime.pdf](https://www.gse.it/documenti_site/Documenti%20GSE/Services%20per%20te/BIOMETANO/Allegato%20A_Materie%20prime.pdf)



Figura 5. Erbaio di loiesta in purezza

- **Tecnica colturale**

È una specie annuale per cui viene coltivata in erbai specialmente monofiti, si avvantaggia delle concimazioni in particolare di quelle azotate ma alletta se sono eccessive.

La semina può essere effettuata su terreni dove prima è stata eseguita una minima lavorazione in quanto non presenta particolari criticità nell'emergenza. Può avvenire in primavera quando la temperatura del terreno supera i 10 gradi oppure in autunno in modo che produca nella stagione successiva.

Il primo taglio solitamente viene effettuato nel mese di maggio, il secondo circa un mese dopo per cui si presta bene ad essere seguita da una coltura estiva come il mais di classe 300-500 (R. Bartolini, 2017) oppure soia di secondo raccolto.

- **Rese e considerazioni**

La resa specifica di biogas della loiesta è abbastanza elevata. Produce grandi quantità di biomassa, è stato calcolato in uno studio che può arrivare a produrre circa  $0,3\text{Nm}^3$  (T. Vítěz, 2015) di biogas ogni kg di sostanza secca. Quindi andando a considerare la produzione media italiana di sostanza secca di loiesta ad ettaro pari a circa 10 t/ha (A. dal Pra, 2015), può produrre oltre  $4000\text{Nm}^3/\text{ha}$ , una resa notevole (T. Vítěz, 2015) (Weiland, 2003).

## 6.2. Segale

- Generalità e caratteristiche

*Secale cereale L.* è una graminacea (poacea) annuale, ottima per la produzione di biomassa in quanto il culmo è molto più alto rispetto a specie simile come frumento ed orzo. Arriva ad altezze di oltre 1.5m, lo stelo è flessibile ma con venti eccessivi si può allettare. La spiga è leggermente pendula e produce granella più pesante rispetto al frumento tenero.

In Italia è coltivata maggiormente nelle regioni montane in quanto ha una spiccata resistenza alle basse temperature. Questa è una delle caratteristiche riguardo la sua rusticità: è vocata per terreni acidi e sabbiosi e non ha bisogno di particolari concimazioni (UniTo, 2016 ).

Non è inserita come coltura da copertura energetica nella normativa però ha delle performance notevoli per la produzione di biogas (A. Braghin, ).



Figura 6. Campo di segale

- Tecnica colturale

La semina può essere effettuata dai primi di settembre fino ad ottobre ma può essere anche primaverile andando a utilizzare da 50-70 fino a 180 kg/ha di semente in funzione del terreno<sup>21 22</sup>.

Solitamente la semina avviene dopo un'aratura e un erpicatura superficiale, in terreni sciolti si pratica la minima

N (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	K <sub>2</sub> O (kg/ha)
300	180	180

<sup>19</sup> Asportazioni, allegato I,

[https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2021-03/allegato\\_i\\_-\\_fertilizzazione\\_2021.pdf](https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2021-03/allegato_i_-_fertilizzazione_2021.pdf)

<sup>20</sup> S. Bocchi, 2016

<sup>21</sup> <https://www.istamenti.it/Apps/WebObjects/IstaSementi.woa/wa/viewSegale?id=591&lang=ita>

<sup>22</sup> <https://www.semfor.it/prodotto/segale-dankowskie-diamant/>

lavorazione o semina su sodo. Questa coltura non ha particolari difficoltà a germinare ma viene comunque seminata a scarsa profondità: circa 1-2 cm. Se la distanza di semina è poca le piante allettano più facilmente. Buona pratica è eseguire una rullatura post semina e se occorre si può eseguirne dopo l'emergenza se si nota un'elevata scalzatura delle plantule.

Le grosse asportazioni descritte nella Tabella 3 invece sono giustificate dall'attitudine della coltura ad assorbire i nitrati che coprono parzialmente.

La raccolta avviene quando la pianta è ancora verde, solitamente a maggio e per questo si ha la possibilità di seminare subito dopo un'altra coltura.

- Rese e considerazioni

Studi su alcune cultivar hanno evidenziato che si può effettuare una raccolta molto precoce anche prima di maggio ottenendo comunque una buona resa. Mediamente un ettaro di segale produce circa 8,5-9 t (G. D'Imporzano, 2010) di sostanza secca la quale ha una resa in biogas di circa 500-550 Nm<sup>3</sup>/ts.s. (G. D'Imporzano, 2010) (A. Braghin) da cui si riescono a ricavare più di 4000 Nm<sup>3</sup>/ha di biogas, una resa minore rispetto ad altre colture ma comunque elevata. Essendo una coltura rustica e poco esigente in termini di cure può essere considerata nell'avvicendamento.

La segale inoltre assorbendo i nitrati ne limita la lisciviazione contribuendo così al miglioramento delle condizioni delle acque sotterranee.

### 6.3. *Triticale*

- Generalità e caratteristiche botaniche

Il triticale (*x Triticosecale W.*) è una poacea, è una specie ottenuta artificialmente dall'incrocio di grano e segale con un trattamento con colchicina per moltiplicare il corredo cromosomico che rende la pianta non sterile.

Ha un portamento vigoroso, produce elevate quantità di biomassa, l'altezza è elevata e come la segale ha il culmo elastico ma potrebbe rischiare l'allettamento.

Ha caratteristiche di rusticità ereditate dalla segale quindi è una coltura adatta a caratteri ambientali più o meno estremi: tollera scarsa intensità luminosa, terreni acidi e salini e basse temperature.

- Tecnica colturale

La tecnica colturale è simile a quella del frumento tenero tuttavia esistono varietà molto precoci che garantiscono la raccolta a maggio.

