



UNIVERSITA DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Territorio e Sistemi Agroforestali

Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie Viticole ed Enologiche

Utilizzo ed effetto delle *cover crop* in viticoltura

Relatore

Dott. Carmelo Maucieri

Co-relatore

Dott.ssa Giorgia Raimondi

Laureando

Mattia Ferrari

Matricola n.1192504

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

INDICE

1. INTRODUZIONE	6
1.1. Generalità sulle cover crop	6
1.2. Vantaggi e svantaggi legati all'utilizzo delle cover crop	6
2. COVER CROP NEL VIGNETO	8
2.1. Effetti sul terreno	8
2.1.1. Controllo dell'erosione del terreno	9
2.1.2. Aumento del contenuto in sostanza organica del terreno.....	11
2.1.3. Impatto sulla biodiversità microbica del terreno.....	12
2.2. Effetti sulla pianta	13
2.2.1. Controllo biologico su insetti.....	13
2.2.2. Effetti sulla qualità del vino	15
2.2.3. Riduzione dei patogeni.....	17
2.3. Effetti sull'ambiente.....	18
2.3.1. Effetto sulla lisciviazione dei nitrati e sulle emissioni di N ₂ O.....	18
3. CONSIDERAZIONI ECONOMICHE	20
4. CONCLUSIONI	22
5. BIBLIOGRAFIA	23

RIASSUNTO

Questo lavoro di tesi vuole analizzare l'utilizzo delle *cover crop* (CC) in viticoltura. L'obiettivo è quello di fornire un'analisi dei dati disponibili in letteratura ponendo particolare attenzione sulla diversa applicabilità e sull'effetto positivo delle CC in svariati ambiti. Dopo un'introduzione generale sulle caratteristiche delle CC, compresi i vantaggi e gli svantaggi legati all'utilizzo di esse, è stato svolto uno studio bibliografico basato su pubblicazioni nazionali ed internazionali. Sono state selezionate le pubblicazioni concernenti lo studio della relazione tra carbonio e terreno (erosione, sostanza organica e biodiversità microbica), lo studio dell'effetto delle CC sulle colture da reddito (controllo biologico su insetti, sulla qualità del vino e riduzione attacco da parte dei patogeni) e sull'ambiente (effetto su inquinamento da nitrati e N₂O). In ultimo, si riportano delle considerazioni economiche riguardo l'uso delle CC. Lo studio ha permesso di analizzare l'effetto dell'introduzione di CC in diversi contesti, riportandone vantaggi e svantaggi.

SUMMARY

The basis of this study is the analysis of the use of cover crops (CC) in the agricultural sector, mainly in the vineyard. The goal of this degree thesis is to provide an analysis of the data collected, by focusing on the different applicability and the positive effect of CC in various areas. After a general introduction on the characteristics of the CC including the advantages and disadvantages associated with their use, a bibliographic study based on national and international publications was carried out. The publications concerning the study of the relationship between C and soil (erosion, organic matter and microbial biodiversity), the study of the effect of CC on income crops (biological control on insects, on the quality of wine and reduction of attack by pathogens) and the environment (effect on nitrate and N₂O pollution). Finally, economic considerations are reported regarding the use of CCs. The study made it possible to analyze the effect of the introduction of CC in different contexts, reporting advantages and disadvantages.

1. INTRODUZIONE

1.1. Generalità sulle *cover crop*

Le principali minacce per i terreni nell'UE secondo Van-Camp et al. (2004) sono l'erosione, la perdita di sostanza organica, la compattazione, la contaminazione con inquinanti, le frane, le inondazioni, la salinizzazione, l'impermeabilizzazione e il declino della biodiversità microbica. In questo contesto si impone una crescente attenzione riguardo l'uso di tecniche di gestione agronomica dei terreni che ne preservino la fertilità chimica, fisica e biologica quali ad esempio l'introduzione nell'agrosistema di *cover crop* (CC). Le CC sono colture erbacee intercalari non da reddito usate per inerbire il terreno durante i periodi in cui non è presente la coltura da reddito o il terreno tra i filari delle colture arboree. La scelta di una CC dipende dal periodo in cui deve essere seminata e dall'obiettivo per cui viene usata; comunque, spesso la consociazione di due o più specie può migliorare l'effetto della copertura finale (Bethlenfalvay et al., 1991), pertanto, l'accento dovrebbe essere posto sull'aumento della diversità funzionale/multifunzionalità delle miscele di CC che aiuta a ridurre i problemi associati alla monocoltura (Finney et al., 2017). Le principali famiglie botaniche a cui afferiscono le specie di CC più utilizzate sono le:

- *Brassicacee*, caratterizzate da uno sviluppo iniziale abbastanza rapido, elevata biomassa aerea e apparato radicale di tipo fittonante più o meno sviluppato a seconda della specie.
- *Leguminose*, caratterizzate dalla capacità di creare una simbiosi con i batteri azoto-fissatori del terreno, i quali riescono a convertire l'azoto atmosferico in azoto organico arricchendo il terreno di questo importante elemento.
- *Graminacee*, normalmente impiegate come CC in quanto l'apparato radicale fascicolato molto sviluppato permette il trattenimento dei nutrienti con conseguente limitazione dei fenomeni di lisciviazione (Bechini et al., 2020).

1.2. Vantaggi e svantaggi legati all'utilizzo delle *cover crop*

Tra i diversi vantaggi che caratterizzano le CC troviamo:

- Un aumento della quantità di residui organici lasciati in superficie sul terreno che aiuta a ridurre l'erosione e la lisciviazione degli elementi nutritivi del terreno. Inoltre, la presenza continua di CC perenni ha mostrato tassi di erosione ridotti rispetto alle CC

temporanee che vengono terminate in primavera (Uson et al., 1998; Ruiz-Colmenero et al., 2011).

- Un arricchimento in azoto del terreno. Le leguminose forniscono una maggiore quantità di N totale ($N_{tot} = N_{organico} + N_{minerale}$), così come di N minerale (N_{min}) rispetto al terreno nudo, grazie alla loro capacità di fissare l'azoto, e questo contribuisce al fabbisogno delle colture successive (Peoples et al., 2009)
- Il controllo delle erbe infestanti, la creazione di un habitat adatto per gli insetti utili, il loro ruolo di colture non ospiti per nematodi e altri parassiti radicali nelle rotazioni delle colture da reddito (Lu et al., 2000).
- Nei terreni particolarmente fertili, possono contribuire a prevenire l'eccessivo sviluppo vegetativo della coltura da reddito. Le CC infatti entrano in competizione per le risorse con la coltura e quindi portano ad una minore produzione di foglie che altrimenti sarebbe sfavorevole alla produzione di un prodotto di alta qualità. L'eccesso di foglie, infatti, creando zone d'ombra potrebbe influenzare negativamente la maturazione dei frutti (Smart et al., 1990).
- Miglioramento della fertilità fisica del terreno. Gli apparati radicali delle CC favoriscono infatti la formazione di aggregati nel terreno e incrementano l'attività dei microrganismi che a loro volta migliorano la stabilità della struttura. Gli apparati radicali agiscono anche sulla permeabilità del suolo determinando un incremento della velocità d'infiltrazione dell'acqua piovana, migliorando così la disponibilità di acqua per le piante da frutto nella stagione di crescita successiva (Ben-Salem et al., 2018).

Tra gli svantaggi legati all'introduzione delle CC in una rotazione colturale troviamo la competizione con la coltura da reddito per acqua e sostanze nutritive, aumento dei costi colturali (acquisto semi e successiva semina), costi della terminazione (Guerra e Steenwerth, 2012). In considerazione di ciò, per fare un reale bilancio degli svantaggi bisogna considerare l'effetto sulla resa delle colture da reddito in relazione all'aumento dei costi di gestione dell'agrosistema.

