



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE AGRARIE E DEL TERRITORIO

**DISTRIBUZIONE RADICALE IN UN  
PESCHETO CON PACCIAMATURA VIVA  
SOTTOFILA**

TESI sperimentale

Studente:  
VALENTINA BELLUCCI

Relatore:  
PROF. DAVIDE NERI

Correlatore:  
DOTT.SSA VERONICA GIORGI

ANNO ACCADEMICO 2022-2023



# SOMMARIO

ELENCO DELLE TABELLE.....	4
ELENCO DELLE FIGURE .....	5
PREMESSA .....	7
CAPITOLO 1 . INTRODUZIONE .....	1
1.1 Le sfide dell'agricoltura di oggi e la corretta gestione del suolo come strumento chiave per affrontarle.....	1
1.1.1 Biodiversità e fertilità del suolo.....	3
1.1.2 Difesa.....	6
1.1.3 Erosione e contaminazione ambientale.....	7
1.2 La gestione del suolo: ieri e oggi .....	10
1.2.1 Lavorazione del suolo.....	11
1.2.2 Inerbimento del suolo .....	13
1.2.3 Pacciamatura.....	14
1.3 La gestione del sottofila .....	25
CAPITOLO 2 . SCOPO DELLA TESI .....	29
CAPITOLO 3 . MATERIALI E METODI .....	30
2.1 Localizzazione e descrizione del sito di sperimentazione.....	30
2.2 Descrizione delle analisi svolte.....	33
3.1.1 Analisi delle radici.....	33
3.1.2 Analisi in campo .....	40
CAPITOLO 4 . RISULTATI .....	42
4.1 Copertura del suolo .....	42
4.2 Radici.....	46
4.3 Calibro dei fusti delle piante di pesco.....	55
CAPITOLO 5 CONCLUSIONI .....	58
BIBLIOGRAFIA .....	63

## ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1: Principali vantaggi delle coperture vegetali e dei sistemi di pacciamatura vivente nei frutteti.....	18
Tabella 2: Principali svantaggi delle coperture vegetali e dei sistemi di pacciamatura vivente nei frutteti .....	22

## ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1: Benefici delle cover crops (Quintarelli et al., 2022).....	3
Figura 2: Ecologia dell’umificazione (modificato da Zucconi Gangatharan R, Neri D, 2012) .....	5
Figura 3: Diversa distribuzione dei livelli di erosione e runoff in un frutteto gestito con diserbo chimico, lavorazione o copertura vegetale (Keesstra et al., 2016) .....	9
Figura 4: Lavorazione interfila in un vigneto ( <a href="https://www.aratri-trivelle.it/dettaglio-prodotto-14">https://www.aratri-trivelle.it/dettaglio-prodotto-14</a> ) .....	12
Figura 5: Inerbimento in frutteto ( <a href="http://www.confagricolturabelluno.it/ecoschema-2-pagamento-per-inerbimento-delle-culture-arboree/">http://www.confagricolturabelluno.it/ecoschema-2-pagamento-per-inerbimento-delle-culture-arboree/</a> ).....	13
Figura 6: Trincia andanatrice in vigneto ( <a href="https://www.informatoreagrario.it/filiere-produttive/vitevino/attrezzature-e-gestione-della-pacciamatura-naturale/">https://www.informatoreagrario.it/filiere-produttive/vitevino/attrezzature-e-gestione-della-pacciamatura-naturale/</a> ) .....	15
Figura 7: Teli pacciamanti biodegradabili in juta ( <a href="https://www.jutatex.com/">https://www.jutatex.com/</a> ) .....	16
Figura 8: Inerbimento autunno-primaverile in vigneto ( <a href="https://agronotizie.imagelinenetwork.com/agricoltura-economia-politica/2020/12/16/vigneto-un-aiuto-in-piu-arriva-dagli-inerbimenti-autunno-primaverili/68826">https://agronotizie.imagelinenetwork.com/agricoltura-economia-politica/2020/12/16/vigneto-un-aiuto-in-piu-arriva-dagli-inerbimenti-autunno-primaverili/68826</a> ) .....	17
Figura 9: Crescita (aumento altezza, cm) e aumento del numero di rami laterali degli alberi nei diversi trattamenti (Giorgi et al., 2022).....	28
Figura 10: Visualizzazione satellitare del contesto territoriale in cui è situato il campo sperimentale .....	30
Figura 11: Frutteto sperimentale. Particolare di piante al di sopra della pacciamatura con menta.....	32
Figura 12: Frutteto sperimentale. Particolare di piante al di sopra della pacciamatura con fragola .....	32
Figura 13: Esempio di carotaggio su trattamento “fragola” .....	34
Figura 14: Esempio di rilievi svolti su trattamento “controllo” .....	34
Figura 15: Immersione del campione in acqua	
Figura 16: Serie di setacci utilizzati.....	35
Figura 17: lavaggio delle radici su setaccio tramite getto d’acqua .....	36

Figura 18: Postazione di lavoro per l'individuazione e la selezione delle radici .....	37
Figura 19: Posizionamento delle radici selezionate su carta assorbente .....	37
Figura 20: Disposizione delle radici su fogli di plastica per scanner .....	38
Figura 21: Immagine scannerizzata di radici .....	39
Figura 22: Valutazione della copertura vegetale del suolo .....	41
Figura 23: Valutazione della composizione della copertura vegetale del suolo .....	41
Figura 24: Copertura totale del suolo (data dalle specie pacciamanti e dalle spontanee: evoluzione nel tempo .....	42
Figura 25: Copertura a base di menta: come si presenta dopo 4 anni (9/10/2023) .....	43
Figura 26: Copertura del suolo da parte delle specie spontanee e pacciamante: analisi sulla composizione della copertura.....	44
Figura 27: Copertura del suolo da parte delle specie spontanee: analisi sulla composizione della copertura.....	45
Figura 28: RLD (cm/g) delle radici di pesco e specie spontanee e pacciamanti in relazione al trattamento e alla profondità. Le barre di errore indicano l'errore standard. Lettere diverse indicano differenze significative (test HSD Tukey, $p < 0,001$ ) .....	47
Figura 29: RLD (cm/g) delle radici di pesco in relazione e alla profondità.....	49
Figura 30: RLD (cm/g) delle radici di pacciamanti e spontanee in relazione e alla profondità .....	49
Figura 31: Diametro medio (cm) delle radici di pesco .....	51
Figura 32: Diametro medio (cm) delle radici delle specie della copertura .....	51
Figura 33: Volumi radicali (cm <sup>3</sup> ) di pesco e specie della copertura .....	53
Figura 34: Volumi radicali (cm <sup>3</sup> ) del pesco alle diverse profondità .....	54
Figura 35: Volumi radicali (cm <sup>3</sup> ) di pacciamanti e spontanee alle diverse profondità ....	54
Figura 36: TCSA (mm <sup>2</sup> ) delle piante di pesco negli anni 2021, 2022, 2023 .....	56
Figura 37: Crescite dei diametri dei fusti nelle due stagioni (2021-22 e 2022-23).....	57
Figura 38: Pacciamatura viva sottofila con fragola: effetto delle specie spontanee. ....	61

## PREMESSA

Sostanza organica, biodiversità, presenza di biocenosi e di relazioni tra le varie componenti dell'agroecosistema sono parti essenziali per la funzionalità, la fertilità e la salute di un suolo. È indispensabile dunque che, in un'ottica di necessità di produzione sempre maggiore e di cambiamenti climatici che minacciano la stabilità del sistema agricolo, oltre a garantire la lotta contro fenomeni di perdita di fertilità (erosione, lisciviazione e run-off di nitrati, sostanza organica e minerali), le tecniche di gestione del suolo consentano di ottenere un contributo al mantenimento e all'arricchimento della salute dei suoli costituendo un agroecosistema che sia diversificato, adatto alle condizioni locali e in questo modo resiliente nei confronti delle minacce e delle avversità ambientali. Sono numerosi gli studi che annoverano queste potenzialità tra i benefici delle cover crops e delle pacciamature di tipo vivente.

In questo lavoro si è valutato, tramite lo studio della distribuzione radicale in pescheto con pacciamatura viva sottofila, la capacità di diverse specie pacciamanti di interferire in modo differenziato con la pianta di pesco. Pacciamature viventi a base di specie selezionate possono stimolare la radicazione del pesco, portare la pianta a sviluppare maggiori diametri radicali e rappresentare, una volta raggiunto l'equilibrio, un apporto di sostanza organica e azoto al suolo. Un fattore limitante di questa tecnica tuttavia, e dunque occasione di approfondimento per ulteriori studi, si trova nella possibilità di competizione delle erbacee con la specie coltivata, che può portare, specialmente nel caso di impianti giovani e con portinnesti meno vigorosi, a ridurre la crescita vegetativa della porzione aerea delle piante.

# Capitolo 1. INTRODUZIONE

## **1.1 Le sfide dell'agricoltura di oggi e la corretta gestione del suolo come strumento chiave per affrontarle**

Oggi l'agricoltura è sottoposta a numerose e complesse sfide: al settore agricolo viene chiesto di produrre in quantità sempre maggiori prodotti di qualità sempre più elevata e di farlo in modo sostenibile, nei suoi vari significati. Al tempo stesso la produzione agricola deve poter superare minacce e adattarsi ai rischi connessi con la crisi climatica in corso: temperature crescenti, siccità, alluvioni, erosione del suolo, e perdita di fertilità, sostanza organica e biodiversità con conseguenti gravi attacchi di patogeni e parassiti.

Per soddisfare la crescente domanda di cibo fino al 2050, si stima che la produzione agricola dovrà aumentare del 70% (Bruinsma, 2009). Pertanto, risulta fondamentale, anche attraverso le nuove tecnologie, migliorare l'efficienza dell'uso delle risorse. Contemporaneamente si ricerca nella produzione agricola un miglioramento anche dal punto di vista qualitativo, che è da intendersi sia a livello commerciale, con precisi standard di origine, freschezza, pulizia, aspetto, consistenza, aroma etc., che come qualità nutrizionale e quindi presenza di nutrienti essenziali come carboidrati, aminoacidi e acidi grassi legati a composti bioattivi come fitosteroli, fibre alimentari, vitamine, carotenoidi, acidi fenolici, glucosinolati e flavonoidi (Devlet, 2021).

Produrre in modo sostenibile significa assicurare la fonte di nutrimento per l'uomo sfruttando le risorse in modo compatibile con le esigenze ambientali, economiche e sociali.

Il Quadro Strategico della FAO supporta l'Agenda 2030 attraverso la trasformazione di sistemi agroalimentari più efficienti, inclusivi, resilienti e sostenibili attraverso quattro punti fondamentali, detti "*four betters*". Uno dei punti chiave della strategia riguarda proprio la "conservazione, il ripristino e la protezione degli ecosistemi e la lotta ai cambiamenti climatici adattando i sistemi agroalimentari e incentivando strategie agricole a basso impatto e capaci di tutelare fertilità del suolo biodiversità e apportare benefici e servizi ecosistemici"

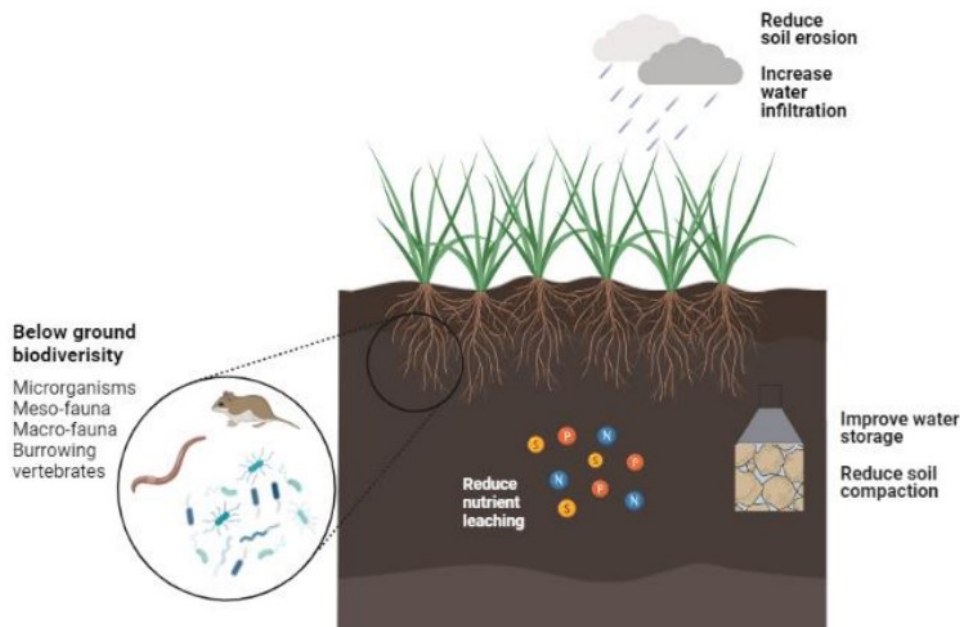


Allo scopo di convertire l'agricoltura del passato in quella del futuro, e quindi per soddisfare gli obiettivi proposti dalla FAO, numerose azioni politiche si stanno programmando: nella Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale Europeo e al Comitato delle Regioni riguardante la strategia Farm to Fork infatti si legge come vi sia *“l'impellente necessità di ridurre la dipendenza da pesticidi e antimicrobici, ridurre il ricorso eccessivo ai fertilizzanti, potenziare l'agricoltura biologica, migliorare il benessere degli animali e invertire la perdita di biodiversità”*.

Nella direzione di sostenibilità e minor impatto ambientale si incanalano anche le politiche per il corretto utilizzo dei prodotti fitosanitari (Direttiva 2009/128/CE e nuova proposta di Regolamento (UE) 2021/2115) a cui misure di mitigazione e tecniche di corretta gestione del suolo rispondono pienamente aumentando la sostanza organica del suolo e progettando strategie di copertura del suolo in modo da ridurre fenomeni di contaminazione diffusa (erosione, lisciviazione, deriva...) incentivando l'adsorbimento e la degradazione di composti nocivi. In questo modo si inverte la tendenza alla perdita di biodiversità, si creano agroecosistemi più resilienti che necessitano potenzialmente di un minore apporto di fertilizzanti e pesticidi.

Attribuire importanza alla corretta gestione delle risorse naturali a lungo termine, dunque, è un modo per soddisfare i bisogni presenti e allo stesso tempo garantire questa possibilità anche in futuro. Tutto ciò è niente meno che la definizione dell'ONU di sviluppo sostenibile.

In questa ottica dunque, a livello agricolo, assumono un ruolo di primaria importanza la gestione del suolo, e di conseguenza la conservazione della sostanza organica in esso contenuta, la necessità di aumentare la biodiversità vegetale, animale e microbica e la protezione del suolo da erosione e da fenomeni che causano la perdita di fertilità dello stesso e, in una visione più ampia, la fragilità del sistema agricolo.