N (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	K <sub>2</sub> O (kg/ha)
150	60	100-125

<sup>23</sup> [https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2021-03/allegato\\_i\\_-\\_fertilizzazione\\_2021.pdf](https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2021-03/allegato_i_-_fertilizzazione_2021.pdf)

Viene seminata in autunno ma può arrivare fino ai primi giorni di dicembre (A. dal Prà, 2015). Per la preparazione del letto di semina non sono necessarie particolari lavorazioni, può bastare la minima lavorazione. Si seminano dai 100kg ai 200kg di semente ad ettaro<sup>24</sup>. Il piano di concimazione è simile a quello del frumento, è opportuno evitare eccessi di azoto per fare sì che la pianta non alletti. La raccolta delle specie più precoci viene effettuata verso fine maggio ma può durare per tutto giugno. L'utilizzo di specie più precoci consente un secondo raccolto, molto utile se viene seminata una coltura miglioratrice essendo il triticale depauperante. La raccolta è conveniente farla a maturazione cerosa, a questo stadio la sostanza secca prodotta ad ettaro è maggiore rispetto alle altre.



*Figura 7. Trinciatura del triticale*

- Rese e considerazioni

Grazie alle sue abbondanti rese e alla rusticità, il triticale è una delle colture più utilizzate per produrre biogas. La resa di biomassa ad ettaro può arrivare fino a 50 tonnellate (A. dal Prà, 2015). La resa in biogas è stata calcolata in uno studio effettuato nel nord Italia, la quale può raggiungere e superare i 7000m<sup>3</sup>/ha (M. Negri, 2015). Oltre all'utilizzo come coltura da biomassa il triticale come la segale riduce la lisciviazione dei nitrati assorbendoli in modo che non possano contaminare le falde sotterranee.

---

<sup>24</sup> <https://www.istasementi.it/Apps/WebObjects/IstaSementi.woa/wa/viewTriticale?id=588&lang=ita>

## 6.4. Sorgo

- Generalità e caratteristiche botaniche

Il sorgo (*Sorghum vulgare Pers.*) è una pianta appartenente alla famiglia delle poaceae. Esistono molte cultivar ad indirizzo produttivo diverso, da granella, da foraggio e da fibre. La scelta varietale va effettuata in funzione della precocità necessaria. Il sorgo da granella pur producendo meno biomassa rispetto alle altre cultivar è molto precoce per cui facilmente inseribile come coltura intercalare (P. Mantovi, 2015).

La pianta può raggiungere altezze fino a 3 metri in funzione della cultivar e produce un panicolo in posizione apicale.

Ha performance migliori del mais in zone caratterizzate da temperature elevate e ridotta disponibilità idrica.



Figura 8. Campo di sorgo

- Tecnica colturale

La tecnica colturale è simile a quella del mais, si effettua una concimazione organica seguita da un'aratura e conseguente affinamento. La semina può essere di precisione andando ad utilizzare da 7 fino a 10 kg di

semente ad ettaro<sup>27</sup>. Per le varietà precoci le densità di semina possono essere maggiori in quanto, essendo raccolte prima, l'allattamento non è frequente ma possibile (M. Donatelli, 2018). La raccolta ai fini dell'insilamento per la produzione di biogas viene effettuata a maturazione

Tabella 5, Asportazioni medie sorgo <sup>25 26</sup>		
N (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	K <sub>2</sub> O (kg/ha)
150-200	60-100	160-200

<sup>25</sup> [https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2021-03/allegato\\_i\\_-\\_fertilizzazione\\_2021.pdf](https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2021-03/allegato_i_-_fertilizzazione_2021.pdf)

<sup>26</sup>S. Bocchi, R. Spigarolo, S. Ronzoni, Produzioni vegetali, coltivazioni erbacee, seconda edizione, 2016

<sup>27</sup> <https://www.seminart.it/wp-content/uploads/MISCUGLIO-SORGHI-GBE-METHAN.pdf>

cerosa, negli ibridi più precoci avviene a fine agosto, inizio settembre mentre con quelli più tardivi si arriva a ottobre.

- Rese e considerazioni

Il sorgo, dopo il mais è la coltura per eccellenza per quanto riguarda la produzione di biogas. Ha rese in biomassa verde elevatissime, tanto quanto quelle in biogas. Da alcuni esperimenti italiani (ISPRA, 2012) è risultato che mediamente vengono prodotte 80 tonnellate ad ettaro di biomassa verde (P. Mantovani, 2015). La produzione di biogas ad ettaro media è elevatissima, certe cultivar possono produrre più di 6000 Nm<sup>3</sup>/ha superando il mais (ISPRA, 2012) (G. D'imporzano, 2010).

### 6.5. *Veccia comune*

- Generalità e caratteristiche botaniche

La veccia comune (*Vicia sativa L.*) è una coltura appartenente alla famiglia delle fabaceae con un fiore caratteristico (Figura 9). È una pianta con portamento rampicante con una buona attitudine alla consociazioni. Produce una buona quantità di biomassa e grazie alle simbiosi con i batteri azotofissatori arricchisce il terreno di azoto. Il fiore è frequentato da api. In generale è una coltura sensibile alle basse temperature e al ristagno idrico per cui nelle regioni più fredde viene seminata come coltura estiva. Ne esistono una grandissima varietà di ibridi.



Figura 9. Fiore di veccia comune

- Tecnica colturale

In funzione della cultivar, può essere seminata in autunno oppure in primavera. Con la semina autunnale leggermente anticipata può produrre quasi il doppio di biomassa aerea avendo però una più che doppia asportazione di nutrienti dal terreno. (Regione Campania, 2020) Viene seminata utilizzando fino a 120 kg di semente ad ettaro<sup>28</sup>, in quote minori se consociata con un cereale. La consociazione è pressoché obbligatoria perché è una pianta il cui fusto non è in grado di sorreggersi autonomamente per cui sfrutta la specie consociata (es. senape bianca) come tutore.<sup>28</sup>

La lavorazione da preferire deve essere effettuata in funzione di prevenzione del ristagno idrico a cui è molto suscettibile. Il letto di semina deve essere affinato per facilitare la semina e l'emergenza. La concimazione solitamente non la si fa in pre semina ma si può effettuare allo stadio di ottava foglia.