2. COVER CROP NEL VIGNETO

2.1. Effetti sul terreno

La gestione del terreno in vigneto ha implicazioni su: la gestione delle erbe infestanti, la quantità di nutrienti e acqua resi disponibili alla pianta e sulla qualità del vino. Questi sono aspetti molto importanti da controllare. È stato dimostrato che la gestione dell'interfilare con inerimento nel vigneto influisce qualitativamente sull'uva in un più alto livello di composti fenolici e un'elevata resistenza alle malattie all'infezione da *B. cinerea* (Jacometti et al., 2007; Wheeler e Pickering, 2003, 2006). Il controllo non chimico delle infestanti (erpatura, pacciamatura), la lavorazione del terreno e l'applicazione di nutrienti e altri interventi influenzano il funzionamento della vite in misura variabile. Gli effetti positivi della pacciamatura verde con CC possono essere riassunti come segue: protezione del terreno dall'impatto della pioggia e conseguente riduzione dell'erosione idrica, migliore capacità di infiltrazione e maggiore accumulo di acqua nel terreno, diminuzione dell'evaporazione, migliore struttura del terreno e contenuto in esso di sostanza organica, miglior sviluppo delle radici delle colture da reddito, incremento di micro e macrofauna come ad esempio di alcune specie di lombrichi utili al suolo (Cataldo et al., 2020). Tuttavia, in condizioni calde e secche, la competizione per l'acqua e i nutrienti, in particolare nelle fasi sensibili (come la fioritura e l'allegagione degli acini) può portare a una sostanziale diminuzione della resa (Testic et al., 2007). Gli effetti negativi dovuti a un aumento della copertura del suolo da parte delle CC sono risultati più gravi nei terreni poco profondi perché in un terreno profondo, l'apparato radicale della vite è in grado di esplorare gli orizzonti più profondi, evitando così la competizione con l'apparato radicale della CC (Morlat e Jacquet, 2003; Testic et al., 2007; Giese et al., 2014). Pertanto, i viticoltori devono tenere conto delle caratteristiche del terreno per decidere l'introduzione e la specie di CC da impiegare nei loro vigneti. Ed è dimostrato che è possibile un compromesso tra rendimento economico in termini di risparmio e servizi ecosistemici. Infatti, il mantenimento del 30% del terreno ricoperto riduce le applicazioni di erbicidi e/o il consumo di energia fossile per il diserbo meccanico rispetto a un'opzione di controllo delle erbe infestanti del terreno nudo. Inoltre, l'impiego di CC permette una riduzione del deflusso idrico superficiale a breve termine e un aumento della sostanza organica del terreno a lungo termine. Qualunque sia la profondità del terreno, un inerimento del 30% risulta in media adatto agli obiettivi di resa dei viticoltori (Delpuech e Metay, 2018). Oltre il 70% degli

agricoltori intervistati che hanno utilizzato una coltura di copertura ha riportato un beneficio dalle CC (Figura 1) (Storr et al., 2019).

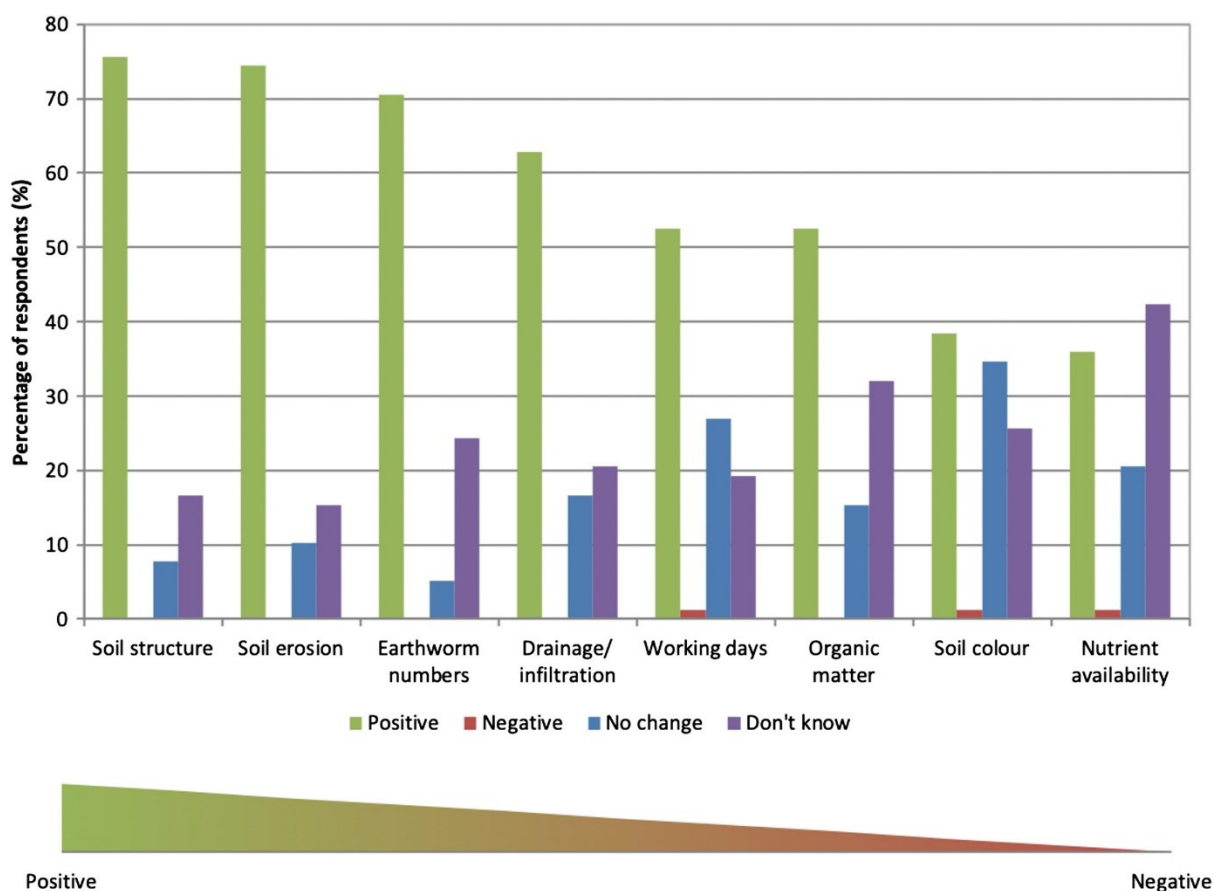


Figura 1. Percezione degli agricoltori sugli indicatori di qualità del terreno a seguito dell'impiego di colture di copertura.

2.1.1. Controllo dell'erosione del terreno

L'erosione è un fenomeno geologico naturale che comporta la progressiva rimozione di alcuni strati di terreno e successivo trasporto di particelle ad opera di diversi agenti fisici ad esempio acqua, ghiaccio e vento; l'erosione riguarda tutta la superficie terrestre ma particolarmente quelle zone i cui terreni sono disturbati dalle lavorazioni e da tutte le operazioni colturali. Il terreno nei tradizionali vigneti mediterranei è nudo per la maggior parte dell'anno. I suoli nudi comportano alti tassi di erosione mentre un aumento della vegetazione contribuisce a un'importante riduzione delle perdite di suolo e nutrienti nella regione mediterranea (Cerdà, 1998; Novara et al., 2013, 2015). In questo contesto si sviluppano gestioni del terreno alternative quali l'impiego di CC per proteggere il terreno dall'erosione e aumentare l'accumulo di sostanza organica in esso (Brevik, 2013; Prosdocimi et al., 2016). Uno studio

biennale (Tsanis et al., 2021) nel quale si è comparata l'erosione del terreno in un vigneto nel quale era stata seminata una cover di vecchia rispetto ad uno senza cover, ha mostrato come la presenza di CC ha ridotto l'erosione media di oltre il 12% rispetto al terreno nudo ($3,4 \text{ Mg ha}^{-1}$). In sintesi, l'applicazione delle CC per il miglioramento del suolo sembra svolgere un ruolo di attenuazione nei processi di perdita di terreno dovuta all'erosione e la vecchia si rivela una soluzione ecologicamente sostenibile. Inoltre, il movimento dell'acqua e dei soluti e l'aerazione del suolo sono stati leggermente migliorati nel caso dell'applicazione di colture di copertura. Lo studio condotto da Mohammed et al. (2021) (Figura 2) ha dimostrato che i fagioli e la vecchia si comportano meglio del frumento nella conservazione del terreno, con conseguente:

- miglioramento della rugosità del terreno;
- miglioramento della regolazione del processo idrologico superficiale;
- aumento dell'infiltrazione e della porosità riducendone i sedimenti.

Nel complesso, le colture hanno migliorato la stabilità degli aggregati e la capacità di ritenzione idrica. Il tasso di deflusso, così come l'erosione del suolo, sono diminuiti a causa dell'aumento del numero di pori del suolo, della porosità verticale e della permeabilità del suolo (Grey et al., 2018; Zhang et al., 2019).

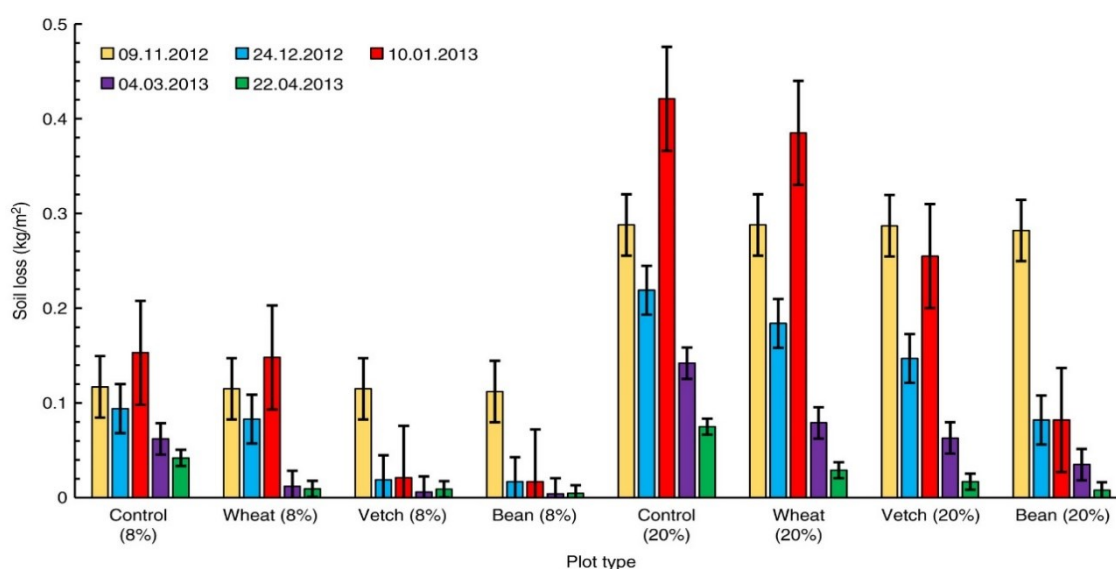


Figura 2. Perdite di terreno registrate dopo ogni evento piovoso (inclinazione 8% e 20%).