**Figura 1: Benefici delle cover crops** (Quintarelli et al., 2022)

*La corretta gestione del suolo con tecniche conservative come le cover crops apporta numerosi vantaggi al suolo e all'agroecosistema e rappresenta uno strumento per affrontare le sfide poste all'agricoltura oggi*

### 1.1.1 Biodiversità e fertilità del suolo

Una tra le più importanti conseguenze ecologiche dell'intensificazione agricola è la perdita di biodiversità, sia vegetale che animale che anche microbiologica, promotrice della fertilità del suolo. Secondo il Report della FAO sullo Stato della biodiversità mondiale per l'alimentazione e l'agricoltura, "delle circa 6.000 specie di piante coltivate per il cibo, meno di 200 contribuiscono in modo sostanziale alla produzione alimentare globale e solo nove rappresentano il 66% della produzione totale di colture". Le specie coltivate e le razze allevate continuano a diminuire e il livello di minaccia è alto anche per le specie non domestiche e per gli habitat. La domesticazione delle colture di interesse per l'uomo e la selezione genetica per i caratteri favorevoli dal punto di vista commerciale e produttivo hanno portato alla progressiva scomparsa di alcune specie con performance al di sotto degli standard di mercato, e di conseguenza alla riduzione del pool genico a cui attingere, quindi alla perdita di possibili

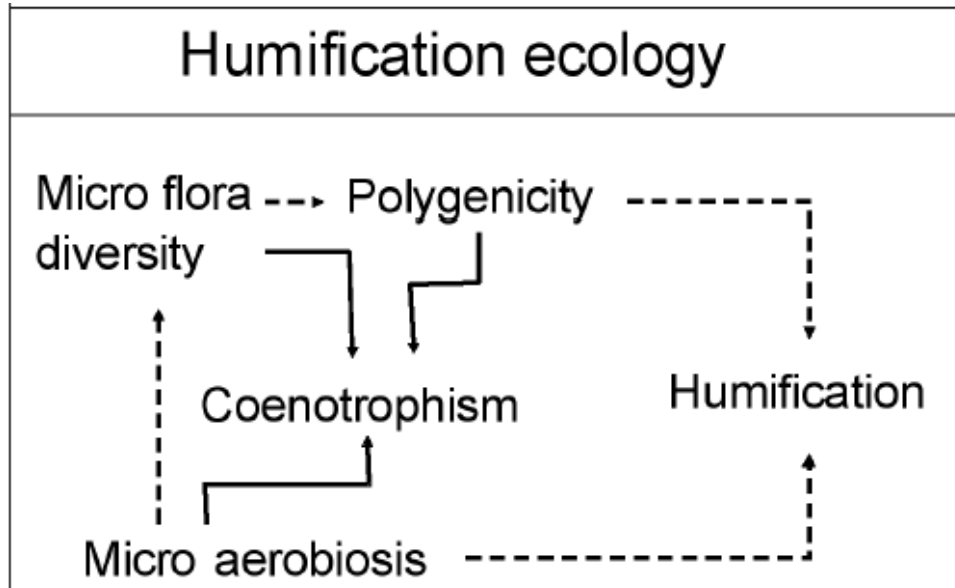
geni utili come quelli di resistenza a malattie o di adattabilità a particolari condizioni ambientali.

Il rapporto indica anche quelle che sono strategie e approcci rispettosi della biodiversità come l'agricoltura biologica, un approccio integrato alle coltivazioni, una gestione sostenibile del suolo e tutte quelle tecniche favorevoli al ripristino dell'ecosistema.

Un sistema agricolo più variegato inoltre conferisce un miglior supporto alla produzione tramite la capacità di stimolare la presenza di una ricca biocenosi, essenziale nel processare la sostanza organica e promotrice della fertilità del suolo. La biomassa microbica è la componente vivente del suolo che comprende numerose specie di batteri e funghi, e include anche la microfauna del suolo e le alghe (Kumar, K. and Goh, K.M., 2000). Gli organismi terricoli infatti favoriscono numerosi processi quali la decomposizione della lettiera e il corretto andamento del ciclo dei nutrienti, la conversione dell'azoto atmosferico in forme organiche e la riconversione dell'azoto contenuti nei residui organici alle forme solubili e gassose, sopprimendo gli agenti patogeni presenti nel suolo attraverso l'antagonismo, sintetizzando enzimi, vitamine, ormoni, chelanti biologici e allelochimici che regolano popolazioni e processi, alterando la struttura del suolo, interagendo direttamente con le piante attraverso il mutualismo, commensalismo, competizione e patogenesi (Gangatharan R, Neri D, 2012).

La maggior diversità di piante inoltre ospita microrganismi che creano un importante mix vitale diversificato che consente il corretto funzionamento delle reazioni nel suolo e la capacità di affrontare altrettanto differenziate variabili e fluttuazioni del sistema.

È fondamentale che in campo ci sia diversificazione anche perché solo in questo modo si consente la vita di tutti i microrganismi, compresi quelli utili alla umificazione. La creazione di composti umici è molto importante per arricchire il terreno di materia organica stabile (che ha una emivita di decine di anni), con proprietà colloidali, così da migliorare le caratteristiche fisico-chimiche, biologiche e allelopatiche del suolo. L'umificazione è il risultato diretto di processi che possono verificarsi solo in presenza di alcuni fattori e condizioni, come ad esempio di un'elevata poligenicità e condizioni microaerobiche. Queste condizioni insieme determinano un cenotrofismo (capacità di un gruppo di individui di avere funzioni nutrizionali (Gangatharan R, Neri D, 2012).



**Figura 2: Ecologia dell'umificazione** (modificato da Zucconi Gangatharan R, Neri D, 2012)

*La diversità della microflora e le condizioni di aerobiosi sono fattori fondamentali per il processo di umificazione.*

Un suolo ricco di biomassa organica e biologica è inoltre capace di adsorbire e degradare più rapidamente e più efficacemente residui di xenobiotici (come fitofarmaci) grazie all'elevata quantità di carbonio organico e agli intensi processi di metabolizzazione microbica e una copertura vegetale ricca, ad esempio, dotata di sistemi radicali differenti può notevolmente ridurre il rischio di erosione intrappolando i sedimenti e migliorando l'infiltrazione. Ciò contribuisce a ridurre i fenomeni di contaminazione ambientale del suolo, delle acque percolanti negli strati più profondi e di quelle liscivianti verso le fonti d'acqua superficiali.

Gli agroecosistemi ricchi di biodiversità appaiono essere dei sistemi più complessi ed equilibrati che mostrano una maggiore resilienza ad avversità ambientali come inondazioni, siccità, epidemie e attacchi di specie invasive. Anche se ad oggi non ci sono risultati inequivocabili di questa correlazione, appare molto interessante l'"insurance hypothesis" di Yachi & Loreau (1999), secondo la quale la biodiversità presente in un ecosistema può proteggerlo contro il declino del suo funzionamento causato dalle diverse minacce e

fluttuazioni delle condizioni in quanto un maggior numero di specie forniscono una maggiore garanzia che alcune di esse possano mantenere le loro funzioni anche se altre falliscono. Specie diverse infatti rispondono in modo diverso ai cambiamenti ambientali, quindi il contributo di alcune specie ai processi ecosistemici può diminuire mentre quello di altre può aumentare quando l'ambiente cambia. Pertanto, una maggiore ricchezza di specie dovrebbe portare a una minore variabilità nei processi ecosistemici a causa della compensazione tra le specie (Yachi & Loreau, 1999).

Un agroecosistema più complesso e più ricco di biodiversità potrebbe dunque essere un sistema sia più equilibrato e capace di rispondere a stimoli e stress, di processare sostanza organica e proteggere la fertilità dei suoli, sia, allo stesso tempo, una maggiore diversificazione culturale significa una maggior sicurezza, stabilità e uno strumento per affrontare imprevisti e perturbazioni e tutelare così il reddito dell'agricoltore.

Gli obiettivi dell'agricoltura sostenibile e della conservazione della biodiversità sono economicamente compatibili e dovrebbero essere attivamente perseguiti (Paoletti, 1995).

### 1.1.2 *Difesa*

Il problema della difesa fitosanitaria è ad oggi uno dei più discussi a livello agrario in quanto produrre sempre di più, mantenendo elevati standard qualitativi, in un contesto di intensi cambiamenti climatici e più frequenti comparse di malattie e specie aliene invasive come conseguenza anche dell'aumento degli scambi commerciali, è un obiettivo ancora forse troppo complesso da raggiungere. In aggiunta, le nuove normative sull'immissione sul mercato dei prodotti fitosanitari (ad esempio il Regolamento (CE) n. 1107/2009) pongono una stretta ancora più forte sui criteri per l'autorizzazione di un prodotto, al fine di garantire il minor impatto ambientale degli stessi, ma con la conseguente riduzione sul mercato di disponibilità di mezzi di difesa di sintesi chimica efficaci e diversificati.

In questo contesto si comprende l'importanza del garantire in modo diffuso l'equilibrio e la presenza di microrganismi diversificati attraverso una gestione conservativa del suolo, in quanto ciò può rivelarsi una risorsa utile anche dal punto di vista della difesa fitosanitaria. Gestendo al meglio e preservando la fertilità organica e biologica del suolo generando diversificazione (con letamazione, compost, residui organici, digestati, coperture vegetali...) si stimola, ad esempio, la creazione di suoli soppressivi. Sono suoli soppressivi, cioè capaci di

controllare le malattie infatti, quelli in cui c'è una intensa vitalità di organismi nel suolo che sono in grado di contrastare lo sviluppo di un patogeno

Alcune ricerche rivelano ad esempio come precedere una coltura da reddito con una cover crop porti a una minor incidenza di patogeni trasmessi dal suolo, malattie fungine e nematodi (Fageria et al., 2005).

La maggiore diversità di piante di una copertura del suolo consente inoltre di mantenere il suolo protetto più a lungo durante la stagione, sia nei confronti degli eventi atmosferici avversi, sia come fonte di fioriture per gli impollinatori e sia come riparo e nutrimento per numerose specie animali, tra cui insetti e altri organismi utili. Ad esempio, il progetto CONTR-HALYS, finanziato dalla Regione Emilia-Romagna nell'ambito del Programma di Sviluppo Rurale 2014-2020, verifica la possibilità di combattere *Halyomorpha halys* in frutteti attraverso una fascia di inerbimento altamente appetibile a base di leguminose e ove l'attrattività viene amplificata dalla presenza dello specifico feromone di aggregazione.

Soprattutto oggi, considerando la stretta che le attuali politiche stanno creando a livello di prodotti per la difesa fitosanitaria delle colture e in particolar modo nelle realtà condotte secondo il metodo biologico, costituire un agroecosistema ricco di biodiversità che consenta di creare un equilibrio che mantenga autonomamente le popolazioni di insetti e organismi nocivi per le piante coltivate al di sotto di livelli soglia è fondamentale.

Oltre a quelle biologiche, numerose altre sono le tecniche di gestione del suolo che, tra i tanti, apportano benefici anche dal punto di vista fitosanitario e di lotta alle infestanti, come quelle agronomiche (false semine, rotazioni e avvicendamenti, pacciamatura), fisiche (solarizzazione, sterilizzazione del suolo) e meccaniche (lavorazioni).

### 1.1.3 *Erosione e contaminazione ambientale*

Gli aspetti negativi dei sistemi intensivi di agricoltura, quando questa viene praticata in modo non corretto, includono l'aumento del *runoff*, la riduzione della resistenza del suolo all'erosione, l'aumento della quantità di composti lisciviati e che risultano causare il fenomeno di eutrofizzazione, e infine il generico deterioramento dell'ambiente umano (D.Zachar, *Soil Erosion*, Elsevier, Bratislava 1982, p.10). Al tempo stesso tecniche di gestione del sistema

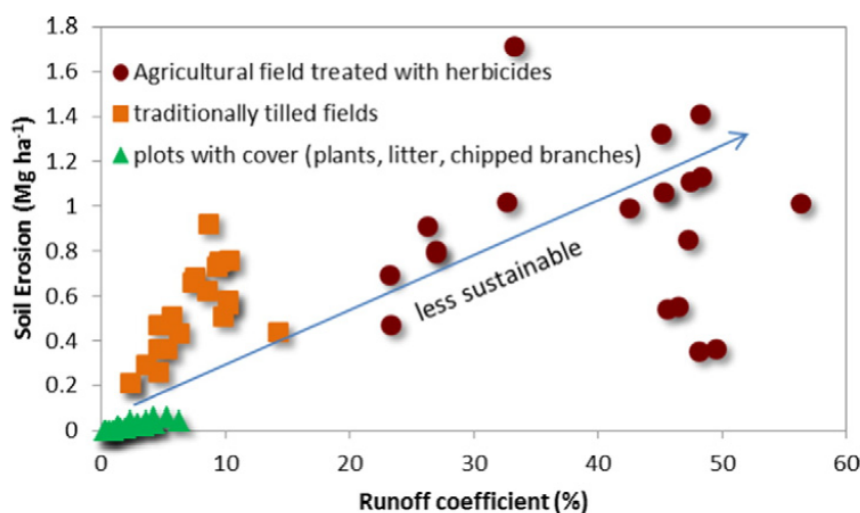
agricolo come inserimento di fasce tampone, filari alberati o inerbiti, cover crops e numerose altre, infatti, possono essere utili alleati in questo senso. La copertura vegetale può proteggere in parte il suolo dall'erosione dal momento che le piante riducono e dissipano l'energia delle gocce di pioggia che cadono al suolo e gli strati superficiali possono essere maggiormente trattenuti dalla biomassa radicale.

Secondo la FAO se non si modificano gli attuali sistemi agricoli, si arriverà entro il 2050 ad una perdita di fertilità che causerebbe perdite stimate di produzione equivalenti alla produzione di 1.5 milioni di km<sup>2</sup> di suolo agricolo, approssimativamente come tutta la superficie lavorabile dell'India. Questo porterebbe a ridurre la produzione agricola fino al 10% rispetto a quella attuale (FAO, 2019). L'erosione non solo diminuisce la qualità di un suolo e quindi riduce la sua produttività, ma danneggia anche la diversità di piante, animali e microrganismi che in esso sono ospitati. Quando, a causa di particolari eventi atmosferici, l'intensità di pioggia è superiore alla velocità di infiltrazione dell'acqua nei micro e nei macropori del suolo, si verifica il *runoff* che è causa di erosione tramite il trasporto, con l'acqua che defluisce superficialmente, di particelle di suolo e anche di contaminazione ambientale quando in esso sono presenti residui di xenobiotici. Durante il processo di erosione, la materia organica e i nutrienti essenziali per le piante (che in grandi quantità si trovano nello strato superficiale) sono rimossi dal suolo e la profondità dello stesso si riduce, con la conseguente inibizione della crescita vegetativa e la diminuzione della presenza di una valida biomassa e della biodiversità generale del suolo (Pimentel, 2006). Oltre alla perdita di nutrienti, con l'aumento del *runoff* si riduce l'infiltrazione dell'acqua negli strati più profondi e di conseguenza minori saranno le riserve idriche del suolo e ridotta la sua capacità di sostenere la vita delle piante in caso di condizioni siccitose.