La raccolta avviene alla fioritura. (Regione Campania, 2020)

<sup>28</sup> <https://www.seminart.it/project/vendita-sementi-veccia-fava/>

- Rese e considerazioni

La resa in biomassa della veccia è meno elevata di altre colture, come la resa in biogas. Infatti è utilizzata specialmente in consociazione per sfruttarne gli effetti sul terreno. Infatti il vero vantaggio apportato dalla coltivazione delle fabaceae è legato al fatto che attuando simbiosi a livello radicale con i batteri azotofissatori riescono ad arricchire la rizosfera di azoto e di conseguenza si ha un risparmio sulla concimazione azotata della coltura successiva o della coltura consociata. (Regione Campania, 2020)



*Figura. 10 Campo di veccia comune*

## **7. Il digestato**

Il digestato (DM 25/02/2016) è il residuo derivato dalla digestione anaerobica della matrice utilizzata per produrre biogas. Esso è formato da due fasi: liquida e solida. La fase liquida (Figura 11) è utilizzata come fertilizzante in quanto ha buone dotazioni di azoto ammoniacale, la frazione solida (Figura 12) invece è ricca di azoto organico, utilizzata come ammendante o in sostituzione della fertilizzazione organica. In funzione delle matrici introdotte nel digestore può avere una diversa ripartizione delle forme di azoto. Il digestato prodotto dalla digestione anaerobica di letame bovino e biomassa vegetale è il più bilanciato con quasi la stessa percentuale di azoto organico e ammoniacale (Tabella 6, 7).



*Figura 11. Digestato solido*



*Figura 12. Digestato liquido*

• *Tabella 6, Composizione digestato solido (L. Bossi, 2012)*

<b>Matrice</b>	<b>S.S. (%)</b>	<b>S.O. (%S.S.)</b>	<b>N totale (kg/t)</b>	<b>N ammoniacale (%Ntot)</b>	<b>P2O5 (kg/t)</b>	<b>K2O (kg/t)</b>
<b>Liquame suino</b>	20-30	65-90	5-10	15-45	5-15	1,5-5
<b>Liquame bovino + colture energetiche</b>	14-26	80-90	3-7	20-40	2-8	2-5
<b>colture energetiche + sottoprodotti agroindustriali</b>	20-30	85-90	4-12	15-45	2-8	3-7

• *Tabella 7, Composizione digestato liquido (L. Bossi, 2012)*

<b>Matrice</b>	<b>S.S. (%)</b>	<b>S.O. (%S.S.)</b>	<b>N totale (kg/t)</b>	<b>N ammoniacale (%Ntot)</b>	<b>P2O5 (kg/t)</b>	<b>K2O (kg/t)</b>
<b>Liquame suino</b>	1,5-3,5	30-50	2-4,5	75-90	0,3-3	1,5-5
<b>Liquame bovino + colture energetiche</b>	2,5-6	55-75	2-4	45-70	1,2-2	2,5-5
<b>colture energetiche + sottoprodotti agroindustriali</b>	4-8	60-75	3,5-7	35-70	0,7-1,7	3-8

La composizione molto variabile di entrambe le fasi del digestato è influenzata da moltissimi fattori, questa è una misura media indicativa. Per una quantificazione esatta della composizione dovrebbe essere analizzato ogni volta all'uscita dell'impianto.

Il digestato, se derivante principalmente da scarti zootecnici, con una legge è stato assimilato agli effluenti zootecnici per cui il digestato liquido è legalmente uguale al liquame mentre quello solido al letame(D.M. 25/02/2016).

### 7.1. Normativa sull'utilizzo agronomico del digestato

In Italia la normativa sull'utilizzo agronomico del digestato viene descritta nel D.M. 25/02/2016. Vengono descritte le materie prime da cui deve derivare per essere considerato "agrozootecnico", tra esse sono presenti le colture agrarie e gli effluenti zootecnici. Nell'allegato IX sono fissati i limiti massimi riguardanti il contenuto di sostanze per l'utilizzazione del digestato agrozootecnico (Tabella 8). La quantità utilizzabile ad ettaro è regolata anche dalla direttiva nitrati. Con la direttiva e Il Piano di Tutela delle Acque (DCR n. 107/2009 e ss.mm.ii) in Veneto sono state definite delle zone vulnerabili da nitrati (Figura 13) in cui il massimo quantitativo di azoto ad ettaro all'anno che si può distribuire sulle superfici agricole è pari a 170 kgN. Nelle zone non vulnerabili è comunque applicato un limite fissato a 340 kgN/ha all'anno.

- Tabella 8, limiti massimi e minimi riguardanti il contenuto di sostanze per l'utilizzazione del digestato agrozootecnico (D.M. 25/02/2016)

Parametro	Valore	Unità di misura
Sostanza organica	20	%S.S.
N totale	0,4	%S.S.
P totale	1,5	%S.S.
Salmonella	Assenza in 25 g di campione t.q.	

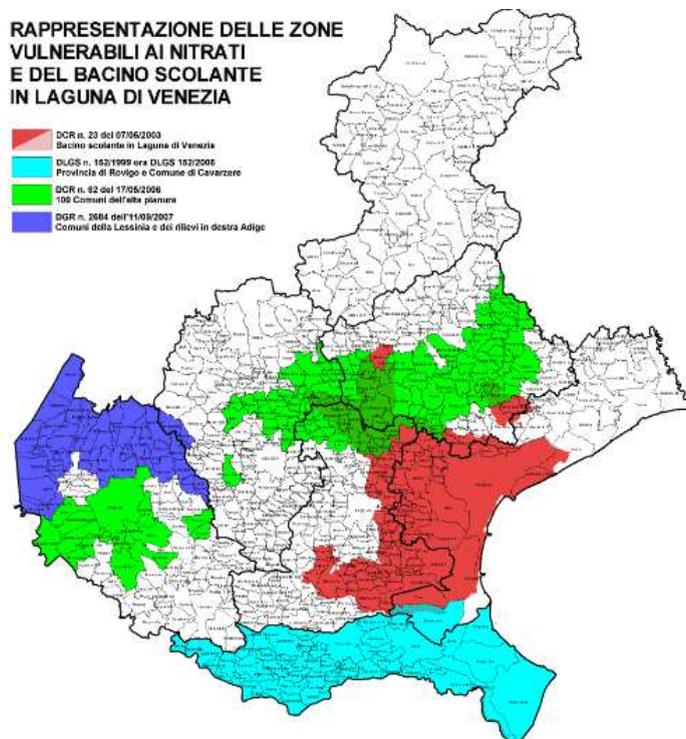


Figura 13.

