



**COVER CROP:
SCHEDE TECNICHE PER
LA COLTIVAZIONE**

A cura di: Luca Bechini, Pietro Marino Gallina,
Lorenza Michelon, Tommaso Tadiello

COVER CROP: SCHEDE TECNICHE PER LA COLTIVAZIONE

a cura di
Luca Bechini, Pietro Marino Gallina,
Lorenza Michelon e Tommaso Tadiello



PSR LOMBARDIA
L'INNOVAZIONE
METTERE RAGIONE
2014 2020



Regione
Lombardia

Programma di Sviluppo Rurale 2014 - 2020

**Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale:
l'Europa investe nelle zone rurali**

Pubblicazione realizzata con il cofinanziamento del FEASR
Responsabile dell'informazione: Università degli Studi di Milano
Autorità di Gestione del Programma: Regione Lombardia

COVER CROP: SCHEDE TECNICHE PER LA COLTIVAZIONE

Autori:

Luca Bechini, Pietro Marino Gallina, Tommaso Tadiello
Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali, Università degli Studi di Milano

Lorenza Michelon
Condifesa Lombardia Nord-Est

Vorremmo ringraziare tutti coloro che hanno partecipato alla progettazione e alla realizzazione dei progetti BENCO e COCROP:
i colleghi dell'Università di Milano (Mortadha Ben Hassine, Daniele Cavalli, Mauro Colnago, Martina Corti, Domenico Ditto, Alessia Perego, Enrico Potenza, Davide Reginelli) e di Torino (Dario Sacco), del Condifesa Lombardia Nord-Est (Daniele Della Torre, Alberto Merli, Stefano Toninelli), del CREA (Giovanni Cabassi, Nicolò Pricca, Dario Paolo, Lamberto Borrelli), della Fondazione Morando Bolognini (Luigi Degano, Fabio Introzzi, Roberto Fuccella), gli agricoltori (Massimo Motti, Giacomo Lussignoli, Luca e Angelo Agosti, Omar Lanzini), i tecnici delle ditte sementiere (Pascal Legrand di Ferri Luigi sementi srl; Diego Fior e Guido Pignata di Padana Sementi Elette srl), Antonio Vigoni (Sport Turf Consulting), e infine tutti gli studenti dell'Università di Milano che hanno svolto la loro tesi nell'ambito dei due progetti (Riccardo Asti, Riccardo Beretta, Matteo Boggioni, Matteo Bosso, Robin Chionna, Federico Concas, Michele Croci, Margherita Furiosi, Davide Mapelli, Diego Piccitto, Paolo Pozzi, Matteo Sala, Stefano Virgadola, Nicola Zanoletti, Pietro Zarpellon).

Un ricordo speciale per l'amico e collega Mauro Agosti.

Il volume raccoglie le schede tecniche prodotte nell'ambito del progetto "Dimostrazione dei benefici agronomici, economici e ambientali delle cover crop in Lombardia" (CUP E46G17000520007), finanziato nell'ambito della Misura 1, Operazione 1.2.01 "Progetti dimostrativi e azioni di informazione" dal Programma di Sviluppo Rurale 2014-2020 della Regione Lombardia.

Responsabile scientifico: Luca Bechini

ISBN: 9788890898792

Progetto grafico e stampa: AGF S.p.A. Unipersonale
Sesto Ulteriano, San Giuliano Mil.

Stampato: 2020

COVER CROP: SCHEDE TECNICHE PER LA COLTIVAZIONE

a cura di

Luca Bechini, Pietro Marino Gallina,
Lorenza Michelon e Tommaso Tadiello



Indice

Introduzione	6
Scheda 1 - Perché scegliere di coltivare una cover crop?	9
Scheda 2 - Scelta della specie di cover crop	17
Scheda 3 - La semina delle cover crop	29
Scheda 4 - La terminazione delle cover crop	37
Scheda 5 - Azoto da cover crop per la coltura in successione	49
Scheda 6 - Le cover crop per la riduzione della lisciviazione dei nitrati	57
Scheda 7 - Gli effetti delle cover crop sulle proprietà del terreno	67
Scheda 8 - Controllo delle erbe infestanti in agricoltura biologica tramite le cover crop	73
Scheda 9 - Costi, benefici e incentivi	85
Bibliografia	91

Introduzione

Le cover crop (o colture di copertura) sono colture non produttive, coltivate tra la raccolta di una coltura da reddito e la semina della successiva. Tra le loro molte funzioni, ricordiamo la capacità di assorbire i nitrati riducendone la lisciviazione, l'apporto di sostanza organica al terreno, il miglioramento delle sue proprietà fisiche, chimiche e biologiche, la riduzione delle perdite di suolo per erosione e il controllo delle erbe infestanti.

Questo volume raccoglie in forma ordinata e fruibile da tutti gli interessati (agricoltori, agronomi, tecnici e studenti) alcune conoscenze sulla coltivazione e sugli effetti delle cover crop che sono state acquisite in due progetti condotti in Lombardia tra il 2017 e il 2019, integrandole con i risultati di altre sperimentazioni condotte nel mondo. Per rendere le informazioni il più possibile accessibili abbiamo scelto di preparare delle pratiche schede tecniche, ognuna dedicata a un argomento specifico.

Le nove schede tecniche sono ordinate considerando, dopo una breve presentazione dei benefici agronomici e ambientali delle cover crop, la scelta della specie, la semina e la terminazione (cioè la distruzione della cover crop in vista della semina della coltura successiva). Successivamente vi sono alcune schede dedicate ai loro effetti: la riduzione della lisciviazione dei nitrati, gli effetti sul terreno, e infine quelli sulla gestione delle piante infestanti. Chiude il volume un breve cenno su costi, benefici e incentivi economici.

I due progetti, entrambi finanziati dal Programma di Sviluppo Rurale 2014-2020 della Regione Lombardia, sono COCROP ("Gestione agronomica ed ambientale delle cover crop con particolare riferimento alle dinamiche dell'azoto", Operazione 16.2.01) e BENCO ("Dimostrazione dei benefici agronomici, economici e ambientali delle cover crop in Lombardia", Operazione 1.2.01).

Poiché abbiamo dovuto operare una selezione dei materiali da presentare in questo volume, invitiamo chi fosse interessato ad approfondimenti a visitare i siti dei due progetti: <https://sites.unimi.it/cocrop> e <https://sites.unimi.it/benco> dove sono disponibili altri documenti, in particolare il volume "Impiego delle cover crop nella coltivazione del mais", che raccoglie tutti i risultati del progetto COCROP. Vi invitiamo a consultarlo per trovare maggiori informazioni sugli esperimenti di campo, sulla stima dei costi di coltivazione e sulla possibilità di stimare alcune proprietà delle cover crop tramite immagini acquisite da drone o tramite spettroscopia nel vicino infrarosso.

In quel volume trovate anche un ricordo dell'amico e collega Mauro Agosti, responsabile del Servizio Tecnico Condifesa Lombardia Nord-Est, scomparso prematuramente il 20 gennaio 2017. Mauro aveva coinvolto l'Università di Milano in una bella collaborazione sulle cover crop, che aveva consentito di ideare e proporre entrambi i progetti; senza le sue idee e il suo entusiasmo non avremmo raggiunto questi risultati.

Tutta la letteratura consultata si trova in fondo al volume. Non l'abbiamo citata nel testo per non appesantirlo.

Non ci resta che augurarvi buona lettura!

*Luca Bechini, Pietro Marino Gallina,
Lorenza Michelin e Tommaso Tadiello*

progetto.benco@unimi.it



Scheda 1 - Perché scegliere di coltivare una cover crop?

1.1 Che cosa sono le cover crop e quali benefici apportano?

Le cover crop sono colture di copertura che vengono inserite nella successione colturale tra una coltura principale e la successiva e possono portare a diversi **benefici agronomici e ambientali**:

- **miglioramento della qualità fisica e biologica del suolo**: la copertura del suolo da parte della biomassa aerea delle cover crop riduce l'erosione del suolo e il suo compattamento migliorandone la struttura. La presenza delle radici delle cover crop favorisce la formazione di aggregati di suolo e incrementa l'attività dei microrganismi che a loro volta migliorano la stabilità della struttura. L'apparato radicale delle cover crop agisce anche sulla permeabilità del suolo determinando un incremento della velocità d'infiltrazione dell'acqua (**Figura 1.1**);
- **incremento di sostanza organica**: è dovuto alla biomassa della cover crop che, a seguito della terminazione, diventa substrato alimentare per i microrganismi del suolo dalla cui attività decompositiva derivano sostanze umiche;
- **incremento di azoto ed elementi nutritivi**: durante la loro crescita le cover crop assorbono azoto e altri importanti elementi nutritivi sottraendoli alla lisciviazione e all'insolubilizzazione e restituendoli quindi al terreno sotto forma organica. Le cover crop leguminose fissano inoltre l'azoto atmosferico attraverso la simbiosi con batteri azotofissatori e possono quindi portare ad un incremento importante di questo elemento nel terreno;



Figura 1.1 La presenza di lombrichi è indice di un buon contenuto di sostanza organica e di terreno ben strutturato.

- **contenimento delle piante infestanti:** la crescita delle malerbe viene limitata sia a causa della competizione per spazio, acqua e nutrienti con la cover crop, sia per l'azione allelopatica di alcune specie (**Figura 1.2**).

L'insieme di questi benefici agronomico-ambientali determina **vantaggi economici** che spesso però sono difficilmente quantificabili, soprattutto a breve termine. Nel medio-lungo periodo, il miglioramento della struttura del suolo e del suo contenuto di nutrienti e sostanza organica possono consentire una riduzione del bisogno di lavorazione del suolo e un minor utilizzo di concimi.



Figura 1.2 La coltivazione di una cover crop limita i processi di degradazione fisica del suolo e la crescita di piante infestanti: controllo senza cover crop con inerbimento spontaneo (sopra); cover crop (sotto).

1.2 Coltivare una cover crop si può: esempi di ordinamenti colturali lombardi

La scelta della specie o dei miscugli di cover crop è determinata dagli obiettivi che la singola azienda agricola vuole raggiungere in funzione della sua tipologia. Nel contesto lombardo si distinguono principalmente due categorie di aziende agricole:

1. Azienda agricola zootecnica: in questa tipologia di azienda la scelta delle colture di copertura ha lo scopo di **valorizzare i nutrienti** apportati mediante la distribuzione degli effluenti zootecnici e minimizzarne le perdite, in particolare quelle di azoto per lisciviazione di nitrati. La scelta sarà quindi indirizzata verso specie appartenenti alla famiglia delle brassicacee o delle graminacee; queste specie sono infatti caratterizzate da un alto tasso di crescita e da elevate asportazioni di elementi nutritivi. La loro capacità di recuperare azoto minerale dal suolo è maggiore di quella delle leguminose che soddisfano in parte il loro fabbisogno fissando azoto atmosferico. L'apparato radicale profondo e molto sviluppato consente inoltre di esplorare anche gli strati più profondi del terreno e catturare elementi nutritivi che, in assenza di una coltura, verrebbero persi per dilavamento o per insolubilizzazione. Nei nostri areali le specie maggiormente impiegate sono la senape bianca, il rafano e l'avena (**Figura 1.3**).



Figura 1.3 L'avena viene utilmente utilizzata come "catch crop" in quanto è in grado di assorbire in maniera significativa i nutrienti.

2. Azienda agricola non zootecnica: le aziende che non hanno un'elevata disponibilità di sostanza organica e azoto possono indirizzare la loro scelta verso specie leguminose in grado di fissare l'azoto e renderlo disponibile per la coltura principale successiva. Le leguminose maggiormente diffuse sono diverse specie appartenenti ai generi veccia e trifoglio. Presentano caratteristiche simili (lento sviluppo iniziale e necessità di un buon contenuto di umidità alla semina) e, non essendo gelive, possono ricacciare a fine inverno. La veccia del Bengala e il trifoglio alessandrino presentano una maggiore suscettibilità al gelo invernale rispetto alle altre specie.



Figura 1.4 I miscugli di cover crop permettono di sfruttare le peculiarità e le caratteristiche positive delle diverse specie inserite. Nella fotografia è illustrato il miscuglio *Avena sativa* - *Vicia sativa*.

Le leguminose, ed in particolare la veccia, possono essere utilmente impiegate in miscugli binari con graminacee, al fine di sfruttare le caratteristiche positive di entrambe le specie (es. avena - veccia; **Figura 1.4**), oppure sono possibili miscugli con più di due specie e che prevedono anche l'utilizzo di tutte e tre le famiglie di cover crop.



Scheda 2 - Scelta della specie di cover crop

2.1 Quali aspetti bisogna considerare nella scelta della specie di cover crop?

Per scegliere la specie o il miscuglio di cover crop adatto al proprio contesto aziendale è necessario considerare due aspetti principali:

2.1.1. Obiettivi che si vogliono raggiungere con la cover crop: gli scopi principali possono essere di tipo agronomico (conservazione del suolo e miglioramento della sua fertilità, controllo delle erbe infestanti e di alcuni patogeni e parassiti) oppure di tipo ambientale (riduzione del consumo di energia da fonti non rinnovabili, riduzione della lisciviazione di nitrati, riduzione dell'uso di fitofarmaci). Tali obiettivi sono strettamente correlati alle caratteristiche agro-climatiche degli appezzamenti aziendali (tipo di suolo, carenze, presenza di infestanti, clima), che possono manifestare in misura diversa la necessità di questi interventi agronomici o ambientali. Ad esempio, per un suolo a tessitura grossolana di un'azienda zootecnica potrà essere individuato l'obiettivo ambientale di tutela dalla lisciviazione dei nitrati (**Figura 2.1**).

2.1.2. Sistema culturale in cui va inserita la cover crop: la scelta della specie dipende dalle caratteristiche meteorologiche e dalla durata del periodo intercolturale tra le colture da reddito in successione, dal sistema di lavorazione del terreno adottato in azienda, dal periodo e dalle modalità con le quali si ha intenzione di seminare la cover crop.

◀ **Figura 2.1** La senape è una delle specie di cover crop che raggiunge un'elevata biomassa e può assorbire alte quantità di azoto.

Sicuramente il primo fattore che viene considerato è il periodo di coltivazione che dipende dalle colture principali praticate. Per quanto riguarda il contesto produttivo lombardo (aziende ad indirizzo cerealicolo), essendovi una successione di colture estive, con prevalenza di mais, data la disponibilità di acqua irrigua, le cover crop più diffuse sono quelle autunno-vernine. La necessità di effettuare delle rotazioni colturali e la presenza di aziende con maggiore diversificazione produttiva, possono portare a prendere in considerazione la coltivazione di cover crop anche nel periodo estivo (es. da seminare dopo la raccolta di un cereale autunno-vernino).

2.2 Quali sono le cover crop maggiormente utilizzate nella pianura lombarda?

Le specie di cover crop normalmente coltivate appartengono a tre principali famiglie: brassicacee, leguminose e graminacee. Queste famiglie hanno caratteristiche molto diverse che devono essere prese in considerazione nel momento in cui bisogna decidere la specie o il miscuglio di cover crop adatto a soddisfare i propri obiettivi.

Come anticipato, essendo il mais la coltura principale nel nostro contesto territoriale, le specie di cover crop prese qui in considerazione sono autunno-vernine.

1. Brassicacee: sono caratterizzate da uno sviluppo iniziale abbastanza rapido, elevata biomassa aerea e apparato radicale di tipo fittonante più o meno sviluppato a seconda della specie. Nei nostri contesti le specie maggiormente diffuse sono la senape bianca e i rafani.

La **senape**, in buone condizioni di semina, è una pianta che riesce a crescere velocemente e a raggiungere biomasse consistenti e un'elevata copertura del suolo dopo pochi mesi di coltivazione (**Figura 2.2**). È inoltre caratterizzata da un'elevata suscettibilità al gelo invernale: muore se esposta a condizioni di temperature minime al di sotto dello zero per pochi giorni (**Figura 2.3**). Questo porta, rispetto ad altre specie meno sensibili, ad avere meno pro-



Figura 2.2 La senape ha uno sviluppo iniziale piuttosto rapido.