Anche la struttura del suolo è un elemento fondamentale nell'influenzare la capacità dello stesso di resistere ai fenomeni erosivi: suoli con basso contenuto di sostanza organica e cattiva strutturazione hanno tipicamente una pessima infiltrazione dell'acqua e sono più soggetti ad essere danneggiati durante intense piogge.

La presenza nel suolo di una maggiore biodiversità animale (insetti, vermi terricoli, piccoli mammiferi) che scavano gallerie nel terreno e lo arricchiscono di sostanza organica, insieme con le radici delle piante rappresentano un elemento essenziale per contrastare i fenomeni erosivi, migliorando la strutturazione del suolo e l'infiltrazione dell'acqua. Anche in questo caso una maggiore biodiversità dunque, e gli effetti additivi di più specie diverse, possono essere degli strumenti molto importanti nel proteggere il suolo e le colture.

Le tecniche di gestione del suolo che consentono il mantenimento e l'aumento della biodiversità del sistema agricolo risultano dunque molto interessanti in questo senso. A questo proposito, uno studio svolto da Keesstra et al. nel 2015 in un frutteto di albicocche in Vall d'Albaida, Spagna ha analizzato il fenomeno erosivo in relazione a tre tipi di strategie di gestione del suolo (lavorazione, diserbo chimico, copertura vegetale) sottoposto a simulazioni di eventi piovosi di intensità elevata. Lo studio ha dimostrato come la copertura vegetale sia il sistema più efficiente tra i tre nel ridurre erosione e *runoff*. Lavorazione del suolo e trattamento con erbicidi non solo lasciano il suolo nudo esponendolo e non proteggendolo così dalla forza della pioggia, ma, non permettendo alla vegetazione di crescere, sono anche causa di un quantitativo sempre più basso di sostanza organica nel suolo. Al contrario, quando la vegetazione viene ristabilita si ha da una parte la protezione del suolo, dall'altra l'aumento di sostanza organica che migliora la strutturazione dello stesso e aumenta l'infiltrazione e la ritenzione dell'acqua.



**Figura 3: Diversa distribuzione dei livelli di erosione e runoff in un frutteto gestito con diserbo chimico, lavorazione o copertura vegetale (Keesstra et al., 2016)**



## 1.2 La gestione del suolo: ieri e oggi

Per affrontare le sfide sopra descritte e le problematiche emergenti e per soddisfare le progressive richieste e necessità dell'agricoltura, i sistemi di gestione del suolo hanno dovuto nel tempo evolversi e mutare verso tecniche più ambientalmente sostenibili, economicamente compatibili con le disponibilità delle aziende e socialmente accettabili.

Con il tempo si è capito come la fertilità dei suoli dipenda soprattutto dalla sostanza organica e dalla biodiversità che in essi è ospitata. Tra le numerose proprietà chimiche del suolo influenzate dalla sostanza organica sono compresi il pH del suolo, la disponibilità di nutrienti e il loro ciclo, la capacità di scambio cationico e il potere tampone del suolo. Ad oggi la sostanza organica del suolo può essere l'indicatore più largamente riconosciuto della qualità di un suolo (Ramos et al., 2010). Si comprende sempre più dunque anche come il biota del suolo sia influenzato da numerosi fattori, tra cui l'uso che si fa del suolo e le tecniche di gestione impiegate, e quindi anche come il cambiare le pratiche agronomiche può avere un effetto significativo sui processi e sulle proprietà microbiologiche del suolo (Stark et al., 2007), e quindi sulla fertilità dello stesso.

Manlay et al. (2007) hanno studiato l'evoluzione del concetto di sostanza organica e della sua percezione nel mondo scientifico e agricolo, individuando tre fondamentali fasi: il "periodo umico" (fino al 1840), il "periodo mineralista" (approssimativamente tra il 1840 e il 1940) e il "periodo ecologico" (dal 1940 ad oggi). Nel corso del XVIII secolo si utilizzava la parola "humus" come terreno, e molte teorie sulla nutrizione delle piante erano basate sulla convinzione che le piante dipendessero direttamente dall'humus per la propria fornitura di carbonio. La seconda fase, che si apre con lavori riguardanti la fotosintesi ed esperimenti sull'origine della sostanza secca vegetale a partire da acqua, anidride carbonica e composti minerali solubilizzati, conduce verso lo sviluppo e il largo utilizzo della fertilizzazione chimica nei modelli colturali. Dal 1940 in poi però, evidenti segni del declino delle proprietà del suolo legate alla fertilità, i progressi scientifici in agroecologia, lo stimolo fornito dalle filosofie olistiche sull'agricoltura biologica e la consapevolezza dei benefici ambientali forniti dalla sostanza organica del suolo, hanno portato alla promozione della sostanza organica come risorsa rinnovabile e hanno riportato in auge l'interesse nel preservarla e favorirla come obiettivo della gestione del suolo.

Pieri (1992), citato da Manlay et al. (2007), scrive come ad oggi, utilizzare in modo sostenibile il suolo significa tornare a gestire la fertilità dello stesso attraverso la combinazione di materia organica (residui colturali, compost o letame) e input di nutrienti minerali.

In concomitanza con la comprensione e la valorizzazione sempre maggiore del concetto di sostanza organica e della sua importanza, le tecniche di gestione del suolo allo scopo principale di combattere le infestanti sono mutate: da lavorare interamente il terreno a metodi meccanici interceppo o di precisione (sistemi robotici) per la lavorazione esclusiva dell'interfila, al diserbo chimico, a metodi termici (come ad esempio il pirodiserbo, la solarizzazione, metodi che sfruttano il vapore etc...), fino all'applicazione di inerbimenti e di colture di copertura (cover crops) nelle colture arboree e nei sistemi colturali erbacei annuali.

### 1.2.1 *Lavorazione del suolo*

Per quanto riguarda la gestione del frutteto, la lavorazione del suolo è stata la pratica più diffusa in passato, la quale mirava ad eliminare la copertura erbosa spontanea tenendo "pulito" il frutteto al fine di evitare la competizione per acqua e nutrienti delle erbe con gli alberi. Lavorare il suolo consente di aumentare le infiltrazioni d'acqua attraverso la rottura della crosta superficiale favorendo così l'accumulo della risorsa idrica nel suolo e ridurre la perdita di acqua per traspirazione che si avrebbe in caso di copertura da parte di piante erbacee. La rottura della crosta e il disturbo alla struttura dei primi strati di terreno, consente di ridurre l'evaporazione grazie all'interruzione del flusso capillare dell'acqua verso la superficie bloccando così la risalita di acqua dagli strati più profondi. Per tale motivo la lavorazione del suolo è una pratica ancora molto utilizzata nelle tecniche di aridocoltura e nelle situazioni di carenza idrica. La lavorazione è inoltre una pratica meno intensa in termini di manodopera ed è in grado di decomporre la materia organica del suolo attraverso il disturbo del suolo, l'aerazione, il miglioramento dello stato di umidità del suolo e una migliore accessibilità dei decompositori ai residui organici (Hammermeister A.M., 2016).

Tuttavia, attraverso il rivoltamento del terreno e la mescolanza degli orizzonti, si aumenta la rapida mineralizzazione della sostanza organica del suolo e si diminuisce la concentrazione della stessa. Un suolo lavorato inoltre è causa dell'aumento della vulnerabilità nei confronti dell'erosione, della possibilità di creazione di una suola di lavorazione e del peggioramento della transitabilità dei mezzi agricoli nel frutteto. In aggiunta, le macchine solitamente usate (aratri, coltivatori, vangatrici, zappatrici...) comportano un rischio di danneggiamento delle radici superficiali delle piante, oltre che condizionare nel tempo e nello spazio lo sviluppo dell'apparato radicale.



**Figura 4: Lavorazione interfila in un vigneto** (<https://www.aratri-trivelle.it/dettaglio-prodotto-14>)

Per questi motivi, a partire dagli anni '90 e a seguito dello sviluppo delle conoscenze sui modelli di crescita e distribuzione degli apparati radicali, sul ruolo della componente microbica dei suoli sulla fertilità agronomica e alla profonda rivoluzione che è avvenuta in arboricoltura in relazione ai modelli di impianto e alle innovazioni nella gestione della nutrizione idrica e minerale, si sono sempre più adottate strategie di gestione del suolo differenti quali l'inerbimento, il diserbo e la pacciamatura (S. Sansavini et al., *Arboricoltura generale*, Pàtron editore, Bologna 2012, p.469).

In alcuni frutteti e spesso nei vigneti non irrigui, tuttavia, è ancora diffusa la pratica della lavorazione, anche solo a file alterne, allo scopo di contrastare le infestanti e preservare la risorsa idrica. Si sono tentati anche sistemi di lavorazione ridotta, o "conservativa" che comprendono ad esempio interventi con macchine quali ripuntatori o decompattatori con lame verticali che non provocano rivoltamento né modifica dello strato superficiale del suolo. La tecnica di *reduced tillage* viene infatti definita come una pratica agronomica in cui il profilo del suolo viene modificato solo verticalmente. Essa comporta tuttavia un più basso grado di conservazione del suolo rispetto alle tecniche della non lavorazione (Gonzalez-Sanchez et al., 2015), come quella gestione del frutteto con una copertura vegetale spontanea o controllata.

### 1.2.2 *Inerbimento del suolo*

Ad oggi la tecnica più affermata per la gestione del frutteto è quella del mantenimento dell'inerbimento spontaneo nella zona interfilare. L'inerbimento è la tecnica di agricoltura conservativa più utilizzata nei frutteti e deve essere ben gestita per evitare perdite di acqua, competizione con le piante coltivate per acqua e nutrienti e un sovraffollamento di vegetali che potrebbe creare una situazione di eccessiva umidità intorno agli alberi, rappresentando un rischio dal punto di vista fitosanitario. Per questo motivo, molto spesso si eseguono, nel periodo primaverile-estivo, degli sfalci e i residui, trinciati, possono essere lasciati in campo a costituire una pacciamatura naturale e arricchire il suolo di sostanza organica



**Figura 5: *Inerbimento in frutteto*** (<http://www.confagricolturabelluno.it/ecoschema-2-pagamento-per-inerbimento-delle-culture-arboree/>)

Gli inerbimenti possono essere anche non spontanei ma controllati, composti da miscugli di essenze desiderate. In questo caso è molto importante la scelta delle specie e assicurarsi che la relazione con le specie coltivate non si risolve in competizione per le risorse ma al contrario, che sia studiata per ottenere il miglior equilibrio del sistema. È essenziale in tal senso valutare

anche gli eventuali effetti allelopatici dei rispettivi apparati radicali e le risposte nella colonizzazione dello spazio. Una specie per inerbimento controllato deve presentare un veloce insediamento, essere competitiva nei confronti delle spontanee infestanti ma non verso le piante coltivate, presentare una crescita ridotta e non competere così con la pianta consociata per la risorsa idrica e per i nutrienti, favorirne l'approfondimento radicale essendo esse dotate di un apparato radicale folto ma superficiale e presentare una resistenza al calpestamento anche da parte delle macchine operatrici.

### 1.2.3 Pacciamatura

La pacciamatura è una tecnica di gestione del suolo che consiste nel ricoprire tutta la superficie o parte di essa con uno strato di materiali inerti. (S. Sansavini et al., *Arboricoltura generale*, Patron editore, Bologna 2012, p.478). La pacciamatura può essere adottata nell'interfila, in tutto il terreno (soprattutto inerbimenti) o, più frequentemente, nel sottofila, dove la gestione delle infestanti con altri metodi come la lavorazione meccanica o il diserbo chimico risulta più complessa o meno ambientalmente sostenibile (vedi cap. 1.3). Per motivi di tipo economico e ambientale dunque, negli ultimi anni, si è rinnovato l'interesse per una pratica antica come la pacciamatura allo scopo di migliorare la produzione, la salute del suolo e per rafforzare la sostenibilità dell'agroecosistema.

La pacciamatura può essere di diverso tipo:

- Pacciamatura organica
- Pacciamatura inorganica
- Pacciamatura viva

Le tecniche di pacciamatura possono sfruttare derivati di materiali organici diversi come ad esempio paglia, cortecce, trucioli, cippati, foglie, residui di potatura (triturati adeguatamente con macchine come trincia-andanatrici), o materiale di sfalcio del prato proveniente dall'interfila: macchine falciatrici-andanatrici o trincia-andanatrici sfalciano la copertura vegetale dell'interfila e ammassano i residui, tali quali o trinciati, ai lati dello spazio di lavorazione, in corrispondenza del sottofila.

**Figura 6: Trincia andanatrice in vigneto** (<https://www.informatoreagrario.it/filiere-produttive/vitevino/attrezzature-e-gestione-della-pacciamatura-naturale/>)



Distribuire questi materiali, piuttosto che avvantaggiarsi di una pacciamatura viva, consente di non avere alcuna competizione per spazio, acqua o nutrienti con la pianta coltivata e determina un'ottima capacità di contrastare le infestanti e una buona protezione del suolo; tuttavia essa individua la necessità di una distribuzione ripetuta a causa della rapida mineralizzazione e scomparsa del materiale organico al suolo. Inoltre, materiali come cortecce, trucioli, cippati potrebbero essere difficili da reperire o avere costi elevati.

In alternativa, la copertura del suolo può essere realizzata anche con materiali pacciamanti di tipo inorganico. L'utilizzo di questi materiali consente, come con la pacciamatura organica, di non avere problemi di competizione con la pianta coltivata e, in aggiunta, i materiali possono essere sostituiti con frequenza notevolmente minore rispetto alla tecnica organica. Il limite di questa pratica tuttavia consiste nel costo e nello smaltimento di molti dei materiali utilizzati. I materiali più diffusi sul mercato sono film plastici, ad esempio di polietilene, solitamente di colore nero che consente di mantenere l'umidità al di sotto del telo e soprattutto di impedire

la nascita delle infestanti schermando la luce del sole. Sono in utilizzo a livello dei frutteti, per alcune specie che necessitano di un'ottima colorazione del frutto (come ad esempio il melograno), anche teli di colore bianco che consentono, in aggiunta all'azione pacciamante, di aumentare la radiazione luminosa riflessa dal basso verso le parti più basali della chioma. La stessa funzione possono svolgerla materiali pacciamanti di tipo lapideo come sassi o ghiaie. Una soluzione possibile al problema dello smaltimento sono i nuovi teli pacciamanti realizzati in bioplastiche e feltri da pacciamatura costituiti in fibre (ad esempio di cocco, juta, canapa ecc.) e biodegradabili.

Questi tipi di pacciamature sono soprattutto utilizzate in orticoltura, in cui i costi e la degradabilità più o meno rapida dei materiali scelti sono solitamente più compatibili in relazione alle tecniche e ai periodi di permanenza in campo della specie orticola coltivata.