2.1.2. Aumento del contenuto in sostanza organica del terreno

I vigneti sono agroecosistemi gestiti in modo intensivo, particolarmente soggetti ad una perdita di sostanza organica e vulnerabili alla perdita di azoto (N) per *runoff* (García-Díaz et al., 2017) poiché la lavorazione continua su terreni nudi aumenta i processi di erosione idrica (Arnaez et al., 2007; Cerdà et al., 2009a, 2009b). È stato dimostrato che l'introduzione di specie erbacee tra o sotto i filari di vite aumenta gli input di sostanza organica e, a seconda del tipo di coltura, migliora la disponibilità dei nutrienti (Steenwerth e Belina, 2008; Peregrina et al., 2010; Gómez et al., 2011). È stato effettuato uno studio in Sicilia meridionale in una delle zone viticole a Denominazione di Origine Controllata (DOC) dell'isola Santa Margherita e dopo 5 anni, è stato misurato il carbonio organico immagazzinato nel terreno soggetto a due differenti gestioni. Una prevedeva la lavorazione tradizionale; l'altra la non lavorazione con l'impiego di CC. I risultati evidenziano che l'adozione delle CC nei vigneti aumenta il contenuto di sostanza organica del terreno perché aumentano gli input di C organico rispetto alla gestione con lavorazione tradizionale. I sistemi di non lavorazione del terreno e di CC possono incrementare l'accumulo di carbonio organico e migliorare le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche del suolo. L'integrazione della non lavorazione del terreno con una CC è più efficace nell'aumentare il carbonio organico nel terreno (Veloso et al., 2018). Sebbene le pratiche di agricoltura conservativa comprendano l'impiego di CC, pochi studi hanno analizzato il ciclo del C sotto processi di erosione con una gestione alternativa del terreno. L'incremento di stock di C nel suolo, oltre ai suoi vantaggi, può determinare un incremento del rischio di perdita di C sottoforma di emissioni gassose (CO₂ e/o CH₄). Inoltre, può determinare l'incremento di C nei sedimenti del terreno che vengono trasportati fuori dal campo dall'erosione (García-Díaz et al., 2016). Nello studio condotto da Jordan et al. (2016), realizzato in un vigneto commerciale di uva da vino Riesling non irrigato a Lodi (NY) con un terreno argillo-limoso, sono state piantate colture di copertura annuali di diverse specie sotto le viti in più appezzamenti di terreno e questi trattamenti sono stati confrontati con il terreno nudo mantenuto con applicazioni di erbicidi. Ne è risultato che le viti avevano un apparato radicale ben sviluppato ed esteso che era in grado di superare qualsiasi effetto di competizione per l'acqua o i nutrienti dagli apparati radicali relativamente poco profondi delle colture di copertura perenni; quindi, non è stato riscontrato che i trattamenti di inerbimento sottovite influiscano in modo significativo sulla materia organica del suolo, sulla stabilità degli aggregati e sulle concentrazioni di nutrienti.

2.1.3. Impatto sulla biodiversità microbica del terreno

I microrganismi del terreno dei vigneti sono influenzati dalla regione vinicola, dal clima e dalla topografia, e sono responsabili della mediazione di processi biogeochimici che possono influenzare il pH e le riserve di materia organica del terreno (Burns et al., 2015). Un terreno microbiologicamente attivo e diversificato è importante per mantenere la produttività e la qualità delle colture e la conservazione di questi tratti è uno degli obiettivi principali dell'agricoltura sostenibile. I terreni adibiti alla viticoltura ricevono anche frequenti applicazioni di erbicidi e fertilizzanti e possono accumulare rame o altri fungicidi a seguito di applicazioni fogliari per il controllo delle malattie (Komárek et al., 2008). Tuttavia, la gestione integrata può prevedere sostanzialmente dei sistemi di gestione del terreno diversi rispetto all'utilizzo di soli input chimici tradizionali, e ciò può influenzare la composizione degli organismi presenti nel terreno agricolo. I microrganismi del suolo influenzano il loro ambiente locale attraverso la soppressione dei patogeni nocivi per la pianta, inoltre favoriscono i processi di decomposizione che influenzano la mineralizzazione della sostanza organica del suolo e il contributo alla conservazione della stessa. Infine, contribuiscono alla stabilità degli aggregati e aumentano la disponibilità di azoto e altri nutrienti minerali (Kögel-Knabner, 2002; Kuzyakov et al., 2009; Grandy e Neff, 2008; Plaza et al., 2013). Uno studio decennale (Hendgen et al., 2018) ha puntato a capire l'impatto delle diverse pratiche di gestione del terreno sulla biodiversità fungina e batterica in vigneti gestiti con CC. Ne è risultato che il terreno presente nell'interfila era più ricco di specie fungine e batteriche, il che sottolinea un impatto positivo delle CC sulla componente microbiologica del terreno. La rizosfera dell'apparto radicale delle CC fornisce un biotopo con condizioni favorevoli e gli essudati radicali potrebbero promuovere la diversità microbica essendo una fonte costante di carbonio organico (Fierer et al., 2003; Berg et al., 2009).

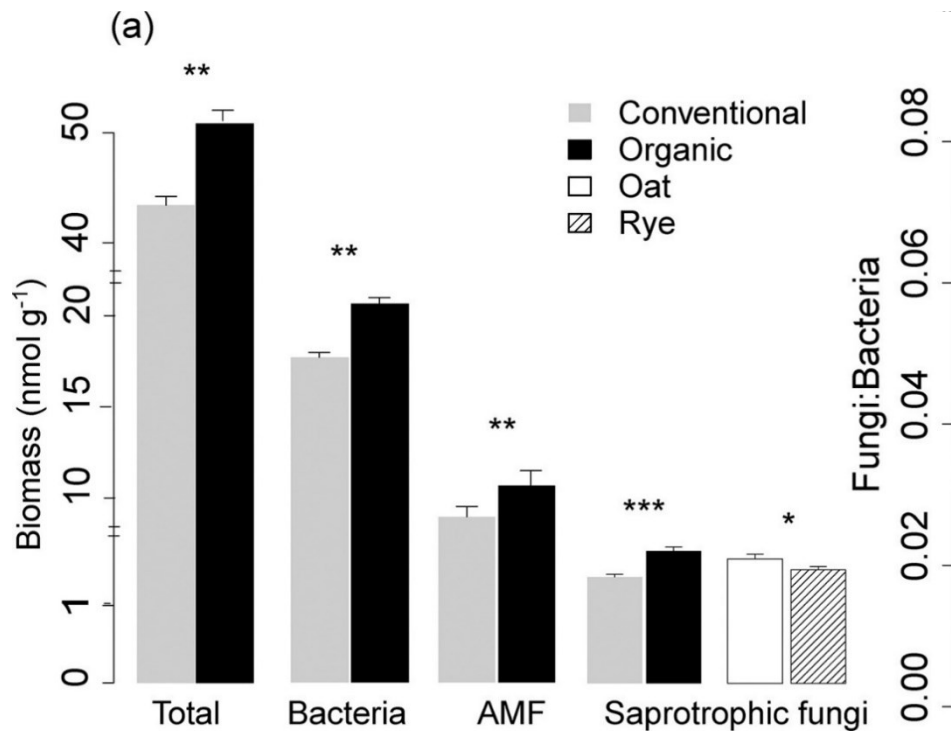


Figura 3. Biomassa microbica totale del terreno e biomassa dei diversi gruppi microbici del suolo gestito in modi diversi.

Lo studio condotto da Martínez-García et al. (2018) è stato effettuato presso un'azienda sperimentale nei Paesi Bassi. L'azienda è stata divisa in 16 appezzamenti che sono stati suddivisi in 10 sottolotti più piccoli. Gli appezzamenti sono stati trattati con una combinazione di due trattamenti: una gestione agricola (biologico e convenzionale) e una di tipo CC (*Avena strigosa* e *Secale cereale*). La gestione del suolo convenzionale e organica differiva nella fertilizzazione e nella gestione delle erbe infestanti. Negli appezzamenti convenzionali le erbacce erano controllate con applicazione di glifosate e mediante erpicatura dei primi 5 cm di terreno. La gestione organica ha aumentato la biomassa batterica e fungina (sia funghi saprotrofi che micorrize arbuscolari), aumentando così la biomassa microbica totale del suolo (Figura 3). Inoltre, l'avena delle colture di copertura ha comportato una maggiore abbondanza di funghi saprotrofi rispetto alla segale.