Figura 2.3 La senape è considerata una cover crop geliva in quanto muore se è esposta al gelo in una fase fenologica avanzata.

blemi per quanto riguarda la gestione del residuo colturale della coltura di copertura e consente una rapida preparazione del terreno per la semina della coltura principale successiva (mais) che, in alcuni areali lombardi, avviene entro la fine del mese di marzo. Un altro vantaggio della senape è il costo relativamente ridotto della semente (circa 40 € ha⁻¹).

Nonostante la senape possa essere considerata una specie piuttosto rustica e dal rapido sviluppo iniziale, alcune esperienze recenti hanno messo in evidenza che condizioni autunnali molto piovose possono rallentare e, in situazioni di ristagno idrico, compromettere la crescita di questa coltura.

Il **rafano** (*Tillage Radish*[®]) è caratterizzato dallo sviluppo di una radice fittonante molto importante che, oltre ad assimilare l'azoto e gli altri nutrienti, esercita un'azione fisica di decompattazione del suolo. Nelle aziende zootecniche contraddistinte dal passaggio in campo di mezzi pesanti per la distribuzione del liquame e per la raccolta di mais da trinciato, l'utilizzo di questa specie può essere particolarmente consigliato. Anche il rafano, come la senape, è in grado di sviluppare una parte aerea importante e di coprire efficacemente il suolo (**Figura 2.4**).

Con il gelo invernale il rafano muore, anche se richiede un periodo piuttosto lungo per la degradazione completa della radice da parte dei microrganismi del suolo (**Figura 2.5**).



Figura 2.4 Il rafano Tillage Radish® sviluppa una parte aerea importante ed è caratterizzato da una radice fittonante che può raggiungere i 30 cm di profondità.



Figura 2.5 Anche il rafano è una specie geliva e, nelle nostre condizioni climatiche, muore durante la stagione invernale.

Alcune brassicacee (senape bruna e rafano nematocida) sono utilmente impiegate per la loro azione biofumigante in quanto producono delle sostanze, i glucosinolati, che vengono trasformate in altre sostanze, gli isotiocianati, che hanno un effetto biocida. L'effetto biocida nei confronti di alcuni nematodi e funghi avviene solamente in seguito a trinciatura e rapido interrimento delle piante, ed è strettamente legato alla varietà.

2. Leguminose: come noto le leguminose sono caratterizzate dalla capacità di creare una simbiosi con i batteri azoto-fissatori del suolo che riescono a convertire l'azoto atmosferico in azoto organico arricchendo il terreno di questo importante elemento. Solitamente le leguminose vengono utilizzate in suoli poveri di azoto, prima di colture che hanno una elevata richiesta di questo elemento, oppure in aziende che non hanno a disposizione reflui zootecnici o ancora in aziende biologiche. Le specie più utilizzate nei nostri contesti come cover crop invernali, sia in purezza sia in miscuglio, sono la veccia e il trifoglio (**Figura 2.6**). Entrambe sono caratterizzate da una lenta crescita iniziale e per tale ragione sono utilmente coltivate in miscugli. In generale hanno anche la possibilità di riprendere la crescita in primavera in quanto, tranne alcune specie quali la veccia del Bengala e il trifoglio alessandrino, non sono gelive.



Figura 2.6 Le leguminose vengono impiegate per arricchire il terreno di azoto. Le specie maggiormente impiegate nel nostro territorio sono il trifoglio (sopra) e la veccia (sotto).

3. Graminacee: questa famiglia viene normalmente impiegata come cover crop in quanto l'apparato radicale fascicolato e molto sviluppato permette il trattenimento dei nutrienti con conseguente limitazione dei fenomeni di lisciviazione.

Per tale ragione le cover crop che esercitano questa funzione vengono definite "catch crop" ("colture trappola"). Fra le graminacee, l'**avena** (Figura 1.3) e la segale sono quelle maggiormente impiegate, sia da sole sia in miscuglio (Figura 2.7), ma come cover crop possono essere usati anche altri cereali (es. orzo e frumento), oppure il loglio italico. Fra le diverse specie di avena, l'avena strigosa è quella che presenta la maggiore sensibilità al freddo invernale e, nei nostri contesti, può gelare.



Figura 2.7 L'avena viene utilizzata sia in purezza sia in miscuglio. La figura riporta un miscuglio di avena strigosa e rafano Tillage Radish® alla fine dell'inverno.

La **segale** è nota anche per le sue proprietà allelopatiche che determinano una inibizione della germinazione e della crescita di altre piante; il suo impiego come cover crop è quindi finalizzato anche al contenimento delle infestanti in situazioni in cui tale pressione è molto elevata oppure in contesti in cui non è possibile intervenire con diserbanti di tipo chimico.



Scheda 3 - La semina delle cover crop

3.1 Perché l'epoca e la corretta esecuzione della semina delle cover crop sono importanti?

In generale, le cover crop forniscono i risultati attesi (es. controllo delle malerbe, aumento del contenuto di sostanza organica del terreno, fissazione dell'azoto) se producono una biomassa aerea e radicale abbondante.

Tuttavia, spesso le cover crop sono coltivate in periodi dell'anno poco adatti alle colture da reddito, in cui il clima è poco favorevole e la stagione disponibile per la crescita relativamente breve. Ad esempio, nel periodo di crescita delle cover crop autunno-vernine (le più diffuse nei nostri ambienti) la radiazione e la temperatura diminuiscono gradualmente durante l'autunno fino a diventare molto limitanti in inverno.

Quindi tutta la gestione della cover crop deve essere finalizzata al miglior sfruttamento delle risorse disponibili (radiazione solare, temperatura, acqua e nutrienti), se si vuole che la cover crop produca buoni risultati. In particolare, un buon insediamento e una crescita rapida iniziale sono essenziali.

Questi possono essere conseguiti con una semina condotta nella data più adeguata in relazione alla specie e all'ambiente, e con tecniche capaci di garantire un'emergenza rapida e omogenea della coltura.

Come per qualsiasi coltura, le condizioni presenti al momento della semina e che si verificano nelle settimane successive sono fondamentali per determinare una buona emergenza e una crescita ottimale della cover crop.



Figura 3.1 Effetto dell'epoca di semina: parcelle di cover crop fotografate il 14 ottobre (a) e il 2 novembre (b). In entrambe le foto, in primo piano è visibile una parcella di senape bianca seminata nella seconda metà di settembre, mentre in secondo piano si vede una parcella (con piante nettamente più alte) seminata 15 giorni prima.

3.2 Come scegliere la data di semina?

In base alla nostra esperienza, se il terreno è già libero dalla precedente coltura primaverile-estiva, la semina delle cover crop autunno-vernine può già essere condotta tra la fine del mese di agosto e l'inizio del mese di settembre. Semine oltre la metà di settembre generalmente comportano una minore produttività per quasi tutte le specie, in particolare per le leguminose (**Figura 3.1**).

In un esperimento biennale di confronto di due epoche di semina (**Figura 3.2**), la segale è la specie che ha risentito meno del ritardo di semina.

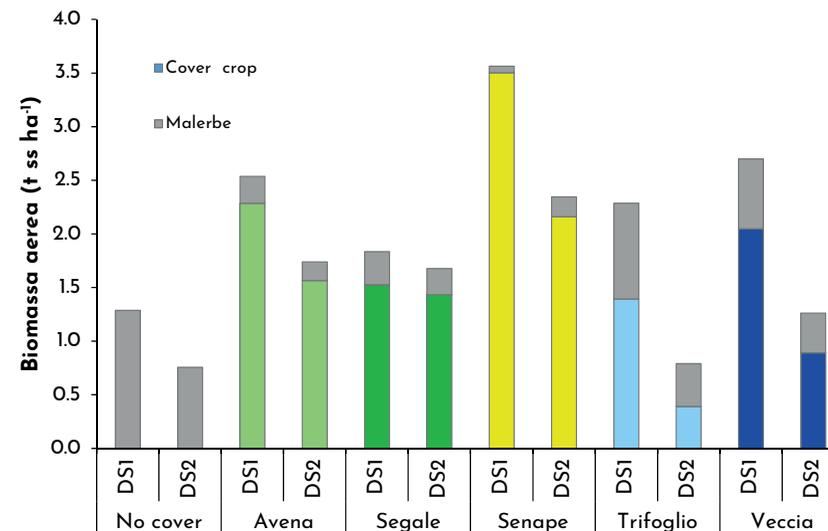


Figura 3.2 Produttività di diverse specie di cover crop in novembre (avena strigosa, segale, senape bianca, trifoglio alessandrino e veccia villosa), in risposta a due epoche di semina (prima e seconda metà settembre, DS1 e DS2). Valori medi 2017 e 2018. Progetto COCROP.



Figura 3.3 Semina diretta di cover crop su residui di mais da granella.

3.3 Come preparare il letto di semina?

Esistono diverse tecniche per la preparazione del letto di semina. L'opzione più comune è quella di eseguire la semina usando una normale seminatrice a file dotata di organi aprisolco a dischi su terreno minimamente lavorato con attrezzi (come dischi e ancore) che non rivoltano il terreno. Tale operazione di preparazione del terreno può anche essere condotta nello stesso passaggio insieme alla semina. Un'opzione di maggiore semplificazione prevede la distribuzione dei semi della cover crop a spaglio con uno spandiconcime centrifugo e la loro incorporazione superficiale nel terreno con leggero passaggio di erpice a dischi. Infine, è anche possibile eseguire la semina su sodo delle cover crop (**Figura 3.3**). Tale operazione, se eseguita con terreno in tempera e con una seminatrice adatta, garantisce un buon avvio della coltura (**Figura 3.4**) riducendo i costi di coltivazione. Chiaramente, questa opzione è possibile se la struttura del terreno non sia stata danneggiata nel corso della gestione della coltura in precessione, in particolare durante la raccolta.

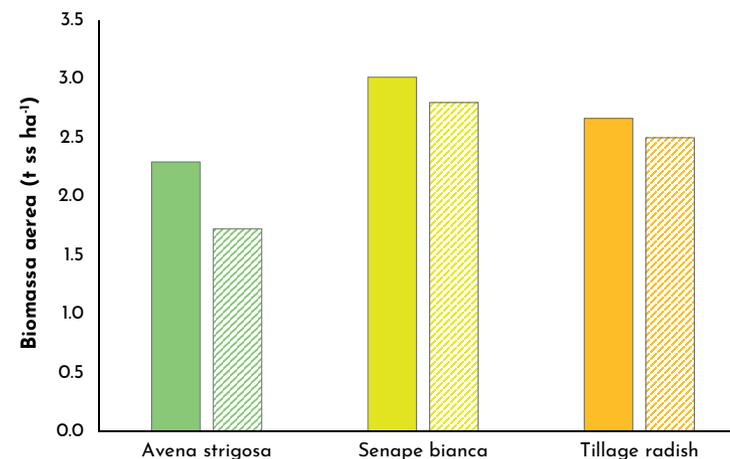


Figura 3.4 Produttività di diverse specie di cover crop in novembre, in risposta a due tecniche di semina (su terreno minimamente lavorato a sinistra con riempimento pieno e su sodo a destra con riempimento tratteggiato). Valori medi 2017 e 2018. Progetto BENCO.

3.4 Densità e profondità di semina

Le profondità di semina delle cover crop, come quelle di qualsiasi altra coltura, devono essere adattate alla tessitura e alle condizioni specifiche di umidità del terreno.

Nella **Tabella 3.1** sono riportati gli intervalli di profondità per le diverse specie; la scelta dei valori più bassi è indicata nei casi di terreni di medio impasto o a tessitura fine in presenza di terreno con buona dotazione idrica negli strati superficiali, mentre i valori maggiori sono indicati per i terreni tendenzialmente sabbiosi o in presenza di scarso contenuto idrico del terreno negli strati superficiali. Nel caso di terreno con contenuto idrico critico è opportuno far seguire la rullatura. Nella decisione tenere conto anche delle previsioni meteorologiche a breve termine.

Tabella 3.1 Densità e profondità di semina per alcune cover crop autunno-vernine.

Specie	Dose di semente (kg ha ⁻¹)	Profondità di semina (mm)
Avena strigosa (<i>Avena strigosa</i>)	35-50	20-40
Segale (<i>Secale cereale</i>)	100-130	20-40
Senape bianca (<i>Sinapis alba</i>)	12-15	5-15
Tillage Radish® (<i>Raphanus sativus</i>)	6-8	5-15
Veccia vellutata (<i>Vicia villosa</i>)	30-50	25-35
Veccia del Bengala (<i>Vicia benghalensis</i>)	60	25-35
Trifoglio alessandrino (<i>Trifolium alexandrinum</i>)	20-25	10-15

La densità di semina è generalmente suggerita dal fornitore delle sementi. In **Tabella 3.1** riportiamo le dosi di semente consigliabili per cover crop in purezza; le due dosi indicate per ogni specie sono riferite a ottime (per la dose minima) e sufficienti (per la dose massima) condizioni di preparazione del letto di semina.

Raccomandiamo l'accurata regolazione della seminatrice per l'esatta erogazione delle dosi di semina indicate.



Scheda 4 - La terminazione delle cover crop

4.1 Perché la terminazione è un aspetto cruciale della gestione delle cover crop?

La terminazione ha lo scopo di evitare che le cover crop possano costituire un impedimento alla creazione delle condizioni idonee per la germinazione e la crescita delle colture da reddito in successione. Una inefficace terminazione può infatti consentire alle cover crop di diventare infestanti della coltura da reddito, limitandola per competizione e allelopatia. La persistenza delle cover crop può inoltre rallentare il riscaldamento del suolo oppure determinare un consumo di acqua che nei contesti non irrigui può ridurre significativamente la riserva idrica utile. La modalità ed il momento della terminazione influenzano infine la velocità di decomposizione della biomassa delle cover crop e la cessione/immobilizzazione di azoto nel suolo con effetti sulla nutrizione della coltura da reddito. Per queste ragioni, la tecnica di terminazione ed il momento della sua esecuzione devono essere attentamente scelti già nella fase di pianificazione della successione colturale.

4.2 Quali metodi di terminazione possono essere impiegati?

La terminazione delle cover crop può avvenire per effetto dell'applicazione di erbicidi, del congelamento naturale nel corso dell'inverno e dell'esecuzione di interventi meccanici.

◀ *La terminazione delle cover crop con il gelo presenta il vantaggio di non richiedere interventi in campo per essere realizzata. Ha tuttavia lo svantaggio di verificarsi solo in presenza di condizioni meteorologiche favorevoli e di non essere efficace su tutte le specie.*

4.2.1 Terminazione tramite diserbo

Attualmente, quando si ricorre al diserbo per la terminazione delle cover crop si impiega principalmente il Glifosate. Ciò per tre motivi principali: è sistemico ed ha un largo spettro d'azione (importante quando le cover crop presentano flora infestante); il costo è relativamente basso; la residualità effimera (si può seminare la coltura da reddito anche due giorni dopo l'intervento).

Il largo utilizzo di questa molecola è stato favorito anche dal suo profilo tossicologico storicamente considerato sicuro ma che oggi è oggetto di approfondimenti.

In **Tabella 4.1** è riportata l'efficacia di terminazione del Glifosate su diverse cover crop, da solo o in miscela con altri principi attivi, da cui si evince che essa è eccellente nel caso dei cereali e della colza ma solo scarsa o discreta nel caso delle due leguminose considerate (**Figura 4.1**), che invece vengono ben controllate dai dicotiledonici Dicamba e 2,4-D.

Queste due molecole sono residuali ed esplicano effetti fitotossici sulle dicotiledoni anche per diversi mesi, quindi possono essere utilizzate con breve anticipo sulla semina delle colture da reddito solo nel caso dei cereali.

Tabella 4.1 Efficacia della terminazione chimica delle cover crop. Le lettere indicano: E, eccellente; B, buona; D, discreta; S, sufficiente.