**Figura 7: Teli pacciamanti biodegradabili in juta** (<https://www.jutatex.com/>)

La pacciamatura organica viva nella zona interfilare invece, coincide con il mantenere l'interfilare inerbito, ma in questo caso con essenze selezionate, e non lasciando inerrire spontaneamente il suolo. Un esempio è quello che si fa in alcuni frutteti o vigneti in cui l'interfila viene seminato con graminacee (spesso orzo). La pacciamatura consente di

proteggere il suolo durante l'inverno e all'inizio dell'estate, le piante disseccano lasciando materiale organico al suolo ed evitando di essere causa di competizione per le risorse idriche per gli alberi.



**Figura 8: Inerbimento autunno-primaverile in vigneto**  
(<https://agronotizie.imaginenetwork.com/agricoltura-economia-politica/2020/12/16/vigneto-un-aiuto-in-piu-arriva-dagli-inerbimenti-autunno-primaverili/68826>)

Scegliere una pacciamatura viva rispetto ad una copertura con film plastico significa anche non dover intervenire con i fertilizzanti o intervenire con necessità decisamente minori. Una copertura viva inoltre consente di coprire il suolo in tutta la durata del ciclo dell'infestante, senza necessità di essere sostituito. I pacciame viventi possono essere utilizzati nei frutteti già consolidati, poiché gli alberi più giovani sono più inclini alla competizione con le piante pacciamanti vive per l'umidità e le sostanze nutritive. Pertanto, la selezione di una specie di



pacciamatura vivente meno competitiva è fondamentale per una migliore crescita degli alberi e una resa di frutta di qualità (Mia et al., 2020).

### 1.2.3.1 Vantaggi e svantaggi della copertura vegetale

Le cover crops, colture di copertura, possono essere definite come colture a crescita rapida che forniscono protezione e miglioramento del suolo tra i periodi di normale produzione agricola, o tra alberi nei frutteti e viti nei vigneti (SSA, 1997).

I sistemi di pacciamatura viva e inerbimento nei frutteti rappresentano tecniche di gestione del suolo con specie viventi sempre più diffuse perché offrono numerosi vantaggi (riassunti nella *Tabella 1*) e sono capaci, meglio di altre pratiche, di rispondere alle esigenze di sostenibilità ambientale ed economica della gestione del frutteto.

***Tabella 1: Principali vantaggi delle coperture vegetali e dei sistemi di pacciamatura vivente nei frutteti***

Vantaggio	Meccanismo	Fonte
Contrasta lo sviluppo delle infestanti	Competizione per spazio, luce, nutrienti, acqua, inibizioni allelopatiche	Tursun et al. (2018) Bhaskar et al. (2021) Mia et al. (2021)
Migliorare la biodiversità dell'agroecosistema frutteto	aumento numero di specie erbacee	Mia et al. (2020) Neri et al. (2021)
Migliorare la biodiversità dell'agroecosistema frutteto	Aumento del numero di specie di insetti	Casas et al. (2022)
Migliorare la biodiversità dell'agroecosistema frutteto	Aumento della biodiversità microbiologica del suolo	Stark et al. (2007) Angers et al. (1993) Mathew et al. (2012)

Aumento sostanza organica del suolo	Decomposizione dei propri residui, protezione da erosione e da rapida mineralizzazione della sostanza organica	Fageria et al. (2005) Rovira et al. (1990) Wardle et al. (2001)
Protezione del suolo da erosione e leaching dei nitrati	Copertura del suolo e riduzione dell'energia cinetica delle gocce d'acqua. Miglior strutturazione del suolo e aumento infiltrazione dell'acqua	Keesstra et al. (2016) Zhong Z. et al. (2016) Meisinger & Hargrove (1991) Smith, M.S. et al. (1987)
Controllo malattie e insetti nocivi	Sito di nutrimento, nidificazione e riparo di organismi utili.	Larkin et al. (2010) Hooks et al. (n.d.)
Migliore strutturazione del suolo	Aumento sostanza organica, fauna terricola e formazione aggregati con radici delle piante	Bhaskar et al. (2021) Newenhouse A.C. & Dana M. N., 1989

Il maggior vantaggio di una copertura vegetale è quello di poter rappresentare, come dimostrato da innumerevoli studi (Tursun et al., 2018; Bhaskar et al., 2021; Mia et al., 2021) uno strumento efficace per contrastare lo sviluppo delle infestanti, senza la necessità di lavorare il suolo o impiegare diserbanti chimici o materiali pacciamanti organici o inorganici. Il controllo delle infestanti da parte delle colture di copertura avviene attraverso diversi meccanismi, tra cui ombreggiamento, competizione per acqua e nutrienti e inibizioni allelopatiche.

Ad esempio, Tursun et al. (2018) descrivono come la copertura vivente abbia avuto un'efficacia maggiore nel controllare le infestanti, rispetto al glifosato o al controllo meccanico, gestendo la copertura con lo sfalcio o l'incorporazione nel suolo della stessa. Per questo motivo essi suggeriscono lo sfalcio o l'incorporamento del terreno delle colture di copertura viventi come metodo per aumentarne l'efficacia nella soppressione delle infestanti.

Mia et al. (2021) hanno riportato inoltre come, nonostante l'efficacia delle pacciamature testate nel controllare lo sviluppo delle infestanti, la loro presenza non abbia ridotto la biodiversità delle piante erbacee, mantenendo un numero di specie più alto rispetto al controllo lavorato. Il pacciamante vivente infatti sopprime le erbe infestanti e migliora la biodiversità dei

frutteti, consentendo anche la selezione di specie meno competitive e meno attrattive per i parassiti (Mia et al., 2020).

Anche Neri et al. (2021) hanno osservato come la pacciamatura viva di fragole in vigneto abbia contribuito a sostenere una fitocenosi diversificata, conservando un elevato numero di specie infestanti, riducendo al contempo il numero di piante appartenenti alle specie indesiderate come il convolvolo (*Convolvulus* spp.), specie infestante più invasiva.

Inoltre, in uno studio condotto da Casas et al. (2022) è stato osservato come sistemi di pacciamatura viva si siano rivelati avere un effetto benefico nel favorire la presenza di impollinatori e, quindi, sostenere la potenziale produzione. I risultati hanno indicato che le pratiche adottate aumentano la complessità della fauna artropodica in termini di numero di specie e complessità tassonomica. Lo studio ha infatti rivelato che il 15,9% (11 specie) di tutti gli insetti osservati sono stati rinvenuti solo sulle particelle trattate con la consociazione di più specie vegetali. Il motivo ipotizzato dagli autori della capacità della tecnica della pacciamatura viva di consentire la maggior presenza di specie di insetti è probabilmente connesso con il fatto che molti di essi, come ad esempio apoidei solitari, nidificano al suolo. Quindi se con la normale lavorazione del suolo si causa molto spesso la distruzione dei nidi, questo non avviene per il trattamento con la copertura vegetale gestita con lo sfalcio.

Inoltre, Stark et al. (2007) riportano come la gestione delle pratiche del suolo potrebbe avere un effetto significativo anche sulle proprietà microbiologiche del suolo. La rotazione e l'interazione tra i diversi tipi di piante hanno una maggior influenza sulla massa microbica e sull'attività enzimatica del suolo rispetto alla fertilizzazione stessa. Diversi lavori (Angers et al., 1993; Mathew et al., 2012) riportano effettivi vantaggi in termini di biomassa microbica in suoli gestiti con sistemi di non lavorazione del suolo rispetto a quelli in cui si effettua una lavorazione tradizionale.

Il suolo gestito con una copertura pacciamante vivente si avvantaggia anche di un arricchimento in sostanza organica attraverso la decomposizione dei propri residui. La sostanza organica del suolo stabilizza gli aggregati del suolo, lo rende più semplice da lavorare, aumenta l'aerazione, la capacità di ritenzione dell'acqua e il potere tampone del suolo (Fageria et al., 2005). I pacciami vivi contribuiscono anche a processare gli essudati radicali e ai residui labili, migliorando così il ciclo e la ritenzione dei nutrienti attraverso la stimolazione biologica del suolo (Rovira et al., 1990; Wardle et al., 2001).

Una cover crop o una pacciamatura vivente consentono quindi anche di migliorare la biodiversità del suolo e dell'agroecosistema del frutteto (Neri et al., 2021).

Un aumento di sostanza organica del suolo, una maggiore biodiversità dell'ecosistema suolo e uno stimolo all'attività microbiologica del suolo possono essere considerati indici di un aumento della qualità e della fertilità di un suolo, oltre a stimolare l'aumento della biodiversità dell'agroecosistema nel suo complesso e quindi rendere tutto il sistema più ricco, complesso e resiliente (vedi cap. 1.1.1).

Sono riportati infatti anche dati positivi sul ruolo delle pacciamature e delle coperture vegetali nei confronti della protezione del suolo da fenomeni come *leaching* di nitrati o erosione del suolo e perdita di sostanza organica (Keesstra et al., 2016).

Zhong Z. et al. (2016) rivelano effetti positivi della pacciamatura in pescheto nel trattenere al suolo sostanza organica ed elementi quali azoto, potassio e fosforo, essenziali per la vita delle piante e dannosi se persi con le acque liscivianti. Negli studi condotti da Meisinger & Hargrove (1991), le colture di copertura hanno portato alla riduzione sia della massa di N lisciviato che della concentrazione di NO<sub>3</sub> percolato dal 20% all'80% rispetto al controllo trattato con assenza di colture di copertura. Le coperture a base di leguminose inoltre possono arricchire il suolo di azoto e le specie autunno-primaverili o perenni in campo, specialmente durante il periodo invernale, possono conservarlo in forma organica e proteggerlo così dal rischio di lisciviazione.

Le colture pacciamanti inoltre consentono di aumentare l'infiltrazione dell'acqua (Fageria et al., 2005) e il suo accumulo al suolo (Smith, M.S. et al., 1987) grazie all'aumento di sostanza organica in esso, alla sua miglior strutturazione e alla protezione del suolo che le coperture esercitano nei confronti della pioggia battente. Nel "Foglio Divulgativo di pedologia" realizzato dalla Regione Campania si legge infatti che "un incremento di materiale vegetale, vivo o morto, favorisce generalmente il processo di infiltrazione. La sostanza organica incrementa indirettamente la penetrazione dell'acqua proteggendo gli aggregati del suolo dalla rottura che l'impatto delle piogge potrebbe provocare" ([http://www.agricoltura.regione.campania.it/pedologia/pdf/infiltrazione\\_del\\_suolo.pdf](http://www.agricoltura.regione.campania.it/pedologia/pdf/infiltrazione_del_suolo.pdf)).

La capacità di migliorare la strutturazione del suolo da parte delle colture pacciamanti, dovuta sia all'esplorazione del suolo e al contributo alla formazione di aggregati da parte delle radici

delle piante, sia all'aumento della sostanza organica, sia alla capacità ospitare una maggiore biodiversità terricola, tra cui ad esempio lombrichi o insetti che scavano nel terreno, offre la possibilità di evitare compattamenti e garantire la corretta areazione e infiltrazione dell'acqua al suolo senza avere la necessità di ricorrere alla lavorazione. A questo proposito Bhaskar et al. (2021) sostengono infatti che le pacciamature vive, soprattutto quelle perenni, sono particolarmente adatte ai sistemi di gestione del suolo che non prevedono lavorazione o che prevedono una minima lavorazione. Newenhouse A. C. & Dana M. N. (1989) riportano come il suolo sotto una pacciamatura vivente sia risultato più fresco e meno compatto rispetto al controllo coltivato.

Alcuni lavori (Larkin et al., 2010; Hooks et al., n.d.) riportano tra i benefici delle cover crops anche il contributo di queste ultime nel controllare malattie e insetti; questa capacità potrebbe essere dovuta al fatto che esse possono rappresentare un sito di nutrimento, protezione o nidificazione per insetti benefici, predatori o parassitoidi che possono controllare gli organismi nocivi.

Tra i principali svantaggi che invece vengono attribuiti alle coperture vegetali (Tabella 2) c'è la possibilità della competizione per spazio, acqua e nutrienti nei confronti della coltura principale.

***Tabella 2: Principali svantaggi delle coperture vegetali e dei sistemi di pacciamatura vivente nei frutteti***

Problematica	Meccanismo	fonte
Competizione per le risorse con la coltura principale	Competizione per acqua, maggior consumo di acqua per traspirazione. Maggior richiesta di elementi nutritivi dal suolo.	Ramos et al. (2010)
Riduzione delle rese della coltura principale	Riduzione nella produzione dovuta alla competizione per le risorse	L.J. Wiles <sup>1</sup> et al. (1989) Eberlein et al. (1992) Miura and Watanabe (2002)
Alcune specie favoriscono il ciclo di patogeni	Aumento di attacchi di maculatura bruna in pero	Rossi et al. (2005)
Problema dei roditori	Aumento di colonie invasive di topi e arvicole in melo	Merwin et al. (1999)
Compattazione del suolo	Non lavorazione e passaggio di macchine creano fasce (ormaie di trattori) asfittiche	Nunes et al. (2015) Hamza & Anderson (2005)

Ramos et al. (2010) rivelano, in uno studio condotto in ambiente semi-arido in Spagna, che una maggiore estrazione di acqua da parte delle piante pacciamanti potrebbe incidere sullo sviluppo e sulla produttività del frutteto. Essi suggeriscono come una rimozione tempestiva e anticipata della copertura vegetale tramite sfalcio o pascolamento minimizzerebbe le possibili perdite di rendimento.

Fageria et al. (2005) citano una rassegna di studi in cui le colture di copertura in precessione alla principale hanno causato una deficienza di azoto immobilizzato dalla copertura e non rilasciato in tempi compatibili con le necessità della successiva coltura.

Quando, per una delle ragioni sopraelencate, le pacciamanti competono eccessivamente con la specie coltivata può verificarsi un calo nelle rese della stessa; testimonianze di questo fenomeno sono presenti in letteratura (L.J. Wiles<sup>1</sup> et al., 1989; Eberlein et al., 1992).

In altri articoli viene riportato invece come la pacciamatura viva non provochi dissomiglianze in rese della pianta coltivata rispetto al controllo (Neri et al., 2021; Verret et al., 2017; Paušič et al., 2021) o come diverse specie di pacciamante possano al tempo stesso non avere influenze significative (*Trifolium repens* L.), oppure diminuire significativamente (*Trifolium pratense* L. e *Medicago sativa* L.) il raccolto di una stessa pianta (*Zea mays*) (Miura and Watanabe, 2002). I diversi risultati possono dipendere dalle differenti specie di pacciamanti e dalle diverse tecniche di gestione delle stesse. È possibile promuovere sia la soppressione delle infestanti che la resa del raccolto principale selezionando le pacciamature più appropriate e gestendole in modo da trarre il massimo vantaggio dalle differenze morfologiche, fisiologiche e di sviluppo tra le colture principali, il pacciamante vivo e le infestanti (Bhaskar et al., 2021).