2.2. Effetti sulla pianta

2.2.1. Controllo biologico su insetti

L'intensificazione agricola, in particolare la semplificazione dell'agrosistema, l'omogeneizzazione del paesaggio e l'uso intensivo di fitofarmaci e fertilizzanti, sta portando a un declino globale degli artropodi, diminuendo così la fornitura di servizi ecosistemici come il

controllo naturale dei parassiti (Reiff et al., 2021). Insieme a una crescente consapevolezza degli effetti collaterali negativi dell'uso elevato di insetticidi (Goulson, 2013), c'è un crescente interesse verso le CC, le quali possono fornire rifugio e risorse alimentari per i nemici naturali, aumentando la loro abbondanza, ricchezza ed efficacia per il controllo dei parassiti. Una comunità ricca e diversificata di nemici naturali può contenere potenziali agenti di controllo biologico che si adattano a condizioni e microhabitat variabili e attaccano un'ampia gamma di parassiti delle colture. Pertanto, l'impiego delle CC potrebbe potenzialmente integrare o sostituire le applicazioni di pesticidi nei campi coltivati, a vantaggio della biodiversità locale e dell'ambiente (Möller et al., 2021). Le tecniche di gestione della copertura del suolo hanno influenzato in modo significativo l'importante abbondanza di predatori epigei che è maggiore dove ci sono le CC rispetto al terreno lavorato (Figura 4) (Sáenz-Romo et al., 2019).

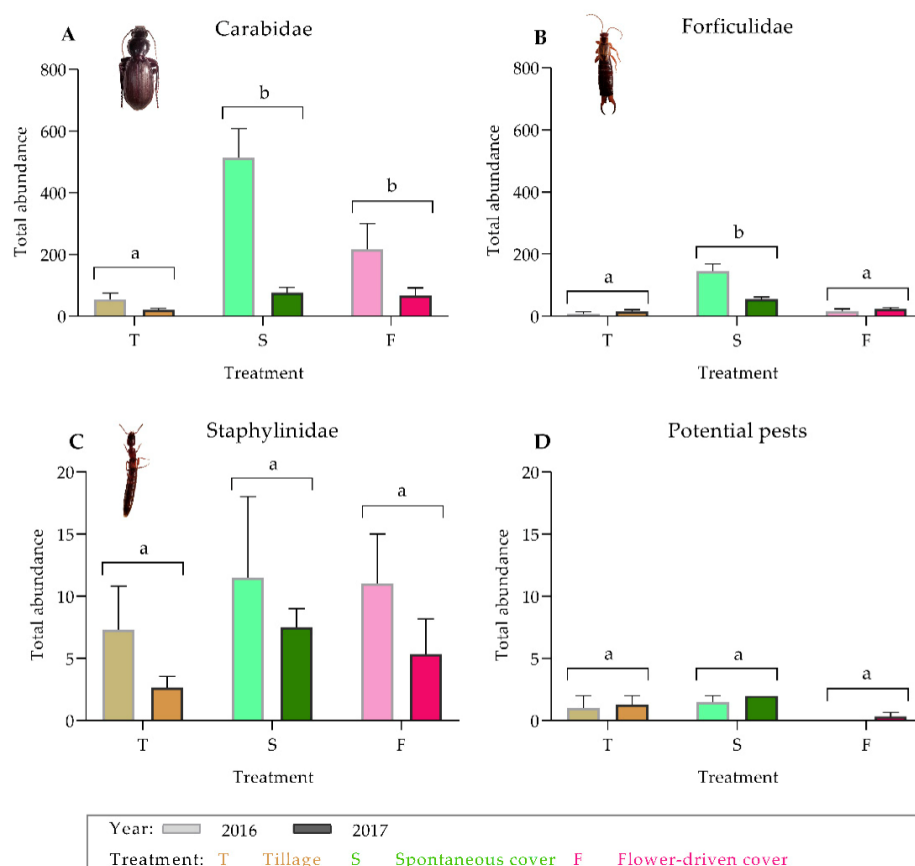


Figura 4. Effetti della gestione del terreno sull'abbondanza totale delle famiglie di predatori in esso presenti.

Nello studio di Costello et al. (2003) sono stati presi in considerazione due principali indici di vigore della vite come misura dell'effetto competitivo della copertura del terreno ed è stato riscontrato una riduzione abbastanza consistente del picciolo fogliare e del peso dei tralci tagliati durante la potatura nel trattamento che prevedeva la presenza di CC. Gli autori hanno concluso che la spiegazione più probabile di un minore attacco della vite da parte delle cicaline è che per effetto della copertura del suolo nel trattamento con CC, la competizione per l'acqua e i nutrienti ha portato a una riduzione del vigore della vite, con conseguente qualità dell'ospite più scadente e indesiderato per le cicaline stesse. Si stima che il controllo biologico naturale dei parassiti valga l'equivalente di 4,5 miliardi di dollari in tutto il mondo (Losey e Vaughn, 2006). Sebbene di solito sia stato dimostrato che i cambiamenti del terreno causati da una maggiore semplificazione del sistema agricolo hanno un impatto negativo sulla biodiversità (Tscharrntke et al., 2005), lo studio condotto da Ortis et al. (2021) ha contrariamente dimostrato che piccoli appezzamenti di vigneti gestiti con pratiche a bassa intensità agricola, hanno sostenuto lo stesso numero di specie e piuttosto simile composizione delle stesse presenti nelle praterie seminaturali. Solo le praterie abbandonate erano caratterizzate da diverse comunità di ortotteri e presentavano il maggior numero di specie.

2.2.2. Effetti sulla qualità del vino

I composti fenolici svolgono un ruolo importante come costituenti del colore del vino, contribuendo così anche alla qualità sensoriale dello stesso. All'interno di questa famiglia di composti troviamo gli antociani che sono le molecole più importanti che si trovano nelle bucce dell'uva rossa. Vengono estratti durante il processo di vinificazione, conferendo il colore rosso bluastrò caratteristico dei vini rossi. Tra i fattori che influenzano quantitativamente la componente fenolica del vino, troviamo il grado di maturità delle uve e l'eccessiva crescita del vigore della vite. Riguardo quest'ultima l'utilizzo di pratiche colturali come le CC può svolgere una funzione importante (Pérez-Álvarez et al., 2015). È stato dimostrato che una eccessiva crescita del vigore della vite possa influenzare in modo negativo le caratteristiche organolettiche del vino; quindi, le CC, andando a competere con la vite, possono determinarne una diminuzione del vigore (Figura 5) (Yuste, 2005; Filippetti et al., 2013; Giese et al., 2014). Si ritiene infatti che un'eccessiva disponibilità di azoto determini vini poco colorati, mentre un apporto moderato potrebbe comportare un maggiore contenuto di antociani (Bell e Henschke, 2005; Portu et al., 2015). Questa riduzione della crescita vegetativa causata dalle CC potrebbe fornire una maggiore esposizione alla luce solare nella zona del grappolo attraverso una

diminuzione della crescita secondaria dei germogli. Questo fatto può ridurre le operazioni di potatura verde e di diradamento dei grappoli migliorando così il metabolismo dei polifenoli negli acini. I vini, quindi, tratterrebbero più di questi composti, migliorando le loro proprietà cromatiche e la struttura, avendo una qualità superiore (Bouzas-Cid et al., 2016).

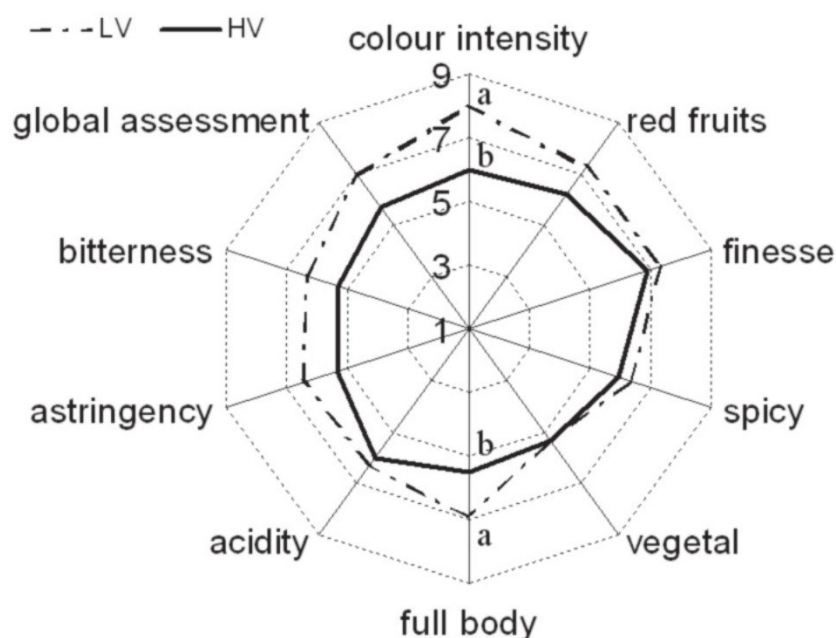


Figura 5. Profilo sensoriale del vino derivante da due vigneti, uno ad alto vigore (HV) e uno a basso vigore (LV).

