

p/25

COVER CROPS E BIOENERGIE

Il ruolo delle colture di
copertura tra
sostenibilità ambientale
e competitività delle
imprese



AUTORI

Piermichele La Sala

Matteo Sotgiu

Leonardo Orsitto

ILLUSTRAZIONI

Matilde Masi

CONTATTI

info@divulgastudi.it

MESE DI PUBBLICAZIONE

Dicembre 2025



Il lavoro è disponibile all'indirizzo

<https://divulgastudi.it>



L'adozione delle colture energetiche come cover crops può essere proposta come un modello virtuoso per la sostenibilità agricola e l'integrazione al reddito degli agricoltori. Coltivate in alternanza con le colture principali, queste piante migliorano la struttura del suolo, aumentano la biodiversità e riducono l'uso di fertilizzanti inorganici. Contribuiscono inoltre al sequestro del carbonio e riducono la lisciviazione dei nitrati. Nelle pagine di questo paper capiremo di più.

i



INDICE

1. LE COVER CROPS: UNA PANORAMICA	9
---	---

2. LE COVER CROPS ENERGETICHE .	15
---------------------------------	----

2.1 Filiere agroenergetiche e cover crops: biomassa, biogas e biometano.	15
--	----

2.2 Tipologie di cover crops energetiche	27
--	----

2.3 Costi e benefici per gli imprenditori agricoli	35
--	----

3. CARATTERISTICHE E TECNICHE AGRONOMICHE DELLE COVER CROPS.....	47
--	----

3.1 Benefici per il terreno agricolo	50
--	----

3.2 Classificazione delle cover crops ..	56
--	----

3.3 Terminazione delle cover crops.....	62
---	----

4. SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE E VALORIZZAZIONE ECONOMICA	67
--	----

Bibliografia.....	75
-------------------	----

01

1. LE COVER CROPS: UNA PANORAMICA

Le cover crops o colture di copertura sono definite dalla Soil Science Society of America come 'colture a crescita serrata che forniscono protezione del suolo, protezione della semina e miglioramento del suolo tra periodi di normale produzione colturale' [1].

La coltivazione delle cover crops viene solitamente effettuata durante il periodo di transizione tra la coltivazione di due colture principali consecutive da reddito, interrompendo la loro crescita, attraverso la pratica della "terminazione". Le cover crops, sfruttando i nutrienti residui del suolo, permettono la copertura del suolo durante il periodo di 'nudo' e aumentano la biodiversità a livello di agroecosistema

La biomassa delle cover crops contribuisce anche all'immissione dei residui colturali nel suolo, portando ad un aumento del contenuto di carbonio e nitrati nel suolo che diventeranno disponibili per le colture successive. A differenza del suolo nudo, l'avvicendamento con cover crops migliora le proprietà fisiche del suolo, promuove il sequestro di carbonio e la ritenzione di azoto. Indirettamente le cover crops possono contribuire alla qualità complessiva del suolo e dell'acqua, assorbendo i nutrienti in eccesso prima che fuoriescono dal profilo del terreno o aggiungendo azoto con conseguente ridotto fabbisogno di concimazioni per il prossimo raccolto da reddito [2].

Durante la loro fase di crescita attiva, aumentano l'assorbimento dell'energia solare fornendo maggior nutrimento agli organismi del suolo e grazie alla capacità di intercettare l'energia cinetica delle precipitazioni riducono la quantità e la velocità del deflusso delle acque piovane nel terreno. Come per tutte le coltivazioni agricole, l'efficacia delle cover crops può variare in base alle condizioni climatiche e alla tipologia di impianto: ad esempio, zone calde e umide sono più favorevoli alla crescita delle cover crops, mentre in aree aride o semi-aride, lo sfruttamento dell'acqua da parte di queste colture può influire sui rendimenti delle colture principali [3].

In questo contesto, le pratiche di agricoltura conservativa, ed in particolare l'utilizzo delle

cover crops, possono facilitare la transizione dei terreni agricoli verso un percorso di rivalorizzazione sostenibile e circolare, salvaguardando allo stesso tempo la salute degli stessi [4]. Questa necessità è emersa negli ultimi decenni a causa del crescente declino della qualità ambientale, della biodiversità, dei terreni e in generale delle produzioni agricole a causa di un eccessivo uso di fertilizzanti inorganici e di altre pratiche 'scorrette'. Per questo è stato ripreso il concetto di salute del suolo che, pur essendo un principio antico, è estremamente rilevante nel contesto attuale. Precisamente per 'salute del suolo' si intende la capacità del terreno di svolgere le sue funzioni essenziali, le quali dipendono fortemente da una combinazione armoniosa di attributi fisici, chimici e biologici [5]. Al di

là dell'apparente solidità e immobilità, il suolo è una risorsa sensibile nella sua funzionalità, sostanzialmente non rinnovabile e sottoposto ad una serie di shock che lo rendono una risorsa delicata.

Dato l'eccessivo sfruttamento, il terreno agricolo è sottoposto in maniera sempre più aggressiva a fenomeni quali:

- I. Erosione: l'erosione dovuta all'acqua e al vento, accelerata da pratiche agricole scorrette e cambiamenti repentini nell'uso del terreno, rimuove strati superficiali di terreno spesso selezionando la frazione più fertile e superando la rigenerazione annuale del suolo;
- II. Riduzione della sostanza organica: l'intensificazione delle lavorazioni

agricole e la riduzione delle rotazioni e delle restituzioni organiche hanno diminuito drasticamente la sostanza organica del suolo, compromettendo la struttura e la fertilità del suolo;

- III. Compattamento: l'uso intensivo di macchinari pesanti e lavorazioni profonde riducono la porosità del terreno, ostacolando la crescita delle radici e degli organismi che vivono nel suolo;
- IV. Sottrazione di suolo agricolo: l'urbanizzazione e l'impermeabilizzazione del suolo riducono la disponibilità di terreni agricoli e innescano fenomeni di erosione, allagamenti e inquinamenti;

- V. Salinizzazione: irrigazioni inadeguate o cattiva gestione delle risorse idriche possono causare la salinizzazione del suolo, portando alla desertificazione e rendendo il suolo inospitale per piante e organismi;
- VI. Cambiamento climatico: l'aumento dei gas serra e il cambiamento climatico stanno alterando i regimi termici e idrici del suolo, riducendo la sostanza organica e aumentando le emissioni di gas serra, destabilizzando gli ecosistemi agrari [6].

Considerando i fattori che minacciano la salute del suolo, è essenziale implementare

metodi di agricoltura conservativa, nota anche come 'agricoltura blu'. Questo modello include una serie di elementi come la minima alterazione del suolo, la copertura permanente e programmata del terreno e le rotazioni colturali diversificate. La minima alterazione del suolo riduce la perturbazione delle strutture e degli organismi che popolano il terreno, favorendo una maggiore biodiversità ed efficienza dei nutrienti; la copertura permanente del terreno mediante l'utilizzo delle cover crops protegge il suolo dall'erosione e mantiene l'umidità; mentre le rotazioni colturali diversificate prevengono l'esaurimento dei nutrienti e riducono l'incidenza di parassiti e malattie. L'agricoltura conservativa non solo

migliora la sostenibilità dell'agricoltura, ma diventa sempre più rilevante in un contesto in cui le sfide globali legate al cambiamento climatico impattano sulla sicurezza alimentare e sul reddito agricolo.

Nel 2016, il 23% dei terreni arabili nell'UE 27 è stato lasciato come terreno nudo senza alcuna copertura vegetale in inverno. Quasi la metà dei terreni arabili (46%) era coperta da normali colture invernali. La maggior parte della copertura invernale nei paesi dell'Europa occidentale e meridionale, come Malta, Cipro, Germania, Spagna, è rappresentata da colture invernali convenzionali. In questi ultimi due paesi le cover crops sono molto più comuni, come anche in Belgio,

Danimarca, Austria e Paesi Bassi.

In sintesi, si evidenzia una variazione significativa nella gestione del suolo in inverno tra i diversi paesi europei, con i paesi dell'Europa meridionale e occidentale che tendono a mantenere una maggiore copertura del suolo attraverso colture, mentre quelli dell'Europa settentrionale lasciano il suolo più spesso scoperto [7].

In questo quadro generale, rientrano le cover crops energetiche cioè le colture di copertura che prevedono l'utilizzo della loro biomassa per produrre energia nelle filiere bioenergetiche e consentono da un lato di migliorare la sostenibilità dell'agricoltura e dall'altro di sostenere il reddito degli agricoltori.

02

2. LE COVER CROPS ENERGETICHE

2.1 Filiere agroenergetiche e cover crops: biomassa, biogas e biometano

Al vaglio di alcuni paesi europei c'è l'idea di sostituire le colture dedicate con cover crops energetiche per la produzione di biogas e biometano. Le cover crops possono generare quantità interessanti di biomassa senza competere con le tradizionali colture food and feed, ovvero destinate alla produzione di alimenti e mangimi. La criticità maggiore risiede nell'attuale incertezza sui potenziali benefici e impatti di questa ipotetica scelta di sostituzione [8]. L'idea dei paesi europei risiede nella convinzione che lo sviluppo di filiere "agroenergetiche" può rappresentare per il settore agricolo una

ulteriore possibilità di diversificazione delle produzioni tradizionali con positivi risvolti sui risultati economici per gli operatori e in generale un potenziamento del ruolo svolto dal settore nella transizione ecologica in atto a livello globale [9]. Anche in Italia il settore agricolo e forestale contribuisce fortemente alla produzione di energia rinnovabile; infatti, andando ad analizzare il ruolo delle energie rinnovabili riconducibili all'agricoltura, emerge un rapporto di dipendenza tra attività agricola in senso stretto e produzione (e autoconsumo) di energia da fonti rinnovabili. In effetti gran

parte di questa energia viene prodotta grazie al ruolo attivo dell'agricoltura attraverso la fornitura di biomasse derivanti da scarti agricoli o colture dedicate. Le biomasse, attraverso processi di trasformazione come ad esempio la digestione anaerobica, la combustione diretta, la gassificazione o l'idrogenazione, diventano risorsa fondamentale per la produzione di biogas, bioetanolo e biocarburanti. I processi menzionati, non solo riducono i rifiuti agricoli, ma generano forme diverse di energia e carburanti puliti, contribuendo ad una maggiore sostenibilità del settore agricolo stesso e di altri settori [10]. Le agroenergie, definite come