## **7.2. Effetti sul carbonio e azoto**

Il fatto di “trasformare” le colture di coperture, che dovrebbero essere integrate nel terreno, in digestato è una pratica valida in quanto si va a produrre un fertilizzante molto più controllabile. Di fatto è molto più complicato stimare gli apporti effettuati dalla concimazione verde rispetto ad utilizzare un prodotto analizzato di cui si conoscono tutte le caratteristiche.

È stato stimato che l’impatto ambientale riguardo le emissioni di gas tossici e di volatilizzazione delle forme di azoto legate all’utilizzo del digestato non è significativo (Levavasseur, 2023).

Il digestato lo si può comparare ad altri fertilizzanti anche se riguardo le cover crops energetiche sono ancora pochi gli studi disponibili. Effettivamente però in alcuni studi citati in (Lunay, 2022) si è comunque verificato un leggero aumento dell’azoto disponibile alle colture.

Anche dal punto di vista del carbonio invece è stato evidenziato un leggero aumento nel terreno. La parte ipogea delle colture è più facilmente mineralizzabile della parte aerea e la quota di carbonio presente nella parte raccolta viene rimpiazzata dall’impiego del digestato (Lunay, 2022) (Levavasseur, 2023).

Ovviamente però la quota di digestato apportato deve essere opportunamente quantificata perché in caso di eccessi la fertilità del suolo potrebbe essere gravemente compromessa.

## **8. Esempi di processi per la produzione del biogas**

### **8.1. Caso di un'azienda agricola nel Nord-Est italiano**

Sono state condotte delle prove in un'azienda agricola a indirizzo zootecnico (150 vacche in lattazione) della pianura padana nel Nord-Est italiano che evidenziano la possibilità dell'intensificazione agricola ecologica. L'azienda possiede un digestore e doveva essere effettuata la scelta sulla sua alimentazione: è stata calcolata la quota di mais in monocultura che sarebbe servita come feedstock ovvero 42 t/gg di biomassa fresca in aggiunta a 20 t/gg di reflui zootecnici.

Questa scelta avrebbe non solo ridotto la produzione di carbonio utilizzabile per l'ammendamento o la fertilizzazione dei suoli ma così l'azienda avrebbe dovuto comprare una grossa quota di alimenti zootecnici e paglia in quanto i terreni sarebbero stati occupati dalla coltivazione del mais.

Per questa prova è stata adottata la soluzione della doppia coltura andando a seminare su sodo, dopo il frumento, un mais precoce effettuando la raccolta in tempo per la preparazione del terreno per la coltura autunno-vernina successiva.

Spesso, la doppia coltura, come descritto al paragrafo 4, può andare a penalizzare le rese delle colture successive consumando nutrienti e acqua, tuttavia con l'utilizzo delle fertilizzazioni derivate dall'utilizzo del digestato hanno mostrato effetti più che positivi.

La figura 14 dimostra come sia quasi raddoppiata la superficie utilizzata riuscendo a non sottrarre terreno utile per la produzione di alimenti.

Inoltre la presenza del digestore ha causato l'aumento delle specie coltivate per riuscire a produrre più biomassa possibile sfruttando tutte le finestre temporali, incrementando notevolmente la biodiversità.

Avendo il digestore sempre in funzione l'azienda è riuscita a produrre abbastanza digestato

trovandosi ad avere quasi il doppio del materiale disponibile per la fertilizzazione organica del terreno rispetto al letame che avrebbe prodotto l'allevamento.

La figura 15 illustra come la quantità di materiale organico disponibile sia drasticamente aumentata.

In conclusione questo caso di studio ha dato risultati positivi, la quantità di sostanza organica prodotta è stata quasi doppia rispetto a una gestione convenzionale. Questo implica una riduzione del carbonio in atmosfera. Nonostante la doppia coltura la fertilità del terreno è stata aumentata grazie all'abbondante disponibilità di digestato e all'utilizzo di cover crops (A.A.V.V., 2016).

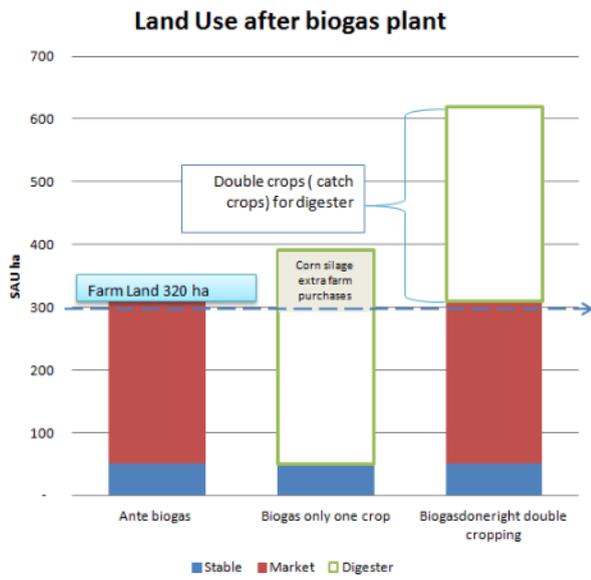


Figura 14.