Xi et al. (2011) hanno testato gli effetti di 4 differenti trattamenti di CC (terreno nudo, trifoglio bianco, erba medica e festuca falascona) sulle caratteristiche qualitative del vino. L'esperimento prevedeva la vinificazione di uve di Cabernet Sauvignon e la successiva analisi sensoriale del vino. I risultati hanno mostrato che i vini prodotti in vigneti gestiti con CC avevano contenuti più elevati di: acetato di etile, acetato di isoamile, ottanoato di etile, esanoato di etile, acetato di feniletile, alcool isoamilico, linalolo, citronellolo, -damascenone, α -ionone e 5-amil-diidro-2(3H)-furano rispetto al controllo e avevano delle concentrazioni superiori alla loro soglia, questi erano gli odori d'impatto dei campioni e giocavano un ruolo importante nell'intero aroma. Da questi risultati si può osservare che le CC possono contribuire positivamente all'aroma del vino migliorando il contenuto di composti aromatici. Sulla base dei dati sensoriali, il vino ottenuto da uve provenienti da vigneti con CC ha presentato un aroma più floreale e alcune note di frutta dolce e matura, tuttavia, i cambiamenti sono stati diversi a seconda della specie di CC impiegata. Il vino proveniente dal trattamento con erba medica ha il più alto contenuto di composti aromatici.

2.2.3. Riduzione dei patogeni

La vite è soggetta all'attacco di diverse malattie fungine. Il controllo delle malattie del vigneto è principalmente diretto contro la peronospora, causata da *Plasmopara viticola*, e l'oidio, causata da *Erysiphe necator*, e non può prescindere dall'uso di mezzi chimici. Se le condizioni ambientali sono favorevoli allo sviluppo dell'epidemia, il numero di trattamenti richiesti può essere piuttosto elevato e, in tali condizioni, diventa essenziale promuovere un ambiente meno favorevole allo sviluppo della malattia attraverso pratiche quali per esempio la riduzione della chioma per diminuirne il ristagno di umidità (Fernandes de Oliveira et al., 2021). La tecnica che prevede l'introduzione di piante concorrenti attraverso l'uso di CC sottovite potrebbe essere vantaggiosa nelle regioni viticole che ricevono abbondanti precipitazioni durante la stagione di crescita, che possono successivamente favorire un'eccessiva crescita vegetativa delle viti. È stato riscontrato che l'uso di CC negli interfilari dei vigneti di uva da vino riduce il vigore della vite, compresa la crescita dei germogli e dei germogli laterali, gli strati fogliari nella chioma, l'area fogliare individuale e la biomassa della potatura (Morlat e Jacquet, 2003; Reynolds et al., 2005; Wheeler et al., 2005; Tesic et al., 2007). Quindi, tutte le pratiche agronomiche che influenzano la crescita vegetativa della vite influenzano la progressione epidemica della malattia (Tivoli et al., 2013). Il marciume del grappolo è una malattia che causa la perdita di resa e qualità in molte colture nei climi temperati di tutto il mondo. Il marciume è causato dal fungo *Botrytis cinerea*, un necrotrofo saprofita. Nell'uva la presenza del fungo può ridurre la resa, contaminare il vino e aumentarne la sensibilità all'ossidazione. In uno studio condotto da Jacometti et al. (2007) la *Phacelia tanacetifolia* e il *Lolium perenne* sono stati usati come CC in un vigneto di chardonnay e confrontati con un vigneto in cui l'interfila veniva lavorata. L'attività biologica funzionale del terreno è aumentata di 1,5-4,5 volte nei trattamenti con CC rispetto al terreno nudo; un effetto correlato all'elevata umidità del terreno in questi trattamenti. Questo aumento dell'umidità del terreno e un più alto tasso di attività biologica del suolo hanno aumentato la degradazione dei detriti di vite e quindi ridotto l'inoculo primario di *B. cinerea* sugli stessi e diminuito la gravità di *B. cinerea* alla fioritura e al raccolto. Ad ogni modo, gli effetti della lavorazione del terreno e delle CC sullo sviluppo della peronospora e altre malattie della vite sono stati ancora poco studiati e richiederebbero maggiori approfondimenti (Vogelweith et al., 2017).

2.3. Effetti sull'ambiente

2.3.1. Effetto sulla lisciviazione dei nitrati e sulle emissioni di N_2O

Parte degli effetti ambientali positivi legati all'impiego di CC sono da ricondurre al miglioramento della salute del suolo. Per salute del suolo si intende "la capacità continua del suolo di funzionare come un sistema vivente vitale, all'interno dei confini dell'ecosistema e dell'uso del suolo, per sostenere la produttività biologica, mantenere la qualità dell'aria e dell'acqua e promuovere la salute delle piante, degli animali e dell'uomo (Doran et al., 1996)". Il fosforo (P) e l'azoto (N), nello specifico i nitrati (NO_3^-), possono provocare degrado ambientale quando disponibili in eccesso, causando eutrofizzazione, proliferazioni algali dannose, ipossia costiera e perdita di biodiversità (Alexander et al., 2008; Glibert e Burford, 2017; Paerl et al., 2018). Per questo motivo sono state promosse pratiche per ridurre le perdite di N e P dagli agrosistemi. L'N si caratterizza per l'elevata mobilità delle forme minerali all'interno del substrato pedologico. La dinamica della disponibilità dei NO_3^- nel terreno è influenzata dalle modalità con cui questo viene gestito. Una lavorazione del terreno dopo la vendemmia porta ad un consistente aumento nel terreno del contenuto di NO_3^- , i quali potrebbero incorrere in un alto rischio di lisciviazione legato alla scarsa presenza di apparati radicali in grado di assorbirli (Schaller, 1991). In agricoltura attraverso le concimazioni azotate, senza dubbio utili per mantenere livelli produttivi adeguati se ben gestiti, in alcuni casi si può avere un forte impatto ambientale a causa della perdita di NO_3^- attraverso i processi di denitrificazione e lisciviazione. L'Unione Europea ha deciso di intervenire con la direttiva 91/676/CEE che impone a tutti gli Stati membri di ridurre l'inquinamento agricolo dovuto ai NO_3^- . L'inerbimento, con l'utilizzo di CC, può essere considerata una tecnica di gestione del terreno ottima per evitare la lisciviazione dell'N e renderlo disponibile alle piante e nello stesso tempo limitarne le concimazioni azotate. Buoni risultati si possono ottenere coltivando le leguminose come CC, in quanto grazie ai batteri simbiotici presenti nel terreno sono in grado di fissare l'azoto atmosferico. Si possono usare anche specie denominate "*catch crops*" non-leguminose che grazie alle loro radici sono in grado di assorbire sia l'acqua che i NO_3^- impedendone la lisciviazione in falda (Tarantino e Disciglio, 2006).

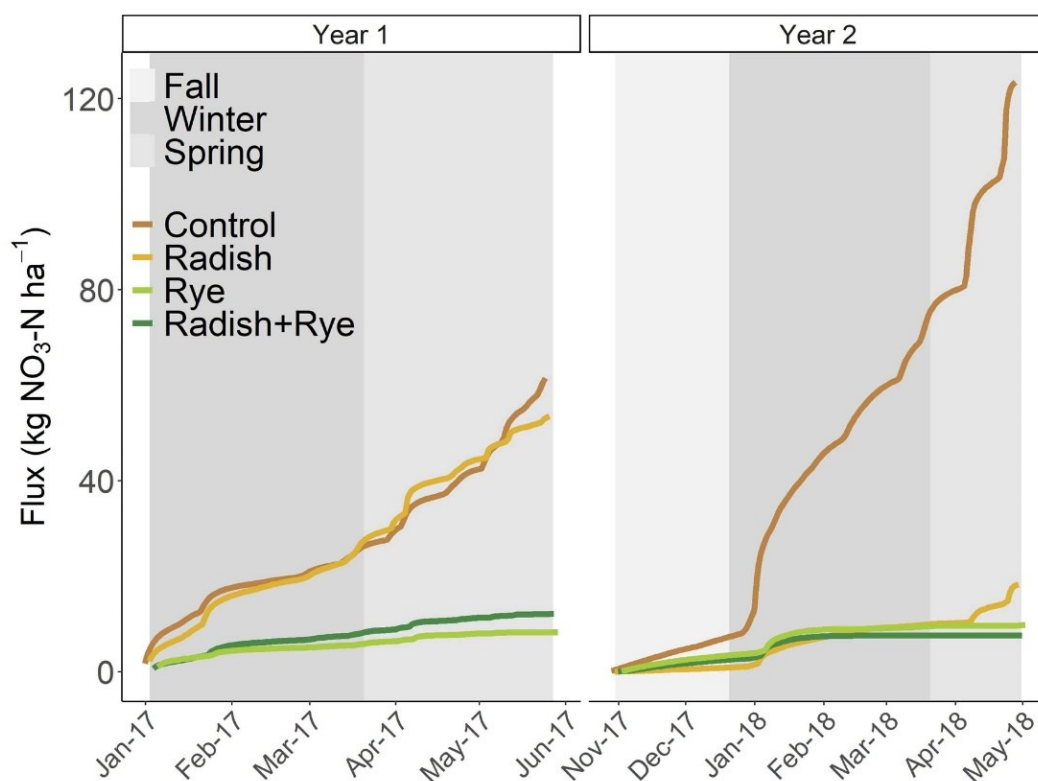


Figura 6. Perdite per lisciviazione di $\text{NO}_3\text{-N}$ (kg ha^{-1}) nei due anni di sperimentazione.