l'energia derivata dalle attività agricole, zootecniche, forestali e agroindustriali, rappresentano oggi una delle principali fonti scalabili di energia rinnovabile. Questa predominanza è attribuibile alla vasta disponibilità di materie prime e alla capacità di generare elettricità, calore e biocarburanti mediante l'impiego di tecnologie, alcune consolidate e altre in fase di sviluppo, come quelle per la produzione di idrogeno verde. Tutto ciò deve contemplare il fatto di non competere con le produzioni alimentari, aspetto per il quale le cover crops a fini energetici potrebbero trovare un utilizzo molto interessante. L'analisi dei consumi mondiali di energia

evidenzia l'importanza delle bioenergie, e quindi anche quelle da fonte agricola, sia per il loro contributo attuale sia per il potenziale di crescita futuro in un contesto sempre più volto alla transizione energetica globale. Secondo i dati 2023 dell'International Energy Agency (IEA), i consumi totali finali di energia ammontano a 445 Exajoule (EJ), con una crescita annuale composta (CAAGR) stimata all'1,3% fino al 2030, e una quota dovuta alle bioenergie significativa. In particolare, e in aggiornamento rispetto ai dati relativi al 2022, riportati anche nel Paper – Bioenergie del Centro Studi Divulga [11], per quanto

riguarda i combustibili, dal punto di vista dei consumi mondiali, i valori relativi al biofuels nel 2023 restano quasi invariati: rappresentano ancora il 2,5% (4,6 EJ) dei consumi di combustibili liquidi, con una crescita prevista del 3,4% all'anno da qui al 2030 (CAAGR). Per il biogas e il biometano invece la crescita potenziale stimata entro il 2030 sarebbe molto rapida e molto vicino al 14% medio annuo, a dimostrazione del crescente interesse per questo tipo di prodotto, soprattutto in Europa. In generale la biomassa (liquida o solida) continua a rappresentare un'importante fonte energetica [12].

Tabella 2.1.1: Consumi Mondiali di Energia 2023 (in Exajoule)

Consumi Mondiali di Energia (in Exajoule – EJ)	2023	CAAGR al 2030 (%)	Focus Trasporti	CAAGR al 2030 (%)
Elettricità	91	3,3	1,5	16,5
Combustibili Liquidi	176,4	0,8	114,8	0,6
Bio-fuels	4,6	3,4	4,5	3,4
Prodotti derivati del Petrolio	171,8	0,7	110,3	0,5
Combustibili Gassosi	71	1,6	5,3	3,3
Biogas/Biometano	0,3	13,9	0,09	12,1
Idrogeno	0,01	50,6	0,01	50,1
Gas naturale	70,5	1,5	5,2	2,8
Combustibili solidi	88	-0,7	-	-
Bioenergie (biomasse)	34,8	-0,8	-	-
Coke	52,2	-0,6	-	-
Heat	15	1,9	-	-
Consumi Finali Totali	445	1,3	122	1,1

Fonte: Elaborazione Centro Studi Divulga su dati IEA

Nonostante la biomassa sia una risorsa rinnovabile, continua e programmabile, essa non è inesauribile. Questa considerazione porta ad affermare che il suo utilizzo deve essere gestito in modo da permetterne la rigenerazione continua, senza però alterare l'equilibrio degli ecosistemi e senza entrare in conflitto con l'uso della superficie agricola utilizzata (SAU) per le produzioni food and feed [13]. Dal quadro delineato emerge che le colture energetiche hanno il potenziale di essere una fonte di energia rinnovabile, capace di

ridurre le emissioni di gas serra e aiutare nella lotta ai cambiamenti climatici.

Tra le colture energetiche impiegate espressamente per produrre energia vi sono le specie arboree come il pioppo, la ginestra, il salice e le specie erbacee come il girasole, la soia e la colza [14]. Tuttavia, la problematica principale delle colture energetiche, come analizzeremo, risiede nella necessità di risorse primarie (terra e acqua) già in parte dedicate ad altre tipologie di produzione agricole (food and feed).

Le colture energetiche detengono quindi un potenziale intrinseco significativo per soddisfare il futuro fabbisogno energetico mondiale ed è per questo che i terreni agricoli possono offrire il loro contributo grazie alla 'agricoltura energetica'. Diversi studi sulle colture energetiche nella produzione di biocarburanti e biogas dimostrano che esse possono configurare un modo piuttosto economico e sostenibile per la produzione di energia green. Allo stato attuale, in Europa, l'agricoltura energetica si concentra su produzioni di base come mais, barbabietola da zucchero, soia, colza e insilati per produrre energia da biometano e biocarburanti.

Tuttavia, queste coltivazioni, condividendo lo spazio e competendo direttamente con le tradizionali colture alimentari e foraggere, rappresentano un rischio che richiede una valutazione scrupolosa in termini di sicurezza alimentare. Tale rischio può essere mitigato attraverso un'attenta gestione programmata e rotazionale, che include anche l'adozione di colture di copertura a fini energetici. Tali colture, infatti, non solo riducono i potenziali impatti negativi, ma presentano anche agli imprenditori agricoli l'opportunità di ottenere significativi vantaggi economici e ambientali [15]. Quindi le cover crops, se inserite oculatamente in un piano di produzione

aziendale ben pianificato, possono essere utilizzate come colture energetiche che non competono con le produzioni alimentari, danno una buona soddisfazione economica agli imprenditori agricoli, riducono l'impatto ambientale e sostengono il settore della filiera agroenergetica in forte crescita. Infatti, l'output più interessante della coltivazione delle colture energetiche è la biomassa agricola. Una categoria ampia che comprende sia la parte alimentare delle colture, come olio, carboidrati semplici da mais, da canna da zucchero e da barbabietole; sia la parte non alimentare costituita da elementi complessi presenti in foglie, steli, lolla di riso, paglia ed erbe

permanenti. L'energia derivata dalla biomassa, nei processi di conversione, può essere ottenuta tramite diversi metodi, in particolare attraverso i processi di digestione anaerobica, per la produzione di biogas utilizzabile per generare calore ed elettricità [16]. Attualmente, la bioenergia rappresenta la principale fonte di energia rinnovabile a livello globale, fornendo vettori energetici solidi, liquidi e gassosi. Tra questi, i vettori gassosi bioenergetici, come il biogas e il biometano, stanno guadagnando una quota sempre più significativa nel panorama delle agroenergie, con tassi di crescita medi annuali dell'11%. Il biometano, conosciuto anche come gas

naturale rinnovabile (RNG), viene prodotto attraverso il processo di upgrading del biogas, una fase successiva alla digestione anaerobica che garantisce il raggiungimento delle specifiche tecniche e chimiche necessarie per l'iniezione nelle reti del gas naturale. Questo processo include la rimozione di componenti come acqua, idrogeno solforato, ammoniaca, ossigeno, azoto, monossido di carbonio e altre impurità [17]. Quello del biometano è un mercato in forte espansione data la maturità tecnologica dell'upgrading. Si segnala che a fine 2022 l'Europa contava 1.222 impianti di produzione di biometano, in forte aumento rispetto ai 627 del 2017 [18]. Anche a livello nazionale, la biomassa agricola rappresenta una risorsa chiave per la produzione di energia rinnovabile tramite biodigestori.

I dati Terna del 2023 mostrano un quadro molto interessante. Per il settore elettrico totale gli impianti alimentati da biomasse solide risultano pari a 383 (nel 2023), con un peso percentuale sul totale delle bioenergie del 13%; gli impianti da attività agroforestali (biogas) sono pari a 1.164 e quelli da oli vegetali grezzi (bioliquidi) mostrano un numero di 326, per un totale di impianti sul territorio nazionale alimentati da agrifoodstock pari a 1.873 e con una produzione di energia elettrica totale prodotta di 12.125 GWh. Si nota dunque che la produzione di energia elettrica in generale dovuta a biomassa agricola (all'interno della quale si considera anche quella proveniente da cover crops) è pari al 76% sul totale delle bioenergie, attestandosi su una quota di tutto rilievo [19].

Tabella 2.1.2: Produzione di bioenergia (totale settore elettrico) da coltivazioni agricole (2023)

Totale settore elettrico (2023)						
Tipologia agrifeedstock	n. impianti	peso % sul tot. bioenergie	potenza (MW)	peso % sul tot. bioenergie	Produzione di energia elettrica (GWh)	peso % sul tot. bioenergie
Biomasse solide	383	13%	772	19%	3.439	21%
Attività agroforestali (biogas)	1.164	38%	790	19%	5.193,7	32%
Oli vegetali grezzi (bioliquidi)	326	11%	788	19%	3.491,7	22%
Tot.	1.873	61%	2.350	58%	12.125	76%

Fonte: Elaborazione Centro Studi Divulga su dati Terna (2023)

Lo stesso discorso si può fare per quanto riguarda la produzione di sola energia elettrica (quindi ad esempio non utilizzata per generare calore) per la quale l'apporto di biomassa agricola è pari al 85% sul

totale delle bioenergie e per quanto riguarda la produzione di energia elettrica combinata con la produzione di calore per la quale la quota di biomassa agricola risulta essere del 69% sul totale delle bioenergie.