Erbicida o miscela di erbicidi	Segale	Orzo	Avena sativa	Colza	Veccia vellutata	Trifoglio incarnato
Glifosate (0,84 kg/ha di acido equivalente)*	E	E	E	D	S	S
Glifosate (1,26 kg/ha di a.e.)*	E	E	E	E	D	D
Glifosate (0,84 kg/ha di a.e.) + 2,4-D estere (1,17 L/ha)	E	E	E	E	E	B
Glifosate (0,84 kg/ha di a.e.) + Dicamba (0,56 kg/ha di a.e.)	E	E	E	E	E	B

*nel caso di acque dure, per evitare l'insolubilizzazione del Glifosate, è necessario aggiungere 2 g/L di solfato ammonico.



Figura 4.1 Effetti del glifosate su segale (a sinistra) e veccia vellutata (a destra) 15 giorni dopo l'esecuzione del trattamento.

Per massimizzare l'efficacia di questi erbicidi sistemici, è necessario che le piante siano in attiva crescita; è controindicata l'applicazione con temperatura media diurna minore di 12°C e notturna minore di 5°C.

Per quanto attiene l'efficacia del Glifosate sui cereali, è eccellente fino all'inizio della levata e successivamente decrescente.

4.2.2 Terminazione per congelamento naturale

Questo tipo di terminazione si verifica se per alcuni giorni nel corso dell'inverno la temperatura si abbassa al di sotto della temperatura critica minima della cover crop. La scelta della cover crop in relazione al clima locale è quindi il primo aspetto chiave di questa terminazione che tuttavia mantiene una certa aleatorietà dovuta alla variabilità del tempo tra anni.

Il secondo aspetto chiave è la scelta della data di semina. Questa determina lo stadio fenologico in cui la coltura si troverà all'arrivo del freddo: una cover crop seminata a fine estate si troverà già in fase riproduttiva e sarà più sensibile al freddo rispetto ad una coltura seminata più tardivamente, nel mese di ottobre, e quindi ancora in fase vegetativa.

La terminazione con il gelo presenta quindi il vantaggio di non richiedere interventi in campo per essere realizzata. Ha tuttavia lo svantaggio di verificarsi solo in presenza di condizioni meteorologiche favorevoli e di non essere efficace su tutte le specie. Un altro svantaggio è che, se la biomassa della cover crop si decompone rapidamente e se la semina della coltura da reddito non è molto precoce, il terreno rimane solo parzialmente coperto dalla biomassa vegetale (ad esempio nel caso della senape bianca) nel periodo di fine inverno e inizio primavera.

Nelle condizioni della pianura lombarda le principali cover crop a semina autunnale, eseguita nel mese di settembre, possono essere così raggruppate:

- **completamente gelive:** senape bianca, Tillage Radish®;
- **parzialmente gelive** (l'apparato aereo viene gravemente danneggiato ma in primavera si può avere un ricaccio con il germogliamento delle gemme basali): avena strigosa, trifoglio alessandrino, avena sativa, veccia bengalese, veccia sativa;
- **ingelive:** veccia vellutata, segale, orzo, alcuni rafani, colza, ravizzone.

Nella **Figura 4.2** viene ripreso lo stato di una specie per ciascun gruppo all'uscita dall'inverno.



Figura 4.2. Stato del rafano Tillage Radish® (in alto), del trifoglio alessandrino (al centro) e della veccia vellutata (in basso) all'uscita dall'inverno.

4.2.3 Terminazione tramite interventi meccanici sulle cover crop

Gli interventi meccanici di terminazione possono interessare solo la parte aerea della cover crop (trinciatura, sfalcatura e rullatura) oppure il suolo e la cover crop (aratura, discatura, scalzatura); i primi vengono scelti nei contesi di semina su sodo oppure quando interessa agevolare il successivo lavoro di incorporazione della cover crop nel suolo. Gli interventi di terminazione meccanica presentano il vantaggio di non richiedere l'uso di erbicidi di sintesi; di conseguenza sono adottabili anche da chi pratica agricoltura biologica. Tra gli svantaggi va sicuramente menzionata l'aleatorietà dell'intervento, la cui efficacia dipende - come dettagliato di seguito - dalle condizioni meteorologiche durante e dopo la terminazione, dalla specie, dal suo stadio di sviluppo e dall'attrezzo utilizzato.

Falciatura: La falciatura può essere eseguita con falciatrici alternative o rotative e con trinciastocchi.

L'altezza di taglio è radente il suolo nel caso del trinciastocchi, determinando la minimizzazione del ricaccio dalle gemme basali, mentre con le altre due macchine avviene a 4-5 cm dal terreno.

Il successo della terminazione per falciatura dipende fortemente dallo stadio fenologico della cover crop. Nelle piante annuali, la capacità di ricaccio è infatti variabile nel corso dello sviluppo: generalmente è elevata nelle fasi vegetative e bassa in quelle riproduttive. Eseguendo la trinciatura in prossimità della fioritura si può ottenere una percentuale di terminazione di circa il 90% con le seguenti specie: veccia vellutata, trifoglio incarnato, frumento, segale. Nelle strategie di terminazione meccanica, un aspetto interessante della falciatura è la notevole tempestività con cui può essere realizzata, che consente di mortificare le cover crop e le erbe infestanti e impedire che procedano nel loro ciclo (crescendo troppo, consumando troppa acqua, andando a seme) in attesa ad esempio delle condizioni favorevoli per l'esecuzione del sovescio.

Rullatura con rullo allettatore (roller crimper): Il rullo allettatore è un rullo, portato anteriormente o posteriormente, dotato di lame longitudinali. Il suo passaggio determina l'allettamento della cover crop e la lacerazione dei tessuti in corrispondenza dei punti di contatto con le lame con conseguente grave compromissione del sistema vascolare (Figura 4.3). Dopo il suo passaggio, i tessuti vanno

quindi incontro a grave carenza di acqua, carboidrati ed elementi nutritivi. La biomassa delle cover crop così terminate è disposta sulla superficie del terreno, quasi come una stuoia, formando una pacciamatura ordinata e continua.

La scelta del momento di esecuzione della terminazione con il rullo allettatore è molto importante. Quando i tessuti sono giovani possono riprendersi dopo la schiacciatura attraverso l'emissione di ramificazioni basali e l'accestimento. Alla fioritura invece la capacità di ricaccio è modesta e l'intervento risulta efficace.

Le specie che vengono terminate con successo sono i cereali allo stadio latteo-ceroso e la veccia vellutata in piena fioritura.

La tempestività di esecuzione dell'intervento è un aspetto gestionale importante poiché con il superamento degli stadi fenologici sopra riferiti si avvia la produzione di semi germinabili e insorge così il rischio che la cover crop diventi un'infestante. Questa problematica è comunque meno rilevante che con l'adozione di altri interventi di terminazione, come la discatura, che favoriscono maggiormente il contatto dei semi con il suolo.

Rullatura durante le gelate: la rullatura eseguita all'alba con temperature minori di -3/-4 °C risulta efficace data la elevata suscettibilità alla rottura delle piante congelate. In ogni caso alcune specie, come il trifoglio alessandrino, possono ricacciare dalle gemme presenti a livello del terreno (Figura 4.4).



Figura 4.3 Terminazione di segale con rullo allettatore (foto del progetto CSA-MES-BIO).

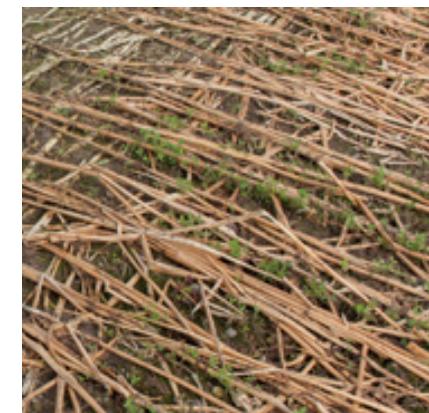


Figura 4.4 Ricaccio di trifoglio alessandrino dopo rullatura su cover crop gelata.

4.2.4 Terminazione tramite interventi meccanici sul suolo e le cover crop

Aratura: Il sezionamento ed il rivoltamento delle zolle prodotte dall'aratura determinano la morte delle cover crop a causa della rottura dell'apparato radicale e dell'interramento della biomassa aerea. Nei contesti di agricoltura convenzionale risulta essere la tecnica di riferimento. Nell'impostazione dell'aratura è importante scegliere opportunamente la profondità e l'angolo di rivoltamento della fetta al fine di evitare la formazione di strati organici anossici (gleyficati) che risulterebbero tossici per la coltura da reddito. In generale, non è opportuno approfondire l'interramento oltre 30 cm, né adottare un angolo di ribaltamento maggiore di 135°; nei suoli tendenzialmente argillosi e limosi è opportuno ridurre sia la profondità sia l'angolo. Per evitare completamente il ricaccio è opportuno che l'aratro presenti anche l'avanvomere.

Erpicoltura con erpici a dischi (Figura 4.5): I dischi determinano la rottura dei tessuti della cover crop ed il loro rimescolamento con il terreno accelerandone così la decomposizione. Dato che operano ad una profondità di 10-15 centimetri, quando la quantità di biomassa è elevata (es.: cereali, vecchia vellutata, ravizzone), possono essere necessari più passaggi o la preliminare falciatura della cover crop. L'incorporazione superficiale delle cover crop nel suolo rende questo metodo decisamente meno efficace rispetto all'aratura. Una scarsa mortificazione si può manifestare in particolare con le graminacee in fase vegetativa (Figura 4.6).



Figura 4.5 Terminazione di segale tramite discatura.



Figura 4.6 Ricaccio della segale nel mais in successione in presenza di solo controllo meccanico delle erbe infestanti.

Scalzatura (undercutting): È una tecnica provata negli USA. L'attrezzo usato è costituito da una lunga lama o da una serie di elementi (simili a quelli delle sarchiatrici) con taglienti molto lunghi che sezionano gli apparati radicali a pochi centimetri sotto la superficie del suolo compromettendone la funzionalità.

Perché lo scalzatore funzioni bene è necessario che vi siano appropriate condizioni del suolo: ridotta presenza di scheletro, stato friabile o leggermente coesivo, coltura non eccessivamente densa.

Dopo la scalzatura la cover crop rimane adagiata sulla superficie del suolo praticamente intatta, non lacerata, soggiacendo ad una velocità di decomposizione relativamente lenta, se confrontata a quella che si verificherebbe dopo trinciatura.

Nel caso di andamento meteorologico piovoso può verificarsi una parziale ricostituzione dell'apparato radicale e la ripresa della crescita della cover crop.

Anche l'efficacia di questo metodo dipende dallo stadio fenologico della cover crop. L'esecuzione dell'intervento in fioritura è risultato efficace contro le seguenti specie: segale, orzo, vecchia vellutata, trifoglio incarnato e trifoglio sotterraneo.

4.3 Quando terminare le cover crop?

Il momento della terminazione delle cover crop influenza la temperatura, l'umidità e la dinamica degli elementi nutritivi nel suolo, il risultato dei lavori di preparazione del suolo e l'effetto delle sostanze allelopatiche sulle colture da reddito. A causa dei numerosi fattori implicati, le decisioni sul momento della terminazione devono essere adattate alla situazione specifica.

Per quanto riguarda le cover crop autunno-vernine, che sono terminate tra la fine dell'inverno e l'inizio della primavera, una terminazione anticipata può essere favorevole per i seguenti aspetti:

- minore consumo di acqua e sua disponibilità per la coltura successiva;
- più rapido riscaldamento del suolo, particolarmente quando la terminazione prevede l'incorporazione della cover crop nel suolo;
- riduzione degli effetti fitotossici sulla coltura da reddito;
- riduzione del trasferimento di patogeni e parassiti alla coltura da reddito;

- incremento della velocità di decomposizione della biomassa delle cover crop e riduzione dell'interferenza di questa con le operazioni di semina in minima lavorazione o su sodo.

La terminazione più tardiva consente invece una maggiore produzione di biomassa a cui sono legati i seguenti vantaggi:

- maggiore protezione del suolo dall'erosione;
- possibilità di costituire una pacciamatura più spessa e continua che riduce le perdite di acqua per evaporazione dal suolo e controlla meglio le malerbe;
- maggiore fissazione di azoto da parte delle leguminose.

Inoltre, la terminazione tardiva riduce il rischio di ricaccio della cover crop. Come regola generale, in particolare nel caso dei cereali, è necessario eseguire la terminazione 2-3 settimane prima della data di semina della coltura da reddito; ciò per consentire un infragilimento della biomassa delle cover crop ed una riduzione del potenziale allelopatico, qualora atteso.

Come già sopra riferito, la terminazione chimica è vincolata al raggiungimento di definite temperature affinché l'intervento sia efficace; quindi non può essere eccessivamente precoce.



Scheda 5 - Azoto da cover crop per la coltura in successione

Un possibile vantaggio derivante dall'uso delle cover crop è la maggiore disponibilità di azoto assimilabile per la coltura da reddito in successione, che da un lato consente un risparmio aziendale sull'acquisto dei concimi e dall'altro ha ricadute positive sull'ambiente per la minore produzione industriale di concimi azotati di sintesi.

5.1. Tutte le cover crop aumentano la disponibilità di azoto nel suolo?

Nel breve periodo, e cioè durante il ciclo della coltura da reddito in successione, l'incremento della disponibilità di azoto assimilabile dalle piante non è indotto da tutte le cover crop ma solo da alcune. L'incorporazione nel terreno di cover crop può infatti incrementare oppure ridurre la concentrazione di azoto assimilabile nel suolo (somma di azoto nitrico e azoto ammoniacale). Il diverso risultato è ben correlato con il rapporto C/N delle loro biomasse. Come evidenziato dalla **Figura 5.1**, per valori di C/N intorno a 10 si ha il massimo rilascio di azoto potenzialmente disponibile (Npd). Con l'aumento del valore di C/N fino a circa 20, l'azoto potenzialmente disponibile diminuisce fino ad annullarsi. Per valori maggiori di 21, il suolo ne viene impoverito (cioè si troverà meno azoto minerale nel terreno che ha ricevuto la cover crop rispetto al terreno dove questa non è stata coltivata). Ciò accade perché una biomassa povera di azoto (alto C/N) stimola la

◀ La veccia vellutata abbina elevati livelli produttivi ad un basso rapporto C/N della biomassa prodotta. Per questo è una delle specie più interessanti quando l'adozione della cover crop è finalizzata alla concimazione azotata della coltura da reddito in successione.

crescita della popolazione microbica del suolo ma non ne soddisfa il fabbisogno di azoto; l'elemento viene quindi ottenuto dai microorganismi con un prelievo di azoto minerale dalla soluzione circolante del suolo, depauperandola. Chiaramente, a seguito di questa immobilizzazione di azoto nella biomassa microbica si possono verificare cali della produzione se non si interviene con una concimazione di supporto.

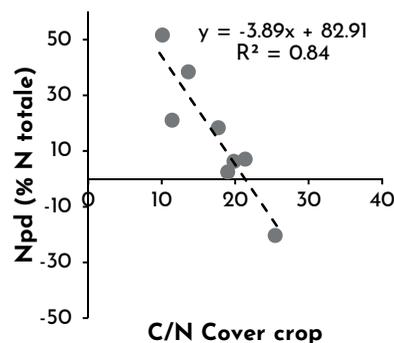


Figura 5.1. Azoto potenzialmente disponibile (Npd) nel suolo in funzione del contenuto di N della biomassa aerea delle cover crop. I risultati derivano da una prova d'incubazione, in condizioni di umidità e temperatura ottimali e costanti, durata 168 giorni. I campioni di cover crop incorporati nel suolo sono stati raccolti sia in autunno (avena strigosa, trifoglio alessandrino, senape bianca) sia in primavera (segale, veccia vellutata, avena strigosa, senape bianca). È stato incluso inoltre un campione primaverile di erbe infestanti.