Ad esempio, Hammermeister A.M., (2016) suggerisce, per ridurre la competizione tra le piante coltivate e le pacciamanti per acqua e nutrienti, di utilizzare le pacciamature viventi solo in piante da frutto adulte, dal momento che la competizione per acqua e nutrienti è molto maggiore nei primi stadi di crescita. Importante risulta anche effettuare la scelta della specie pacciamante più adatta (Mia et al., 2020) e gestire la pacciamatura con frequenti sfalci (Neri, 2004) utilizzando specie che siano in grado di riprendersi più velocemente delle infestanti e che non attraggano insetti o organismi nocivi per le piante coltivate.

È importante selezionare specie con l'attitudine vegetativa desiderata, con una elevata adattabilità alle condizioni pedo-climatiche locali (Neri et al., 2022; Neri et al., 2021), con una rapida crescita e quindi capacità di copertura del suolo specialmente a inizio stagione in modo da impedire la stabilizzazione delle infestanti; a questo scopo le specie pacciamanti perenni offrono ovviamente un vantaggio (Bhaskar et al., 2021).

Casas et al. (2022) inoltre hanno investigato la risposta dell'olivo in termini di crescita vegetativa in un sistema gestito con pacciamatura viva nell'interfila, rilevando che le specie pacciamanti hanno consentito di ottenere un buon controllo delle infestanti senza ridurre la crescita e il vigore dell'olivo. Gli autori ipotizzano che questo possa essere dovuto anche al fatto che le pacciamature erano disposte nell'interfila ad una distanza di almeno 40 cm dal tronco delle piante di olivo.

Ulteriori possibili problematiche legate all'utilizzo delle pacciamature viventi in frutteto risiedono nel rischio delle stesse di rappresentare un sito di svernamento e presenza di alcuni patogeni, favorendone dunque il completamento del ciclo e l'incremento dell'inoculo a svantaggio anche della pianta coltivata. Questo è ad esempio il caso della maculatura bruna su pero, riportato nello studio di Rossi et al. (2005), in cui si rileva una maggior velocità nella produzione di pseudoeteci e una maggior densità degli stessi nelle specie da prato (*S. glauca*, *L. perenne* e *P. pratensis*) che nelle foglie di pero.

Numerosi sono inoltre gli studi, come quello descritto da Merwin et al. (1999), che hanno riportato un'incidenza maggiore della problematica dei roditori e dei danni che essi provocano alle radici in frutteto (in particolar modo delle pomacee) nei sistemi di gestione del suolo con assenza di lavorazione. Tecniche come quelle di copertura del suolo, gestite senza interventi di lavorazione, non consentono di distruggere le tane dei roditori, aumentando di conseguenza la numerosità delle popolazioni e l'intensità degli attacchi.

Decisamente note, infine, sono le problematiche legate al compattamento dei suoli nei sistemi di minima lavorazione o di non lavorazione, come nel caso del mantenimento di un inerbimento permanente e di una pacciamatura sottofila. Il passaggio delle macchine, per lo sfalcio delle erbacee o per le operazioni colturali che riguardano le piante coltivate, possono creare fasce di suolo compatte, che risultano asfittiche per le radici delle piante al di sotto, compromettendo la salute della pianta e riducendo la produzione.

Ulteriori studi sono in corso relativamente agli effetti, le interazioni, vantaggi e svantaggi delle specie pacciamanti, come anche obiettivo di questa tesi, in particolare quando piantate sottofila in un frutteto.

### **1.3 La gestione del sottofila**

Una problematica che merita attenzione, all'interno del frutteto, è quella relativa alla gestione del sottofila; generalmente i frutteti vengono gestiti con inerbimento nella zona interfilare (sfalcio periodicamente) e diserbo lungo la fila. Se il diserbo chimico si vuole sempre più



escludere a vantaggio della biodiversità dell'agroecosistema e di un minor impatto ambientale, allo stesso tempo, tuttavia, anche la lavorazione meccanica dell'interfila comporta difficoltà e svantaggi non trascurabili. L'ingombro costituito dai tronchi e dalle radici delle piante, così come dalla struttura di pali e fili, possono rendere complesso e lento il lavoro delle appendici dei macchinari oltre al rischio di ferire e danneggiare la pianta in modo diretto (traumi che ne compromettano la produttività o la vitalità) o indiretto (apertura di ferite che possono rappresentare siti di ingresso per patogeni).

Così, come per quanto descritto per la gestione dell'interfila, anche quella del sottofila ha subito cambiamenti e innovazioni nel tempo: per ovviare alle difficoltà di operare al di sotto delle chiome e tra i tronchi degli alberi sono state progettate macchine per la lavorazione interceppo che hanno potuto sostituire gli interventi meccanici manuali, non più sostenibili in frutteti di medie o grandi estensioni. Il controllo di precisione delle infestanti rappresenta un approccio moderno ed efficace nei frutteti, dove le infestanti nelle file degli alberi possono essere controllate senza danneggiare le piante. Negli ultimi decenni si sono verificati rapidi progressi nell'automazione per il controllo delle erbe infestanti in agricoltura come i nuovi metodi di precisione e i "sistemi robotici" (Mia et al., 2020).

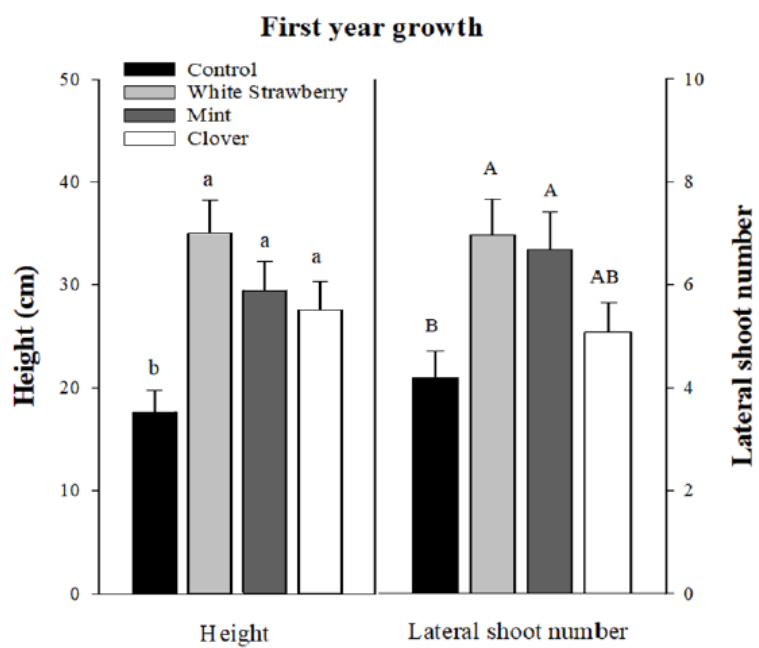
La lavorazione del sottofila non consente però, al contrario di una copertura vegetale, una protezione per il suolo dal rischio di erosione e lisciviazione delle sostanze minerali e organiche. Gestire correttamente le infestanti nel sottofila resta comunque essenziale per evitare che esse possano rischiare di competere con le piante coltivate. Qui le piante da frutto possono infatti subire la competizione a causa della loro bassa densità di radici per unità di superficie del suolo rispetto alla vegetazione sottostante (Merwin, 2003). Pertanto, le colture di copertura sono generalmente posizionate nell'interfila con specie selvatiche o erbe specifiche. Tuttavia, questo sistema non risolve alcuni dei problemi del terreno lavorato (come la rapida mineralizzazione della sostanza organica e danni alle radici) perché è limitato spazialmente tra le file, mentre il terreno lungo la fila viene lavorato (Neri et al., 2022).

Una valida alternativa ai sistemi meccanici innovativi e di precisione per la lavorazione del sottofila che potrebbero, oltre a comportare problemi di tipo ambientale, rappresentare per l'azienda un costo non sempre economicamente sostenibile e al diserbo chimico del sottofila, tecnica sempre meno tollerabile dal punto di vista ambientale, può essere la pratica della pacciamatura sottofila.

Questa tecnica che segue i principi dell'agricoltura conservativa sembra essere una soluzione molto interessante data i numerosi vantaggi (descritti al capitolo 1.2.3.1) che può offrire. Se le tecniche di pacciamatura con materiali organici o sintetici sono ampiamente utilizzate soprattutto in orticoltura, all'interno del frutteto recenti studi stanno valutando la fattibilità di proteggere il sottofila con una pacciamatura vivente.

Come descritto al capitolo 1.2.3.1, fino ad oggi nella letteratura si riportano alcuni dubbi, relativamente a questa tecnica, che riguardano la competizione tra gli alberi da frutto e la vegetazione sottostante, che viene descritto come il problema principale per l'uso della pacciamatura viva (Granatstein & Sanchez, 2009).

Tuttavia, recenti studi precedentemente citati hanno rivelato come questa competizione possa molto spesso non presentarsi o non essere significativa in termini di resa e di normale sviluppo della pianta coltivata, in particolare se la specie pacciamante viene scelta accuratamente e adottata la giusta la tecnica agronomica per la gestione della stessa. Anche la prova di Giorgi et al. (2022) (sulla quale si è ulteriormente lavorato anche per questo studio di tesi), che valuta la crescita di piante di pesco durante i primi mesi di impianto con pacciamature viventi sottofila di differente tipo (menta, trifoglio, fragola, inerbimento spontaneo), rivela che le pacciamature non hanno causato problemi per lo sviluppo delle piante di pesco. Esse, al contrario, hanno mostrato una buona crescita in termini di altezza e di numero di rami laterali nel primo anno dall'impianto; le piante cresciute al di sopra della copertura vegetale costituita dal controllo inerbito hanno invece riportato una crescita leggermente inferiore, dovuta probabilmente alla presenza di alcune specie spontanee più competitive.



*Figura 9: Crescita (aumento altezza, cm) e aumento del numero di rami laterali degli alberi nei diversi trattamenti (Giorgi et al., 2022)*

## Capitolo 2. SCOPO DELLA TESI

La pacciamatura viene utilizzata nel sottofila, all'interno dei frutteti, allo scopo principale di ridurre lo sviluppo delle infestanti più aggressive come alternativa alla lavorazione, perché complessa e causa di rischi ambientali, o al diserbo chimico, per minimizzare l'impatto ambientale.

Storicamente le tipologie di pacciamatura utilizzate nel sottofila, e diffuse soprattutto in orticoltura, sono quelle di tipo organico o sintetico dal momento che non si conoscevano ancora bene gli effetti dell'interazione di pacciamanti con la pianta coltivata e non era possibile escludere interferenze allelopatiche, competizioni per le risorse idriche e per i nutrienti o altri effetti che potrebbero alterare il normale sviluppo e/o produzione della pianta coltivata.

Obiettivo di questa tesi è quello di studiare la distribuzione radicale e valutare l'evoluzione avvenuta nella crescita delle piante di pesco e delle specie pacciamanti in un pescheto gestito con pacciamatura viva sottofila, allo scopo di indagare l'esistenza di eventuali interazioni di una tecnica di questo tipo con la pianta coltivata. La pacciamatura utilizzata è di quattro diverse tipologie, dunque obiettivo della tesi è anche quello di valutare se esistano differenze nei fenomeni osservati che siano riconducibili al trattamento utilizzato, e quindi se esista una diversa interazione dovuta alla particolare specie pacciamante nei confronti della pianta di pesco.

## Capitolo 3. MATERIALI E METODI

### 2.1 Localizzazione e descrizione del sito di sperimentazione

La prova è stata svolta in un pescheto appartenente all'Azienda Agricola "I Quattro" e situato nella contrada Valloscura di Capodarco, in provincia di Fermo, Marche (43°11'42.6"N 13°46'25.2"E). Il pescheto è localizzato in territorio collinare, ad un'altitudine di 48 m slm, con esposizione a Sud-Est.



*Figura 10: Visualizzazione satellitare del contesto territoriale in cui è situato il campo sperimentale*

Il frutteto è costituito dalla cultivar di pesca piatta Leo innestata su portinnesto poco vigoroso Rootpac® - 40, individuato per giustificare l'elevata densità di impianto e a motivo di scelte tecniche aziendali. La forma di allevamento è la V alterna e il sesto è di 4x1 con filari orientati in direzione Nord-Sud. Il frutteto è dotato di un impianto di irrigazione a goccia con manichette forate ed è condotto secondo il metodo biologico.

Le piante sono state messe a dimora a dicembre 2019 e i trattamenti sono stati disposti ad aprile 2020. Le pacciamature nel sottofila sono di 3 tipi: trifoglio (*Trifolium* L.), menta (*Mentha piperita* L.) e fragola (con parcelle a frutto bianco e fragola selvatica dei Sibillini (*Fragaria* spp.). Ad esse si aggiunge il controllo con copertura a base di vegetazione spontanea.

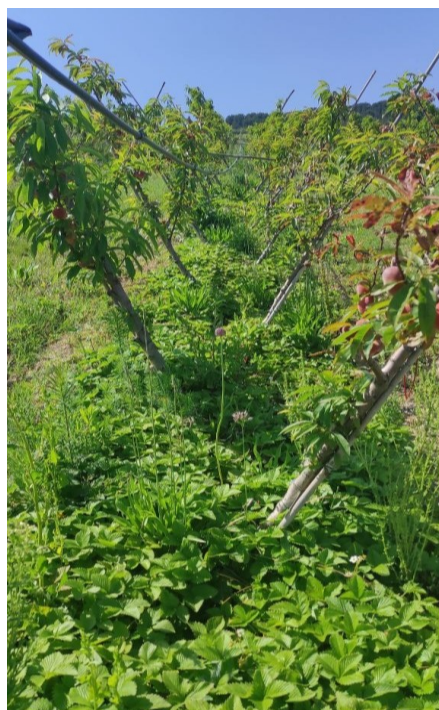
Inizialmente la prova includeva anche un trattamento, definito “carta”, rappresentato da teli di materiale cartaceo biodegradabile. Tuttavia, a causa della sua rapida scomparsa (un anno dopo il posizionamento) e della conseguente occupazione del suolo da parte delle specie spontanee, risultante in un trattamento del tutto equiparabile al controllo, si è deciso di escluderlo dallo studio sulle distribuzioni radicali e sui calibri dei fusti del pesco.

Allo stesso modo si è deciso di investigare i comportamenti della fragola bianca e della fragola dei Sibillini in maniera differenziata solamente per quanto riguarda le analisi sulla copertura vegetale del suolo. A motivo del comportamento molto simile delle due, infatti, le successive analisi su radici e diametro dei fusti sono state effettuate considerandole come un solo trattamento, indicato come “fragola”.

In un’ottica di agricoltura conservativa, si è scelto di non rinunciare ai benefici che una copertura offre in termini di protezione del suolo da erosione, conservazione della sostanza organica, della fertilità del suolo e della biodiversità, e quindi non considerare una tesi con terreno lavorato.



*Figura 11: Frutteto sperimentale. Particolare di piante al di sopra della pacciamatura con menta*



*Figura 12: Frutteto sperimentale. Particolare di piante al di sopra della pacciamatura con fragola*

Il disegno sperimentale è a blocchi randomizzati con 3 blocchi ognuno comprendente 35 alberi per trattamento, per un totale di 420 alberi oggetto di prova.