Tabella 2.1.3: Produzione di bioenergia (settore solo elettrico) da coltivazioni agricole (2023)

Settore solo Elettrico (2023)						
Tipologia di agrifeedstock	n. impianti	peso % sul tot. bioenergie	potenza (MW)	peso % sul tot. bioenergie	Produzione di energia elettrica (GWh)	peso % sul tot. bioenergie
Biomasse solide	88	10%	385	20%	1.629	24%
Attività agroforestali (biogas)	275	31%	178	9%	1.209,1	18%
Oli vegetali grezzi (bioliquidi)	123	14%	527	28%	2.856,5	42%
tot.	486	54%	1.091	58%	5.694	85%

Fonte: Elaborazione Centro Studi Divulga su dati Terna (2023)

Tabella 2.1.4: Produzione di bioenergia (settore elettrico combinato con calore) da coltivazioni agricole

Settore Elettrico combinato con produzione di calore (2023)						
Tipologia agrifeedstock	n. impianti	peso % sul tot. bioenergie	potenza (MW)	peso % sul tot. bioenergie	Produzione di energia elettrica (GWh)	peso % sul tot. bioenergie
Biomasse solide	295	14%	387	18%	1.811	19%
Attività agroforestali (biogas)	889	41%	611	28%	3.984,6	43%
Oli vegetali grezzi (bioliquidi)	203	9%	261	12%	635,2	7%
Tot.	1.387	64%	1.259	57%	6.430	69%

Fonte: Elaborazione Centro Studi Divulga su dati Terna (2023)

Per quanto riguarda la promozione dell'uso del biometano e degli altri carburanti avanzati, il D.M. Biometano 2 marzo 2018 [20] nell'appendice A, ridefinisce e traccia quelli che sono gli input per il processo di digestione anaerobica, dedicando una sezione specifica alle tipologie di 'cover crops energetiche' ammissibili come substrato (feedstock) per la produzione di biogas e biometano attraverso processi anaerobici (favino, erba medica, facelia, loiessa, rapa invernale, senape abissina, sorgo, tabacco, trifoglio, triticale, sulla, veccia) rimarcando l'importanza di queste tipologie di cover crops nel processo di transizione ecologica. L'impiego delle colture indicate per l'alimentazione dell'impianto è in perfetto accordo con

l'orientamento a non ridurre gli ettari dedicati alle produzioni food and feed, in quanto utilizzabili come colture da doppio raccolto nel periodo dell'anno in cui i terreni sarebbero a riposo. Il metodo del doppio raccolto viene indicato anche tra le buone pratiche agricole nel modello 'BiogASFattobene' elaborato nell'ambito di una attività progettuale guidata dal Consorzio Italiano Biogas (CIB), oltre che come pratica per ridurre l'impiego di biomasse di primo raccolto per l'alimentazione dei digestori. Quindi, in sostanza, tale modello consente di prediligere le cover crops energetiche in rotazione con altri cereali o colture food and feed [21].

2.2 Tipologie di cover crops energetiche

Lo studio "Gas for Climate" pubblicato da Ecofys [22] ha analizzato in dettaglio l'importanza delle colture energetiche di rotazione (sequential crops) consentendo di mettere in evidenza la quota del contributo potenziale alla produzione di biometano per ciascun tipo di biomassa utilizzata nel processo di digestione anaerobica: le colture energetiche di rotazione – tra le quali si possono menzionare le cover crops energetiche – rappresentano la fonte primaria di feedstock da impiegare nel digestore anaerobico. Inoltre, tale studio, attraverso un approccio sperimentale,

dimostra che le produzioni agricole food and feed possono essere migliorate sia qualitativamente che quantitativamente grazie all'introduzione della doppia coltura con l'impianto di colture energetiche. Gli esperti hanno analizzato la quantità di biomassa prodotta e gli impatti sui nutrienti del suolo, sull'erosione, sulla disponibilità di acqua, sulla biodiversità dell'ecosistema agricolo e sul bilancio del carbonio. I risultati hanno identificato questo sistema agricolo come promettente sotto tutti questi aspetti: le produzioni di colture foraggere e colture addizionali sono incrementate, portando a

una maggiore redditività per l'azienda agricola senza ridurre le produzioni alimentari esistenti né generare impatti negativi sull'ambiente.

Analizzato il potenziale delle cover crops è essenziale definire in maniera puntuale cosa e quali siano le colture di copertura energetiche. La letteratura sul tema non esprime una definizione scientifica ma integra le cover crops energetiche nel novero delle colture che possono esprimere un potenziale nella produzione di biomassa. Quindi, potremmo definire le 'cover crops energetiche' come quelle colture di copertura coltivate su terreni agricoli a scopi energetici. La biomassa prodotta da queste colture può essere utilizzata come combustibile solido o come substrato per la

produzione di biogas, oltre che come estratto per produzione di combustibili liquidi. Un aspetto fondamentale nello sviluppo di tali colture energetiche è che queste (oltre a svolgere importanti servizi ambientali) rappresentano un'opportunità per diversificare la produzione agricola, incrementare il reddito degli agricoltori e sostenere le attività economiche nelle aree rurali, in linea con i principi dello sviluppo sostenibile [23]. Inoltre, le cover crops energetiche sono molto simili alle colture intercalari per la produzione di foraggi, condividendo lo stesso principio di funzionamento ovvero quello della doppia coltura.

Essendo colture non molto diffuse, il loro inserimento nei sistemi colturali di rotazione

può non risultare immediato [24] e deve essere oggetto di un attento processo di analisi per valutarne le fasi colturali per evitare sovrapposizione negli avvicendamenti con produzioni food and feed.

Tra le diverse cover crops di seguito se ne menzionano alcune che per le loro caratteristiche possono essere considerate cover crops energetiche:

- Loiessa: graminacea annuale utilizzata per produrre foraggi e biomassa, vocata alla produzione di insilati. È una coltura che tollera le basse temperature e l'umidità, essendo autunno vernina, ma può essere anche seminata in primavera.

La semina può avvenire in primavera quando la temperatura del terreno non supera i 10°C oppure in autunno in modo che produca nella stagione successiva. Il primo taglio solitamente viene effettuato nel mese di maggio, il secondo dopo circa un mese dopo per cui si presta bene ad essere seguita da una coltura estiva come il mais oppure soia di secondo raccolto;

- Segale: graminacea annuale ottima per la produzione di biomassa in quanto il fusto è molto più alto rispetto a specie simili come il frumento e l'orzo, potendo arrivare ad altezze di oltre 1.5m. La spiga è

leggermente pendula e produce una granella più pesante rispetto al frumento tenero. In Italia è coltivata maggiormente nelle regioni montane data la spiccata resistenza alle basse temperature e la sua vocazione per terreni acidi e sabbiosi. La semina può essere effettuata dopo un'aratura e un'erpatura superficiale mentre in terreni sciolti si pratica la minima lavorazione o semina su sodo dai primi di settembre fino ad ottobre, ma può essere anche primaverile. Essendo una coltura rustica e poco esigente in termini di cure è considerata anche nell'avvicendamento, ma non è inserita come coltura energetica da copertura nella normativa, anche se potrebbe dare buoni risultati nella produzione di biogas;

- Triticale: graminacea ottenuta dall'incrocio tra grano e segale. Ha una altezza elevata come la segale, un culmo elastico con rischio di allettamento e produce quantità elevate di biomassa che la rendono una tra le colture più apprezzate per la digestione anaerobica. Ha le caratteristiche rustiche della segale, quindi adatta a caratteri ambientali più o meno estremi, tollera scarsa intensità luminosa, terreni acidi e salini e basse temperature. Viene seminata in autunno, ma può arrivare fino ai primi di dicembre con una tecnica colturale molto simile a quella del frumento tenero. La raccolta delle specie più precoci viene effettuata verso fine maggio, ma può durare per tutto giugno, in questo caso consente un secondo

raccolto utile se viene seminata con una coltura miglioratrice;

- Sorgo: graminacea con diverse cultivar a diverso indirizzo produttivo, da granella, da foraggio e da fibre; quindi, 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 quindi inseribile come coltura di rotazione con performance migliore del mais in zone caratterizzate da temperature elevate e ridotta disponibilità idrica. Viene coltivato in maniera simile al mais effettuando una concimazione organica seguita da un'aratura, mentre la raccolta ai fini dell'insilamento per la produzione di biogas viene effettuata a maturazione cerosa tra fine agosto e

inizio settembre fino ad arrivare nei casi tardivi a ottobre. Il sorgo, dopo il mais e il tritcale, è la coltura per eccellenza per la produzione di biogas avendo rese in biomassa elevate e producendo mediamente 80 ton/ha di biomassa verde;

- Veccia: fabacea con un portamento rampicante e una buona attitudine alle consociazioni. Produce buone quantità di biomassa e grazie alla simbiosi con i batteri azotofissatori arricchisce il terreno di azoto. Generalmente è una coltura sensibile alle basse temperature e al ristagno idrico per cui nelle regioni più fredde viene coltivata come coltura estiva e, in funzione delle diverse cultivar, può essere seminata in autunno oppure in primavera. Con la semina autunnale

leggermente anticipata può produrre quasi il doppio della biomassa aerea causando però una maggiore asportazione di nutrienti dal terreno. La resa in biomassa non è elevata infatti è spesso utilizzata specialmente in consociazione per sfruttarne i benefici indotti al terreno, vero vantaggio di questa tipologia di coltura [25];

- Brassica carinata: brassicacea semi-selvatica originaria da incroci tra Brassica oleracea L. e Brassica nigra L., recentemente è stata introdotta come coltura per la produzione di biocarburanti. Si tratta di una pianta particolarmente tollerante alle basse temperature e al calore [26] ed ha

una resa superiore rispetto a specie simili come la Brassica napus L. (colza) [27]. La sua applicazione come cover crops energetica avviene da una sperimentazione condotta da BF Spa ed Eni, che ha dimostrato come la Brassica carinata come cover crops può essere utilizzata per la produzione di oli vegetali adatti alla filiera dei biocarburanti HVO per il trasporto [28], senza consumo di nuova superficie agricola né compromissione della fertilità e della struttura del suolo se gestita con adeguate pratiche agronomiche.