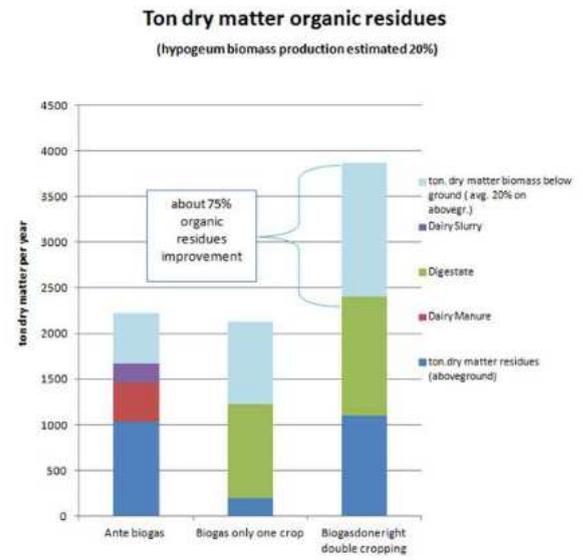


Figura 15.

## 8.2. Caso di tre aziende agricole in Lombardia (Nord Italia),

In Lombardia, nel Nord Italia, è stato condotto uno studio (M. Negri, 2014) in tre aziende agricole diverse con una superficie sperimentale totale di 6,3ha. Questo studio ha come obiettivo valutare il potenziale metanigeno delle colture comunemente utilizzate per la produzione di biogas coltivate sia in monocoltura, sia in doppia coltura. Il motivo di questo esperimento nasce dall'esigenza di aumentare la resa ad ettaro di biogas prodotto da colture erbacee. Le concimazioni e i trattamenti diserbanti sono stati eseguiti seguendo le buone pratiche agricole. Per la concimazione oltre all'urea è stato distribuito digestato prodotto da digestione anaerobica in pre semina.

Nei terreni in cui è stata sperimentata la doppia coltura i cereali autunno-vernini sono stati seminati a ottobre e raccolti a giugno, subito dopo sono stati seminati i cereali estivi e trinciati in autunno.

Con i sistemi a monocoltura, il risultato migliore è stato ottenuto ovviamente con il mais classe FAO 700. Naturalmente essendo la coltura con il ciclo più lungo, produce più biomassa e di conseguenza più biogas ma solo il 13% in più del mais classe 600. La coltura invernale migliore invece è stata il triticale (Figura 16).

Con il sistema colturale di doppia coltura invece i risultati sono stati migliori. Le rese delle specifiche colture in alcuni casi sono state inferiori rispetto alla monocoltura, ma sommate tra loro hanno prodotto risultati notevoli. La miglior performance è stata ottenuta dalla successione triticale+mais classe 500 che in biometano ha superato il mais classe 700 di 1000m<sup>3</sup>/ha (Figura 17).

I risultati hanno denotato che i sistemi a doppia coltura sono più efficienti ma come è riportato nello studio, i dati utilizzati sono pochi per cui gli esiti non sono del tutto univoci.

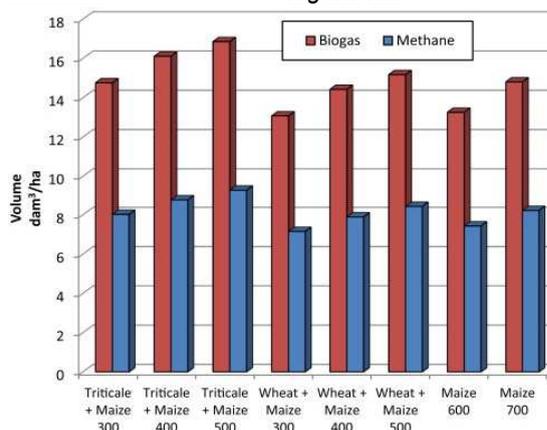
Altri studi (J. Bacenetti, 2014) però hanno determinato che effettuando la doppia coltura, nello specifico successione di frumento e mais, le performance ambientali sono state peggiori rispetto alla monocoltura. Questo risultato è dato dall'inserimento nell'agroecosistema molti più input nel sistema a doppia coltura. Probabilmente se invece una delle due specie si avesse utilizzato una cover crop, o una coltura meno esigente, i risultati sarebbero stati differenti.

Figura 16.

– Biogas production for hectare (mean and standard deviation).	
Crop	Biogas, <sup>a</sup> m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
Maize FAO class 300	7513.2 ± 844.5
Maize FAO class 400	8863.3 ± 867.9
Maize FAO class 500	9613.3 ± 632.1
Maize FAO class 600	13,256.9 ± 1445.6
Maize FAO class 700	14,804.7 ± 1291.3
Triticale	7245.8 ± 271.0
Wheat	5561.5 ± 754.6

<sup>a</sup> 20 °C and 1 bar.

Figura 17.



### 8.3. *Caso di studio in Danimarca*

Alcune consociazioni di colture energetiche possono essere più vantaggiose rispetto alle colture in purezza.

Ne è un esempio lo studio effettuato nel 2013 in Danimarca (B. Molinuevo-Salces, 2013) che evidenzia come possono essere massimizzate le rese utilizzando colture con effetti ben precisi. La più significativa è risultata la consociazione di senape bianca (*sinapis alba L.*) con veccia comune (*vicia sativa L.*). Anche raccogliendo la parte epigea delle colture, grazie ai residui colturali lasciati, questa consociazione apporta dei vantaggi al terreno. La senape ha forti proprietà allelopatiche e produce dei composti tossici per molti patogeni per cui ha un effetto biofumigante (L. Bechini, 2020). La veccia, con le simbiosi con gli azotofissatori riesce ad arricchire il terreno di azoto organico.

Il problema di questa consociazione riguarda la sua scarsa attitudine alla sopportazione delle basse temperature, infatti, essendo la senape e in parte la veccia colture gelive, muoiono se la temperatura va sotto lo zero (Bechini, 2020) per cui la raccolta deve essere anticipata; con il riscaldamento globale le temperature medie si sono alzate per cui la si può raccogliere a fine novembre o inizio dicembre (ISTAT, 2023). Le rese invece è molto dipendente dall'epoca di semina, più è anticipata, più la resa sarà migliore. Va quindi seminata non più tardi dell'inizio di settembre (COMAB, 2020). In climi con temperature più fredde la semina è stata effettuata a fine luglio e la raccolta nelle prime settimane di novembre quindi in Italia teoricamente può essere ancora più anticipata.