La figura 6 mostra le perdite cumulate per lisciviazione di $\text{NO}_3\text{-N}$ (kg ha^{-1}) ottenute nello studio di Gaimaro et al. (2022). È stato dimostrato che i legumi, anche se non fertilizzati, possono determinare emissioni di N_2O paragonabili alle colture annuali di non leguminose fertilizzate. Inoltre, la gestione dell'agrosistema senza asportazione dei residui colturali determina generalmente un aumento delle emissioni di N_2O a causa dell'aggiunta di C e N, che stimola la nitrificazione e la denitrificazione (Bouwman et al., 2002).

3. CONSIDERAZIONI ECONOMICHE

Gli agricoltori hanno bisogno di informazioni migliori su efficienza, qualità e quantità per quanto riguarda l'effetto dell'introduzione di una CC nella rotazione, per capire se questa tecnica può effettivamente apportare dei benefici economici tali che ne giustifichino la messa in atto. Il miglioramento ambientale è già stato dimostrato da diversi autori (Hargrove, 1991, McCracken et al., 1994, Salmerón et al., 2010, Quemada et al., 2013). I viticoltori, che producono il proprio vino e sono coinvolti nel marketing diretto, generano valore aggiunto e possono influenzare il prezzo dei loro prodotti. I prezzi del vino in bottiglia mostrano un ampio range di prezzi. Questo non può essere spiegato solo da diverse qualità, ma soprattutto da un marketing di successo. Lo sviluppo turistico delle regioni vinicole offre un grande potenziale per stabilire prezzi più elevati e l'uso di CC può avere un effetto aggiuntivo, considerando la tendenza in corso per un consumo sostenibile (Schütte et al., 2020). La coltivazione di CC potrebbe comportare costi aggiuntivi per l'azienda in tre diverse forme: costi diretti, indiretti e opportunità (Snapp et al., 2005). I costi diretti riguardano per la maggior parte l'impianto e la semina, ma in certi casi anche la lavorazione del terreno. Quelli indiretti riguardano ad esempio la riduzione dei benefici attesi sulla coltura da reddito per via delle CC troppo vigorose o che si comportano come infestanti. Infine, si generano costi opportunità dati dalla perdita dei vantaggi nel produrre un altro raccolto da reddito. Alcune CC (ad es. le brassiche) sono costose rispetto a legumi e cereali. D'altro canto, le coperture dei legumi sono considerate a crescita lenta e costose da allestire rispetto ai cereali (Snapp et al., 2005). I coltivatori sono più interessati alle colture che sono associate a un guadagno economico netto più elevato: in particolare se il produttore può acquisire valore pascolando la coltura di copertura, utilizzando la coltura di copertura come fonte di foraggio nel tardo autunno o all'inizio della primavera, producendo foraggi di alta qualità insilato o attraverso la raccolta del seme (Snapp et al., 2005; Wortman et al., 2012). Tra i benefici apportati dalla coltivazione delle CC troviamo: la produzione di biomassa, la fornitura di N, lo stoccaggio di C nel suolo, la ritenzione di NO_3 , il controllo dell'erosione, la soppressione delle erbe infestanti, la colonizzazione di AMF e la conservazione benefica degli insetti (Figura 7) (Schipanski et al., 2014).

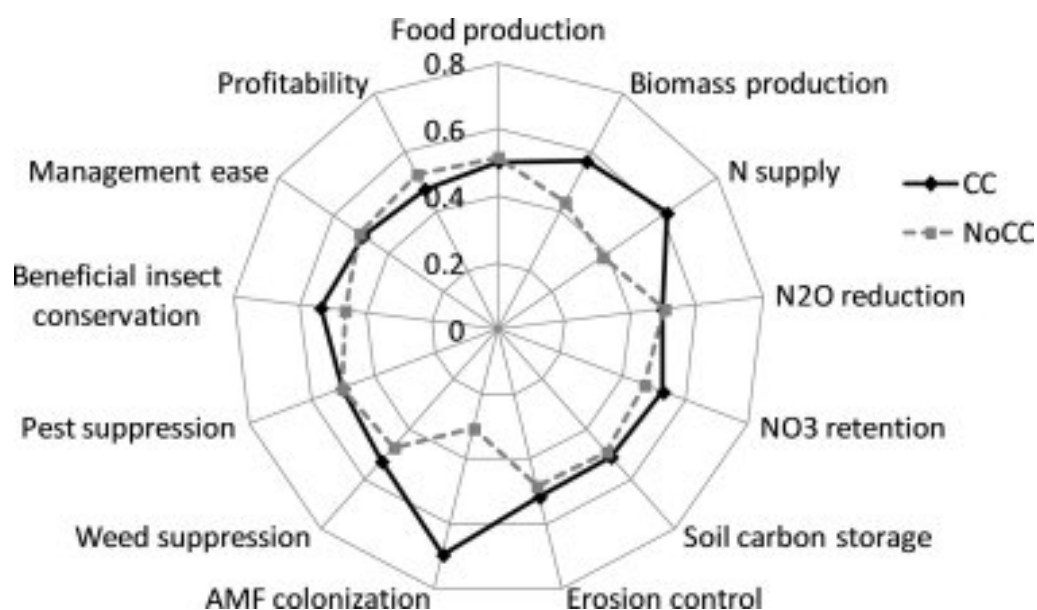


Figura 7. Le colture di copertura hanno aumentato quasi tutti i servizi di supporto e regolazione.

Si sono verificati compromessi tra parametri economici e benefici ambientali. Le metriche di redditività e facilità di gestione, che contribuiscono direttamente e indirettamente al successo economico dei sistemi agricoli, erano inferiori nel sistema CC. Gli ostacoli economici a breve termine legati all'adozione delle CC potrebbero essere ridotti attraverso l'attuazione di programmi di condivisione dei costi o incentivi (Schipanski et al., 2014). Nonostante gli evidenti servizi ambientali forniti e la gamma di benefici agronomici documentati in letteratura, l'adozione della tecnica delle CC da parte degli agricoltori è ancora limitata (Thorup-Kristensen et al., 2003).

4. CONCLUSIONI

Questa tesi è stata svolta con lo scopo di presentare gli effetti delle CC sull'agro-ecosistema vigneto. L'indagine è stata svolta attraverso l'analisi di studi riguardanti l'effetto delle CC sul terreno, la coltura e l'ambiente nel loro insieme. Dalla presente tesi è emerso che l'utilizzo delle CC, se gestito correttamente, apporta effetti benefici non trascurabili. Rispetto al terreno si annoverano: la riduzione dell'erosione, l'aumento del contenuto di sostanza organica, il miglioramento dell'attività biologica, la riduzione della lisciviazione dei nitrati. Gli effetti sulla pianta sono invece una riduzione degli attacchi patogeni e un miglioramento delle qualità organolettiche del vino. Inoltre, è emerso che non tutte le specie di CC hanno le stesse caratteristiche e quindi esercitano effetti diversi sul terreno o sulla qualità della bacca e quindi sul vino come prodotto finale. Questi risultati sono coerenti con l'aspettativa inizialmente espressa nell'elaborato, secondo la quale l'utilizzo delle CC può essere una valida tecnica agronomica per produrre tanto quanto nei sistemi convenzionali ma con molto meno lavoro, fitofarmaci, fertilizzanti e impatti negativi sull'ambiente. Queste osservazioni sono infatti state dimostrate da diversi studi, mentre molti altri hanno dimostrato la necessità di approfondire alcuni aspetti. L'aspetto economico come anche alcuni aspetti tecnici hanno ancora un margine di approfondimento. In conclusione, l'utilizzo di questa pratica nei sistemi vitivinicoli ha elevate potenzialità e rimane un campo di ricerca di significativo interesse.