Quelle elencate sono le colture energetiche che meglio si adattano ai contesti

produttivi agricoli europei, ma la letteratura sul tema enuncia altre tipologie di energy crops, con metodi di coltura ancora poco esplorati ma dal grande potenziale in termini di biomassa. Alcuni studi fanno riferimento a colture come il falso indaco, la canna indica, la robinia da biomassa, il topinambur e l'amaranto; colture atipiche ma interessanti nella loro capacità di diversificazione colturali e adatte a non inficiare sulle colture food and feed e sui redditi agricoli. Nell'Unione Europea, le cover crops hanno raggiunto un tasso di adozione nel 2016 pari al 9% circa (rispetto al 6,5% del 2010) e che probabilmente continuerà a crescere in futuro. Questa tendenza è accompagnata dall'utilizzo degli indici di intensità del

carbonio (CI) per misurare le emissioni di CO₂ lungo il ciclo di vita di vari combustibili. Infatti, la conversione delle cover crops in energia presenta un grande potenziale di riduzione dei punteggi CI. Ad esempio, le emissioni Well-to-Wheel (impatto delle emissioni di gas serra di un veicolo lungo l'intero ciclo di vita) degli oli di Brassica carinata e di colza nelle vie del biodiesel sono rispettivamente 26,1 e 30,5g CO₂e/MJ, molto inferiori ai 90g CO₂e/MJ del gasolio da petrolio. Questa evidenza supporta ulteriormente l'adozione di pratiche agricole che integrano le colture di copertura con sistemi energetici sostenibili [29].

2.3 Costi e benefici per gli imprenditori agricoli

Come già è stato evidenziato, la produzione di colture di copertura energetiche pone sia opportunità che rischi. Il rischio maggiore è quello di competere inevitabilmente con le colture alimentari in rotazione per la terra disponibile, le risorse nutritive e altri input, soprattutto nel caso di utilizzo di specie a basso rendimento e di una gestione impropria. La valutazione di fattori, come la selezione delle specie, i genotipi, l'impianto delle colture, il fabbisogno idrico e le tempistiche, è necessaria per sviluppare pratiche colturali che mirino a massimizzare le prestazioni e ottimizzare la qualità delle materie prime con un uso limitato di input. In sostanza le colture energetiche, per rappresentare un valore aggiunto,

dovrebbero avere le seguenti caratteristiche: crescita rapida (breve periodo dalla semina al raccolto), elevata produzione di biomassa per ettaro, capacità di integrarsi in sistemi di produzione agricola sostenibili ed efficienti per evitare la concorrenza con i sistemi food and feed, capacità di crescere in condizioni climatiche avverse e su terreni poveri [30]. Naturalmente per eliminare la competizione tra colture alimentari e colture energetiche, l'ideale sarebbe la coltivazione di queste ultime su terreni marginali e non adatti alle produzioni alimentari. Tuttavia, l'utilizzo delle cover crops in adeguati sistemi colturali complessi può favorire la produzione alimentare. Infatti, in questi

sistemi complessi l'obiettivo consiste nell'ottimizzare la produzione di entrambe le colture in maniera sinergica, scegliendo i giusti tempi di semina e raccolta in modo da permettere la convivenza delle colture senza compromettere la normale conduzione dei terreni a colture da reddito. Dunque, se si utilizzano in modo adeguato e coerente le cover crops come colture energetiche, oltre ad abbassare i rischi di competizione, si hanno anche possibili vantaggi per la coltura principale a fini alimentari.

La letteratura attuale presenta una carenza di riferimenti che forniscano una sintesi

completa delle problematiche e dei vantaggi relativi all'efficacia economica delle colture di copertura energetiche. Le informazioni disponibili nei contributi esistenti sono limitate, soprattutto se considerate in relazione alla necessità di coesistenza con altre colture tradizionali. Nonostante queste limitazioni, è possibile affermare che uno dei principali fattori che influenzano la selezione delle colture energetiche, oltre al volume delle rese in biomassa, è la redditività economica [31]. Va precisato che l'efficacia economica finale della produzione di biomassa da energy cover crops dipende da molti fattori: il costo di produzione, la

quantità di biomassa prodotta, la durata della piantagione, il prezzo della biomassa, la sua logistica e l'uso finale, oltre ad altre condizioni di politica regionale, nazionale o sovranazionale.

Quindi è utile una trattazione degli ipotetici costi e benefici economici connessi all'adozione di cover crops energetiche sulla base delle best practice e delle agevolazioni previste dalle politiche nazionali europee.

Al pari delle altre colture agricole, l'analisi economica della produzione consiste nell'analisi dei costi e dei ricavi di tutte le fasi della produzione agricola e richiede dati

tecnici ed economici dettagliati e affidabili, in riferimento alle colture, ai fattori della produzione e alla prassi delle operazioni.

Come è noto, la terra è un fattore essenziale della produzione e spesso rappresenta la voce di costo più significativa. A questa si aggiunge la manodopera, per le lavorazioni sul campo, nella maggior parte dei casi fornita dall'agricoltore, dalla sua famiglia o anche assunta esternamente. Vanno aggiunti i costi delle materie prime, come sementi, acqua, energia, carburanti e costi legati alla trasformazione e alla logistica della biomassa ed altri costi impliciti [32].

Andando a sintetizzare le voci di costo
possono essere:

Voce di costo	Specifica
Preparazione del letto della semina	Lavorazione del suolo, operazioni preventive di trinciatura colture precedenti e in alcuni casi aratura.
Acquisto semente	Costo variabile in funzione della cultivar e della densità di semina. Nel caso di miscuglio il costo aumenta.
Irrigazione	Solitamente le cover crops non vengono irrigate ma in condizioni di fine estate-inizio autunno particolarmente siccitose potrebbe essere necessaria irrigazione straordinaria.
Terminazione	Variano in base alla tipologia di terminazione, nel caso specifico della terminazione meccanica il costo può variare in relazione al tipo di coltura e al consumo di gasolio.
Preparazione del letto di semina per la coltura principale	Preparazione del terreno per la coltura successiva da reddito senza comprometterne la resa sperata.
Logistica della biomassa	Operazioni finalizzate a gestire la logistica della biomassa raccolta.

Alcune sperimentazioni di cover crops energetiche hanno stimato costi di produzione ad ettaro che oscillano tra i 112 €/ha ai 208 €/ha, dovuti alla differenza di gestione delle voci di costo e al tipo di cultivar considerata (segale, sorgo, triticale e veccia).

Nonostante la gestione delle cover crops energetiche possa determinare un incremento dei costi operativi rispetto ai periodi di riposo del terreno, è possibile mitigare tali spese adottando un approccio prospettico. I benefici economici delle cover crops derivano principalmente dalla loro positiva influenza sul terreno, la quale può significativamente ridurre i costi di input per le colture successive attraverso la riduzione dell'impiego di fertilizzanti, erbicidi e pesticidi. Inizialmente, alcune cover crops, come la veccia villosa utilizzata in rotazione con mais e grano, sono documentate per

aumentare le rese e la qualità delle colture, rafforzando il loro valore economico.

Tali colture possono altresì generare notevoli risparmi sui costi di input, contribuendo al recupero e all'integrazione di nutrienti in modo naturale. La gestione appropriata dell'azoto fissato dalle cover crops può significativamente ridurre la necessità di fertilizzanti chimici, rappresentando un vantaggio economico particolarmente rilevante in un contesto di instabilità geopolitica e crescente costo dei fertilizzanti. Un ulteriore beneficio rilevante delle cover crops è la loro capacità di competere con le erbe infestanti per risorse quali acqua, nutrienti e luce solare. Le colture ad alta biomassa, come la segale, creano un ambiente che riduce la necessità di trattamenti erbicidi nella stagione successiva, sebbene gli effetti possano non perdurare per l'intero ciclo colturale.

I sistemi radicali delle cover crops, soprattutto quelli che producono una significativa biomassa sotterranea, svolgono una funzione implicita di lavorazione del terreno. Ad esempio, le brassicacee offrono una lavorazione naturale grazie alle loro radici capaci di rompere strati compatti del suolo, facilitando il passaggio di acqua e nutrienti e riducendo la necessità di arature profonde.

Un fattore di interesse economico nascosto è il potenziale dell'uso continuato delle cover crops come strategia di gestione del rischio a lungo termine per la produzione agricola. Stabilizzando le rese delle colture principali nel tempo, le cover crops facilitano una pianificazione aziendale più affidabile, assumendo un'importanza cruciale in un

contesto di cambiamenti climatici globali [33]. Inoltre, i residui delle cover crops energetiche possono generare un'ulteriore integrazione al reddito se valorizzati come materie prime per la produzione di biogas. Per quanto riguarda l'utilizzo della biomassa come fonte di reddito nelle filiere energetiche, è necessario considerare che la formazione del prezzo finale di questo prodotto è dettata dalle dinamiche di un mercato fortemente concorrenziale. Pertanto, la competitività si basa sulla produttività e sulla capacità dell'imprenditore agricolo di ottenere quantità di biomassa a basso costo di produzione. Le aziende che risultano avvantaggiate sono quelle che grazie alla disponibilità di terreno, al basso costo della produzione, alle giuste pratiche gestionali e

a una programmazione attenta dei tempi di semina e di rotazione, riescono ad abbattere i costi di produzione costruendo un modello di economie di scala tale da rendere sostenibili i processi nel lungo periodo [34]. Spesso la sostenibilità economica dei sistemi colturali ad uso energetico, senza un adeguato aiuto economico diretto nella fase di realizzazione e conduzione dell'impianto, non risulta compatibile con i prezzi di mercato della biomassa [35]. Dunque, le cover crops energetiche oggi rappresentano un ottimo modello di agricoltura conservativa e sostenibile, e costituiscono uno strumento di contribuzione nella formazione del reddito degli imprenditori agricoli non potendo rappresentare un elemento di sostituzione delle colture food and feed. La mancanza di

un mercato definito e regolamentato, la necessità costante di biomassa per mantenere scalabile il processo anaerobico e le difficoltà logistiche, non permettono una stabilizzazione dei prezzi tali da remunerare i fattori produttivi in posizione contrattuale e residuale.