I sottofila sono stati gestiti con un solo sfalcio alto ogni anno a fine stagione per far sì che le pacciamanti non incontrassero in altezza la chioma del pesco e non si creassero zone di elevata umidità o problemi di gestione del pesco. La fragola viene inoltre gestita con un taglio verticale al suolo in autunno per evitare che gli stoloni ne consentano l'espansione eccessiva nell'interfila.

## **2.2 Descrizione delle analisi svolte**

Il lavoro svolto ha riguardato due tipi di analisi: lo studio in laboratorio dei campioni di suolo e radici prelevati nei trattamenti con pacciamature vive, al fine di valutare la distribuzione radicale del pesco in relazione al trattamento pacciamante, e la misurazione in campo di parametri quali diametro dei fusti e copertura del suolo da parte delle pacciamanti (percentuale di copertura e composizione della copertura) con l'obiettivo di valutare negli anni la crescita delle piante e l'evoluzione delle pacciamature.

### *3.1.1 Analisi delle radici*

Nel mese di settembre dell'anno 2022, sono stati effettuati i carotaggi in pescheto (Figura 13) in una posizione lungo la fila e a circa 30cm dalle piante di pesco. Sono stati prelevati 3 campioni all'interno di 2 blocchi per ogni trattamento. Ogni prelievo è stato effettuato a due diverse profondità:

- 0-15 cm
- 15-30 cm

Secondo questo schema, dunque, si sono prelevati 12 campioni per ogni trattamento (Figura 14), per un totale di 48 campioni per i 4 trattamenti con pacciamature viventi.





*Figura 13: Esempio di carotaggio su trattamento “fragola”*

	Trattamento	Blocco	Ripetizione	Profondità
1	controllo	B1	1	0-15
2	controllo	B1	1	15-30
3	controllo	B1	2	0-15
4	controllo	B1	2	15-30
5	controllo	B1	3	0-15
6	controllo	B1	3	15-30
7	controllo	B3	1	0-15
8	controllo	B3	1	15-30
9	controllo	B3	2	0-15
10	controllo	B3	2	15-30
11	controllo	B3	3	0-15
12	controllo	B3	3	15-30

*Figura 14: Esempio di rilievi svolti su trattamento “controllo”*

I campioni prelevati, contenenti suolo e radici per un peso medio essiccato di circa 270 g ciascuno, sono poi stati disposti in stufa a 60°C fino al completo essiccamento del campione e sono stati lavorati a partire da ottobre 2022.

L'analisi è iniziata con la reidratazione del campione tramite immersione in acqua (per almeno 15-20 minuti, allo scopo di destrutturare la carota di terra e liberare le radici in essa contenute (Figura 15). Il tutto è stato successivamente versato all'interno di una pila composta da 5 setacci (Figura 16) in acciaio inox e superfici setaccianti con diametri della griglia di 0.71, 0.5, 0.35, 0.21 e 0.10 mm.

Attraverso l'utilizzo di un getto d'acqua è stato effettuato il lavaggio delle radici dalla terra (Figura 17). Le radici, dunque, attraverso la rottura degli agglomerati di terra grazie al getto d'acqua, sono state liberate e si sono depositate sulla superficie dei primi due setacci (0.7 mm e 0.5 mm) a seconda delle loro dimensioni, mentre le particelle di terra sono state intrappolate dagli ultimi setacci dai diametri dei fori più ridotti e quindi rimosse con la successiva pulizia degli stessi.



*Figura 15: Immersione del campione in acqua*



*Figura 16: Serie di setacci utilizzati*



*Figura 17: lavaggio delle radici su setaccio tramite getto d'acqua*

Una volta rimosso ogni residuo di terra, le radici sono state prelevate e disposte su carta assorbente per garantirne l'asciugatura, con l'ausilio di una lampada e di pinzette (Figure 18 e 19).



*Figura 18: Postazione di lavoro per l'individuazione e la selezione delle radici*



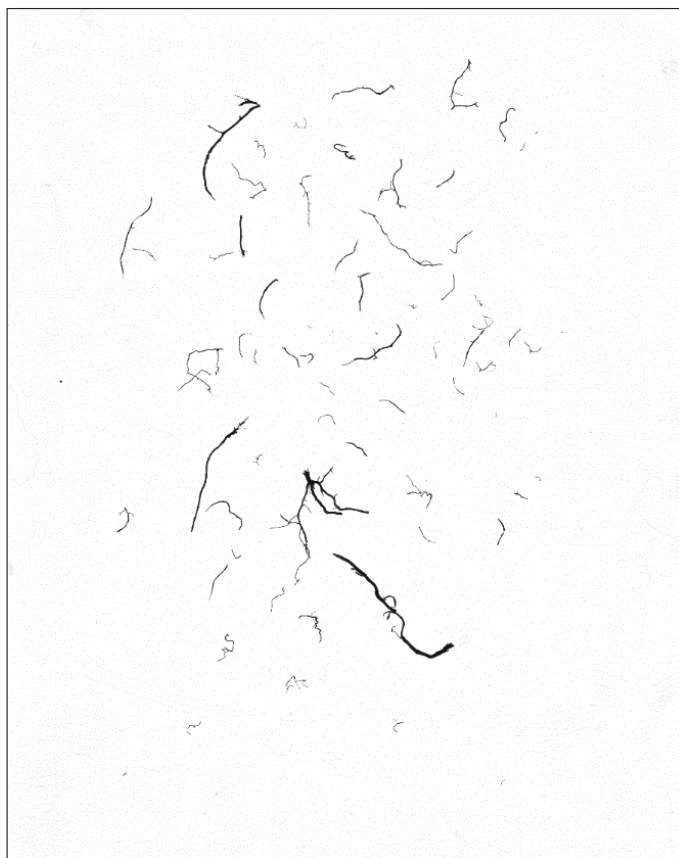
*Figura 19: Posizionamento delle radici selezionate su carta assorbente*

Le radici individuate sono state successivamente disposte su fogli trasparenti per la successiva scannerizzazione (Figura 20), differenziando in più fogli le radici di pesco dalle altre (gran parte delle quali appartenevano presumibilmente alla specie pacciamante corrispondente al trattamento). La distinzione è stata effettuata visivamente con analisi morfologica, grazie anche al tipico colore rosso delle radici del pesco.



*Figura 20: Disposizione delle radici su fogli di plastica per scanner*

Le immagini scannerizzate (Figura 21) delle radici sono state poi ripulite manualmente da impurità che avrebbero potuto comprometterne la lettura da parte del software; le scansioni sono state infatti sottoposte ad analisi delle immagini utilizzando il software WinRHIZO® (Regent Instruments Inc.).



***Figura 21: Immagine scannerizzata di radici***

Tramite il software si sono valutati la lunghezza totale delle radici (cm), il diametro medio delle radici (mm) e il volume radicale (cm<sup>3</sup>). È stata in seguito calcolata la densità di lunghezza radicale (RLD) come lunghezza totale / peso campione (cm/g).

### 3.1.2 *Analisi in campo*

I rilievi in campo sono stati effettuati allo scopo di prelevare dati quali il diametro del fusto delle piante di pesco e valutare il livello di copertura del suolo ottenuto nel sottofila e la composizione della stessa copertura.

Sono stati effettuati 6 rilievi, nelle seguenti date:

- 12/06/2020
- 06/07/2020
- 21/12/2020 → primo anno
- 22/07/2021 → secondo anno
- 20/09/2022 → terzo anno
- 09/10/2023 → quarto anno

Il diametro dei fusti delle piante è stato rilevato da 15 piante per ogni blocco, con l'ausilio di un calibro di tipo digitale. Il diametro del fusto è stato rilevato nella parte basale dello stesso, a pochi cm dalla superficie del suolo, cercando di mantenere la stessa posizione nei diversi rilievi nel corso degli anni.

La copertura è stata valutata tramite un telaio di legno di area 0.5 m<sup>2</sup>. Il telaio è stato disposto al di sotto di ogni pianta valutata, in modo che il tronco dell'albero fosse compreso all'incirca al centro dell'area individuata dallo strumento. La valutazione, di tipo visivo, ha riguardato la percentuale di copertura delle specie erbacee rispetto al suolo (Figura 22) e la composizione percentuale della copertura tra la specie pacciamante del corrispondente trattamento e altre spontanee (Figura 23). Sono stati dunque attribuiti dei valori percentuali in relazione a quanto, rispetto al totale, la copertura fosse rappresentata dalla specie pacciamante o da spontanee.

L'analisi statistica dei dati è stata effettuata con JMP Pro 14.0.0 (SAS Institute).

Sono stati analizzati i dati di TCSA (Trunk cross sectional area) derivato dal diametro dei fusti, copertura delle pacciamanti e diametro e RLD (Relative length density) delle radici.



*Figura 22: Valutazione della copertura vegetale del suolo*



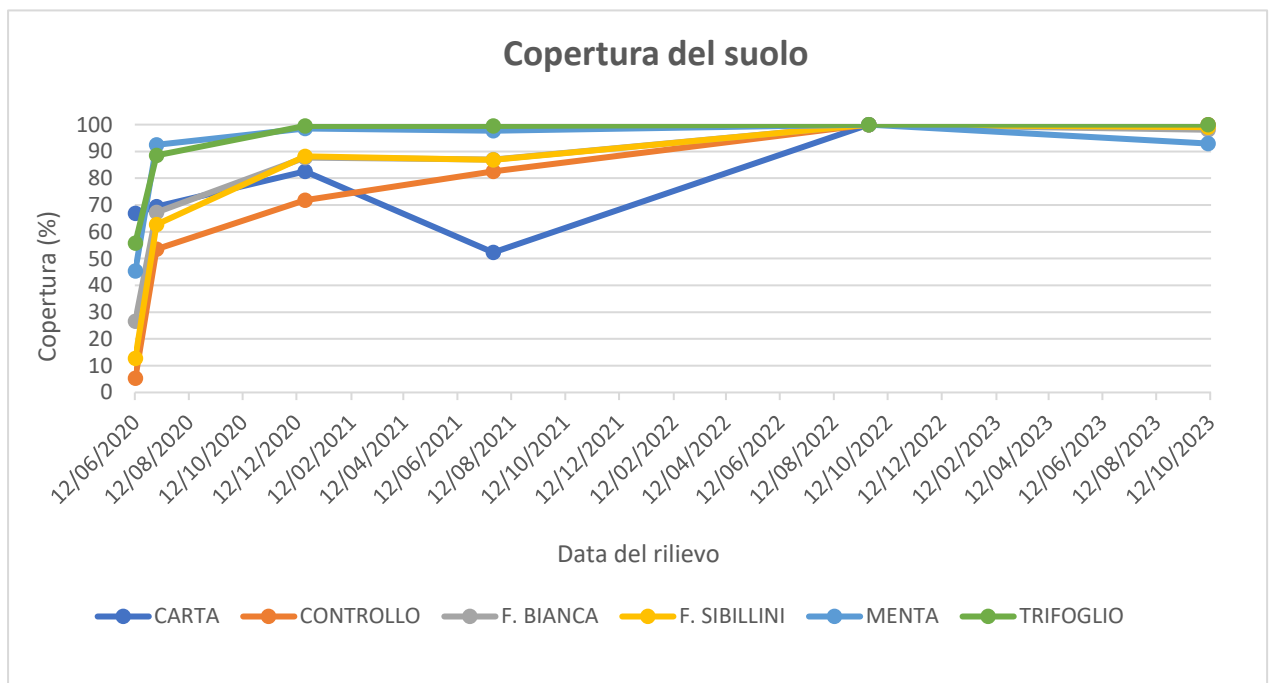
*Figura 23: Valutazione della composizione della copertura vegetale del suolo*



## Capitolo 4. RISULTATI

### 4.1 Copertura del suolo

Valutando l'evoluzione delle coperture nel tempo (Figura 24), date dall'insieme della specie pacciamante e delle spontanee di ogni trattamento, dal primo rilievo nel giugno 2020 (due mesi dopo il posizionamento dei trattamenti effettuato ad aprile 2020), si nota come esse mostrino un andamento molto simile tra loro, partendo da livelli di copertura iniziale differenti ma con un rapido incremento nei primi tre e sei mesi fino a raggiungere per tutti il 100% di copertura del suolo entro il terzo anno (settembre 2022) e mantenerlo anche il quarto anno (fino ad oggi), con una leggera diminuzione della copertura nella pacciamatura a base di menta (Figura 25).



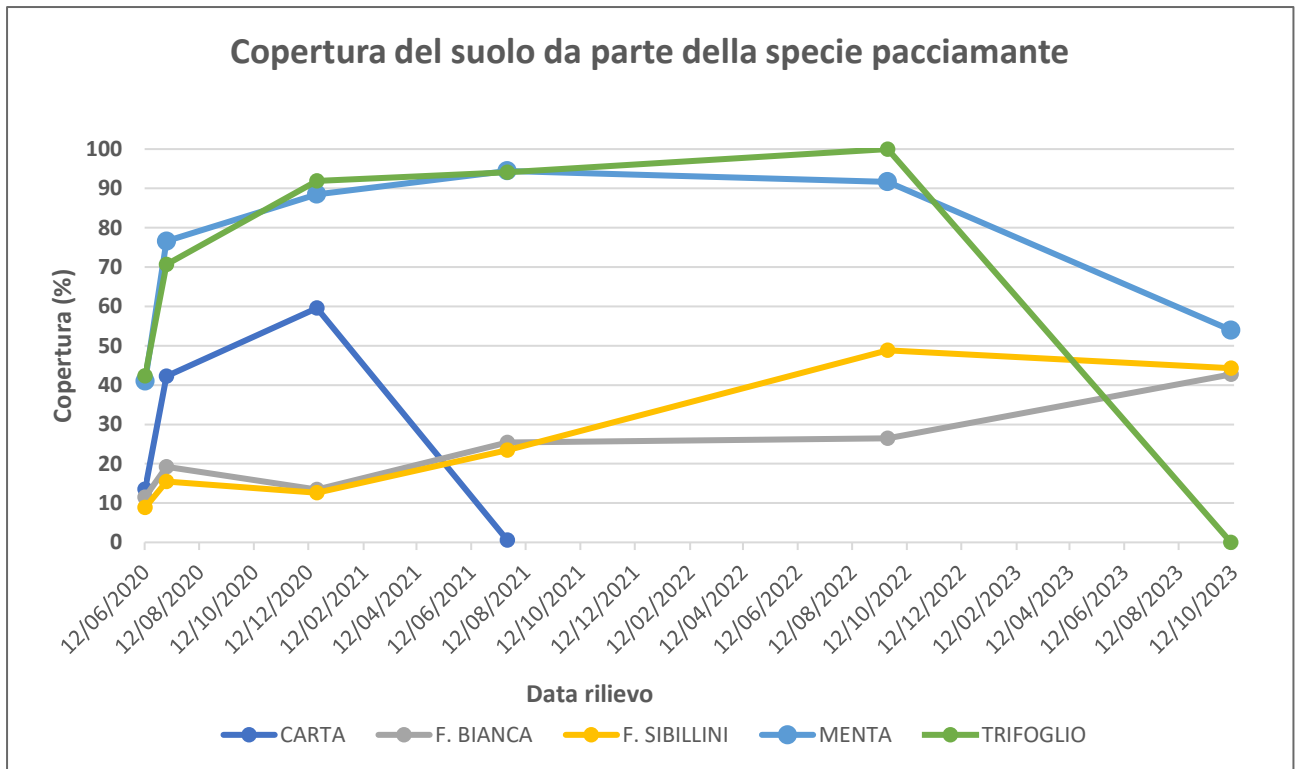
**Figura 24: Copertura totale del suolo (data dalle specie pacciamanti e dalle spontanee): evoluzione nel tempo**

Nei primi due anni invece i trattamenti che si sono rivelati più efficaci nel coprire il suolo sono stati quelli con menta e trifoglio, che già dopo sei mesi dal primo rilievo hanno raggiunto la copertura totale. Le due coperture pacciamanti con fragola hanno mostrato un andamento totalmente sovrapponibile a livello grafico e fino al raggiungimento del 100% di copertura hanno sempre mantenuto dei livelli di copertura maggiori di quelli del controllo, che risulta, fino al secondo anno, il trattamento meno efficace nel coprire il suolo dopo quello con carta. Il trattamento con carta, che ha consentito una copertura del suolo sempre inferiore a menta e trifoglio, e superiore a quella del controllo solo per circa 7 mesi, è comunque scomparso rapidamente dopo un anno dal posizionamento, registrando un picco minimo di copertura per questo trattamento, più basso rispetto a tutti gli altri (52%). Con la degradazione del materiale cartaceo le spontanee hanno successivamente popolato il suolo lasciato scoperto raggiungendo, come per gli altri trattamenti, il 100% di copertura il terzo anno.