5. BIBLIOGRAFIA

- Alexander, R. B., Smith, R. A., Schwarz, G. E., Boyer, E. W., Nolan, J. V., & Brakebill, J. W. (2008). Differences in phosphorus and nitrogen delivery to the Gulf of Mexico from the Mississippi River Basin. *Environmental science & technology*, 42(3), 822-830.
- Arnaez, J., Lasanta, T., Ruiz-Flaño, P., & Ortigosa, L. (2007). Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. *Soil and Tillage Research*, 93(2), 324-334.
- Bechini, L., Marino Gallina, P., Michelon, L., & Tadiello, T. (2020). Cover crop: schede tecniche per la coltivazione. Milano: Università degli Studi di Milano, 2020. - ISBN 978-88-908987-9-2.
- Bell, S. J., & Henschke, P. A. (2005). Implications of nitrogen nutrition for grapes, fermentation and wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 11(3), 242-295.
- Ben-Salem, N., Álvarez, S., & López-Vicente, M. (2018). Soil and water conservation in rainfed vineyards with common sainfoin and spontaneous vegetation under different ground conditions. *Water*, 10(8), 1058.
- Berg, G., & Smalla, K. (2009). Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere. *FEMS microbiology ecology*, 68(1), 1-13.
- Bethlenfalvay, G. J., & Svejcar, T. E. (1991). Mycorrhizae in plant productivity and soil conservation. In *Proceedings of the IV th International Rangeland Congress, Montpellier, France*.
- Bouwman, A. F., Boumans, L. J. M., & Batjes, N. H. (2002). Emissions of N₂O and NO from fertilized fields: Summary of available measurement data. *Global biogeochemical cycles*, 16(4), 6-1.
- Bouzas-Cid, Y., Portu, J., Pérez-Álvarez, E. P., Gonzalo-Diago, A., & Garde-Cerdán, T. (2016). Effect of vegetal ground cover crops on wine anthocyanin content. *Scientia Horticulturae*, 211, 384-390.
- Brevik, E. C. (2013). The potential impact of climate change on soil properties and processes and corresponding influence on food security. *Agriculture*, 3(3), 398-417.
- Burns, K. N., Kluepfel, D. A., Strauss, S. L., Bokulich, N. A., Cantu, D., & Steenwerth, K. L. (2015). Vineyard soil bacterial diversity and composition revealed by 16S rRNA genes: differentiation by geographic features. *Soil Biology and Biochemistry*, 91, 232-247.
- Carpenter, S. R., Stanley, E. H., & Vander Zanden, M. J. (2011). State of the world's freshwater ecosystems: physical, chemical, and biological changes. *Annual review of Environment and Resources*, 36, 75-99.
- Cataldo, E., Salvi, L., Sbraci, S., Storchi, P., & Mattii, G. B. (2020). Sustainable viticulture: Effects of soil management in *Vitis vinifera*. *Agronomy*, 10(12), 1949.
- Cerdà, A. (1998). The influence of aspect and vegetation on seasonal changes in erosion under rainfall simulation on a clay soil in Spain. *Canadian Journal of Soil Science*, 78(2), 321-330.
- Cerdà, A., Jurgensen, M., & Bodí, M. (2009). Effects of ants on water and soil losses from organically-managed citrus orchards in eastern Spain. *Biologia*, 64(3), 527-531.

- Cerdà, A., Morera, A. G., & Bodí, M. B. (2009). Soil and water losses from new citrus orchards growing on sloped soils in the western Mediterranean basin. *Earth Surface Processes and Landforms: the Journal of the British Geomorphological Research Group*, 34(13), 1822-1830.
- Costello, M. J., & Daane, K. M. (2003). Spider and leafhopper (*Erythroneura* spp.) response to vineyard ground cover. *Environmental Entomology*, 32(5), 1085-1098.
- Delpuech, X., & Metay, A. (2018). Adapting cover crop soil coverage to soil depth to limit competition for water in a Mediterranean vineyard. *European Journal of Agronomy*, 97, 60-69.
- Doran, J. W. (1996). Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy*, 56, 1-54.
- Fernandes de Oliveira, A., Serra, S., Ligios, V., Satta, D., & Nieddu, G. (2021). Assessing the effects of vineyard soil management on downy and powdery mildew development. *Horticulturae*, 7(8), 209.
- Fierer, N., Schimel, J. P., & Holden, P. A. (2003). Variations in microbial community composition through two soil depth profiles. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(1), 167-176.
- Filippetti, I., Allegro, G., Valentini, G., Pastore, C., Colucci, E., & Intrieri, C. (2013). Influence of vigour on vine performance and berry composition of cv. Sangiovese (*Vitis vinifera* L.). *OENO One*, 47(1), 21-33.
- Finney, D. M., Murrell, E. G., White, C. M., Baraibar, B., Barbercheck, M. E., Bradley, B. A., ... & Schipanski, M. E. (2017). Ecosystem services and disservices are bundled in simple and diverse cover cropping systems. *Agricultural & Environmental Letters*, 2(1), 170033.
- Gaimaro, J., Timlin, D., & Tully, K. (2022). Comparison of cover crop monocultures and mixtures for suppressing nitrogen leaching losses. *Agricultural Water Management*, 261, 107348.
- García-Díaz, A., Allas, R. B., Gristina, L., Cerdà, A., Pereira, P., & Novara, A. (2016). Carbon input threshold for soil carbon budget optimization in eroding vineyards. *Geoderma*, 271, 144-149.
- García-Díaz, A., Bienes, R., Sastre, B., Novara, A., Gristina, L., & Cerda, A. (2017). Nitrogen losses in vineyards under different types of soil groundcover. A field runoff simulator approach in central Spain. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 236, 256-267.
- Giese, G., Velasco-Cruz, C., Roberts, L., Heitman, J., & Wolf, T. K. (2014). Complete vineyard floor cover crops favorably limit grapevine vegetative growth. *Scientia horticulturae*, 170, 256-266.
- Glibert, P. M., & Burford, M. A. (2017). Globally changing nutrient loads and harmful algal blooms: recent advances, new paradigms, and continuing challenges. *Oceanography*, 30(1), 58-69.
- Gómez, J. A., Llewellyn, C., Basch, G., Sutton, P. B., Dyson, J. S., & Jones, C. A. (2011). The effects of cover crops and conventional tillage on soil and runoff loss in vineyards and olive groves in several Mediterranean countries. *Soil Use and Management*, 27(4), 502-514.
- Goulson, D. (2013). An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology*, 50(4), 977-987.
- Grandy, A. S., & Neff, J. C. (2008). Molecular C dynamics downstream: the biochemical decomposition sequence and its impact on soil organic matter structure and function. *Science of the Total Environment*, 404(2-3), 297-307.

- Grey, V., Livesley, S. J., Fletcher, T. D., & Szota, C. (2018). Tree pits to help mitigate runoff in dense urban areas. *Journal of Hydrology*, 565, 400-410.
- Guerra, B., & Steenwerth, K. (2012). Influence of floor management technique on grapevine growth, disease pressure, and juice and wine composition: A review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 63(2), 149-164.
- Hargrove, W. L. (1991). *Cover crops for clean water*. Ankeny, IA: Soil and Water Conservation Society.
- Hendgen, M., Hoppe, B., Döring, J., Friedel, M., Kauer, R., Frisch, M., ... & Kellner, H. (2018). Effects of different management regimes on microbial biodiversity in vineyard soils. *Scientific reports*, 8(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27743-0>
- Jacometti, M. A., Wratten, S. D., & Walter, M. (2007). Enhancing ecosystem services in vineyards: using cover crops to decrease botrytis bunch rot severity. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 5(4), 305-314.
- Jacometti, M. A., Wratten, S. D., & Walter, M. (2007). Understorey management increases grape quality, yield and resistance to Botrytis cinerea. *Agriculture, ecosystems & environment*, 122(3), 349-356.
- Jones, C., Basch, G., Baylis, A., Bazzoni, D., Biggs, J., Bradbury, R., ... & Thomas, F. (2006). Conservation agriculture in Europe: an approach to sustainable crop production by protecting soil and water?.
- Jordan, L. M., Björkman, T., & Heuvel, J. E. V. (2016). Annual under-vine cover crops did not impact vine growth or fruit composition of mature cool-climate 'Riesling' grapevines. *HortTechnology*, 26(1), 36-45.
- Kögel-Knabner, I. (2002). The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil biology and biochemistry*, 34(2), 139-162.
- Komárek, M., Száková, J., Rohošková, M., Javorská, H., Chrastný, V., & Balík, J. (2008). Copper contamination of vineyard soils from small wine producers: a case study from the Czech Republic. *Geoderma*, 147(1-2), 16-22.
- Kuzyakov, Y., Blagodatskaya, E., & Blagodatsky, S. (2009). Comments on the paper by Kemmitt et al. (2008) 'Mineralization of native soil organic matter is not regulated by the size, activity or composition of the soil microbial biomass—A new perspective' [Soil Biology & Biochemistry 40, 61–73]: The biology of the Regulatory Gate. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(2), 435-439.
- Losey, J. E., & Vaughan, M. (2006). The economic value of ecological services provided by insects. *Bioscience*, 56(4), 311-323.
- Lu, Y. C., Watkins, K. B., TEASDALE, J. R., & ABDUL-BAKI, A. A. (2000). Cover crops in sustainable food production. *Food Reviews International*, 16(2), 121-157.
- Martínez-García, L. B., Korthals, G., Brussaard, L., Jørgensen, H. B., & De Deyn, G. B. (2018). Organic management and cover crop species steer soil microbial community structure and functionality along with soil organic matter properties. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 263, 7-17.
- McCracken, D. V., Smith, M. S., Grove, J. H., MacKown, C. T., & Blevins, R. L. (1994). Nitrate leaching as influenced by cover cropping and nitrogen source. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1476-1483.