Su questo tema la Politica Agricola Comune (PAC) nella programmazione 2023-2027 mira a modernizzare l'agricoltura europea in linea con gli obiettivi di sviluppo sostenibile, compresi quelli economici, ambientali e sociali, introducendo riforme che rendano le pratiche agricole più flessibili, ecologiche e innovative. In particolare, l'agricoltura conservativa e gli avvicendamenti colturali sono stati rafforzati attraverso la disposizione di condizionalità che include tre misure (BCAA6, BCAA7, BCAA8) che

regolano le sequenze colturali obbligatorie per aziende agricole, zootecniche e bioenergetiche. Parallelamente a queste misure obbligatorie, il nuovo Ecoschema 4 rappresenta un impegno volontario che permette agli agricoltori di accedere a un contributo aggiuntivo in base all'avvicendamento adottato. Ad esempio, la misura BCAA6 impone un periodo minimo di copertura del suolo, con l'obbligo di mantenere la copertura vegetale per 60 giorni tra settembre e il 15 maggio, utilizzando vegetazione spontanea, cover crops o residui della coltura precedente. La BCAA7 richiede una rotazione annuale delle colture, obbligando almeno un ciclo di 90 giorni tra colture di diverso genere botanico, con deroghe possibili per aziende biologiche, zone montane o in aridocoltura.

La BCAA8 impone che il 4% della superficie sia destinato a elementi non produttivi o a riposo. L'innovazione significativa è rappresentata dall'Ecoschema 4, focalizzato sull'avvicendamento in sistemi foraggeri estensivi. Questo schema volontario implica la rotazione periodica di colture quali mais, soia, girasole, colza, leguminose a granella (favino, lenticchia, pisello) e leguminose foraggere (erba medica, trifoglio, veccia) nel periodo 1° giugno - 30 novembre ogni due anni. Gli agricoltori partecipanti ricevono un pagamento annuale per compensare i costi supplementari e le perdite di reddito derivanti dagli impegni assunti, stimato a 110 €/ha di superficie a seminativo in avvicendamento con un'integrazione possibile fino a 132 €/ha [36]. Le aziende

che non rispettano gli obblighi possono rinunciare a parte dei pagamenti PAC, con una penalità variabile dall'1% al 15%. A queste disposizioni si aggiungono le misure SRA regionali, che promuovono e incentivano pratiche agricole a basso impatto ambientale, mirando a una gestione sostenibile delle risorse agricole in termini di qualità delle acque e dei suoli. Tra queste, la misura SRA-06 è dedicata all'uso e alla promozione delle cover crops, con un premio per gli agricoltori delle regioni partecipanti. L'obiettivo principale di queste iniziative è contribuire alla mitigazione dei cambiamenti climatici, migliorando il sequestro di carbonio e riducendo le emissioni di gas serra. In particolare, l'integrazione delle cover crops e della bulatura¹ favorisce l'attività microbica e la

fauna terricola, incrementando il carbonio organico del suolo e limitando lo sviluppo di malerbe nei cereali senza l'utilizzo di diserbanti. Questi interventi, suddivisi nelle azioni 6.1 (cover crops) e 6.2 (bulatura), sono finanziati con un pagamento per ettaro di superficie agricola utilizzata (SAU), incentivando la sostenibilità economica degli agricoltori adottanti.

Le regioni come Abruzzo, Marche e Toscana attuano entrambe le azioni, mentre Friuli-Venezia Giulia, Lombardia, Piemonte e Veneto si concentrano sull'Azione 6.1. Più in generale, i dati derivanti dall'attuazione dell'intervento SRA06 evidenziano l'impegno delle regioni italiane in questo ambito con circa 30 mila ettari coperti da cover crops e un totale di oltre 57 milioni di euro di spesa pubblica [37].

¹ Tecnica agronomica che consiste nel far crescere due colture contemporaneamente durante parte del loro ciclo biologico (es. cereali e leguminose)

Tabella 2.3.1: contributi Sviluppo Rurale intervento SRA06

Regione	Ettari impegnati	Spesa pubblica (milioni di €)
VENETO	10.000	6
PIEMONTE	8.700	10
LOMBARDIA	5.000	30
ABRUZZO	2.760	4,5
FRIULI VENEZIA GIULIA	1.400	4,3
TOSCANA	1.300	1,5
MARCHE	500	1,1

Fonte: Elaborazione Centro Studi Divulga su dati PAC-SRA06

La crescente adozione delle cover crops energetiche riveste un'importanza strategica per l'agricoltura contemporanea. Queste colture non solo offrono vantaggi ambientali e agronomici, ma hanno anche un significativo potenziale economico che può contribuire alla intensificazione e

diversificazione dei flussi di reddito per gli agricoltori. Tuttavia, è fondamentale che questa diversificazione non comprometta la produzione food and feed. In questo senso l'integrazione di queste colture può portare a un modello agricolo più resiliente e sostenibile.

03

3. CARATTERISTICHE E TECNICHE AGRONOMICHE DELLE COVER CROPS

Le diverse caratteristiche dettano la scelta delle specie o dei miscugli di cover crops, dipendendo fondamentalmente dagli obiettivi specifici di ogni azienda agricola e tenendo in considerazione la propria tipologia, l'orientamento gestionale e le dinamiche territoriali. La decisione di semina in fase di programmazione richiede una valutazione approfondita delle esigenze agronomiche e ambientali, nonché dei mezzi e delle conoscenze.

Brevemente, partendo dalla tipologia aziendale, è possibile delineare alcuni dei migliori orientamenti adottabili per le cover crops. Nelle aziende agricole zootecniche, le cover crops sono selezionate per valorizzare i nutrienti apportati dagli affluenti zootecnici e minimizzare le perdite, in particolare quelle di azoto per lisciviazione di nitrati. Ad esempio, le specie della famiglia delle brassicacee o delle graminacee, come senape bianca, rafano e

avena, sono particolarmente adatte dato il loro elevato tasso di crescita e la loro capacità di asportazione di elementi nutritivi. Diversamente, nelle aziende agricole non zootecniche, senza una elevata disponibilità di sostanza organica e azoto, spesso si opta per specie leguminose, tipo la veccia e il trifoglio, che possono fissare l'azoto atmosferico e renderlo disponibile per le colture principali successive. Oltre all'orientamento produttivo, per scegliere quali e come

saranno le cover crops più adatte al proprio contesto aziendale, è necessario considerare due aspetti principali: gli obiettivi e il sistema colturale.

I primi sono soprattutto di tipo agronomico e gestionale, come la conservazione del suolo, il miglioramento della fertilità, il controllo delle erbe infestanti e di alcuni patogeni e parassiti; o di tipo ambientale, come la riduzione del consumo di energia da fonti non rinnovabili, la riduzione della lisciviazione di nitrati e la diminuzione

dell'uso di fitofarmaci. Tali obiettivi devono essere correlati alle caratteristiche agro-climatiche dei terreni, quindi al tipo di suolo, alle sue carenze, alla presenza di infestanti e al clima.

Il sistema colturale dipende dalle condizioni meteorologiche, dalla durata del periodo inter colturale tra le colture da reddito food and feed in successione, dal sistema di lavorazione del terreno adottato in azienda e dalla modalità con cui si intende seminare e terminare le cover crops. In questo caso è

fondamentale considerare la finestra temporale disponibile per la crescita delle cover crops, assicurandosi che le specie selezionate possano svilupparsi adeguatamente per raggiungere gli obiettivi prefissati. Ad esempio, la necessità di rotazioni colturali e la presenza di aziende con maggiore diversificazione produttiva possono portare a considerare la coltivazione di cover crops anche nel periodo estivo, dopo la raccolta di un cereale autunno vernino.

3.1 Benefici per il terreno agricolo

Come accennato precedentemente le cover crops apportano numerosi benefici, non solo economici ma anche, e soprattutto, “rigenerativi” al suolo, tra cui:

- I. Prevenzione dell'erosione del suolo:
le cover crops a crescita rapida trattengono il suolo ‘sul posto’, riducono la formazione di croste e proteggono dall'erosione causata dal vento e dalla pioggia. La copertura vegetale aiuta a proteggere il suolo dall'impatto delle gocce di pioggia e il suo uso a lungo termine aumenta l'infiltrazione dell'acqua riducendo il deflusso che potrebbe trasportare via il suolo. Le specie con apparato radicale fibroso

hanno dimostrato un elevato potenziale nel controllo dell'erosione, mentre quelle con radici spesse sono meno efficaci come risposta a questo problema;

- II. Conservazione dell'umidità del suolo: i residui delle cover crops aumentano l'infiltrazione dell'acqua e riducono l'evaporazione, contribuendo a ridurre lo stress idrico durante periodi di siccità. Leggermente incorporate svolgono un doppio ruolo: trattenere l'acqua di superficie e aggiungere materia organica per aumentare l'infiltrazione nella zona radicale. Colture come la segale invernale e la vecchia pelosa,

agendo come barriera tra il suolo e le precipitazioni, permettono un'infiltrazione dell'acqua più lenta e profonda nel terreno, promuovendo la ricarica degli acquiferi;

- III. Protezione della qualità dell'acqua: rallentando l'erosione e il deflusso, riducono l'inquinamento da fonti puntiformi causato da sedimenti, nutrienti e prodotti chimici agricoli. Assorbendo l'azoto in eccesso nel suolo prevengono il suo dilatamento nelle falde acquifere;
- IV. Gestione delle infestanti: le erbe infestanti rappresentano una sfida significativa nei sistemi agricoli intensivi, specialmente

nell'agricoltura biologica, dove l'uso di prodotti chimici risulta più efficace rispetto ai metodi non chimici per il loro controllo.