L'esperimento danese ha inoltre calcolato il potenziale metanigeno, la resa ad ettaro arriva a massimi di 800m<sup>3</sup> di biometano.

In generale l'aggiunta di matrice a base di brassicacee è un'azione positiva in quanto in uno studio del 2008 (Shanta Satyanarayan, 2008), gli scienziati hanno dimostrato che l'utilizzo di questo substrato aggiunto alle deiezioni dei bovini modifica in modo positivo la quantità e la qualità di gas prodotto.



Figura 18. Fiore di senape bianca

## **9. Conclusioni**

La valutazione della convenienza economica dell'inserimento nell'avvicendamento colturale delle cover crops non è di facile stima, tantomeno se esse vengono poi raccolte e utilizzate per la produzione di biogas e biometano. Sono disponibili ancora pochi studi che vanno a valutare i costi e i ricavi da sistemi così specializzati. Andrebbe valutato ogni caso specifico per produrre un risultato ponderato e veritiero.

In ogni caso l'introduzione di colture intercalari va a produrre dei vantaggi ecosistemici notevoli ma la scelta della specie non deve essere sottovalutata perché l'errore nella selezione e nella programmazione della successione colturale potrebbe compromettere tutta la produzione dell'anno, di conseguenza aumentare i costi variabili, diminuire i ricavi e annullarne la sostenibilità ambientale.

Con questa tesi si è voluto esplicitare la potenziale produzione di biogas da parte di colture meno comuni rispetto al mais, evidenziando che non è il solo ad essere vocato a questo utilizzo. Con la variazione delle colture si va ad aumentare la biodiversità nell'agroecosistema ottenendo così dei benefici, inoltre si va a produrre un combustibile a impatto ecologico basso o nullo.

L'intento della presente tesi non è di indicare quale coltura sia meglio dell'altra ma è di mostrare alcune valide alternative.

## **Bibliografia**

A.A.V.V. BIOGASDONERIGHT®, digestione e sequestro di carbonio nel suolo, 2016, [https://www.consorziobiogas.it/wp-content/uploads/2016/12/biogasdoneright\\_-ITA.pdf](https://www.consorziobiogas.it/wp-content/uploads/2016/12/biogasdoneright_-ITA.pdf)

Allegato A, D.M. biometano, 2 marzo 2018, [https://www.gse.it/documenti\\_site/Documenti%20GSE/Servizi%20per%20te/BIOMETANO/Allegato%20A\\_Materie%20prime.pdf](https://www.gse.it/documenti_site/Documenti%20GSE/Servizi%20per%20te/BIOMETANO/Allegato%20A_Materie%20prime.pdf)

ARPAV, Gas serra e mitigazione, 2023, <https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/cambiamenti-climatici/gas-serra-e-mitigazione>

Jacopo Bacenetti, Alessandra Fusi, Marco Negri, Riccardo Guidetti, Marco Fiala, *Environmental assessment of two different crop systems in terms of biomethane potential production*, Science of The Total Environment, Volumes 466–467, 2014, Pages 1066-1077, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.109>.

R. Bartolini, *Puntiamo sulla doppia coltura: come massimizzare le rese di loietto italico e mais*, 2017, <http://www.ilnuovoagricoltore.it/puntiamo-sulla-doppia-coltura-come-massimizzare-le-rese-di-loietto-italico-e-mais/>

Bechini L, Gallina P. M. , Michelon L. e Tadiello T., *Cover crop: schede tecniche per la coltivazione*, Milano, Università degli Studi di Milano, 2020, [https://sites.unimi.it/benco/wp-content/uploads/Cover-crop-schede-tecniche-coltivazione\\_L\\_R.pdf](https://sites.unimi.it/benco/wp-content/uploads/Cover-crop-schede-tecniche-coltivazione_L_R.pdf)

S. Bocchi, R. Spigarolo, S. Ronzoni, G. Altamura, *Produzioni vegetali, Agronomia generale e meccanizzazione*, seconda edizione, 2016.

S. Bocchi, R. Spigarolo, S. Ronzoni, *Produzioni vegetali, Coltivazioni erbacee*, seconda edizione, 2016.

A. Borin, *Corso di agronomia*, a.a. 2021-22

L. Bossi, P. Mantovi, *Digestato, un utile sottoprodotto del biogas*, 2012, [https://www.crupa.it/media/documents/crupa\\_www/Pubblicazi/conoscer&competere/\\_conoscerecompetere\\_n4.pdf](https://www.crupa.it/media/documents/crupa_www/Pubblicazi/conoscer&competere/_conoscerecompetere_n4.pdf)

A. Braghin, *La segale, valutazione agronomica per il biogas*, [https://terraevita.edagricole.it/agri24/db-prod/prd/dossier\\_segale\\_per\\_biogas.pdf](https://terraevita.edagricole.it/agri24/db-prod/prd/dossier_segale_per_biogas.pdf)

COMAB, L'epoca di semina, nel caso delle cover crops, è fondamentale per ottenere i risultati desiderati, 2020, <https://www.comabcoop.it/2020/11/06/senape-bianca-cover-crop-autunnale/>

Commissione europea, *Le cause dei cambiamenti climatici*, 2023, [https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change\\_it](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_it)

Commissione europea, *Le conseguenze dei cambiamenti climatici*, 2023, [https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change\\_it](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_it)

Confagricoltura, *BCAA 7 – Obbligo della rotazione dal 2023*, 2023, <https://confagricolturaveneto.it/bcaa-7-obbligo-della-rotazione-dal-2023/>

A. dal Prà, A. Immovilli, M.C. Schiff, F. Ruozi, N. Faccini, *Triticale per l'insilamento, quale scegliere e quando raccogliere*, 2015, [https://www.crupa.it/media/documents/crupa\\_www/Settori/Foraggicol/Download/Archivio\\_2015/IA\\_29\\_2015\\_p26.pdf](https://www.crupa.it/media/documents/crupa_www/Settori/Foraggicol/Download/Archivio_2015/IA_29_2015_p26.pdf)