Il rapporto C/N delle cover crop dipende dalla specie e dallo stadio fenologico in cui avviene la terminazione. In generale, le leguminose sono più ricche di azoto delle crucifere e ancor di più delle graminacee. Quindi sono le specie di questa famiglia che meglio di tutte possono sostenere la nutrizione azotata delle colture da reddito in successione. Per quanto attiene l'effetto dello stadio fenologico, si riscontra che il contenuto di azoto nella biomassa aerea è maggiore nella prima fase vegetativa, quando i tessuti fogliari, ricchi di proteine, sono la principale componente della produzione. Con il procedere dello sviluppo, aumenta la presenza dei tessuti di sostegno (culmi, steli), ricchi di carbonio ma poveri di azoto, cosicché la concentrazione di azoto nella biomassa totale si riduce. Nelle graminacee, il rapporto C/N inizia a crescere dall'avvio della levata e prima della fine di questa fase (all'emergenza della foglia a bandiera) supera il valore di circa 20. Pertanto, esse possono avere interesse sul piano della concimazione azotata solo fino alla fine dell'accestimento o poco oltre.

La senape si comporta similmente alle graminacee, raggiungendo in pre-fioritura valori di C/N tra 20 e 25.

Le leguminose conservano un valore del rapporto C/N basso fino all'inizio della fioritura, momento in cui è massimo il potenziale contributo che possono esprimere per la concimazione della coltura da reddito.

Sulla base dei risultati produttivi delle cover crop registrati nei progetti BENCO e COCROP in occasione dei campionamenti di fine inverno (15-30 marzo) e dei risultati di una prova di incubazione delle cover crop in condizioni di temperatura e umidità del suolo ottimali, si possono ritenere verosimili i valori di rilascio (+) o immobilizzazione (-) di azoto potenzialmente disponibile (Npd) per la coltura in successione riportati nella **Tabella 5.1**.

Naturalmente, l'azoto effettivamente disponibile in campo sarà più basso, in misura variabile, dipendentemente dall'entità delle perdite per lisciviazione e denitrificazione causate dalle precipitazioni e dal ristagno idrico; orientativamente, per una primavera con piovosità media, si può adottare un valore di efficienza intorno all'80%.

Tabella 5.1. Biomassa aerea, rapporto C/N e azoto potenzialmente disponibile (Npd) di alcune cover crop.

Specie	Biomassa aerea	C/N	Npd	
	(t s.s. ha ⁻¹)		(kg N ha ⁻¹)	(kg N t s.s. ⁻¹)
Avena strigosa	2,3	19,8	3	1,3
Segale	2,9	25,4	-10	-3,4
Trifoglio alessandrino	1,5	11,4	10	6,7
Veccia villosa	3,2	10,1	65	20,3
Senape bianca	1,8	21,3	3	1,7
Erbe infestanti	1,6	19	1	0,6

5.2. Quanto dell'azoto assorbito dalle cover crop gelive è potenzialmente disponibile?

Nel corso dell'inverno, le cover crop gelive manifestano una marcata decomposizione delle foglie, in particolare la senape bianca e il rafano *Tillage Radish*® (**Figura 5.2**). Ne consegue che l'azoto contenuto

nella biomassa ancora indecomposta che è presente in campo a fine inverno risulta molto ridotto rispetto a quello rilevabile nel picco di accumulo di biomassa e azoto che si raggiunge verso la metà di novembre; ad esempio, nel caso della senape bianca è solo il 40% circa (per semine eseguite nei primi 15 giorni di settembre).

Il destino dell'azoto non più presente come biomassa può essere la sua conservazione nel suolo oppure la perdita per lisciviazione o denitrificazione, dipendentemente dalla piovosità e dal ristagno idrico. Per quantificare la quota residua nel suolo, che può essere rilevante, e tenerne conto nel calcolo del piano di concimazione, è consigliabile eseguire la determinazione del contenuto di azoto minerale del suolo in pre-lavorazione, eventualmente anche con metodi rapidi di campo (strip test).



Figura 5.2. Stato della senape bianca (a, b) e del rafano Tillage Radish® (c, d) a metà novembre (a, c) ed alla fine di febbraio (b, d).

5.3. Qual è la dinamica di mineralizzazione/immobilizzazione dell'azoto delle cover crop nel suolo?

Sopra, è stato messo in evidenza quale può essere orientativamente il risultato netto dell'incorporazione di una cover crop nel suolo in termini di azoto reso disponibile o sottratto in un ciclo colturale. Ai fini della gestione della concimazione, può però essere interessante conoscere cosa succede all'azoto delle cover crop durante il ciclo colturale. Allo scopo, in **Figura 5.3** sono riportati i risultati di una simulazione della dinamica dell'azoto minerale nel suolo dopo

l'incorporazione in primavera di tre diverse cover crop: una leguminosa (veccia vellutata) ed una graminacea (segale) ingelive e una crucifera geliva (senape bianca). Nella stessa figura è riportato anche l'assorbimento di azoto di una coltura di mais da granella. Nella simulazione sono stati usati i seguenti altri dati:

- biomassa di veccia, senape e segale pari a 3, 2 e 3 t ss ha⁻¹, rispettivamente (**Tabella 5.1**);
- resa del mais di 12,3 t ha⁻¹ di granella al 15,5% di umidità;
- temperature medie di Montanaso Lombardo (LO) del periodo 1993-2012;
- i valori di mineralizzazione/immobilizzazione di azoto delle tre cover crop misurati nel corso di una prova d'incubazione durata 168 giorni;
- dinamica di asportazione di azoto del mais in funzione delle disponibilità termiche pubblicata in un articolo scientifico (Bender et al., 2013);
- il 31 marzo come data di incorporazione delle cover crop nel suolo;
- il 15 aprile come data di semina del mais.

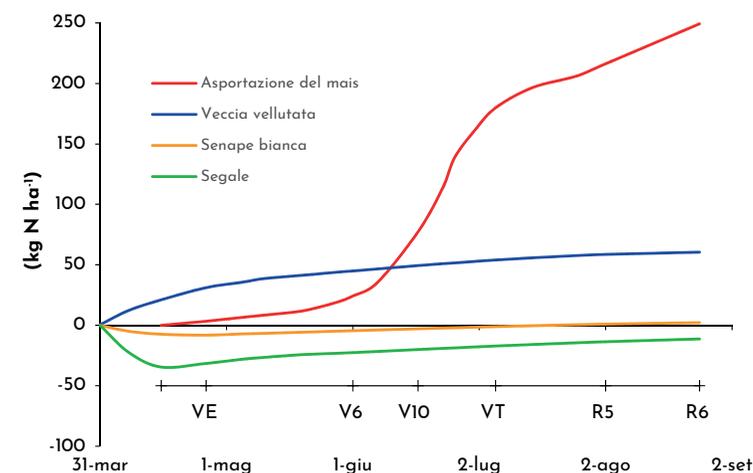


Figura 5.3. Dinamiche di mineralizzazione dell'azoto organico delle cover crop e di assorbimento di azoto minerale del mais. Sotto l'asse X sono riportati alcuni stadi fenologici del mais: emergenza (VE); sesta foglia (V6); decima foglia (V10); fioritura (VT); maturazione cerosa (R5); maturazione fisiologica (R6).

I risultati mettono in evidenza che a seguito dell'incorporazione della vecchia vellutata si ha un rapido rilascio di azoto minerale, che allo stadio di sesta foglia del mais (V6) rappresenta già il 75% del rilascio totale (60 kg ha^{-1}). La segale invece determina una immobilizzazione di azoto nella biomassa microbica del suolo che raggiunge il massimo (circa -35 kg ha^{-1}) dopo 15 giorni dalla sua incorporazione e diminuisce poi gradualmente nel corso di tutto il ciclo colturale, con un saldo finale di circa -11 kg ha^{-1} . La senape bianca, infine, fa rilevare una lieve immobilizzazione iniziale (-8 kg ha^{-1}) ed un saldo finale solo lievemente positivo ($+2 \text{ kg ha}^{-1}$). Tenendo conto di queste dinamiche, oltre a un adattamento delle dosi di concimazione in funzione della cover crop in precessione, appare opportuna anche una diversa tempistica di somministrazione del concime azotato: nel caso della vecchia, non risulta necessaria alcuna somministrazione alla semina e l'intera dose può essere applicata alla sesta-ottava foglia; nel caso della segale, un apporto di azoto in presemina è invece necessario per evitare carenza di azoto e diminuzione di resa; infine, l'effetto della senape può essere sostanzialmente trascurato. Si segnala infine che l'avvicinamento del momento di incorporazione della vecchia nel suolo a quello della semina del mais potrebbe essere utile per migliorare la sincronizzazione tra mineralizzazione e assorbimento.

5.4. Come avviene la cessione di azoto da parte delle cover crop lasciate sulla superficie del suolo come pacciamatura?

Con la terminazione e le eventuali operazioni successive di preparazione del suolo e la semina, la biomassa delle cover crop può essere lasciata sulla superficie del suolo o in esso incorporata esponendola a condizioni che rendono meno o più rapida, rispettivamente, la decomposizione.

La riduzione di massa della vecchia vellutata lasciata sulla superficie del suolo dopo allettamento con rullo allettatore è circa del 40, 60 e 85% dopo 30, 60 e 120 giorni, rispettivamente (biomassa iniziale di circa $3,5 \text{ t ss ha}^{-1}$).

Nel caso delle cover crop con C/N più alto, ad esempio graminacee in levata, la riduzione di massa potrebbe essere più lenta a cau-

sa della limitazione dell'attività della biomassa microbica indotta da carenza di azoto.

L'uso delle cover crop come pacciamatura ha quindi come esito una smussatura del picco iniziale di mineralizzazione e immobilizzazione di azoto, rispettivamente per le cover crop con basso e alto rapporto C/N.

Quando le cover crop vengono terminate per trinciatura, la riduzione è più marcata a causa della maggiore lacerazione dei tessuti. Quindi le dinamiche di mineralizzazione/immobilizzazione di azoto si avvicinano a quelle delle cover crop incorporate nel suolo.



Scheda 6 - Le cover crop per la riduzione della lisciviazione dei nitrati

6.1 La lisciviazione dei nitrati

Mentre la maggior parte dell'azoto contenuto in un terreno agrario (indicativamente $3000 - 6000 \text{ kg ha}^{-1}$) è in forma organica e quindi non è immediatamente disponibile per le piante e nemmeno facilmente spostato dall'acqua che si muove nel terreno, una piccola parte (di solito inferiore al centinaio di kg ha^{-1}) è in forma inorganica, detta anche minerale (ammonio e soprattutto nitrato). Le forme inorganiche sono assorbibili da parte delle piante; inoltre il nitrato, non trattenuto dal complesso di scambio del terreno, è facilmente dilavabile con le acque di drenaggio.

Durante l'autunno è possibile che nel terreno si accumulino nitrati per due principali ragioni. La prima è che la concimazione azotata alla coltura estiva appena raccolta potrebbe essere stata in eccesso rispetto alle asportazioni colturali (sia perché la dose di concime non era stata calibrata bene, sia perché eventi inattesi come uno stress idrico potrebbero avere ridotto la produttività e quindi le asportazioni colturali rispetto a quanto atteso). La seconda ragione è che l'azoto organico viene mineralizzato (cioè trasformato in forma ammoniacale) e poi successivamente nitrificato dai microrganismi presenti nel terreno. In mancanza di piante che assorbano l'azoto minerale, questo tende ad accumularsi nel terreno.

Durante l'autunno, però, l'accumulo non può durare a lungo perché il clima autunnale delle nostre regioni è caratterizzato da bassi tassi di evaporazione ed elevate precipitazioni. Come conseguenza, gli episodi di drenaggio (movimento dell'acqua nel suolo verso il basso, oltre la zona occupata dalle radici) sono più frequenti e più intensi che in estate (**Figura 6.1**).

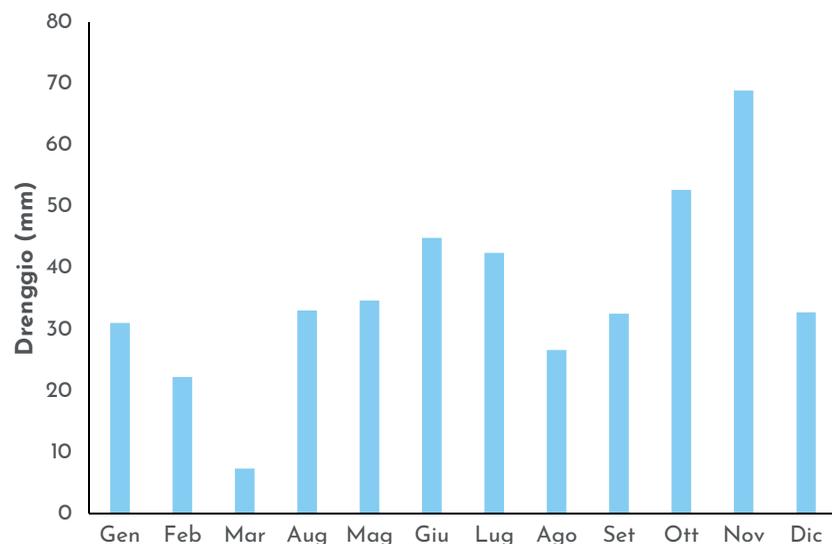


Figura 6.1 Drenaggio medio mensile.

L'acqua di drenaggio che si sposta verso il basso a causa della forza di gravità trascina con sé i nitrati presenti nella soluzione circolante del suolo verso gli strati più profondi del suolo, dando luogo al fenomeno chiamato "lisciviazione". Quando i nitrati superano la profondità cui arriveranno le radici della successiva coltura da reddito, possono essere considerati definitivamente persi, cioè non più recuperabili dalle piante che saranno coltivate in quell'appezzamento. Tale problema è esacerbato in caso di suolo nudo durante l'autunno, poiché in mancanza di una copertura vegetale la quantità di nitrati disponibili per la lisciviazione è maggiore che quando è presente una coltura. La perdita di nitrati, oltre a rappresentare un danno economico (poiché dell'azoto potenzialmente utile per le colture viene allontanato in modo irreversibile dal suolo), esita uno scadimento della qualità delle acque superficiali (contribuendo all'eutrofizzazione) e profonde (limitandone la potabilità).

Il problema della lisciviazione dei nitrati è particolarmente rilevante nei contesti in cui da un lato esiste un'ampia dotazione di azoto facilmente mineralizzabile nel terreno (come nelle aziende zootecniche) e dall'altro le caratteristiche fisiche del suolo rendono più facili le perdite di acqua per drenaggio (es. suoli a tessitura grossolana).

6.2 Il ruolo delle cover crop nella riduzione della lisciviazione dei nitrati

Rispetto al caso di terreno nudo, le cover crop possono ridurre la lisciviazione dei nitrati perché durante la loro crescita assorbono sia l'acqua sia i nitrati e ne riducono quindi le quantità presenti nel terreno. Di conseguenza, si verifica una diminuzione sia della quantità di acqua drenata sia della sua concentrazione di nitrati.

6.3 L'azoto asportato dalle cover crop

Per quanto sopra esposto, l'azoto asportato dalle cover crop è una grandezza che determina una parte importante dell'effetto di riduzione della lisciviazione di nitrati: tutto l'azoto asportato dalle cover crop durante l'autunno è sottratto almeno temporaneamente al rischio di essere lisciviato. La **Figura 6.2** riporta a titolo esemplificativo i risultati di alcuni recenti esperimenti condotti in ambienti lombardi e mostra che l'entità dell'asportazione di azoto dipende dalla produzione di biomassa. Nel caso delle leguminose, però, non tutto l'azoto presente nella biomassa è stato sottratto al terreno, perché in parte deriva dall'azotofissazione simbiotica. La **Figura 6.2** indica che l'azoto asportato dalle cover crop può raggiungere livelli molto importanti, spesso superiori a quelli del controllo inerbato spontaneamente con vegetazione infestante.

La quantità di azoto asportata dalle cover crop dipende da diversi fattori. Innanzitutto, come mostrato dalla **Figura 6.2**, la specie gioca un ruolo molto importante. È da notare che le leguminose (vecce e trifogli) possono asportare anche più azoto delle non leguminose (quali ad esempio avena, frumento, orzo, loglio italico, segale, senape, rafani e Tillage Radish®) grazie all'azotofissazione.