- V. Sequestro di carbonio: le coperture vegetali possono sequestrare circa 60 milioni di tonnellate di carbonio all'anno con la capacità di compensare le emissioni di circa 12.8 milioni di veicoli passeggeri [38]. La chiave per creare un ambiente in grado di assorbire il carbonio è il risultato di microbi nel suolo che agiscono come decompositori, riciclatori di nutrienti, scavatori di radici, aeratori e stabilizzatori del suolo. I composti

complessi della lettiera di foglie e radici insieme ai semplici composti vegetali forniscono ai microbi ciò di cui hanno bisogno per creare un pool di carbonio stabile di materiale vegetale parzialmente decomposto, metaboliti extracellulari che fissano il carbonio nel suolo;

- VI. Lisciviazione dei nitrati: le perdite di azoto per lisciviazione nei sistemi convenzionali di produzione cerealicola variano dal 10% al 30%, influenzate da variabili climatiche, caratteristiche del suolo e pratiche agronomiche. Questo processo rappresenta una preoccupazione

principale per l'acqua potabile, l'eutrofizzazione marina e l'inquinamento atmosferico da ammoniaca. L'adozione di pratiche di gestione del suolo, inclusa l'agricoltura conservativa, può mitigare efficacemente la lisciviazione di nitrati. Studi significativi hanno dimostrato che l'utilizzo di catch crops (colture che trattengono alcuni elementi, come i nitrati), come il loietto perenne, l'avena e la segale, riduce significativamente le concentrazioni di nitrati nelle acque sotterranee. L'avena ha ridotto le concentrazioni

di nitrati del 26%, mentre la segale ha dimostrato un'efficacia ancora maggiore, riducendo le concentrazioni del 48% [39];

- VII. Cambiamenti climatici: nell'ambito agricolo, strategie biogeochimiche includono la riduzione delle emissioni di gas serra, il taglio della produzione di fertilizzanti azotati e l'aumento dell'assorbimento dei gas serra nel suolo. Le cover crops, selezionate in base alle condizioni climatiche specifiche, possono giocare un ruolo chiave. Le colture leguminose riducono la lisciviazione dei nitrati fino al 40% rispetto ai sistemi a

maggese, mentre quelle non leguminose la riducono del 70%. La gestione delle cover crops aiuta anche nell'adattamento al cambiamento climatico, riducendo l'erosione da piogge intense, trattenendo l'azoto mineralizzato e migliorando la gestione idrica del suolo durante periodi umidi o secchi;

- VIII. Fauna selvatica e biodiversità: diverse cover crops favoriscono il proliferare di insetti utili e controllano i parassiti. Colture fiorite come trifoglio e grano saraceno attraggono insetti benefici e migliorano l'impollinazione. Le cover crops

forniscono anche nettare alle api e migliorano la loro presenza. La segale come cover crop nella lavorazione conservativa aumenta il controllo naturale di *Nottua* gialla nel cotone, proteggendo anche l'habitat delle formiche rosse, che predano le uova e le larve del parassita nel cotone;

- IX. Contributo alla salute personale: riducendo la dipendenza dai fitoformaci nella produzione di colture commerciali, le cover crops contribuiscono a proteggere la

salute delle famiglie, dei consumatori e dei lavoratori agricoli. Contribuiscono anche a risolvere le preoccupazioni di salute comunitaria ed ecologica correlate all'inquinamento da fonti puntiformi attribuibile alle attività agricole;

- X. Benefici cumulativi: è possibile incrementare la gamma di benefici aumentando la diversità delle cover crops coltivate, la frequenza di utilizzo tra le colture commerciali e il periodo di crescita delle cover crops in campo [40].

3.2 Classificazione delle cover crops

Possono essere adottati diversi criteri per classificare le cover crops. Comunemente le tipologie colturali sono raggruppate in base alla fascia climatica di sopravvivenza (temperato, subtropicale e tropicale). Possono inoltre essere raggruppate in relazione al loro ciclo vitale in annuali (invernali o estive) e perenni, alla famiglia botanica e alla tipologia di copertura. Il cover cropping può essere realizzato su tutta la superficie del campo o localizzato tra i filari a seconda della disponibilità idrica del suolo, e può essere composto da una singola specie colturale o da una miscela di specie complementari. Generalmente, la scelta delle tipologie di cover crops dovrebbe essere basata sul loro

adattamento al clima locale, alle proprietà del suolo, alle pratiche agronomiche adottate, ai risultati, agli obiettivi dell'imprenditore e alle risorse disponibili.

Come anticipato, il clima è il primo criterio da considerare per la scelta delle cover crops, soprattutto nelle regioni caratterizzate da quattro stagioni distinte e da una marcata eterogeneità climatica. Pertanto, la conoscenza della classe climatica e delle serie storiche meteorologiche è fondamentale per una scelta ottimale della coltura, dato che la quantità annuale di precipitazione e i tassi di evapotraspirazione sono i principali fattori che influenzano la prestazione delle cover crops [41].

Considerati questi aspetti le cover crops maggiormente coltivate in Europa appartengono a tre principali famiglie: brassicacee, leguminose e graminacee. Ogni famiglia possiede caratteristiche specifiche che devono essere considerate attentamente e preventivamente prima di scegliere la specie o il miscuglio di cover crops più adattato agli obiettivi specifici dell'imprenditore agricolo.

Nel dettaglio:

- I. Brassicacee: le brassicacee, come ad esempio la senape bianca e il rafano, sono caratterizzate da uno sviluppo iniziale rapido, un'elevata biomassa aerea e un apparato radicale fittonante variamente

sviluppato. La senape bianca, se seminata in condizioni ottimali, cresce rapidamente e può raggiungere una biomassa considerevole e un'elevata copertura del suolo in pochi mesi. Tuttavia, la senape è altamente suscettibile al gelo invernale e muore se esposta a temperature sotto lo zero per pochi giorni, facilitando la gestione del residuo colturale e la preparazione del terreno per la coltura principale successiva. Nonostante la senape sia resistente e di rapido sviluppo iniziale, condizioni autunnali molto piovose possono rallentarne la crescita o

comprometterla in caso di ristagno idrico. Il costo relativamente basso della semente (circa 40 € per ettaro) è un ulteriore vantaggio. Il rafano, d'altro canto, sviluppa una radice fittonante molto significativa, che oltre ad assorbire azoto e altri nutrienti, esercita un'azione di decompattazione del suolo. Questa caratteristica è particolarmente utile nelle aziende dove il passaggio di mezzi pesanti può compattare il terreno. Anche il rafano muore con il gelo invernale, ma la decomposizione completa della radice richiede un periodo

prolungato. Alcune brassicacee sono utilizzate per la biofumigazione, grazie ai glucosinolati che si trasformano in isotiocianati, sostanze con effetto biocida su nematodi e funghi, quando le piante sono trinciate e interrate rapidamente;

- II. Leguminose: le leguminose, come la veccia e il trifoglio, sono note per la loro capacità di fissare l'azoto atmosferico attraverso la simbiosi con batteri azoto-fissatori, arricchendo il terreno di azoto organico. Queste specie sono particolarmente utili su suoli poveri di

azoto, prima di colture con elevati fabbisogni di questo elemento, o in aziende senza accesso a reflui zootecnici, come quelle biologiche. Le leguminose hanno un lento sviluppo iniziale, quindi sono spesso coltivate in miscuglio. Molte leguminose, ad eccezione di specie come la veccia del Bengala e il trifoglio alessandrino, non si guastano con il freddo e possono riprendere la crescita in primavera;

- III. Graminacee: Le graminacee, come l'avena e la segale, sono frequentemente impiegate come cover crops grazie al loro apparato

radicale fascicolato e molto sviluppato che trattiene i nutrienti e limita i fenomeni di lisciviazione, motivo per cui vengono chiamate "catch crops". L'avena strigosa è particolarmente sensibile al freddo invernale e può morire in condizioni di gelo. La segale inibisce la germinazione e la crescita di altre piante, aiutando a controllare le infestanti in situazioni con alta pressione di malerbe o dove non si possono utilizzare diserbanti chimici.

Tabella 3.2.1: Specie di cover crops catalogate per nome, stagione di crescita, necessità climatiche e obiettivi gestionali

Nome comune	Stagione di crescita	Obiettivi gestionali
Veccia	Freddo	Fissazione dell'azoto, riduzione dell'erosione, aumento della materia organica del suolo, miglioramento della biodiversità, eliminazione delle erbe infestanti, allentamento del terriccio, riduzione della compattazione del sottosuolo.
Pisello	Freddo	Fissazione dell'azoto, riduzione dell'erosione, aumento della materia organica del suolo, miglioramento della biodiversità, allentamento del terriccio
Fagiolo	Caldo	Fissazione dell'azoto, riduzione dell'erosione, aumento della materia organica del suolo, miglioramento della biodiversità, eliminazione delle erbe infestanti, allentamento del terriccio, riduzione della compattazione del sottosuolo
Fava	Fresco o caldo	Fissazione dell'azoto, riduzione dell'erosione del suolo, soppressione delle erbe infestanti, aumento della materia organica del suolo
Soia	Caldo	Fissazione dell'azoto, riduzione dell'erosione, aumento della materia organica del suolo, allentamento del terriccio
Trifoglio cremisi	Freddo	Fissazione dell'azoto, riduzione dell'erosione, aumento della materia organica del suolo, miglioramento della biodiversità, allentamento del terriccio
Canapa	Caldo	Fissazione dell'azoto, riduzione dell'erosione del suolo, aumento della materia organica del suolo, soppressione delle erbe infestanti, soppressione dei nematodi
Erba medica	Freddo	Fissazione dell'azoto, riduzione dell'erosione, aumento della materia organica del suolo, miglioramento della biodiversità, riduzione della compattazione del sottosuolo
Serradella	Caldo	Fissazione dell'azoto

Segale	Freddo	Ridurre l'erosione, aumento della materia organica del suolo, eliminare i nutrienti, sopprimere le erbe infestanti, fornire copertura al suolo, allentare il terriccio
Avena	Freddo	Ridurre l'erosione, aumento della materia organica del suolo, eliminare i nutrienti, sopprimere le erbe infestanti, fornire copertura al suolo, allentare il terriccio
Orzo	Freddo	Ridurre l'erosione, aumento della materia organica del suolo, l'eliminazione dei nutrienti, sopprimere le erbe infestanti, fornire copertura al suolo, allentare il terriccio, ridurre la compattazione del sottosuolo, migliorare la biodiversità,
Colza	Freddo	Ridurre l'erosione, aumento della materia organica del suolo, l'eliminazione dei nutrienti, sopprimere i parassiti, sopprimere le erbe infestanti, migliorare la biodiversità, allentare il terriccio
Triticale	Freddo	Ridurre l'erosione, aumento della materia organica del suolo, eliminare i nutrienti, sopprimere le erbe infestanti, fornire copertura al suolo, allentare il terriccio, ridurre la compattazione del sottosuolo
Ravanello semi oleoso	Freddo	Ridurre l'erosione, aumento della materia organica del suolo, l'eliminazione dei nutrienti, sopprimere i parassiti, sopprimere le erbe infestanti, allentare il terriccio, ridurre la compattazione del sottosuolo

Fonte: Elaborazione Centro Studi Divulga [42]

3.3 Terminazione delle cover crops

La terminazione delle cover crops riveste un'importanza cruciale nella loro gestione agronomica. Tale pratica consiste nel prevenire che tali coperture vegetali possano interferire con le condizioni ottimali per la germinazione e lo sviluppo delle colture reddituali che seguono. Una terminazione inefficace può favorire il proliferare delle cover crops, trasformandole in infestanti che competono con le colture principali per la condivisione delle risorse. I tempi e i metodi di terminazione sono altri fattori cruciali da considerare per la scelta iniziale e per la gestione in progress delle colture, in quanto sono questi a determinare i risultati sulle colture successive.