***Figura 25: Copertura a base di menta: come si presenta dopo 4 anni (9/10/2023)***

Relativamente alla composizione della copertura, si è studiata l'evoluzione, in percentuale sulla totalità delle specie formanti la copertura, della presenza delle specie pacciamanti del relativo trattamento (Figura 26) e delle spontanee (Figura 27).



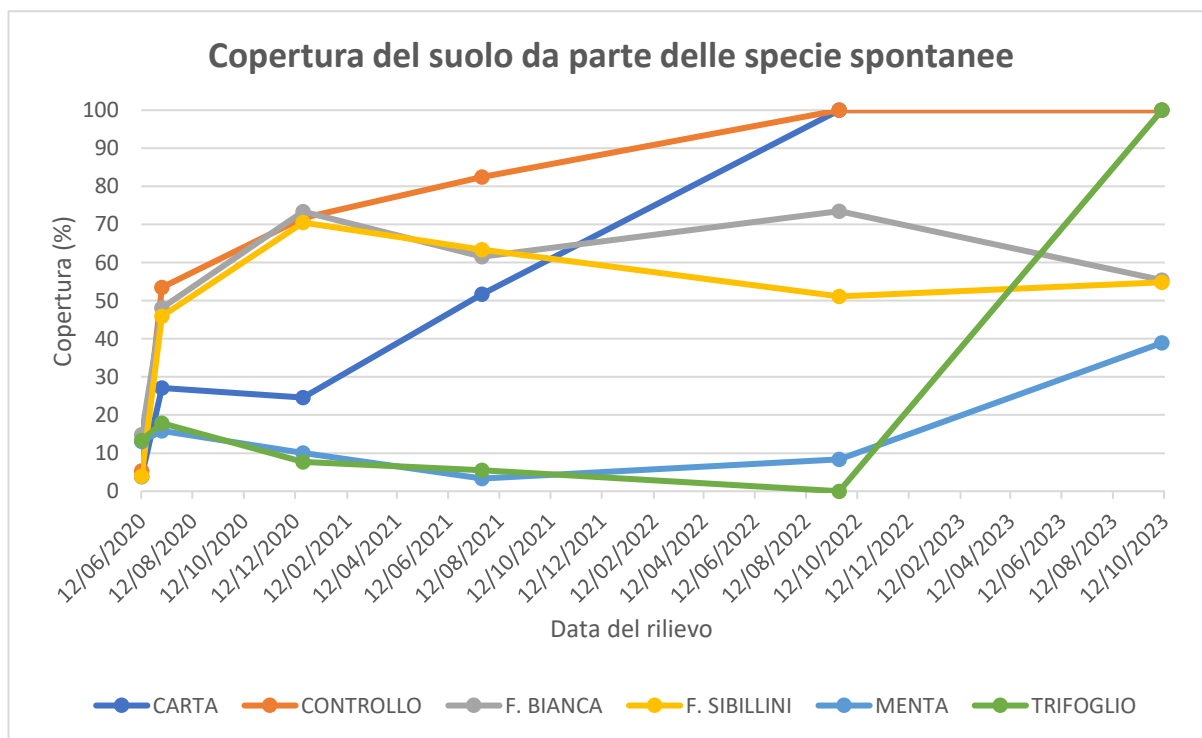
**Figura 26: Copertura del suolo da parte delle specie spontanee e pacciamante: analisi sulla composizione della copertura**

Dal grafico si nota come la fragola bianca e la fragola dei Sibillini abbiano avuto un andamento pressoché identico, portando a ricavare gli stessi livelli percentuali di presenza in tutti i rilevamenti tranne uno (settembre 2020). La fragola sembra avere una tendenza a ricoprire il suolo in modo sempre maggiore nel corso degli anni, fino a una presenza il quarto anno, di circa 40% su un 100% di copertura del suolo.

Trifoglio e menta presentano un livello simile nel rappresentare inizialmente il 40% della copertura, fino a raggiungere il 90% il secondo anno e il 100% il terzo. Il quarto anno, tuttavia,

il trifoglio risulta assente, scomparendo totalmente. Anche la menta riduce notevolmente la sua presenza ma raggiunge livelli di copertura paragonabili a quelli della fragola (circa 50%). La linea blu mostra la repentina scomparsa del trattamento con carta, il quale, lasciando il suolo scoperto, permette il progressivo popolamento naturale da parte delle specie spontanee, come visibile in Figura 27.

Al momento dell'ultimo rilievo in campo dunque, ad ottobre 2023, (a 3 anni e 6 mesi dalla messa a dimora delle pacciamanti nel pescheto) si nota la scomparsa totale del trifoglio, una diminuzione della presenza di menta, una copertura molto decisa della fragola nelle zone dove era avvenuto l'attecchimento iniziale e infine (Figura 27) una totale presenza di spontanee nel controllo.



**Figura 27: Copertura del suolo da parte delle specie spontanee: analisi sulla composizione della copertura**

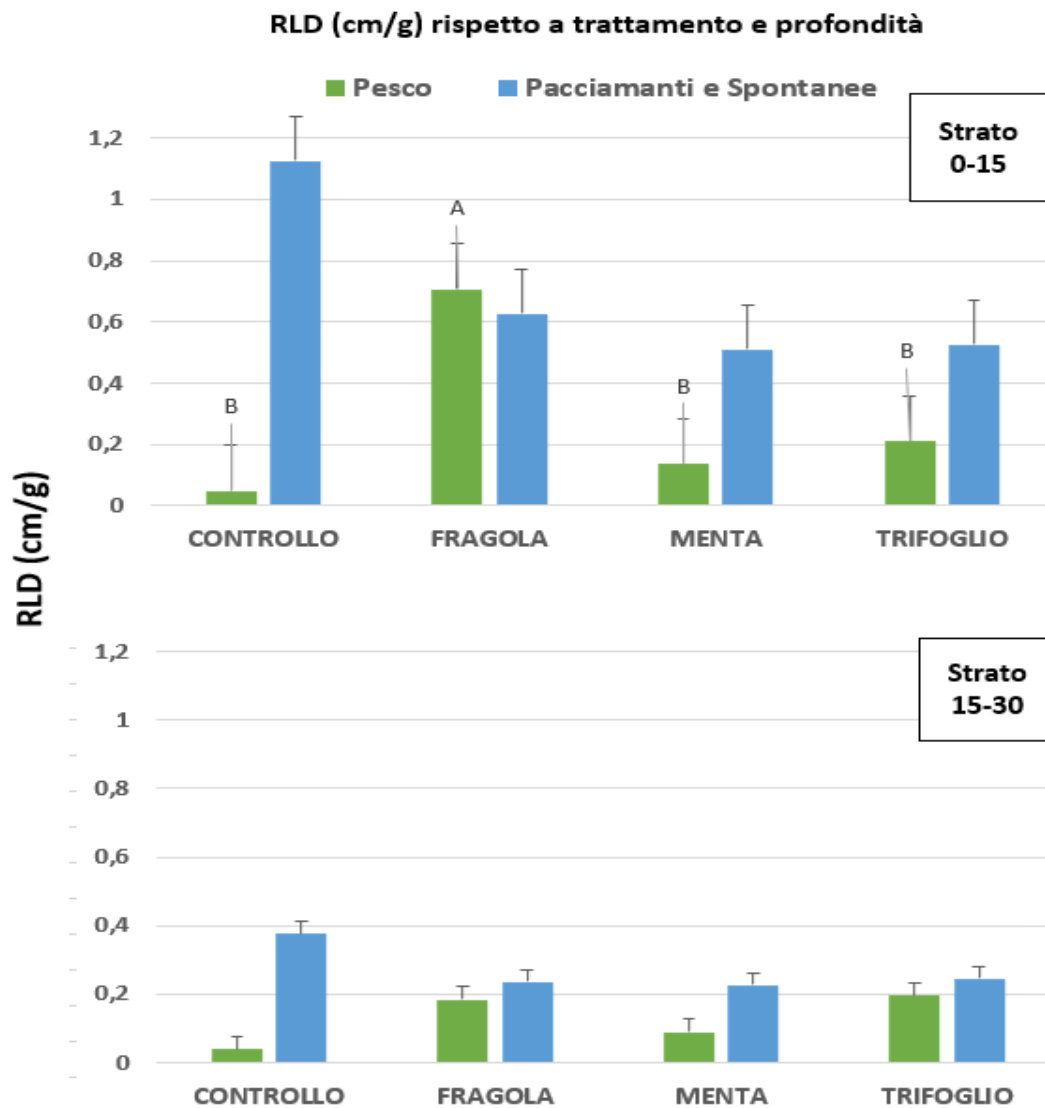
Dall'analisi sulla presenza percentuale delle specie spontanee nella copertura, emerge che i minori livelli di presenza delle ultime nel tempo si sono rilevati nei trattamenti con menta e fragola; i livelli di spontanee nel primo caso, infatti, si sono sempre mantenuti al di sotto del 15%, raggiungendo solo nell'ultimo rilievo, il quarto anno una presenza del 40%, la più bassa registrata tra i vari trattamenti.

Entrambi i trattamenti con fragola bianca e fragola dei Sibillini hanno registrato, dopo la menta, i quantitativi più bassi di presenza di specie spontanee nel tempo. Dopo un aumento iniziale delle stesse, complementare a una partenza non rapida della fragola (Figura 26), a partire dal secondo anno la presenza di spontanee è via via diminuita fino a livelli, il quarto anno, di circa il 55%. Gli andamenti dei due tipi di fragola sono anche questa volta totalmente sovrapponibili, ad eccezione del terzo anno, coerentemente con le percentuali di copertura delle fragole stesse (Figura 26), in cui si era verificata una minor presenza di fragola bianca e maggiore di fragola dei Sibillini; per quanto riguarda le spontanee infatti si rileva maggiore presenza di spontanee dove si era rilevata minore presenza di fragola e viceversa.

Il trifoglio ha contribuito a registrare dei valori di spontanee paragonabili a quelli della menta e inferiori a quelli della fragola ma solo per un anno (fino a luglio 2021), dopodiché, prima ancora dell'inizio della scomparsa della specie pacciamante, le spontanee hanno accresciuto sempre più la loro presenza fino a raggiungere il 100% il terzo anno. Nel controllo infine, come precedentemente descritto, le spontanee hanno progressivamente occupato il sottofila, raggiungendo il 100% di copertura tra il terzo e quarto anno e mantenendolo tale fino ad oggi.

## 4.2 Radici

A livello dello studio radicale dell'influenza delle specie pacciamanti sul pesco, l'analisi ha rivelato una correlazione statisticamente significativa tra la RLD (cm/g) delle radici della pianta di pesco e il trattamento, e tra la RLD delle radici del pesco e la profondità della loro posizione nel suolo.



**Figura 28:** RLD (cm/g) delle radici di pesco e specie spontanee e pacciamanti in relazione al trattamento e alla profondità. Le barre di errore indicano l'errore standard. Lettere diverse indicano differenze significative (test HSD Tukey,  $p < 0,001$ )

Dal grafico si evince come, con una differenza statisticamente significativa, nei primi 15 cm di profondità, si è registrata una più alta RLD delle radici delle piante di pesco in presenza di pacciamatura con fragola rispetto agli altri trattamenti. Questo è anche l'unico caso in cui si è

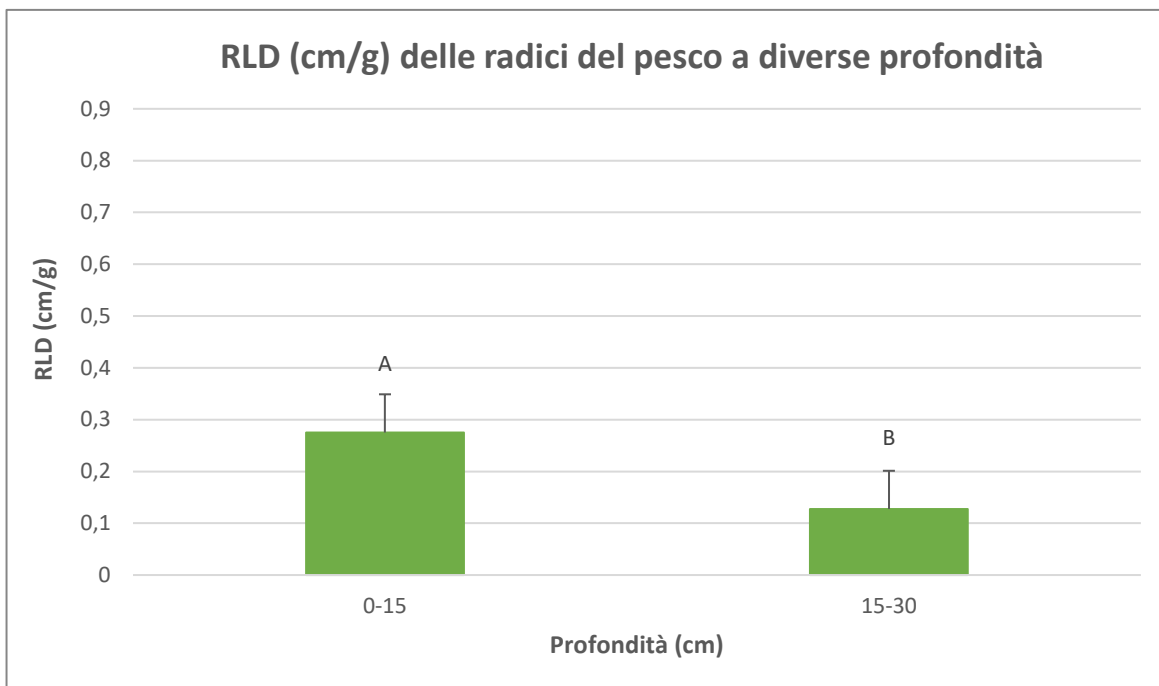
registrata una maggiore presenza di radici di pesco nell'unità di suolo rispetto alle radici della specie pacciamante e delle spontanee del trattamento. Nei trattamenti con sole specie spontanee (controllo), con menta e con trifoglio l'RLD media delle radici del pesco è risultata infatti inferiore rispetto a tutte le specie pacciamanti a tutte le profondità. Tali trattamenti non hanno mostrato significatività statistica nelle differenze tra loro.