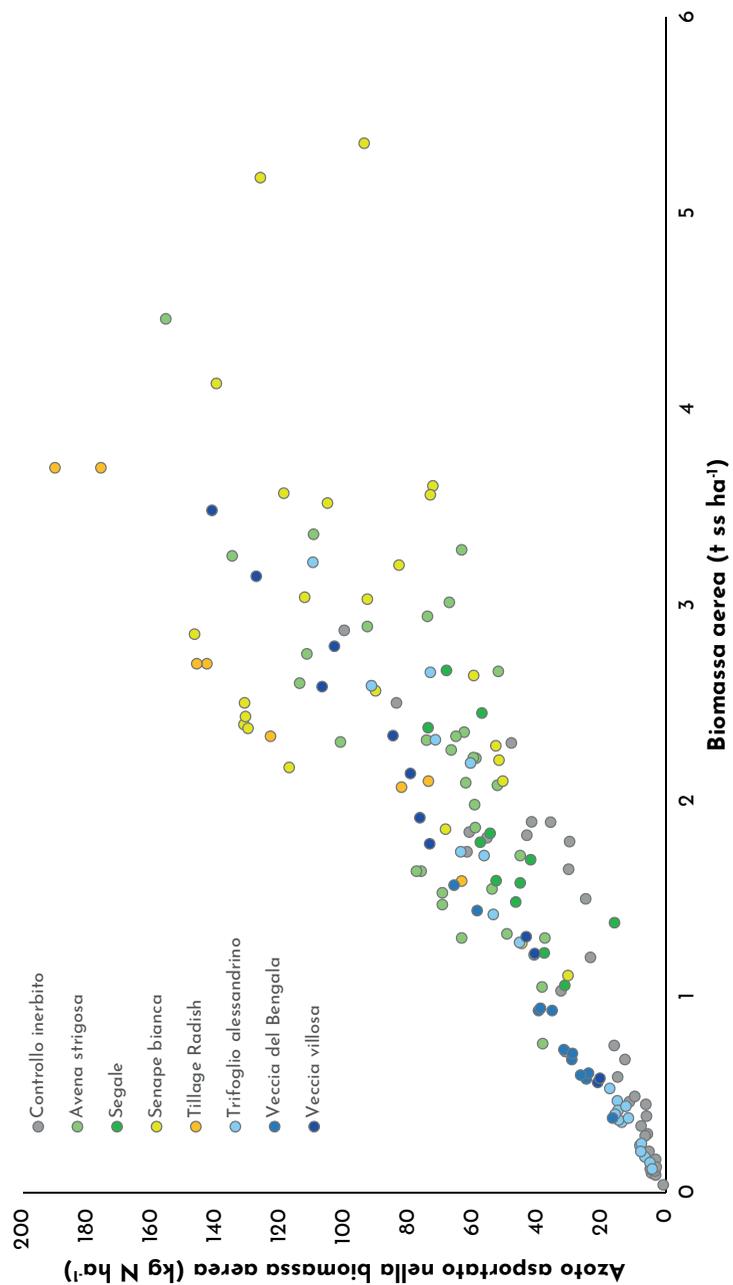


Figura 6.2 Azoto asportato in relazione alla biomassa aerea di diverse specie di cover crop coltivate in purezza, a confronto con un controllo inerbito spontaneamente. Valori misurati nell'autunno del 2017 e 2018 (seconda decade di novembre) su cover crop seminate in settembre, nell'ambito dei progetti COCROP e BENCO.

Nelle prove da noi condotte la crescita e quindi l'asportazione di azoto delle leguminose si è verificata maggiormente in primavera, quando la vecchia vellutata ha raggiunto asportazioni di 76-201 kg N/ha e biomasse comprese tra 1.4 e 4.8 t ss/ha. Altri fattori molto importanti che regolano la crescita e l'asportazione di azoto delle cover crop sono quelli atmosferici (principalmente temperatura, radiazione e precipitazioni), che a loro volta influenzano la disponibilità idrica e in parte anche la disponibilità di azoto minerale nel terreno (che come già anticipato dipende anche dalla gestione e dalla sostanza organica del terreno).

La **Figura 6.3** mostra l'effetto della disponibilità di azoto minerale alla semina delle cover crop sull'asportazione di N in autunno di alcune cover crop. Si vede che per tutte le cover crop una maggiore disponibilità di azoto minerale ha aumentato l'azoto asportato in autunno.

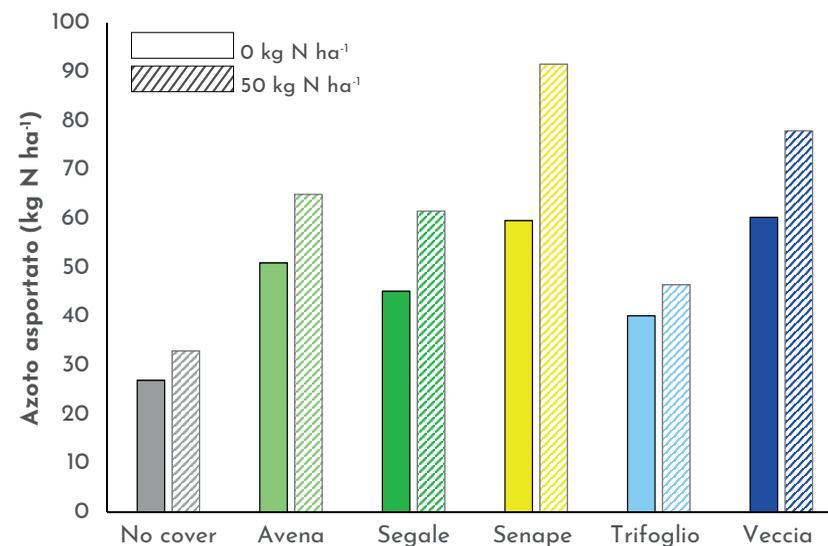


Figura 6.3 Azoto asportato da avena strigosa, segale, senape bianca, trifoglio alessandrino e vecchia villosa in autunno (seconda decade di novembre) in funzione della disponibilità di azoto minerale nel terreno al momento della semina. Dati medi ottenuti nell'ambito del progetto COCROP nel 2017 e 2018 a Sant'Angelo Lodigiano (LO).

Un ultimo importante fattore da menzionare è la data di semina. Semine anticipate consentono di sfruttare meglio la radiazione e le temperature favorevoli alla crescita del periodo autunnale e quindi di ottenere maggiori tassi di crescita e di asportazione dell'azoto rispetto a semine tardive. La **Figura 6.4** mostra l'effetto dell'epoca di semina: nelle condizioni sperimentali una semina ritardata ha penalizzato le leguminose, a causa di una marcata riduzione del tasso di crescita. Invece, le cover crop non leguminose seminate più tardi sono riuscite, a causa di un ridotto drenaggio autunnale, ad assorbire quantità di azoto simili a quelle ottenute nella prima epoca di semina.

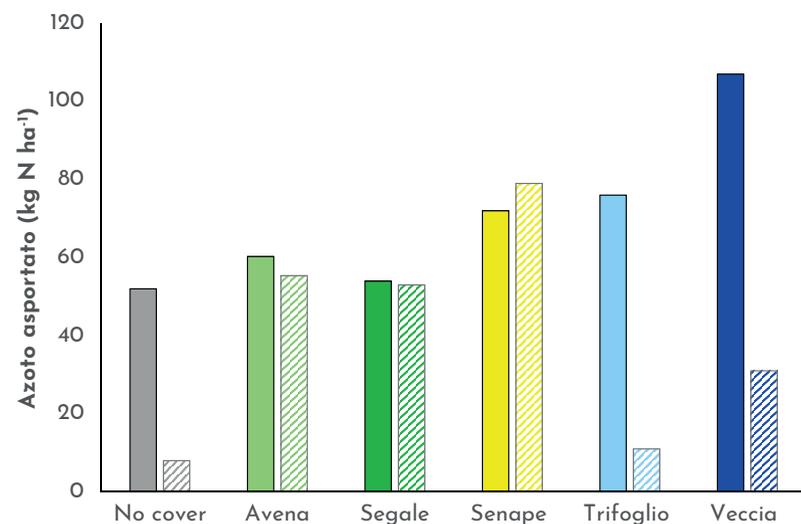


Figura 6.4 Azoto asportato da avena strigosa, segale, senape bianca, trifoglio alessandrino e veccia villosa in autunno (seconda decade di novembre) in funzione dell'epoca di semina (a sinistra con campitura piena: prima metà di settembre; a destra con campitura barrata: seconda metà di settembre). Dati medi ottenuti nell'ambito del progetto COCROP nel 2017 e 2018 a Sant'Angelo Lodigiano (LO) e Orzinuovi (BS).

6.4 A quanto ammonta e da cosa dipende la riduzione della lisciviazione

Poiché tutto l'azoto che incorporano nei propri tessuti deriva dal terreno, le specie non leguminose riescono a ridurre di molto la lisciviazione dell'azoto. Gli studi di meta-analisi, che sintetizzano i risultati di molte ricerche svolte in diversi contesti pedo-climatici e colturali, indicano che in media la riduzione della lisciviazione dovuta alla presenza di cover crop non leguminose rispetto a un controllo senza cover crop è del 56-70%. Invece il contributo alla riduzione della lisciviazione delle specie leguminose (che utilizzano non solo l'azoto del terreno ma anche quello dell'atmosfera) è inferiore: esso viene valutato come trascurabile da alcune fonti e fino al 50% da altre. Di conseguenza se le cover crop sono coltivate soprattutto per ridurre le perdite di nitrati la scelta deve orientarsi verso specie non leguminose.

Oltre ai fattori che influenzano l'asportazione di azoto da parte della cover crop, discussi sopra, l'andamento meteorologico autunnale ha un ruolo molto importante nel determinare la riduzione della lisciviazione operata dalle cover crop. Perché la riduzione si verifichi è necessario infatti che le condizioni meteorologiche autunnali siano tali da assicurare il mantenimento dei nitrati nel suolo (assenza di drenaggio) finché la cover crop è in attiva crescita (settembre-ottobre). Se sussistono tali condizioni, come ad esempio nell'autunno 2017 (**Figura 6.5**), le cover crop possono ridurre marcatamente il contenuto di azoto minerale del terreno: l'assenza di drenaggio fino alla fine di ottobre ha infatti consentito il mantenimento di elevate disponibilità di azoto minerale nel terreno fino al mese di novembre, come mostrato dai valori del controllo senza cover crop (in particolare nelle prime due aziende). Viceversa, molti dei trattamenti con cover crop mostrano contenuti di azoto minerale inferiori al controllo senza cover crop. Il trattamento con cover crop mostra quindi, per diverse specie, soprattutto non leguminose, un minor rischio di perdite di nitrati per lisciviazione.

Viceversa, se il drenaggio inizia presto in autunno e la cover crop non fa in tempo a crescere a sufficienza per asportare i nitrati prima che questi siano trasportati in basso, la riduzione della lisciviazione è

meno evidente o trascurabile. Infine, se il periodo autunnale e invernale è caratterizzato da scarse precipitazioni la lisciviazione non si verifica neanche nei terreni nudi e quindi la presenza delle cover crop non apporta consistenti vantaggi rispetto alla loro assenza.

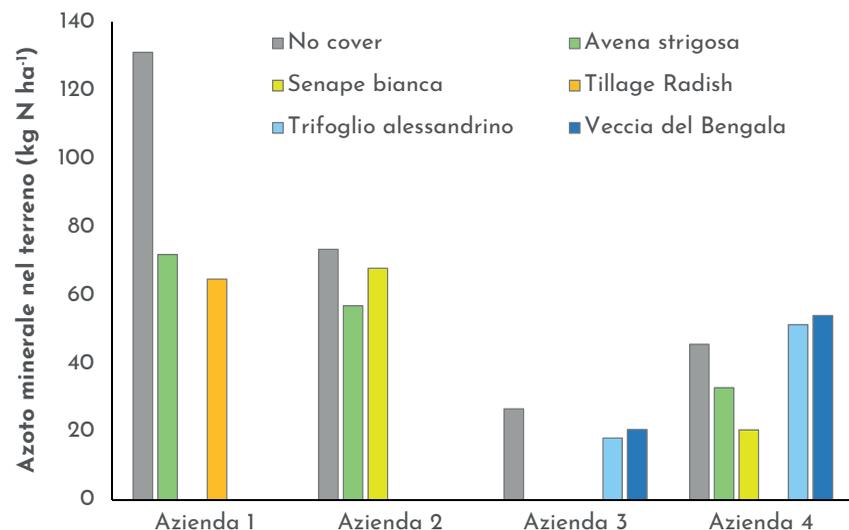


Figura 6.5 Contenuto di azoto minerale del terreno (0-30 cm) misurato nella seconda decade di novembre 2017 in esperimenti di confronto tra avena strigosa, senape bianca, Tillage Radish®, trifoglio alessandrino, veccia del Bengala e un controllo senza cover crop inerbito spontaneamente. Sono presentate solo le specie effettivamente coltivate nelle diverse aziende. Valori misurati nell'ambito del progetto BENCO.

L'azoto assorbito dalla cover crop autunnale può essere in parte reso disponibile, attraverso la decomposizione dei suoi tessuti, alla successiva coltura da reddito primaverile-estiva, influenzandone quindi anche la resa. Si rimanda alla scheda relativa alla gestione dell'azoto nella coltura successiva alla cover crop per maggiori informazioni su questo argomento. Nel caso delle cover crop gelive la decomposizione della biomassa può avvenire completamente o in parte prima dell'avvio della coltura da reddito (es. Tillage Radish® o foglie di senape); in questo caso è probabile che una par-

te dell'azoto assorbito dalla cover crop non sia disponibile per la coltura che segue perché messo a disposizione troppo in anticipo.



Scheda 7 - Gli effetti delle cover crop sulle proprietà del terreno

Le cover crop hanno una molteplicità di effetti sul terreno, poiché ne influenzano le proprietà chimiche, fisiche e biologiche.

7.1 Sostanza organica

Il primo e più importante effetto delle cover crop sulle proprietà del terreno è legato all'apporto di sostanza organica. Gli apporti di sostanza organica non consistono solo della biomassa radicale e aerea che il terreno riceve dopo la terminazione della cover crop (**Figura 7.1**), ma anche delle parti di radici e foglie che muoiono durante il ciclo di vita delle piante e degli essudati radicali. Tali apporti consentono di bilanciare la diminuzione del contenuto di sostanza organica del terreno, che avviene a causa dei processi naturali di mineralizzazione della stessa operati dalla microflora. Il risultato è che, rispetto a un terreno nel quale non vengono coltivate le cover crop, mediamente si può riscontrare un maggiore contenuto di sostanza organica quando le cover crop sono presenti. L'aumento del contenuto di sostanza organica dipende dal numero di anni in cui le cover crop sono state coltivate (in generale, l'effetto è maggiore dopo periodi prolungati che dopo periodi più brevi), dalla produttività aerea e radicale delle cover crop (che determinano la quantità di residui organici restituiti al terreno), e dal tipo di terreno (che influenza la velocità di decomposizione dei residui). L'effetto della specie di cover crop (che può influenzare la qualità dei residui e quindi la loro velocità di decomposizione) non è sempre riscontrabile. Dipendendo da così tanti fattori, l'incremento di sostanza organica a seguito dell'utilizzo di cover crop è estremamente variabile, e non è detto che possa essere riscontrato in tutti i casi. Recenti sintesi dei risultati degli esperimenti disponibili hanno confermato che in generale si osserva un maggiore contenuto di

sostanza organica nei terreni coltivati con le cover crop rispetto ai controlli senza cover crop (+9%), pur a fronte di una grande variabilità degli incrementi annuali misurati, che superano in rari casi i 3000 kg C ha⁻¹ anno⁻¹, ma che in molti altri sono inferiori a 500 kg C ha⁻¹ anno⁻¹; il valore medio è di circa 300 kg C ha⁻¹ anno⁻¹. L'effetto sarebbe più evidente per i suoli a tessitura fine, e minore per quelli a tessitura grossolana.



Figura 7.1 Biomassa di senape alla fine dell'inverno (febbraio 2018). La semina era stata eseguita all'inizio del mese di settembre 2017.