A. dal Prà, F. Ruozi, M. C. Schiff, *Fienagione – Le procedure utili per ottenere qualità*, 2015, <https://informatorezootecnico.edagricole.it/bovini-da-latte/fienagione-procedure-ottenere-qualita/>

A. dal Prà, M. Soldano, F. Ruozi, R. Davolio, *Triticale da biogas, confronto tra varietà*, 2015

G. D'Imporzano, A. Schievano, F. Tambone, F. Adani, T. Maggiore, M. Negri, *Valutazione tecnico-economica delle colture energetiche*, 2010, <http://www.ediagroup.it/ita/riviste/infoagri/10ia32/32017ene.pdf>

Direttiva UE 2018/2001  
<https://temi.camera.it/leg18/post/i-principali-contenuti-della-direttiva-red-ii.html>,  
[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L\\_.2018.328.01.0082.01.ITA](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2018.328.01.0082.01.ITA)

D.L. 03/04/2006, n.152 <https://www.gazzettaufficiale.it/dettaglio/codici/materiaAmbientale>

D.L. 08/11/2021, n.199, <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2021/11/30/21G00214/sg>

D.M. 25/02/2016 <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2016/04/18/16A02762/sg>

D.M. 2/03/2018, biometano, <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2018/03/19/18A01821/sg>

D.M. 09/03/2023 n. 147385

<https://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/19345>

M. Donatelli, *Le colture utilizzabili per l'alimentazione degli impianti di produzione di biometano*, 2018,

<https://www.slideshare.net/gserinnovabili/le-colture-utilizzabili-per-alimentazione-degli-impianti-di-produzione-di-biometano-marcello-donatelli-centro-ricerca-agricoltura-e-ambiente>

A. Frascarelli, *Ecco come si applicano le rotazioni della Bcaa 7*, 2023,

<https://terraevita.edagricole.it/pac-psr-csr/ecco-come-si-applicano-le-rotazioni-della-bcaa-7/>

IPCC, *Climate change 2022, mitigation of climate change*, 2022,

[https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_FullReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf)

ISPRA, *Stato, variazioni e tendenze del clima in Italia*, 2023,

<https://www.isprambiente.gov.it/it/banche-dati/banche-dati-folder/clima-e-meteo/stato-variazioni-e-tendenze-del-clima-in-italia>

ISPRA, *Studio sull'utilizzo di biomasse combustibili e biomasse rifiuto per la produzione di energia*, 2010,

<https://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/rapporti/Rapporto1112010bassa.pdf>

ISTAT, *Ambiente, clima ed energia*, 2022,

<https://www.istat.it/storage/ASI/2022/capitoli/C02.pdf>

ISTAT, *Coltivazioni: Superfici e produzione - dati in complesso*, 2023,

<http://dati.istat.it/Index.aspx?QueryId=37850>

ISTAT, *Temperatura e precipitazione delle città capoluogo negli anni 1971-2021*, 2023,

<https://www.istat.it/it/files//2023/05/Dati-meteoclimatici-Anni-1971-2021.pdf>

Launay, C., Houot, S., Frédéric, S. et al. *Incorporating energy cover crops for biogas production into agricultural systems: benefits and environmental impacts. A review. Agron. Sustain. Dev.* 42, 57 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00790-8>

Levavasseur, Florent, et al. "Energy Cover Crops for Biogas Production Increase Soil Organic Carbon Stocks: A Modeling Approach." *Global Change Biology. Bioenergy*, vol. 15, no. 2, 2023, pp. 224–38, <https://doi.org/10.1111/gcbb.13018>.

P. Mantovi, F. Ruozi, R. Reggiani, G. Ciuffreda, *Varietà di sorgo a confronto per la produzione di biogas*, 2015,

[http://www.crpa.it/media/documents/crpa\\_www/settori/foraggicol/download/archivio\\_2015/i\\_a\\_45\\_2015\\_p65.pdf](http://www.crpa.it/media/documents/crpa_www/settori/foraggicol/download/archivio_2015/i_a_45_2015_p65.pdf)

MiSE, Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica, *Prezzi medi annuali dei carburanti e combustibili*, 2023, <https://dgsaie.mise.gov.it/prezzi-annuali-carburanti?pid=1>

Beatriz Molinuevo-Salces, Søren U. Larsen, Birgitte K. Ahring, Hinrich Uellendahl, *Biogas production from catch crops: Evaluation of biomass yield and methane potential of catch crops in organic crop rotations*, *Biomass and Bioenergy*, Volume 59, 2013, Pages 285-292, ISSN 0961-9534, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.10.008>.

Marco Negri, Jacopo Bacenetti, Massimo Brambilla, Andrea Manfredini, Andrea Cantore, Stefano Bocchi, *Biomethane production from different crop systems of cereals in Northern Italy*, *Biomass and Bioenergy*, Volume 63, 2014, Pages 321-329, ISSN 0961-9534, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.01.041>.

Regione Campania, “*Disciplinari di Produzione Integrata*” Aggiornamento 2022 VECCIA, 2022, <http://www.agricoltura.regione.campania.it/disciplinari/2022/veccia.pdf>

Regione Veneto, *Direttiva nitrati*, 2023, <https://www.regione.veneto.it/web/agricoltura-e-foreste/direttiva-nitrati>

Shanta Satyanarayan, Paresh Murkute, Ramakant, *Biogas production enhancement by Brassica campestris amendment in cattle dung digesters*, *Biomass and Bioenergy*, Volume 32, Issue 3, 2008, Pages 210-215, ISSN 0961-9534, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.09.008>.