Il momento per la cessazione delle cover crops rappresenta un elemento chiave nella gestione agronomica, da ponderare attentamente in base alla localizzazione e a obiettivi specifici strategici di coltivazione. Il timing è essenziale, poiché dipende dalla fase di crescita, dalla temperatura del suolo, dall'umidità, dalla gestione dell'azoto, dalla soppressione delle infestanti, dalla lavorazione del terreno e dalle operazioni di semina della coltura successiva. Per questo determinare il momento ottimale per la terminazione delle cover crops può risultare complesso poiché implica un calcolo per il bilanciamento dei vari benefici che queste possono apportare. A titolo esemplificativo, ritardare la cessazione di alcune tipologie di

cover crops fino al termine massimo possibile è strategico per massimizzare la biomassa [43]. La scelta del metodo e del momento di terminazione deve essere attentamente valutata fin dalla fase di pianificazione delle rotazioni colturali e dipende sostanzialmente dallo scopo e dall'attrezzatura disponibile. Quest'ultimo punto determina la metodologia di terminazione, che può comprendere l'utilizzo di erbicidi non selettivi, l'esposizione al gelo naturale durante l'inverno e l'impiego di interventi meccanici [44].

Di seguito verranno analizzati brevemente i diversi metodi e le implicazioni tecniche gestionali connesse. Congelamento,

metodo chimico e metodo meccanico sono generalmente i metodi di terminazione delle cover crops più utilizzate.

La terminazione delle cover crops mediante congelamento è un processo naturale, minimamente invasivo, economico, connesso fortemente alla tipologia e alla stagionalità della coltura. Viene effettuato quando le temperature scendono al di sotto della soglia critica minima per specifica coltura, tipica dei mesi invernali ma con un certo grado di casualità legato alla variabilità del clima tra gli anni. In questo caso di specie, un elemento chiave è la tempistica della semina, la quale influisce sullo stadio fenologico raggiunto dalla coltura al momento del 'gelo'. Una programmazione

attenta è fondamentale: una cover crops seminata a fine estate potrebbe trovarsi già in fase riproduttiva e quindi essere più suscettibile al freddo rispetto a una semina tardiva, come nel mese di ottobre, ancora in fase vegetativa. Pertanto, la terminazione tramite congelamento non richiede particolari interventi sul campo ma è fortemente vincolata a condizioni meteorologiche favorevoli e non è efficace per tutte le specie di cover crops.

Il metodo chimico si avvale dei principali fitofarmaci utilizzati nella lotta alle infestanti. La terminazione tramite interventi meccanici dipende dalla disponibilità tecnica, in termini di mezzi e conoscenze dell'imprenditore. Può riguardare solo la parte aerea delle cover crops, come nel caso della trinciatura o dello sfalcimento, oppure coinvolgere anche il suolo, come per aratura o

discatura. Questo gruppo di interventi offre il vantaggio di non richiedere l'uso di erbicidi, rendendoli particolarmente adatti per pratiche di agricoltura biologica. Tuttavia, la loro efficacia è influenzata da diversi fattori, tra cui le condizioni meteorologiche, lo stadio di sviluppo della coltura e l'attrezzatura da impiegare e di conseguenza il metodo.

La falciatura, ad esempio, può essere eseguita con differenti tipi di macchine e l'altezza del taglio può variare, influenzando il ricaccio delle piante. Anche in questo caso, il giusto timing della falciatura consente di sopprimere le cover e le erbe infestanti, impedendo loro di completare il ciclo vegetativo e produttivo. Sostanziali sono le differenze con il metodo della rollatura con roller crimper, che prevede l'allettamento della cover e la formazione di

una pacciamatura² sulla superficie del terreno, se effettuata con i tempi giusti. Questa tecnica offre un vantaggio gestionale nel controllo delle cover crops, evitando il rischio di infestazione dovuto alla produzione di semi germinabili, e può essere efficace durante le gelate grazie alla maggiore fragilità delle piante [45].

Come detto, la terminazione con metodo meccanico può determinare un interrimento della biomassa, totale o parziale, oppure la conservazione della vegetazione sul terreno in superficie, creando uno strato sul terreno. Nel caso dell'interrimento, la terminazione viene effettuata attraverso una aratura classica. In un contesto di agricoltura conservativa, dove è riferito il rimescolamento del suolo,

vengono impiegati erpici a dischi o ad ancore, a seconda della quantità di biomassa presente. In particolare, gli erpici svolgono la funzione di scalzare, tagliare e interrare parzialmente la coltura, aumentando la superficie di contatto tra i residui vegetali e il suolo, accelerando il processo di umificazione e migliorando il rilascio di nutrienti nel terreno.

Gli svantaggi di queste tecniche includono il rischio di ricaccio delle piante, soprattutto se la terminazione viene effettuata prima della fioritura. Inoltre, la rapida decomposizione della biomassa trinciata troppo finemente potrebbe ridurre l'efficacia nella soppressione delle infestanti durante il ciclo successivo della coltura principale [46].

² Operazione che consiste nel creare una copertura sul terreno con l'obiettivo di mantenere determinate temperature ed evitare

la crescita di erbe infestanti. Tradizionalmente con paglia, foglie secche o letame; oggi con fogli di materiale plastico.

04

4. SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE E VALORIZZAZIONE ECONOMICA

Il contesto analizzato fornisce una panoramica sull'implementazione di sistemi di rotazione che integrino le cover crops senza compromettere l'uso delle superfici agricole destinate alle colture principali food and feed. Le cover crops, in particolare quelle destinate alla produzione di bioenergia, offrono un'opportunità, in termini operativi e reddituali, significativa per gli imprenditori agricoli facilitando l'adozione di pratiche di agricoltura conservativa e migliorando la salute del suolo.

Infatti, come abbiamo visto, le cover crops apportano benefici agronomici cruciali, tra cui la riduzione dell'erosione del suolo, l'incremento della materia organica e il miglioramento della struttura del suolo. Questi vantaggi si traducono in un miglioramento sia qualitativo che quantitativo delle colture principali food and feed. Tuttavia, l'integrazione di queste colture nei sistemi agricoli richiede una programmazione accurata, che consideri gli obiettivi dell'azienda, le conoscenze tecniche disponibili e le specifiche esigenze

delle diverse colture principali. Parallelamente, le cover crops energetiche sono particolarmente apprezzate per la loro capacità di generare biomassa, utilizzabile come feedstock. Questa biomassa rappresenta una fonte importante di gas naturale rinnovabile, contribuendo alla transizione ecologica del settore agricolo promossa dalla nuova Politica Agricola Comune (PAC).

La PAC per il periodo 2023-2027 introduce una serie di riforme innovative per il settore agroalimentare degli Stati Membri dell'Unione Europea. L'obiettivo principale

delle riforme in questione è promuovere un'agricoltura più intelligente, sostenibile e diversificata, contribuendo allo stesso tempo allo sviluppo socioeconomico delle aree rurali e alla protezione dell'ambiente. Una delle principali sfide della nuova PAC, in accordo con gli obiettivi di sviluppo sostenibile (SDGs) dell'Agenda 2030, si concentra sulla messa in campo di azioni finalizzate alla salvaguardia del clima e dell'ambiente. Queste priorità riflettono l'impegno generale dell'UE a rispettare gli obiettivi pattuiti a livello mondiale nell'Accordo di Parigi [1], in particolare con

misure finalizzate alla riduzione delle emissioni di gas serra e alla promozione di pratiche agricole sostenibili come la 'doppia coltura' e la riscoperta di antichi metodi come il 'sovescio'. Parallelamente, la nuova PAC persegue l'obiettivo di rafforzare il sistema agricolo europeo affrontando le sfide economiche dell'agricoltura. Difatti, la nuova programmazione promuove un'agricoltura più competitiva, resiliente, capace di diversificare il sistema di produzione agricola e, di conseguenza, il reddito degli agricoltori, attraverso la valorizzazione di nuove colture e

l'introduzione di nuove tecnologie. Parallelamente, in linea con la Strategia 'From Farm to Fork' [47], la PAC mira anche a garantire la sicurezza alimentare, promuovendo processi agricoli che rispettino elevati standard di qualità, sicurezza alimentare e sanitaria per la popolazione.

Queste novità rappresentano un ulteriore passo avanti verso un settore agricolo sempre più sostenibile ed efficiente, capace di adattarsi alle diverse esigenze degli operatori senza compromettere le risorse per le generazioni future, contribuendo in

modo significativo al raggiungimento degli obiettivi climatici e socioeconomici dell'Unione Europea.

Per contro, l'assenza di un mercato stabile per la biomassa rende complessa la sua valorizzazione economica, dato che i prezzi sono spesso determinati da negoziazioni interne tra gli operatori piuttosto che da normative stabilite. Nonostante queste difficoltà, la produzione di biometano in Italia è una delle tecnologie più diffuse e mature per la generazione di agroenergie, svolgendo un ruolo strategico nel processo di trasformazione verso gli obiettivi di sostenibilità dell'Agenda 2030.

Dalle considerazioni emerse, è chiaro che le cover crops energetiche, allo stato attuale dell'agricoltura in Europa, non possono essere considerate come un'alternativa altamente redditizia alle colture alimentari fondamentali food and feed. Ma, esse si configurano come parte integrante di un modello di rotazione delle colture virtuoso, basato sui principi dell'agricoltura conservativa, sistemica e multifunzionale. Questo modello può portare a un miglioramento sostanziale della qualità delle colture principali senza compromettere le superfici agricole a esse destinate, minimizzando gli effetti negativi sui redditi

agricoli ed evitando la depauperazione della risorsa suolo.