7.2 Azoto organico

Strettamente collegato all'aumento di carbonio organico nel terreno è quello dell'azoto organico. Le cover crop, infatti, possono contenere importanti quantità di azoto nei loro residui e di conseguenza contribuire ad aumentarne la concentrazione nel terreno dopo che sono state distrutte e lasciate sul terreno, o incorporate nello stesso. In particolare, è stato riscontrato un aumento della frazione mineralizzabile di azoto, cioè della parte che più facilmente può essere trasformata in forma ammoniacale. Tale aumento è rilevabile solo per

le leguminose in purezza e per i miscugli che le contengono, mentre le cover crop non leguminose (come le graminacee e le brassicacee) non danno luogo a questo aumento. L'effetto è spiegabile grazie al fatto che le leguminose traggono dall'atmosfera parte dell'azoto accumulato nei loro tessuti e quindi di norma accumulano quantità maggiori di questo elemento rispetto alle specie non leguminose.

7.3 Altri nutrienti

Le cover crop non svolgono un effetto di cattura solo dell'azoto ma anche di altri elementi mobili, come il calcio e il potassio, che sono asportati dalle radici negli strati di suolo profondi e restituiti in superficie attraverso la biomassa aerea. Anche se il fosforo di solito non è soggetto a perdite per lisciviazione come l'azoto, le cover crop svolgono un ruolo benefico anche per questo elemento aumentandone la disponibilità. I meccanismi sono diversi. Alcune cover crop secernono degli acidi che possono solubilizzare parte del fosforo immobilizzato, rendendolo quindi utilizzabile dalle piante. In altri casi i funghi associati alle radici di alcune cover crop (micorrize) possono migliorare l'assorbimento del fosforo dal suolo; l'elemento è poi incorporato nella biomassa radicale e aerea della cover crop, che lo restituirà in forma organica al terreno al momento della terminazione.

7.4 Proprietà fisiche del terreno

L'aumento di sostanza organica porta con sé anche dei benefici relativi alle proprietà fisiche del terreno. I composti formati durante la decomposizione della sostanza organica, infatti, favoriscono l'aggregazione delle particelle di terreno, insieme a radici e microorganismi. La formazione degli aggregati consente quindi la creazione di porosità, cioè di spazi vuoti indispensabili per contenere e far circolare l'aria e l'acqua nel terreno.

Di conseguenza, l'utilizzo di cover crop può aumentare la porosità, può ridurre la densità apparente del terreno, può aumentare l'aggregazione delle particelle e può incrementare la velocità di infiltrazione dell'acqua.

La protezione fisica del suolo dall'azione battente delle piogge, svolta principalmente dall'apparato aereo delle cover crop, congiuntamente al miglioramento della quantità e stabilità di struttura sopra riferite, consentono inoltre una riduzione del distacco e del trasporto di suolo dovuto al ruscellamento. Infine, il migliore stato di aggregazione può rendere più facili le lavorazioni e ridurre la formazione della crosta superficiale. Nonostante venga citato come effetto positivo delle colture di copertura, l'aumento della capacità di ritenzione idrica del terreno come conseguenza dell'aumento della sostanza organica non è estesamente documentato.

Un effetto generalmente indesiderato della presenza di residui di cover crop sulla superficie del terreno è la riduzione della sua temperatura a causa dell'ombreggiamento da parte della vegetazione. Tale problema è particolarmente sentito in prossimità della terminazione della cover crop e della semina della coltura da reddito successiva. Il contenuto idrico del terreno, infine, dipende molto dal contesto meteorologico e dalla cover crop. In generale, soprattutto negli strati superficiali che possono perdere acqua per evaporazione, esso può aumentare alla fine dell'inverno a causa dell'effetto pacciamante che in presenza di cover crop riduce tali perdite. Viceversa, i consumi idrici della cover crop in climi con scarse precipitazioni invernali possono ridurre la disponibilità di acqua per la coltura primaverile in successione.

Gli effetti sulla struttura del suolo sono differenziati in base alla specie. In generale, leguminose e brassicacee tendono a esercitare più un'azione in profondità grazie all'apparato radicale fittonante, mentre le graminacee hanno effetti più superficiali avendo un apparato radicale fascicolato. Va tuttavia ricordato che, così come l'aumento del contenuto di sostanza organica, anche il miglioramento delle proprietà fisiche del terreno dipende non solo dalla specie ma anche dalla quantità di biomassa aerea e radicale prodotta dalle cover crop e lasciata in loco.

7.5 Proprietà biologiche del terreno

In generale le cover crop, apportando nuova biomassa al terreno, ne favoriscono l'attività biologica in confronto ai terreni in cui le cover crop non sono presenti. Si riscontrano infatti aumenti della microfauna, della biomassa microbica del suolo e della loro attività

(es. respirazione del terreno, attività enzimatica). Inoltre le cover crop possono ridurre la presenza di erbe infestanti (si veda la scheda dedicata a questo argomento).

Tuttavia, poiché le reazioni alle cover crop dei vari organismi che vivono nel terreno sono estremamente complesse e diversificate, è difficile dare indicazioni generalizzabili, a parte alcune che più frequentemente emergono dalle ricerche finora condotte, ricerche che peraltro coprono solo parzialmente questo esteso e complesso argomento.

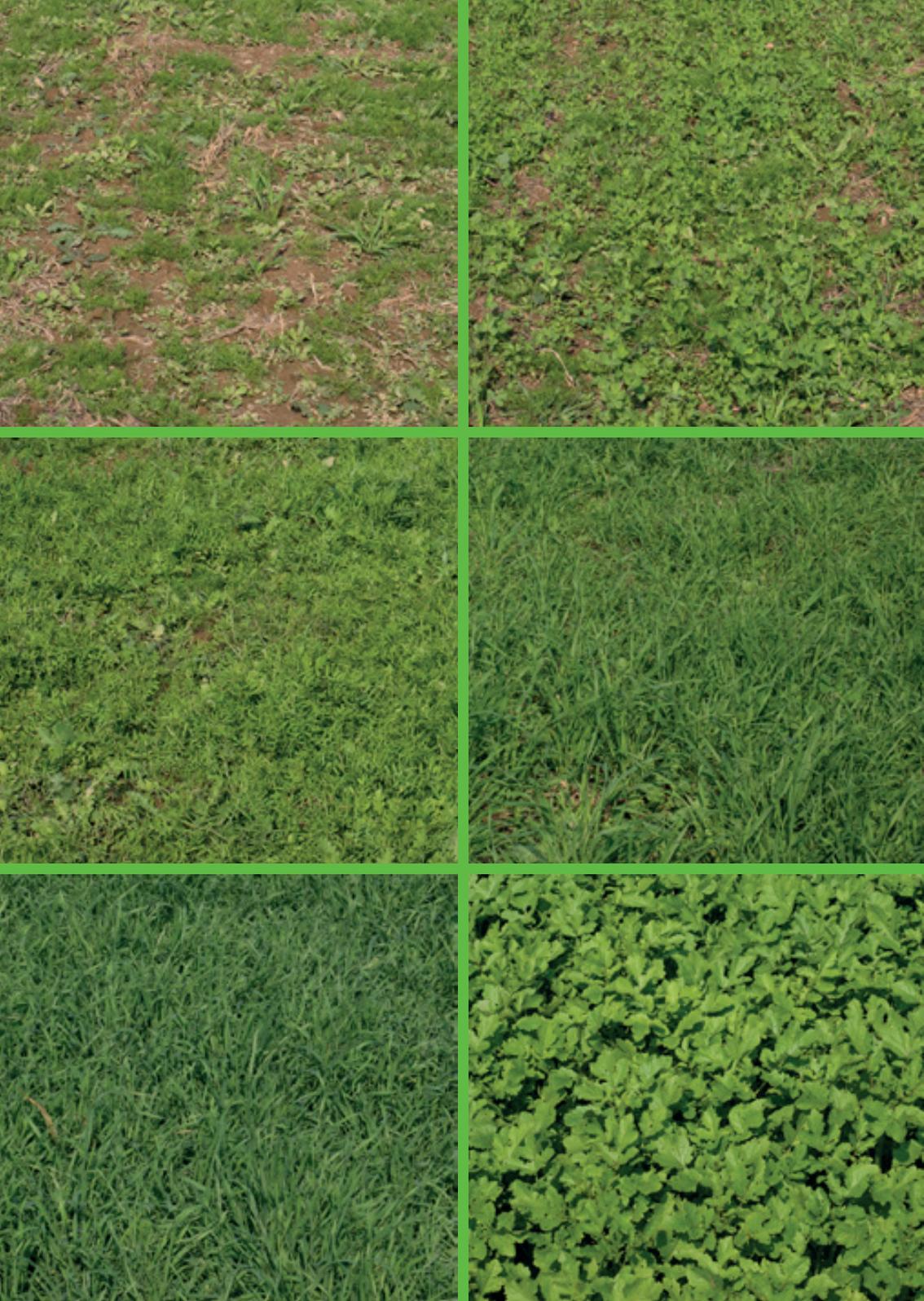
Tra gli aspetti positivi che emergono più frequentemente vi sono: l'aumento dell'attività biologica dei suoli, che promuove la diversità dei nematodi e quindi il loro controllo; e l'effetto allelopatico di alcune specie e varietà di brassicacee e graminacee su alcuni patogeni e nematodi (come ad esempio quella della senape bianca su *Heterodera schachtii*, nematode parassita della barbabietola).

Tra gli aspetti negativi delle cover crop è importante notare: l'aumento delle popolazioni di limacce; lo stimolo di agenti fitopatogeni da parte di alcune specie di cover crop anche tramite la possibilità per le cover crop di fungere da ospiti per parassiti e patogeni; l'estrema variabilità delle risposte di malerbe, patogeni e parassiti alle cover crop, causata da fattori agronomici come le lavorazioni; il fatto che le stesse cover crop possono essere attaccate da patogeni e parassiti (es. **Figura 7.2**).

Su questi temi si evidenzia quindi un importante ed esteso fabbisogno di ricerca.



Figura 7.2 Attacco parassitario di *Athalia rosae* su foglia di Tillage Radish®.



Scheda 8 - Controllo delle erbe infestanti in agricoltura biologica tramite le cover crop

Le cover crop possono essere uno strumento utile per il controllo delle erbe infestanti in agricoltura organica accanto alle rotazioni e agli interventi meccanici, ossia in sistemi colturali in cui vengono combinati opportunamente metodi diretti e metodi indiretti di controllo delle erbe infestanti. In termini generali, le cover crop possono consentire un adeguato controllo delle malerbe nei periodi intercolturali e in pre-emergenza della coltura. Nel corso della crescita della coltura, l'effetto di inibizione della germinazione e della crescita delle erbe infestanti è decrescente e si può rivelare insufficiente avendo quindi come conseguenza un calo di resa.

8.1 Le cover crop come contrastano la flora infestante?

I meccanismi con cui le cover crop possono limitare la presenza di erbe infestanti sono tre: la competizione per la luce e gli elementi nutritivi, l'allelopatia, e l'influenza sulla dinamica di mineralizzazione/immobilizzazione dell'azoto nel suolo. In caso di pacciamatura costituita con i residui delle cover crop è rilevante anche l'impedimento fisico che essa pone all'emergenza delle plantule.

8.1.1 Competizione per la luce

L'intercettazione della luce e il conseguente ombreggiamento delle parti sottostanti è il principale meccanismo con cui le cover crop possono reprimere le erbe infestanti.

◀ **Figura 8.1.** Copertura del suolo e contrasto delle erbe infestanti espresse da diverse cover crop 38 giorni dopo la semina (semina eseguita il 6 settembre 2017) a Sant'Angelo Lodigiano. Da sinistra a destra e dall'alto al basso: controllo, trifoglio alessandrino, veccia vellutata, avena strigosa, senape bianca.

L'intercettazione della luce dipende dalla quantità di superficie fogliare e dal portamento delle foglie: all'aumentare della quantità di superficie fogliare e con il passaggio da un portamento verticale delle foglie ad uno orizzontale, l'intercettazione aumenta. Sotto una copertura vegetale ombreggiante la germinazione dei semi può essere inibita a causa dell'inidoneità della luce filtrata (basso rapporto tra luce rossa e infrarossa) a indurne l'avvio. La crescita dei germi- nelli risulta inoltre stentata per la limitata attività fotosintetica. All'i- nibizione della germinazione contribuisce anche la ridotta escursione termica diurna che si verifica al disotto della copertura vegetale. La competitività delle diverse specie è strettamente correlata con la velocità iniziale di crescita e intercettazione della luce (Figura 8.1). La scelta delle specie di cover crop e la tecnica colturale sono quindi aspetti che devono essere coerentemente finalizzati. La quantità di biomassa, rilevata a fine autunno, che risulta efficace nel contenimento delle erbe infestanti si aggira intorno a 4 t/ha (Figura 8.2).

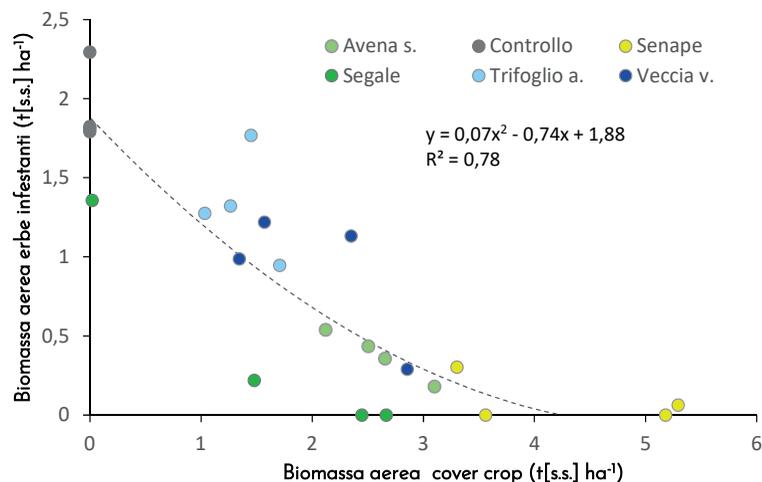


Figura 8.2 Riduzione della biomassa di erbe infestanti in relazione alla biomassa di cover crop. Il grafico comprende tesi di controllo senza cover crop e le seguenti cover crop: senape bianca, avena sativa, segale e veccia vellutata. I dati derivano dal progetto CoCrop e sono relativi alla semina eseguita all'inizio del mese di settembre ed al rilievo eseguito a metà novembre.

Anche il controllo delle erbe infestanti attuato a mezzo di pacciamatura da cover crop si basa sull'intercettazione della radiazione e l'ombreggiamento del suolo. Essendo però minima la variazione compositiva della luce nel corso dell'attraversamento della pacciamatura, l'effetto d'inibizione della germinazione è minore. La massa minima efficace di pacciamatura risulterebbe essere di circa 8 t/ha e lo spessore di circa 10 cm.

8.1.2 Allelopatia

L'allelopatia è un fenomeno biologico comune consistente nella produzione da parte di un organismo di composti biochimici capaci di influenzare la crescita, la sopravvivenza, lo sviluppo e la riproduzione di altri organismi. Con tale meccanismo le piante si contendono lo spazio e si difendono da parassiti e patogeni. Anche i residui colturali possono rilasciare nel suolo sostanze allelopatiche. L'efficacia di estratti di piante nell'inibire la germinazione di semi e la crescita delle plantule di erbe infestanti è ampiamente documentata in letteratura. Le sostanze allelopatiche rientrano in diverse classi chimiche ed una singola specie può contenere diverse sostanze allelopatiche: dalla segale ne sono state isolate 16. Tra le principali specie utilizzabili come cover crop è stato documentato il potenziale allelopatico di diverse specie, tra cui: segale (contro gramigna indiana, amaranto comune, portulaca e farinello bianco), sorgo bicolor (contro scagliola minore, farinello bianco, romice dentato e villucchio comune), senape bianca (contro cencio molle) ed erba medica (contro giavone).

Nelle condizioni di campo, considerando coperture vegetali o pacciamature da cover crop, la comprensione dell'effetto specifico delle sostanze allelopatiche sulla germinazione e l'emergenza è complicata dal fatto che esso si somma all'effetto dell'estinzione della luce e, nel caso della pacciamatura, all'effetto dell'impedimento fisico all'emergenza.