- Mohammed, S., Hassan, E., Abdo, H. G., Szabo, S., Mokhtar, A., Alsafadi, K., ... & Rodrigo-Comino, J. (2021). Impacts of rainstorms on soil erosion and organic matter for different cover crop systems in the western coast agricultural region of Syria. *Soil Use And Management*, 37(1), 196-213.
- Möller, G., Keasar, T., Shapira, I., Möller, D., Ferrante, M., & Segoli, M. (2021). Effect of weed management on the parasitoid community in Mediterranean vineyards. *Biology*, 10(1), 7.
- Morlat, R., & Jacquet, A. (2003). Grapevine root system and soil characteristics in a vineyard maintained long-term with or without interrow sward. *American Journal of Enology and Viticulture*, 54(1), 1-7.
- Novara, A., Cerda, A., Dazzi, C., Lo Papà, G., Santoro, A., & Gristina, L. (2015). Effectiveness of carbon isotopic signature for estimating soil erosion and deposition rates in Sicilian vineyards. *Soil and Tillage Research*, 152, 1-7.
- Novara, A., Gristina, L., Guaitoli, F., Santoro, A., & Cerdà, A. (2013). Managing soil nitrate with cover crops and buffer strips in Sicilian vineyards. *Solid Earth*, 4(2), 255-262.
- Ortis, G., Mazzon, L., Cavaletto, G., Marangoni, F., & Marini, L. (2021). Can extensively managed perennial crops serve as surrogate habitat for orthopterans typical of dry calcareous grasslands?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 319, 107536.
- Paerl, H. W., Otten, T. G., & Kudela, R. (2018). Mitigating the expansion of harmful algal blooms across the freshwater-to-marine continuum.
- Peoples, M. B., Brockwell, J., Herridge, D. F., Rochester, I. J., Alves, B. J. R., Urquiaga, S., ... & Jensen, E. S. (2009). The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis*, 48(1), 1-17.
- Peregrina, F., Larrieta, C., Ibáñez, S., & García-Escudero, E. (2010). Labile organic matter, aggregates, and stratification ratios in a semiarid vineyard with cover crops. *Soil Science Society of America Journal*, 74(6), 2120-2130.
- Plaza, C., Courtier-Murias, D., Fernández, J. M., Polo, A., & Simpson, A. J. (2013). Physical, chemical, and biochemical mechanisms of soil organic matter stabilization under conservation tillage systems: a central role for microbes and microbial by-products in C sequestration. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, 124-134.
- Portu, J., López-Alfaro, I., Gómez-Alonso, S., López, R., & Garde-Cerdán, T. (2015). Changes on grape phenolic composition induced by grapevine foliar applications of phenylalanine and urea. *Food chemistry*, 180, 171-180.
- Prosdocimi, M., Jordán, A., Tarolli, P., Keesstra, S., Novara, A., & Cerdà, A. (2016). The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean vineyards. *Science of the Total Environment*, 547, 323-330.
- Quemada, M., Baranski, M., Nobel-de Lange, M. N. J., Vallejo, A., & Cooper, J. M. (2013). Meta-analysis of strategies to control nitrate leaching in irrigated agricultural systems and their effects on crop yield. *Agriculture, ecosystems & environment*, 174, 1-10.
- Reiff, J. M., Kolb, S., Entling, M. H., Herndl, T., Möth, S., Walzer, A., ... & Winter, S. (2021). Organic farming and cover-crop management reduce pest predation in Austrian vineyards. *Insects*, 12(3), 220.
- Reynolds, A. G., Parchomchuk, P., Berard, R., Naylor, A. P., & Hogue, E. (2005). Gewurztraminer grapevines respond to length of water stress duration. *International journal of fruit science*, 5(4), 75-94.

- Ruiz-Colmenero, M., Bienes, R., & Marques, M. J. (2011). Soil and water conservation dilemmas associated with the use of green cover in steep vineyards. *Soil and Tillage Research*, 117, 211-223.
- Sáenz-Romo, M. G., Veas-Bernal, A., Martínez-García, H., Ibáñez-Pascual, S., Martínez-Villar, E., Campos-Herrera, R., ... & Pérez-Moreno, I. (2019). Effects of ground cover management on insect predators and pests in a Mediterranean vineyard. *Insects*, 10(12), 421.
- Salmerón, M., Caverro, J., Quílez, D., & Isla, R. (2010). Winter cover crops affect monoculture maize yield and nitrogen leaching under irrigated Mediterranean conditions. *Agronomy journal*, 102(6), 1700-1709.
- Schaller, K. (1991, June). Ground water pollution by nitrate in viticultural areas. In *Proceedings of the International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine*. JM Rantz (Ed.) (pp. 12-22).
- Schipanski, M. E., Barbercheck, M., Douglas, M. R., Finney, D. M., Haider, K., Kaye, J. P., ... & White, C. (2014). A framework for evaluating ecosystem services provided by cover crops in agroecosystems. *Agricultural Systems*, 125, 12-22.
- Schütte, R., Plaas, E., Gómez, J. A., & Guzmán, G. (2020). Profitability of erosion control with cover crops in European vineyards under consideration of environmental costs. *Environmental Development*, 35, 100521.
- Smart, R. E., Dick, J. K., Gravett, I. M., & Fisher, B. M. (1990). Canopy management to improve grape yield and wine quality-principles and practices. *South african journal of Enology and Viticulture*, 11(1), 3-17.
- Snapp, S. S., Swinton, S. M., Labarta, R., Mutch, D., Black, J. R., Leep, R., ... & O'neil, K. (2005). Evaluating cover crops for benefits, costs and performance within cropping system niches. *Agronomy journal*, 97(1), 322-332.
- Steenwerth, K., & Belina, K. M. (2008). Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem. *Applied soil ecology*, 40(2), 359-369.
- Storr, T., Simmons, R. W., & Hannam, J. A. (2019). A UK survey of the use and management of cover crops. *Annals of Applied Biology*, 174(2), 179-189.
- Tarantino, E., & Disciglio, G. (2006). Agriculture in protected areas: agronomic aspects [Italy]. *Italian Journal of Agronomy (Italy)*.
- Tesic, D., Keller, M., & Hutton, R. J. (2007). Influence of vineyard floor management practices on grapevine vegetative growth, yield, and fruit composition. *American Journal of Enology and Viticulture*, 58(1), 1-11.
- Thorup-Kristensen, K., Magid, J., & Jensen, L. S. (2003). Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Advances in agronomy*, 227-302.
- Tivoli, B., Calonnec, A., Richard, B., Ney, B., & Andrivon, D. (2013). Current knowledge on plant/canopy architectural traits that reduce the expression and development of epidemics. *European Journal of Plant Pathology*, 135(3), 471-478.
- Tsanis, I. K., Seiradakis, K. D., Sarchani, S., Panagea, I. S., Alexakis, D. D., & Koutroulis, A. G. (2021). The Impact of Soil-Improving Cropping Practices on Erosion Rates: A Stakeholder-Oriented Field Experiment Assessment. *Land*, 10(9), 964.

- Tscharntke, T., Klein, A. M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., & Thies, C. (2005). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity–ecosystem service management. *Ecology letters*, 8(8), 857-874.
- Uson, A., Espinosa, E., & Poch, R. M. (1998). Effectivity of soil conservation practices in vineyard soils from Catalonia region, Spain. *International agrophysics*, 12(3).
- Van-Camp, L., Bujarrabal, B., Gentile, A. R., Jones, R. J., Montanarella, L., Olazabal, C., & Selvaradjou, S. K. (2004). Technical working groups established under the thematic strategy for soil protection.
- Veloso, M. G., Angers, D. A., Tiecher, T., Giacomini, S., Dieckow, J., & Bayer, C. (2018). High carbon storage in a previously degraded subtropical soil under no-tillage with legume cover crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 268, 15-23.
- Vogelweith, F., & Thiery, D. (2017). Cover crop differentially affects arthropods, but not diseases, occurring on grape leaves in vineyards. *Australian journal of grape and wine research*, 23(3), 426-431.
- Wheeler, S. J., & Pickering, G. J. (2003). Optimizing grape quality through soil management practices. *Food Agric. Environ*, 1(2), 190-197.
- Wheeler, S. J., & Pickering, G. J. (2006). The effects of soil management techniques on grape and wine quality. *Fruits. Growth, Nutrition and Quality. Helsinki: WFL Publisher*, 195-208.
- Wheeler, S. J., Black, A. S., & Pickering, G. J. (2005). Vineyard floor management improves wine quality in highly vigorous *Vitis vinifera* 'Cabernet Sauvignon' in New Zealand.
- Wortman, S. E., Francis, C., Bernards, M. L., Drijber, R. A., & Lindquist, J. L. (2012). Optimizing cover crop benefits with diverse mixtures and an alternative termination method.
- Xi, Z. M., Tao, Y. S., Zhang, L., & Li, H. (2011). Impact of cover crops in vineyard on the aroma compounds of *Vitis vinifera* L. cv Cabernet Sauvignon wine. *Food Chemistry*, 127(2), 516-522.
- Yuste, J., 2005. Vegetal covers for the vineyard. *Wine Technology*, 27, 48-54.
- Zhang, D., Wang, Z., Guo, Q., Lian, J., & Chen, L. (2019). Increase and spatial variation in soil infiltration rates associated with fibrous and tap tree roots. *Water*, 11(8), 1700.