Per concludere, l'integrazione delle cover crops energetiche nei sistemi di rotazione rappresenta una strategia promettente per migliorare la sostenibilità e la resilienza delle pratiche agricole, supportando la produzione alimentare e contribuendo al contempo alla generazione di energie rinnovabili, secondo un modello virtuoso composto da un mix di elementi in sinergia tra loro. Questo approccio non solo mantiene, ma può anche migliorare il sistema di formazione del reddito degli agricoltori, diversificando le colture,

ottimizzando i sistemi di coltivazione e valorizzando le colture food and feed, fondamentali per mantenere centrale il ruolo dell'agricoltura europea. Attraverso una gestione attenta e integrata, gli agricoltori possono ridurre i costi di produzione e aumentare la redditività complessiva delle loro attività agricole, contribuendo in modo significativo agli obiettivi di sostenibilità a lungo termine.

Su questa linea può risultare utile implementare un modello di agricoltura sostenibile e virtuoso attraverso l'uso delle cover crops sui terreni agricoli già destinati alle produzioni food and feed senza

comprometterne ulteriormente la redditività. Le cover crops, inserite nei sistemi rotazionali attraverso il metodo della doppia coltura, possono significativamente contribuire a preservare e migliorare la salute del suolo, consentendo un miglioramento quali-quantitativo delle produzioni agricole. Parallelamente, l'integrazione nel mix operativo delle colture energetiche, come cover crops, potrebbe offrire agli agricoltori interessanti opportunità economiche alternative

promuovendo un sistema agricolo multifunzionale ed ecosistemico. Questo approccio non solo favorisce la sostenibilità ambientale, ma consente una diversificazione delle fonti di reddito per gli operatori agricoli, contribuendo a creare un'agricoltura più resiliente e adattabile alle sfide climatiche ed economiche contemporanee, confermando il ruolo centrale del settore nella transizione verso l'economia verde europea.

b



Bibliografia

[1] United Nations, «Framework Convention on Climate Change» Adoption of the Paris Agreement. Conference of the Parties, Twenty-first Session, Paris, 30 November-11 December 2015.

[2] Quintarelli V., Radicetti E., Allevato E., Stazi S. R., Haider G., Abideen Z., ... & Mancinelli R. (2022). Cover crops for sustainable cropping systems: a review. *Agriculture*, 12(12), 2076.

[3] Dabney S. M., Delgado J. A., & Reeves D. W. (2001). Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(7-8), 1221-1250.

[4] Fendrich A. N., Matthews F., Van Eynde E., Carozzi M., Li Z., d'Andrimont R., ... & Panagos P. (2023). From regional to parcel scale: A high-resolution map of cover crops across Europe combining satellite data with statistical surveys. *Science of the Total Environment*, 2023.

[5] Tully K. L., & McAskill C. (2020). Promoting soil health in organically managed systems: A review. *Organic Agriculture*, 10(3), 339-358.

[6] V. Tabaglio, «Gestione del suolo. Agricoltura sostenibile. Principi, sistemi e tecnologie applicate all'agricoltura produttiva per la salvaguardia dell'ambiente e la tutela climatica» *Il Sole*, 24, pp. 93-123., 2013.

[7] Eurostat, «Agri-environmental indicator - soil cover» 2020.

[8] Launay C., Houot S., Frédéric S., Girault, R., Levavasseur F., Marsac S., & Constantin J. (2022). Incorporating energy cover crops for biogas production into agricultural systems: benefits and environmental impacts. A review. *Agronomy for Sustainability*.

[9] B. Andrea, «Energia dell'agricoltura: l'utilizzo delle biomasse per la valorizzazione delle aree rurali nella regione Marche» 2012.

[10] Manna C. (2011). La produzione di energia da fonti rinnovabili in Italia e il contributo dell'agricoltura. *Agriregionieuropa*, 7, 24.

[11] C. S. Divulga, «Bioenergie» 2024.

[12] IEA, «IEA World Energy Outlook» 2024.

[13] V. Pignatelli, «Fonti rinnovabili e agroenergie, opportunità e prospettive» Focus ENEA, Eergia, ambiente e innovazione, vol. 1, pp. 80-83, 2020.

[14] Pignatelli V. (2020). Fonti rinnovabili e agroenergie, opportunità e prospettive.

[15] Koçar G., & Civaş N. (2013). An overview of biofuels from energy crops: Current status and future prospects. *Renewable and sustainable energy reviews*, 28, 900-916.

[16] Demirbaş A. (2001). Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy conversion and Management*, 42(11), 1357-1378.

[17] Schmid C., Horschig T., Pfeiffer A., Szarka N., & Thrän D. (2019). Biogas upgrading: A review of national biomethane strategies and support policies in selected countries. *Energies*, 12(19), 3803.

[18] Gian Paolo Repetto, «BIOMETANO 2023: STATO DELL'ARTE E NUOVI OBIETTIVI» Gestore Mercati Energetici (GME) , n. 173, 2023.

[19] TERNA, «Dati statistici 2023» 2024.

[20] Decreto interministeriale 2 marzo 2018 - Promozione dell'uso del biometano nel settore dei trasporti.

[21] B. i. Rossi C., «Guidelines for well-done biogas/biomethane plants» Increasing social awareness and acceptance of biogas and biomethane, 2016.

[22] Timme van Melle, Daan Peters, Jenny Cherkasky, Rik Wessels, Goher Ur Rehman Mir, Wieke Hofsteenge, «Gas for Climate How gas can help to achieve the Paris Agreement target in an affordable way» Ecofys, 2018.

[23] Jezierska-Thöle A., Rudnicki R., & Kluba M. (2016). Sviluppo della coltivazione di colture energetiche per la produzione di biomassa in Polonia. *Recensioni sull'energia rinnovabile e sostenibile* , 62 , 534-545.

[24] 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).

[25] Gechelin G.(2022) La produzione di biogas da biomasse agricole. Valutazione dell'utilizzo di colture alternative e cover crops.

[26] R. Seepau, S. Kuman, J. E. Iboyi, M. Bashyal, T. L. Stansly, R. Bennet, K. J. Boote, M. J. Mulvaney, I. M. Small, S. George e D. L. Wright, «Brassica carinata: Biology and agronomy as a biofuel crop» GCB Bioenergy, vol. 13, n. 4, pp. 582-599, 2021.

[27] R. Tiwari, T. A. Reinhardt Piskáčková, P. Devkota, M. J. Mulvaney, J. A. Ferrell e R. G. Leon, «Growing winter Brassica carinata as part of a diversified crop rotation for integrated weed management» GCB Bioenergy, vol. 13, n. 3, pp. 425-435, 2020.

[28] Bonifiche Ferraresi, «"I Semi dell'Energia": a Jolanda di Savoia BF con Eni

e Sdf per la transizione energetica» 2024.

[29] L. Yang, L. D. Lamont, S. Liu, C. Guo e S. Stoner, «A Review on Potential Biofuel Yields from Cover Crops» Fermentation, 2023.

[30] López-Bellido L., Wery J., & López-Bellido R. J. (2014). Energy crops: prospects in the context of sustainable agriculture. European journal of agronomy, 60, 1-12.

[31] Olba-Zięty E., Stolarski M. J., & Krzyżaniak M. (2021). Economic evaluation of the production of perennial crops for energy purposes - A review. Energies, 14(21), 7147.

[32] Soldatos P. G., Lychnaras V., Asimakis D., & Christou M. (2004). BEE–Biomass economic evaluation: a model for the

economic analysis of energy crops production. May10-14, 2.

[33] Bergtold J. S., Ramsey S., Maddy L., & Williams J. R. (2019). A review of economic considerations for cover crops as a conservation practice. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 34(1), 62-76.

[34] Di Candilo M., & Facciotto G. (2012). Colture da biomassa ad uso energetico. Potenzialità e prospettive. SHERWOOD. *FORESTE ED ALBERI OGGI*, 18(183 (2S)), 10-19.

[35] Coaloa D. (2012). Bilanci economici delle colture energetiche. SHERWOOD. *FORESTE ED ALBERI OGGI*, 18(183 (2S)), 89-93.

[36] d. s. a. e. d. f. Ministero dell'agricoltura, «Eco-schema 4 - Sistemi foraggeri estensivi con avvicendamento».

[37] R. R. Nazionale, «SRA-impegni in materia di ambiente e di clima e altri impegni in materia di gestione» SA06-cover crops, vol.

[38] Rodale Institute.

[39] T. Kaspar, D. Jaynes, T. Parkin e T. Moorman, «Effectiveness of Oat and Rye Cover Crops in Reducing Nitrate Losses in Drainage Water» *Agricultural Water Management*, 20120.

[40] Clark A. (Ed.). (2008). *Managing cover crops profitably*. Diane Publishing.

[41] Scavo A., Fontanazza S., Restuccia A., Pesce G. R., Abbate C., & Mauromicale G. (2022). The role of cover crops in improving soil fertility and plant nutritional status in temperate climates. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(5), 93.

[42] Adetunji A. T., Ncube B., Mulidzi R., & Lewu F. B. (2020). Management impact and benefit of cover crops on soil quality: A review. *Soil and Tillage Research*, 204, 104717.

[43] Balkcom K. S., Duzy L. M., Kornecki T. S., & Price A. J. (2015). Timing of cover crop termination: Management considerations for the Southeast. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 1(1), 1-7.

[44] Calcante A., Manenti D., Torrente M., Reginelli D., & Oberti R. (2022). Terminazione meccanica delle cover crop.

L'INFORMATORE AGRARIO, 78(40), 66-68.

[45] Bechini L., Marino Gallina P., Michelin L., & Tadiello T. (2020). Cover crop: schede tecniche per la coltivazione.

[46] Calcante, A. (2023). Il trattamento meccanico delle colture intercalari. *MONDO MACCHINA*, 12, 76-81.

[47] European Commission. (2020). A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system.

[48] Soil Science Society of America. (2008). Glossary of soil science terms 2008. ASA-CSSA-SSSA.

ISBN 979-12-81249-36-3



9 791281 249363