Le limitazioni a un uso pratico e articolato dell'allelopatia per il controllo delle erbe infestanti derivano inoltre dalle seguenti problematiche: la concentrazione di sostanze allelopatiche varia nelle diverse varietà di una stessa specie ed è influenzata dalla concimazione azotata; lo stato di stress e l'età delle piante influenzano la produzione ed il rilascio di sostanze allelopatiche; lo spettro d'a-

zione delle sostanze allelopatiche è noto molto limitatamente e la persistenza di queste molecole è molto influenzata dal tipo di suolo e dalle condizioni meteorologiche.

8.1.3 Impedimento fisico all'emergenza delle plantule

Per riuscire ad emergere in presenza di pacciamatura prodotta con cover crop, le erbe infestanti devono allungare il fusticino aggirando gli elementi della pacciamatura (foglie e fusti stratificati e irregolarmente disposti). Il numero di strati pacciamanti, la disponibilità di spazi all'interno di tali strati e la quantità di sostanze di riserva contenute nei semi (grezzamente, la dimensione dei semi) sono le variabili che governano il controllo fisico della flora infestante da parte della pacciamatura.

8.1.4 Influenza sulla disponibilità di azoto assimilabile dalle piante nel corso della decomposizione dei residui delle cover crop

I residui delle cover crop, dipendentemente dalla specie e dallo stadio fenologico al momento della terminazione, possono incrementare o ridurre la concentrazione di nitrato nel suolo influenzando di conseguenza la germinazione e la crescita delle erbe infestanti. I residui di cover crop leguminose, fino alla fioritura, e così pure i residui di cover crop non leguminose terminate in fase vegetativa, possono incrementarla, favorendo così la germinazione e la crescita delle erbe infestanti. Diversamente, i residui di cover crop non leguminose terminate in fase vegetativa avanzata, e nel caso delle graminacee già dalla fase di levata, possono ridurre la disponibilità di azoto e attenuare così la germinazione e la crescita delle erbe infestanti. Il diverso comportamento di questi residui è in accordo con il loro diverso rapporto C/N (vedi scheda 5).

8.2 Quali cover crop sono adatte per il controllo delle erbe infestanti?

Le caratteristiche che principalmente influenzano la capacità di una cover crop di controllare le erbe infestanti sono la prontezza di germinazione, la precoce copertura del suolo e la produttività. Quando una cover crop è destinata alla produzione di pacciamatura, è inoltre molto importante la persistenza dei suoi residui dopo la terminazione.

Da una recente meta-analisi della bibliografia relativa ad esperimenti principalmente statunitensi è emerso che le specie molto efficaci nel contenimento della flora infestante, fino a quattro settimane dopo la terminazione, sono segale, avena, triticale, frumento, loietto, sorgo sudanese, trifoglio incarnato, veccia vellutata, sorgo bicolor, trifoglio alessandrino e trifoglio resupinato. Altri autori hanno riportato buone prestazioni da parte di senape bianca, rafano e grano saraceno. Nell'ambito dei progetti CoCrop e BENCO condotti nella pianura lombarda, le specie che hanno espresso le maggiori capacità produttive e di contenimento delle malerbe sono state la senape bianca, il rafano e l'avena strigosa (**Figura 8.3**); La segale ha fornito produzioni basse al secondo anno, abbassando così la sua media produttiva, a causa di un attacco di larve di lepidotteri.

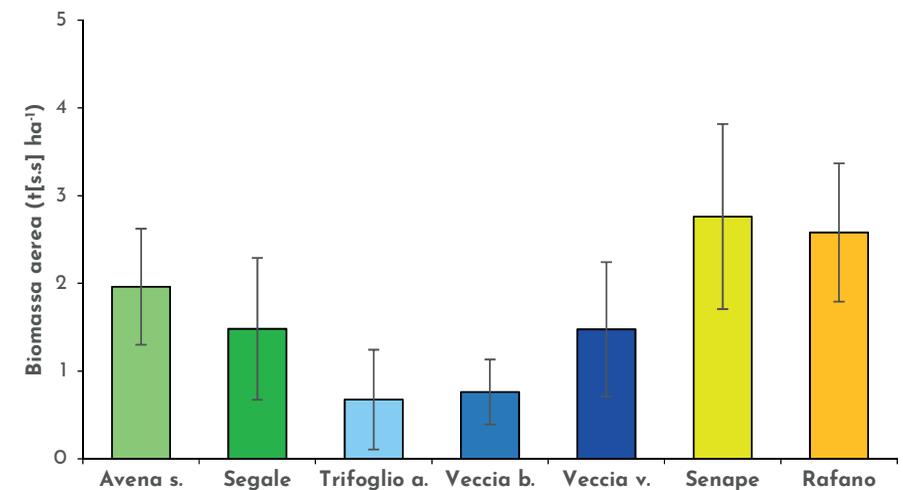


Figura 8.3 Biomassa aerea di cover crop rilevata in due anni di prove condotte nell'ambito dei progetti BENCO e CoCrop nel mese di settembre ed al rilievo eseguito a metà novembre.

In **Tabella 8.1** le specie di cover crop utili al controllo delle malerbe vengono raggruppate per periodo di semina e durata potenziale.

Rispetto alle leguminose, i cereali esprimono generalmente un maggior controllo delle erbe infestanti a causa della maggiore produzione di biomassa e della maggiore velocità iniziale di crescita. Le minori performance delle leguminose si rilevano particolarmente alle basse temperature. Pertanto, nel caso delle semine che seguono le colture estive è importante anticipare il più possibile la data di semina. Differenze di produzione dovute a 15 giorni di ritardo nella semina sono presentate in **Tabella 8.2**.

Rispetto alla scelta tra la semina di una cover crop pura oppure di un miscuglio, occorre mettere in evidenza che, ai fini del controllo delle

Tabella 8.1 Periodi di semina e durata potenziale di cover crop utili per il contenimento della flora infestante. Quando la durata potenziale della cover crop eccede il momento utile per la semina delle colture da reddito si rende necessario un intervento di terminazione.

Periodo di semina	Durata potenziale fino a:	Specie
Metà-fine luglio	Metà-fine ottobre	Sorgo, panico, vigna, crotalaria
Inizio settembre	Novembre-dicembre	Rafano, senape bianca, avena strigosa
Settembre-ottobre	Giugno	Segale e altri cereali autunno vernini, veccia vellutata

Tabella 8.2 Produzione media di biomassa di diverse cover crop in funzione del periodo di semina. I rilievi produttivi sono stati eseguiti intorno al 20 novembre nelle prove del progetto CoCrop realizzate a Sant'Angelo Lodigiano e Orzinuovi.

Cover crop	Periodo di semina	Biomassa aerea (t di s.s./ha)	
		2017-2018	2018-2019
Avena strigosa	Inizio settembre	2,8	1,8
	Metà settembre	2,1	1,1
Senape bianca	Inizio settembre	4,7	2,4
	Metà settembre	2,9	1,4
Segale	Inizio settembre	2,2	0,9
	Metà settembre	1,9	1,0
Trifoglio alessandrino	Inizio settembre	1,3	1,5
	Metà settembre	0,6	0,2
Veccia villosa	Inizio settembre	2,3	1,9
	Metà settembre	1,2	0,6

erbe infestanti, i miscugli non hanno dimostrato capacità superiori a quelle delle colture pure a parità di produzione di biomassa. L'aspetto prioritario da valutare in ogni caso è la produttività. Chiaramente, i miscugli possono essere utili quando si vogliono conseguire molteplici obiettivi ma perché essi possano essere efficaci nel controllo delle erbe infestanti è importante che in fase di progettazione venga posta attenzione sulla produttività delle specie impiegate.

8.3 Come gestire le cover crop finalizzate al controllo delle erbe infestanti?

Abbiamo visto che le cover crop possono essere efficaci nel controllo delle erbe infestanti se riescono a insediarsi rapidamente e se riescono a produrre quantità elevate di biomassa. Elenchiamo quindi di seguito gli aspetti dell'agrotecnica da tenere in considerazione per assicurare questi requisiti.

Al momento della semina, è importante che non vi sia flora infestante che abbia già un vantaggio rispetto alle cover crop, che il suolo abbia un contenuto idrico sufficiente per garantire la germinazione e la prima fase di crescita, e infine che lo stato fisico del suolo non sia stato deteriorato nel corso della raccolta della coltura da reddito in precessione.

Nel caso delle cover crop seminate a fine estate-inizio autunno, la preparazione del suolo più adatta sembra essere quella convenzionale, con aratura seguita da amminutamento tramite erpicatura, anche se la preparazione diretta con erpice da minima lavorazione può spesso assicurare risultati ottimali. In caso di autunni umidi, ostatici ai lavori di preparazione del suolo, può essere preferibile la semina su sodo. Questa tecnica può essere valida anche per la semina delle cover crop estive in quanto comporta una minore perdita di acqua per evaporazione rispetto alla semina su terreno lavorato. La necessità di ricorrere all'irrigazione per sostenere l'insediamento e la produzione di biomassa delle cover crop può presentarsi frequentemente per le semine eseguite nei mesi di luglio e agosto, mentre è occasionale per le semine di settembre.

Infine, occorre sottolineare che nel caso di cover crop non leguminose coltivate su suoli poveri di azoto minerale è necessario prevedere la concimazione.

8.4 La modalità di terminazione influenza il successivo controllo delle erbe infestanti da parte dei residui colturali?

Quando le cover crop vengono terminate per incorporazione nel suolo, tramite aratura o discatura, non è atteso che possano controllare le erbe infestanti, tranne quando esse contengono sostanze allelopatiche che possono essere rilasciate nel suolo durante la decomposizione inibendo così la germinazione e la crescita delle erbe infestanti. L'incorporazione nel suolo comporta però una loro diluizione e di conseguenza una riduzione degli effetti depressivi. In questi contesti, durante il periodo che occupano il campo, le cover crop svolgono essenzialmente la funzione di ridurre la banca semi del suolo sia attraverso le germinazioni non seguite da sopravvivenza sia limitando la produzione e la dispersione di propaguli. Quando le cover crop vengono lasciate sulla superficie del suolo come pacciamatura, la loro azione di controllo delle erbe infestanti è influenzata dal grado di lacerazione che la terminazione infligge alle piante, che tanto più è spinto tanto più aumenterà il tasso di scomparsa della pacciamatura. Le principali tecniche di terminazione meccanica delle cover crop possono essere così classificate per grado di lacerazione dei tessuti: trinciatura > falciatura > rullatura con rullo allettatore. Nel caso delle cover crop che vengono terminate naturalmente per gelo, la loro azione di controllo delle erbe infestanti dipende, oltre che dalla biomassa prodotta, di cui si è già detto, anche dal momento in cui si verificano gli eventi di gelata a partire dai quali i tessuti iniziano a decomporsi e a ridurre l'intercettazione della luce. Laddove le produzioni di biomassa sono state elevate, la presenza di infestanti risulterà in ogni caso modesta e controllabile con lavori minimi di preparazione del suolo per la semina.

8.5 È possibile controllare le erbe infestanti di mais e soia con la pacciamatura di cover crop?

La coltivazione di mais e soia su pacciamatura da cover crop con semina diretta in contesto di agricoltura organica è oggetto di studio da trent'anni di un gruppo di ricerca dell'USDA-ARS (United States Department of Agriculture - Agricultural Research Service) operante a Beltsville nel Maryland.

La strategia sviluppata prevede la coltivazione di una cover crop a semina autunnale, la sua terminazione in primavera tramite rullo allettatore e la semina contestuale della coltura da reddito con speciale seminatrice da sodo capace di operare in presenza di elevate quantità di residui colturali.

Nel caso del mais, la cover crop è la vecchia vellutata. Questa viene seminata prima possibile, alla fine dell'estate, e terminata in primavera avanzata quando raggiunge il 50% della fioritura.

Nel caso della soia, la cover crop è la segale. Anch'essa viene seminata a fine estate e allettata in primavera quando raggiunge la maturazione lattea. Anche con l'orzo, gestito analogamente, sono stati ottenuti buoni risultati (**Figura 8.4**).



Figura 8.4 Soia in crescita su pacciamatura di cover crop (orzo) allettata con rullo crimper allo stadio di maturazione lattea (foto di Alessia Perego).

La terminazione delle due cover crop nelle fasi fenologiche indicate consente di ottenere una terminazione efficace, priva di problemi di ricaccio. Nel contempo le piante di cover crop, non avendo ancora formato semi germinabili, non possono disseminare e divenire infestanti. Nel caso della soia, questa strategia consente un efficace controllo delle erbe infestanti per le seguenti ragioni: la segale è capace di costituire una pacciamatura spessa e durevole; le eventuali fallanze che si possono verificare a causa della semina eseguita in presenza di abbondante pacciamatura possono essere recuperate grazie alla plasticità delle piante e all'elevato investimento; l'elevato rap-

porto C/N dello strame di segale comporta un depauperamento di azoto dello stato superficiale del suolo che contribuisce all'inibizione della germinazione e della crescita delle erbe infestanti. Utilizzando azoto proveniente dalla fissazione simbiotica, la soia non risente della scarsa disponibilità di azoto e realizza produzioni in linea con quelle dell'agricoltura convenzionale.

Diversamente, la coltivazione del mais con questa strategia è meno performante, con rese talora anche inferiori del 50% rispetto a quelle dell'agricoltura convenzionale. I due problemi più importanti che si presentano sono da un lato la minore efficacia della pacciamatura di veccia in quanto più effimera rispetto alla segale e dall'altro quello della nutrizione azotata del mais. Per ridurre il primo problema è possibile adottare un miscuglio contenente 80% di veccia e 20% di segale pagando però una penalità sul fronte della disponibilità di azoto minerale nel suolo. In ogni caso, possono rendersi necessari uno o due lavori di coltivazione attuati con una sarchiatrice speciale che per ogni interfila presenta un solo elemento sarchiante a taglianti lunghi anticipato da un disco di taglio che seziona la pacciamatura e apre la strada al passaggio dell'elemento sarchiante che opera a 2,5-5 cm di profondità nel suolo. La soluzione del problema della nutrizione azotata del mais va invece ricercata nella sincronizzazione della dinamica di mineralizzazione dei fertilizzanti organici con la dinamica di asportazione della coltura.

Anche nel caso del mais esiste il problema delle fallanze dovute alla semina eseguita in presenza di elevate quantità di residui, che rispetto alla soia assume però maggiore impatto sulla resa a causa dell'investimento più basso e della minore plasticità delle piante nell'uso dello spazio.

La produzione di mais e soia con questi metodi è molto interessante sul piano della sostenibilità sia perchè consente di ridurre il consumo di energia del 27% e il fabbisogno di manodopera del 31% sia per gli effetti positivi delle cover crop sulla fertilità del suolo.



Scheda 9 - Costi, benefici e incentivi

9.1 Quali sono i costi delle cover crop?

I costi di coltivazione delle cover crop possono essere molto variabili in funzione delle operazioni svolte prima e dopo la semina e della specie scelta.

Le principali voci di costo possono essere così sintetizzate:

- preparazione del letto di semina: comprende sia la lavorazione del suolo, sia le possibili operazioni di trinciatura degli stocchi di mais;
- acquisto della semente: il costo della semente è molto variabile in funzione della specie scelta e della densità di semina. Alcune specie hanno un costo/kg semente basso ma necessitano di una densità di semina elevata (es. segale); altre, viceversa, hanno un costo/kg semente maggiore ma possono essere seminate con densità molto basse (es. senape).

Chiaramente, nel caso si decida di seminare un miscuglio anziché una specie in purezza, il costo aumenta;

- irrigazione: normalmente le cover crop non vengono irrigate ma, in condizioni di fine estate-inizio autunno particolarmente siccitose, potrebbe essere necessaria un'irrigazione di soccorso per permettere la germinazione e la crescita della coltura;
- terminazione: è prevista solamente per le cover crop ingelive (che non si autoterminano con il freddo invernale) e variano in base alla tipologia di terminazione (chimica o meccanica). Per quanto concerne la terminazione meccanica, possono esserci ulteriori differenze a seconda della specie di cover crop e del tipo di suolo, fattori che influenzano il consumo di gasolio della macchina utilizzata;
- preparazione del letto di semina per la coltura principale: la necessità di una lavorazione del suolo prima della semina dipende principalmente dal residuo che la cover crop ha lasciato a fine ciclo e dalle condizioni del suolo.