UniTo, Università degli Studi di Torino, *Incontro formazione segale*, 2016, [https://www.parchialpicozie.it/contents/project/MASKA\\_segale\\_aggiornato.pdf](https://www.parchialpicozie.it/contents/project/MASKA_segale_aggiornato.pdf)

T. Vamerli, *Corso di coltivazioni erbacee*, a.a. 2022-23

Tomáš Vítěz, Tomáš Koutný, Milan Geršl, Jan Kudělka, Nuttakan Nitayapat, Pavel Ryant, Stanislav Hejduk, Tomáš Lošák, Monika Vítězová, Jan Mareček, *Biogas and Methane Yield from Rye Grass*, *Acta Univ. Agric. Silv. Mendelianae Brun.* 63(1), 143-146, 2015. <http://dx.doi.org/10.11118/actaun201563010143>

Weiland, P. Production and energetic use of biogas from energy crops and wastes in Germany. *Appl Biochem Biotechnol* 109, 263–274 (2003). <https://doi.org/10.1385/ABAB:109:1-3:263>

## **Sitografia**

<https://www.agribioshop.it/sovesci/2189-senape-bianca.html>

<https://www.istasementi.it/Apps/WebObjects/IstaSementi.woa/wa/viewTriticale?id=588&lang=ita>

<https://www.istasementi.it/Apps/WebObjects/IstaSementi.woa/wa/viewSegale?id=591&lang=ita>

<https://www.istat.it/storage/ASI/2022/capitoli/C02.pdf>

<https://www.istat.it/storage/rapporti-tematici/sdgs/2023/goal2.pdf>

<https://www.istat.it/storage/rapporti-tematici/sdgs/2023/goal7.pdf>

<https://www.istat.it/storage/rapporti-tematici/sdgs/2023/goal15.pdf>

<https://www.istat.it/it/archivio/284518>,

[https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2021-03/allegato\\_i\\_-\\_fertilizzazione\\_2021.pdf](https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2021-03/allegato_i_-_fertilizzazione_2021.pdf)

<https://www.reteagevolazioni.it/bandi-psr-veneto/#agevolazione>

<https://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/24512>

<https://www.semfor.it/prodotto/segale-dankowskie-diamant/>

<https://www.seminart.it/project/vendita-sementi-veccia-fava/>

<https://www.seminart.it/wp-content/uploads/MISCUGLIO-SORGHI-GBE-METHAN.pdf>

## Fonti iconografiche

- Figura 1 *Impianto di digestione anaerobica*  
<https://www.eliopig.com/impianti-biogas-e-biometano/>
- Figura 2 *Campo di mais*  
<https://terraevita.edagricole.it/nova/nova-cereali-e-colture-estensive/mais-semine-precoci-senza-stress-ecco-come-fare/>
- Figura 3 *Grafico sull'andamento della coltivazione del mais in Italia*  
<http://dati.istat.it/Index.aspx?QueryId=37850>
- Figura 4 *Esempio di avvicendamento colturale*  
[https://www.consorziobiogas.it/wp-content/uploads/2016/12/biogasdoneright\\_-ITA.pdf](https://www.consorziobiogas.it/wp-content/uploads/2016/12/biogasdoneright_-ITA.pdf)
- Figura 5 *Erbaio di loiessa (Lolium Multiflorum L.)*  
<http://www.sisonweb.com/it/dettaglio-prodotto.php?idProd=66>
- Figura 6 *Campo di Segale (Secale Cereale L.)*  
<https://www.seminart.it/non-categorizzato/4156/>
- Figura 7 *Trinciatura del Triticale*  
[https://www.crpa.it/nqcontent.cfm?a\\_id=4587&tt=crpa\\_www&sp=seq-cure](https://www.crpa.it/nqcontent.cfm?a_id=4587&tt=crpa_www&sp=seq-cure)
- Figura 8 *Campo di Sorgo (Sorghum Bicolor Ssp.)*  
<https://www.ilnuovoagricoltore.it/sorgo-da-foraggio-dopo-triticale-o-loietto-da-affiancare-al-mais/>
- Figura 9 *Fiore di veccia (Vicia Sativa L.)*  
<https://www.adaglioamenti.com/prodotto/veccia-sativa-jose-leguminosa-proteica/>
- Figura 10 *Campo di veccia (Vicia Sativa L.)*  
<https://www.ferrisementi.com/new/semi-foraggiere/leguminose-foraggiere/veccia-comune>
- Figura 11 *Digestato solido*  
<https://creafuturo.crea.gov.it/9247/>
- Figura 12 *Digestato liquido*  
<https://www.biocustom.it/2019/11/26/utilizzazione-agronomica-del-digestato/>
- Figura 13 *Rappresentazione delle zone vulnerabili ai nitrati e del bacino scolante in laguna di Venezia*  
<https://www.regione.veneto.it/web/agricoltura-e-foreste/direttiva-nitrati>

- Figura 14 *Utilizzo dei terreni dopo la costruzione dell'impianto di biogas*  
[https://www.consorziobiogas.it/wp-content/uploads/2016/12/biogasdoneright\\_-ITA.pdf](https://www.consorziobiogas.it/wp-content/uploads/2016/12/biogasdoneright_-ITA.pdf)
- Figura 15 *Residui organici in peso di sostanza secca*  
[https://www.consorziobiogas.it/wp-content/uploads/2016/12/biogasdoneright\\_-ITA.pdf](https://www.consorziobiogas.it/wp-content/uploads/2016/12/biogasdoneright_-ITA.pdf)
- Figura 16 *Produzione media ad ettaro di biogas*  
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.01.041>
- Figura 17 *Produzione media ad ettaro di biometano*  
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.01.041>
- Figura 18 *Fiore di Senape bianca (Sinapis Alba L.)*  
<https://www.seminart.it/project/senape-bianca/>

### **Indice tabelle**

- Tabella 1, *Esempi di applicazione della BCAA 7*
- Tabella 2, *Asportazioni medie mais*
- Tabella 3, *Asportazioni medie segale*
- Tabella 4, *Asportazioni medie triticale*
- Tabella 5, *Asportazioni medie sorgo*
- Tabella 6, *Composizione digestato solido (L. Bossi, 2012)*
- Tabella 7, *Composizione digestato liquido (L. Bossi, 2012)*
- Tabella 8, *Limiti massimi e minimi riguardanti il contenuto di sostanze per l'utilizzazione del digestato agrozootecnico (D.M. 25/02/2016)*