Durante un monitoraggio biennale in due prove di coltivazione in Lombardia sono stati quantificati i costi variabili di coltivazione (trinciatura degli stocchi, preparazione del letto di semina, semina, irrigazione e terminazione - se necessaria) di alcune specie di cover crop. Essi sono risultati uguali a 208, 164, 134, 199 e 112 €/ha per segale, avena strigosa, trifoglio alessandrino, veccia villosa e senape bianca. I costi includevano la manodopera, il gasolio, la semente e l'eventuale diserbante per la terminazione.

9.2 Quali sono i benefici economici delle cover crop?

La quantificazione dei benefici economici che le colture di copertura possono apportare è piuttosto complicata, soprattutto relativamente agli aspetti ambientali legati alla loro coltivazione. Inoltre, alcuni miglioramenti richiedono alcuni anni prima di poter essere osservati e quindi quantificati (ad esempio l'incremento della sostanza organica o il miglioramento della struttura del suolo).

Uno dei benefici derivanti dall'impiego delle cover crop è la riduzione del fabbisogno di elementi nutritivi, fra cui l'azoto. La disponibilità di azoto assimilabile per la coltura da reddito successiva può infatti essere incrementata dalla mineralizzazione che avviene durante la decomposizione della biomassa delle cover crop dopo la loro terminazione. Questo effetto però può essere di un certo rilievo (indicativamente 30-50 kg N ha⁻¹) solo per le cover crop leguminose che abbiano raggiunto una consistente produzione di biomassa (per gli apporti di azoto sopra riferiti, 2,4 - 4,0 t ss ha⁻¹).

9.3 Gli incentivi europei all'agricoltura conservativa e all'impiego delle cover crop

L'introduzione delle tecniche di agricoltura conservativa (semina su sodo e minima lavorazione) richiede un periodo iniziale di adattamento da parte delle aziende che vi si avvicinano e che può talvolta comprendere un calo produttivo. Nel caso poi le aziende decidano di coltivare anche le colture di copertura devono prevedere un investimento economico aggiuntivo.

Per far fronte agli impegni previsti e compensare parte dei costi e dei mancati redditi che le aziende agricole sostengono per attuare queste pratiche benefiche anche per l'ambiente, l'Unione Europea stanziava dei pagamenti a superficie che vengono utilizzati attraverso specifiche misure dei Programmi di Sviluppo Rurale (PSR) regionali. Nel PSR 2014-2020 della Regione Lombardia i pagamenti a sostegno dell'agricoltura conservativa e delle cover crop sono inseriti nella Misura 10 Sottomisura 10.1 - Pagamenti per impegni agro climatico ambientali, comprendente 12 operazioni che hanno lo scopo di incentivare pratiche agricole più sostenibili dal punto di vista ambientale. Nello specifico l'Operazione 10.1.04 è quella relativa all'agricoltura conservativa (solo per la coltivazione del riso, sono previsti contributi anche all'interno delle operazioni 10.1.01 e 10.1.03); la coltivazione delle colture di copertura è un impegno accessorio (facoltativo) che può essere richiesto in aggiunta agli impegni principali dell'operazione.

L'impegno facoltativo della coltivazione delle cover crop è realizzabile sulle superfici coltivate a seminativo (escludendo il riso in semina su sodo), sulle superfici coltivate con colture annuali, nel periodo estivo o in quello autunno-vernino, utilizzando varie essenze senza vincoli stabiliti dal bando e in abbinamento sia alla semina su sodo, sia alla minima lavorazione.

9.3.1 Cosa deve fare l'agricoltore:

- seminare la cover crop almeno per due anni nell'arco del periodo di impegno (sei anni) sulle stesse particelle. La prima cover crop deve essere realizzata entro il terzo anno e la seconda entro il quarto anno di impegno;
- seminare la cover crop entro 30 giorni dalla raccolta della coltura principale e mantenerla almeno fino a 30 giorni prima della semina della coltura successiva (se la cover crop è autunno-vernina, mantenerla almeno fino alla fine di febbraio);
- non effettuare trattamenti fitosanitari; è consentito l'uso di dissecanti, esclusivamente prima della semina della coltura successiva, per la devitalizzazione a fine ciclo della cover crop;
- al termine del periodo di coltivazione, la cover crop dovrà essere terminata meccanicamente o chimicamente. È vietato raccogliere ed asportare la cover crop, che non può quindi essere utilizzata in alcun modo, nemmeno con sfalci intermedi e nemmeno come materiale da utilizzare per scopi energetici;
- tenere ed aggiornare il registro aziendale delle operazioni colturali.

È oggetto di premio esclusivamente la cover crop da realizzare nell'anno solare in cui è stato richiesto l'impegno aggiuntivo. Nell'anno in cui viene richiesto il premio, il fascicolo aziendale dovrà riportare l'indicazione della cover crop quale seconda coltura per le particelle interessate.

I premi per l'impegno principale e per l'impegno facoltativo di coltivazione delle cover crop sono riportati in **Tabella 9.1**.

Tabella 9.1 Premi previsti per l'adozione delle tecniche di agricoltura conservativa e per l'impegno aggiuntivo delle cover crop dalla Misura 10.1.04 del PSR 201-2020 di Regione Lombardia

Intervento	Premio impegno principale (€ ha ⁻¹)	Premio cover crop (€ ha ⁻¹)
Semina su sodo da convenzionale	240	180
Semina su sodo da minima lavorazione	55	180
Minima lavorazione	185	180



Bibliografia

Benetti, M., da Schio, F., da Schio, B., Brogiato, L., Brogiato, M., Sartori, L., 2018. Gestire le cover crop con i rulli allettatori. *Informatore Agrario* 1, 74-78.

Bhadoria, P.B.S., 2011. Allelopathy: A Natural Way towards Weed Management. *Journal of Experimental Agriculture International* 1, 7-20. <https://doi.org/10.9734/AJEA/2011/002>

Brust, J., Claupein, W., Gerhards, R., 2014. Growth and weed suppression ability of common and new cover crops in Germany. *Crop Protection* 63, 1-8. doi:10.1016/j.cropro.2014.04.022

Campiglia, E., Caporali, F., Radicetti, E., Mancinelli, R., 2010. Hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) cover crop residue management for improving weed control and yield in no-tillage tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) production. *European Journal of Agronomy* 33, 94-102. doi:10.1016/j.eja.2010.04.001

Clark, A., 2007. Managing cover crops profitably, Sustainable Agriculture Network, Sustainable Agriculture Network handbook series. DIANE Publishing, Beltsville, MD.

Creamer, N.G., Dabney, S.M., 2002. Killing cover crops mechanically: Review of recent literature and assessment of new research results. *American Journal of Alternative Agriculture* 17, 32-40. <https://doi.org/10.1079/AJAA20014>

De Neve, S., Hofman, G., 1996. Modelling N mineralization of vegetable crop residues during laboratory incubations. *Soil Biology and Biochemistry* 28, 1451-1457. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(96\)00154-X](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00154-X)

Florence, A.M., Higley, L.G., Drijber, R.A., Francis, C.A., Lindquist, J.L., 2019. Cover crop mixture diversity, biomass productivity, weed suppression, and stability. *PLoS ONE* 14, e0206195. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206195>

- Gerhards, R., Schappert, A., 2020. Advancing cover cropping in temperate integrated weed management. *Pest Management Science* 76, 42-46. <https://doi.org/10.1002/ps.5639>
- Jabran, K., Mahajan, G., Sardana, V., Chauhan, B.S., 2015. Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection* 72, 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.03.004>
- Jensen, L.S., Salo, T., Palmason, F., Breland, T.A., Henriksen, T.M., Stenberg, B., Pedersen, A., Lundström, C., Esala, M., 2005. Influence of biochemical quality on C and N mineralisation from a broad variety of plant materials in soil. *Plant Soil* 273, 307-326. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-8128-y>
- Jian, J., Lester, B.J., Du, X., Reiter, M.S., Stewart, R.D., 2020. A calculator to quantify cover crop effects on soil health and productivity. *Soil and Tillage Research* 199, 104575. doi:10.1016/j.still.2020.104575
- Justes, E. (Ed.), 2017. *Cover Crops for Sustainable Farming*. Springer Netherlands, Dordrecht. doi:10.1007/978-94-024-0986-4
- Justes, E., Richard, G., 2017. Contexte, concepts et définition des cultures intermédiaires multi-services. *Innovations Agronomiques* 1-15. hal-01770348
- Kruidhof, H.M., Bastiaans, L., Kropff, M.J., 2008. Ecological weed management by cover cropping: effects on weed growth in autumn and weed establishment in spring. *Weed Research* 48, 492-502. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2008.00665.x>
- Legleiter, T., Johnson, B., Jordan, T., Gibson, K., 2012. Successful Cover Crop Termination with Herbicides (No. WS-50-W). Purdue Extension. <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/ws/ws-50-w.pdf>
- Li, X., Petersen, S.O., Sørensen, P., Olesen, J.E., 2015. Effects of contrasting catch crops on nitrogen availability and nitrous oxide emissions in an organic cropping system. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 199, 382-393. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.016>
- MacLaren, C., Swanepoel, P., Bennett, J., Wright, J., Dehnen-Schmutz, K., 2019. Cover Crop Biomass Production Is More Important than Diversity for Weed Suppression. *Crop Science* 59, 733-748. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.05.0329>
- Mahal, N.K., Castellano, M.J., Miguez, F.E., 2018. Conservation Agriculture Practices Increase Potentially Mineralizable Nitrogen: A Meta-Analysis. *Soil Science Society of America Journal* 82, 1270. doi:10.2136/sssaj2017.07.0245
- Minasny, B., McBratney, A.B., 2018. Limited effect of organic matter on soil available water capacity. *European Journal of Soil Science* 69, 39-47. doi:10.1111/ejss.12475
- Mirsky, S.B., Ryan, M.R., Teasdale, J.R., Curran, W.S., Reberg-Horton, C.S., Spargo, J.T., Wells, M.S., Keene, C.L., Moyer, J.W., 2013. Overcoming Weed Management Challenges in Cover Crop-Based Organic Rotational No-Till Soybean Production in the Eastern United States. *Weed Technology* 27, 193-203. <https://doi.org/10.1614/WT-D-12-00078.1>
- Monsanto, 2016. Crop cover destruction. https://www.monsanto-ag.co.uk/media/1962/tb_cover-crop-destructionv2_feb-2016.pdf.
- Natural Resources Conservation Service - USDA, 2014. Cover Crop Termination Guidelines. https://efotg.sc.egov.usda.gov/references/public/WY/Cover_Crop_Termination_Guidelines_Version_3_September_2014.pdf
- Osipitan, O.A., Dille, J.A., Assefa, Y., Knezevic, S.Z., 2018. Cover Crop for Early Season Weed Suppression in Crops: Systematic Review and Meta-Analysis. *Agronomy Journal* 110, 2211-2221. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.12.0752>
- Osipitan, O.A., Dille, J.A., Assefa, Y., Radicetti, E., Ayeni, A., Knezevic, S.Z., 2019. Impact of Cover Crop Management on Level of Weed Suppression: A Meta-Analysis. *Crop Science* 59, 833-842. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.09.0589>
- Pivot - Transition to organic farming, 2020. Green Manure Tool Kit - Module 3: Managing Green Manures. <https://www.pivotandgrow.com/resources/production/green-manures/module-3-managing-green-manures/>
- Poeplau, C., Don, A., 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 200, 33-41. doi:10.1016/j.agee.2014.10.024

Progetto **BENCO** - Dimostrazione dei benefici agronomici, economici e ambientali delle cover crop in Lombardia, 2020. <https://sites.unimi.it/benco>

Progetto **COCROP** - Gestione agronomica ed ambientale delle cover crop con particolare riferimento alle dinamiche dell'azoto, 2020. <https://sites.unimi.it/cocrop>

Redin, M., Guénon, R., Recous, S., Schmatz, R., de Freitas, L.L., Aita, C., Giacomini, S.J., 2014. Carbon mineralization in soil of roots from twenty crop species, as affected by their chemical composition and botanical family. *Plant Soil* 378, 205-214. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-2021-5>

Sullivan, D.M., Andrews, N., 2012. Estimating plant-available nitrogen release from cover crops. Oregon State University Extension Catalogue. <https://catalog.extension.oregonstate.edu/sites/catalog/files/project/pdf/pnw636.pdf>

Tabaglio, V., Marocco, A., Schulz, M., 2013. Allelopathic cover crop of rye for integrated weed control in sustainable agroecosystems. *Italian Journal of Agronomy* 8, 35-40. <https://doi.org/10.4081/ija.2013.e5>

Teasdale, J.R., 1996. Contribution of Cover Crops to Weed Management in Sustainable Agricultural Systems. *Journal of Production Agriculture* 9, 475-479. <https://doi.org/10.2134/jpa1996.0475>

Teasdale, J.R., Beste, C.E., Potts, W.E., 1991. Response of Weeds to Tillage and Cover Crop Residue. *Weed Science* 39, 195-199. <https://doi.org/10.1017/S0043174500071460>

Teasdale, J.R., Daughtry, C.S.T., 1993. Weed Suppression by Live and Desiccated Hairy Vetch (*Vicia villosa*). *Weed Science* 41, 207-212. <https://doi.org/10.1017/S0043174500076074>

Teasdale, J.R., Mirsky, S.B., Spargo, J.T., Cavigelli, M.A., Maul, J.E., 2012. Reduced-Tillage Organic Corn Production in a Hairy Vetch Cover Crop. *Agronomy Journal* 104, 621-628. doi:10.2134/agronj2011.0317

Teasdale, J.R., Mohler, C.L., 2000. The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. *Weed Science* 48, 385-392. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2000\)048\[0385:TQRBWE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2000)048[0385:TQRBWE]2.0.CO;2)

Teasdale, J.R., Rosecrance, R.C., 2003. Mechanical versus herbicidal strategies for killing a hairy vetch cover crop and controlling weeds in minimum-tillage corn production. *American Journal of Alternative Agriculture* 18, 95-102. <https://doi.org/10.1079/AJAA200240>

Thapa, R., Mirsky, S.B., Tully, K.L., 2018. Cover Crops Reduce Nitrate Leaching in Agroecosystems: A Global Meta-Analysis. *Journal of Environmental Quality* 47, 1400-1411. doi:10.2134/jeq2018.03.0107

Thorup-Kristensen, K., Magid, J., Jensen, L.S., 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones, in: *Advances in Agronomy*. Academic Press, pp. 227-302. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)79005-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)79005-6)

Trinsoutrot, I., Recous, S., Bentz, B., Linères, M., Chèneby, D., Nicolardot, B., 2000. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. *Soil Science Society of America Journal* 64, 918-926.

Wallace, J.M., Williams, A., Liebert, J.A., Ackroyd, V.J., Vann, R.A., Curran, W.S., Keene, C.L., VanGessel, M.J., Ryan, M.R., Mirsky, S.B., 2017. Cover Crop-Based, Organic Rotational No-Till Corn and Soybean Production Systems in the Mid-Atlantic United States. *Agriculture* 7, 34. <https://doi.org/10.3390/agriculture7040034>

Wortman, S.E., Francis, C.A., Bernards, M.A., Blankenship, E.E., Lindquist, J.L., 2013. Mechanical Termination of Diverse Cover Crop Mixtures for Improved Weed Suppression in Organic Cropping Systems. *Weed Sci.* 61, 162-170. <https://doi.org/10.1614/WS-D-12-00066.1>



Il volume raccoglie le schede tecniche prodotte nell'ambito del progetto "Dimostrazione dei benefici agronomici, economici e ambientali delle cover crop in Lombardia" (CUP E46G17000520007), finanziato nell'ambito della Misura 1, Operazione 1.2.01 "Progetti dimostrativi e azioni di informazione" dal Programma di Sviluppo Rurale 2014-2020 della Regione Lombardia.

ISBN 978-8890898792



9 788890 898792