A 15-30 cm di profondità le radici delle specie della copertura presentano un valore di RLD superiore a quelle del pesco per tutti i trattamenti.

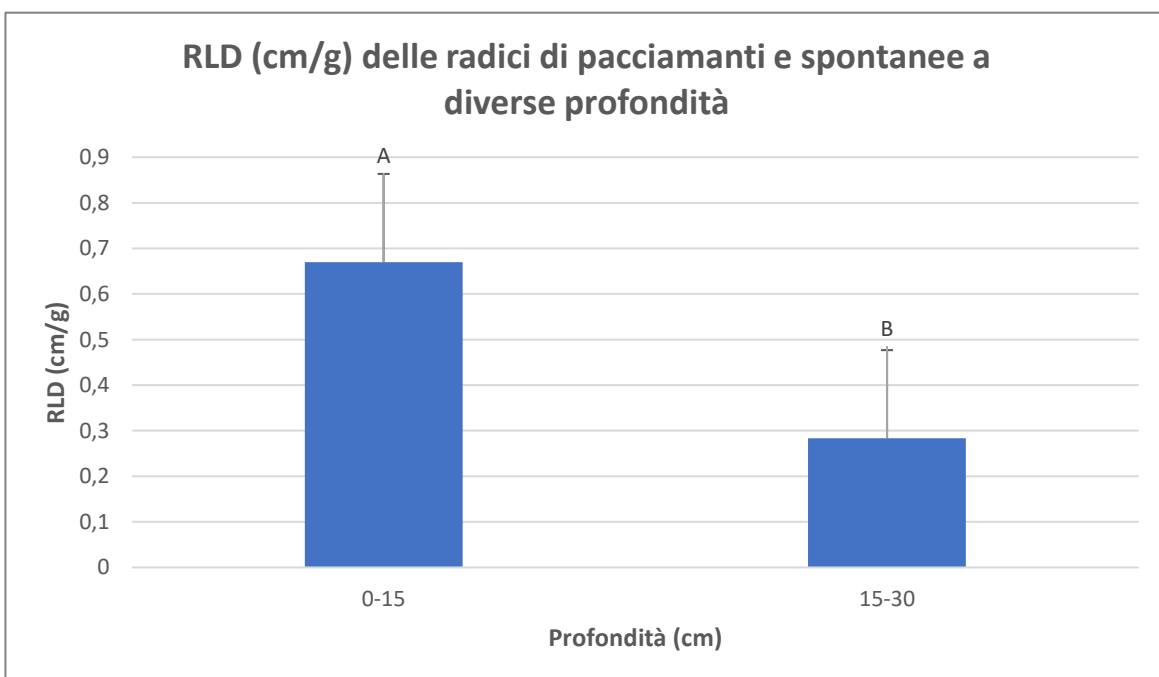
In tutti i trattamenti, in entrambe le profondità, tuttavia, si è registrata una maggiore RLD del pesco rispetto a quella rilevata nel controllo, dovuto forse alla minor competizione esercitata dalle specie pacciamanti scelte nei confronti del pesco rispetto a quella provocata dall'insieme delle diverse specie spontanee.

Nello strato di suolo più superficiale del controllo inoltre è possibile notare una presenza di radici di specie spontanee notevolmente superiore a quelle del pesco e a tutte le altre degli altri trattamenti, indice di come la presenza di specie pacciamanti, negli altri trattamenti, contribuisca ad abbassare il livello di quantità di radici delle specie presenti oltre al pesco, con un evidente vantaggio in termini di esplorazione radicale per le radici del pesco.

Si è notato inoltre come l'RLD delle radici sia di pesco che delle specie erbacee sia influenzata dalla profondità: nello strato più profondo i valori si presentano, nel complesso, inferiori (Figure 29 e 30)



**Figura 29:** RLD (cm/g) delle radici di pesco in relazione e alla profondità. Le barre di errore indicano la deviazione standard. Lettere diverse indicano differenze significative (test HSD Tukey,  $p < 0,001$ )

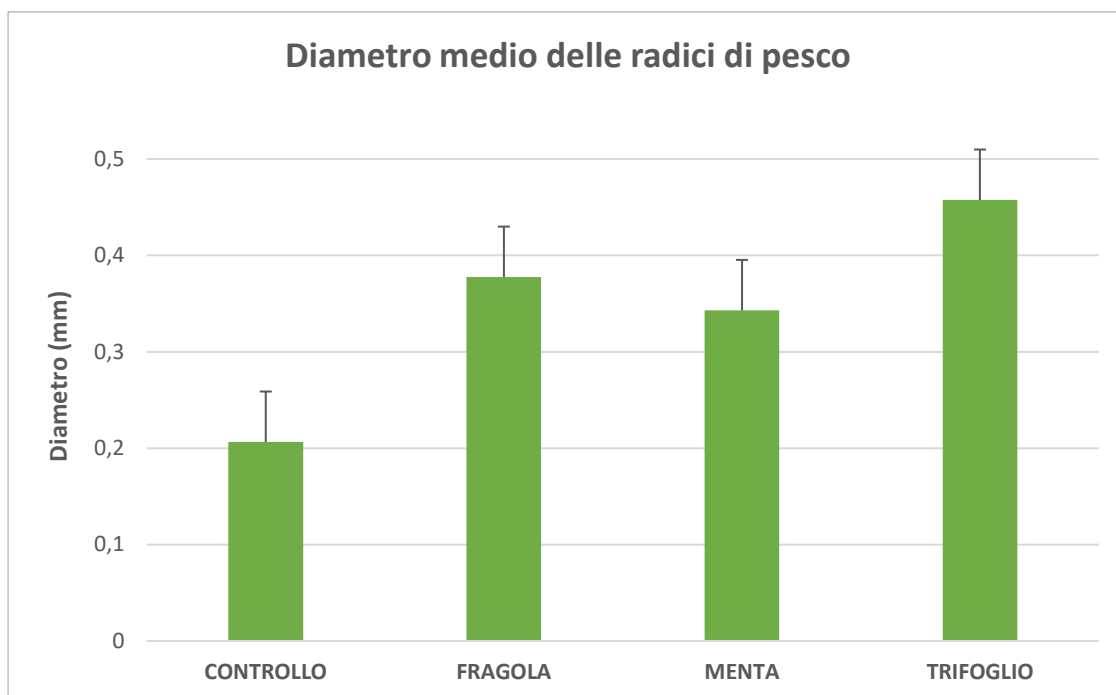


**Figura 30:** RLD (cm/g) delle radici di pacciamanti e spontanee in relazione e alla profondità. Le barre di errore indicano la deviazione standard. Lettere diverse indicano differenze significative (test HSD Tukey,  $p < 0,001$ )

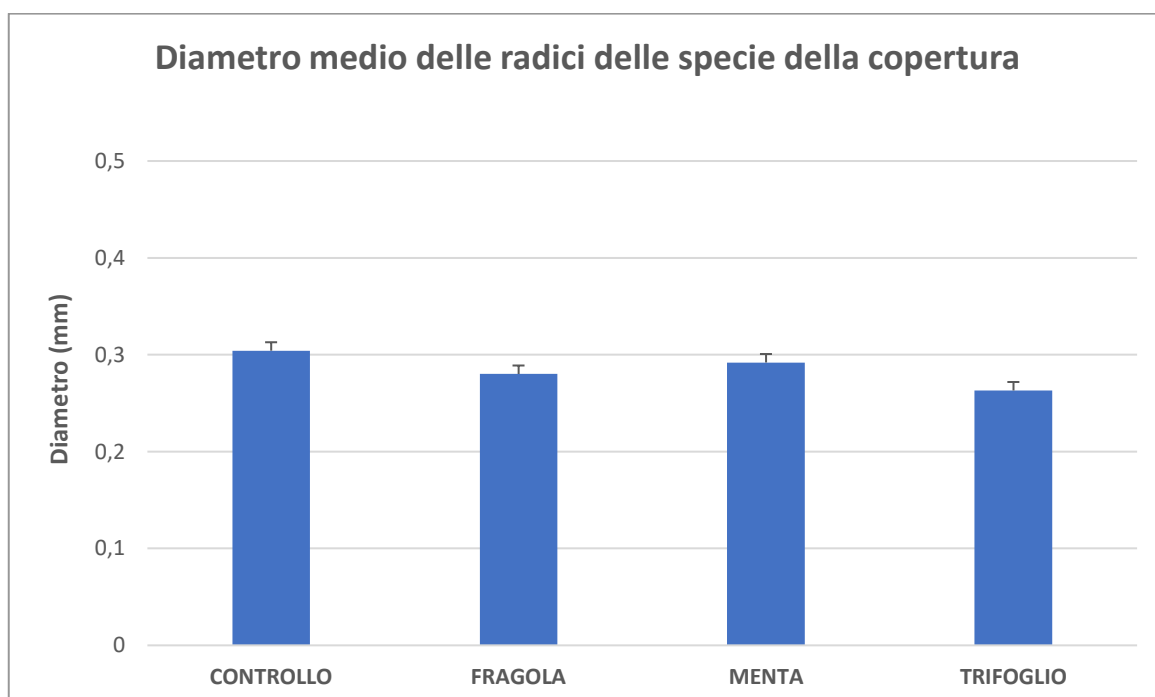


Per quanto riguarda invece i diametri delle radici, non è stata osservata alcuna influenza statisticamente significativa da parte del trattamento o della profondità, né per le radici del pesco, né per quelle delle spontanee e pacciamanti. Tuttavia, si nota come tutti i trattamenti hanno stimolato la pianta di pesco a costruire delle radici di maggior diametro rispetto a quelle che la stessa pianta ha in corrispondenza del controllo.

È interessante notare, nei grafici che riportano i diametri medi delle radici del pesco (Figura 31) e di quelle delle coperture (Figura 32), che nei trattamenti in cui il pesco ha riportato dei valori di diametro maggiori (fragola e trifoglio), le spontanee hanno riportato i valori inferiori. Allo stesso modo, dove si registrano valori di diametro massimi delle spontanee o specie pacciamante (controllo e menta), le radici di pesco hanno invece i diametri minori e anche una minore RLD. Questo può essere dovuto all'effetto di colonizzazione dello spazio, acqua e nutrienti dalle due parti in gioco. Nelle radici del pesco le differenze di diametri tra i vari trattamenti sembrano essere tendenzialmente di maggior entità rispetto alle differenze tra i trattamenti che hanno le radici delle spontanee e pacciamanti; questo comportamento deriva dalla natura dell'apparato radicale del pesco, composto da radici di vario tipo e con calibri differenti, mentre gli apparati radicali delle specie erbacee sono composti da radici di calibri molto più omogenei tra loro.



*Figura 31: Diametro medio (mm) delle radici di pesco. Le barre di errore indicano l'errore standard.*



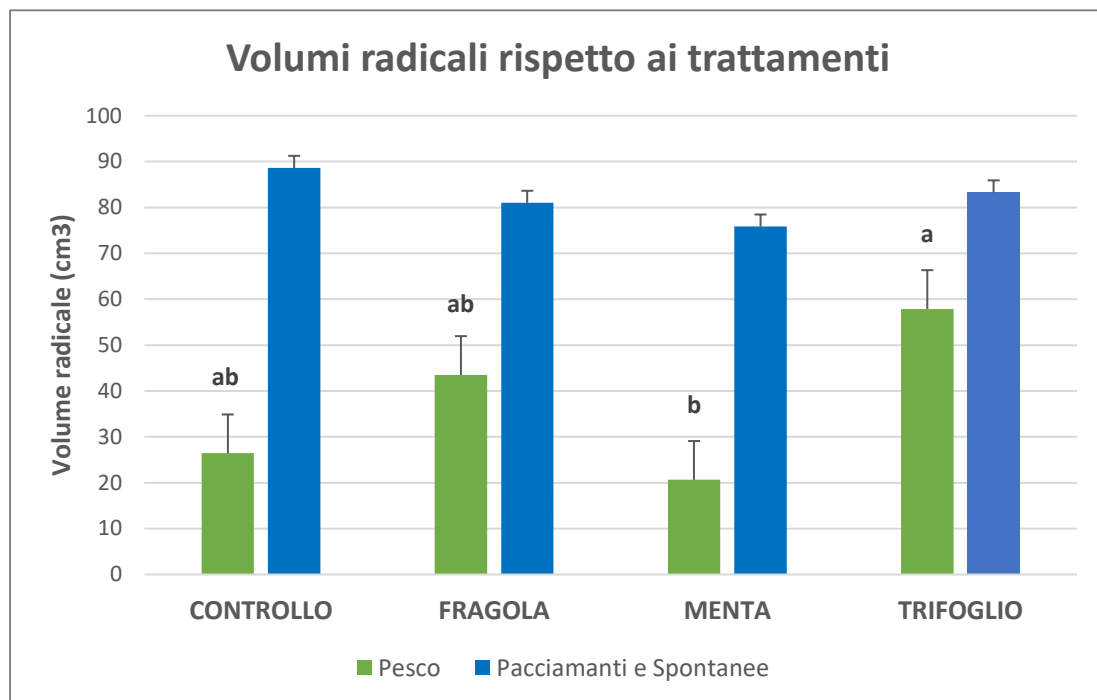
*Figura 32: Diametro medio (mm) delle radici delle specie della copertura. Le barre di errore indicano l'errore standard.*

Studiando la biomassa radicale si osserva che fragola e trifoglio (specie che avevano registrato i maggiori diametri radicali per il pesco in superficie) portano ad avere i maggiori valori di volume radicale per il pesco (Figura 33) nello strato di suolo fino a 15 cm di profondità (Figura 34). Il trifoglio, rispetto alla fragola, stimola un maggiore volume radicale nelle radici di pesco, dato da maggiori valori di diametro delle stesse, a fronte di RLD nettamente inferiori.

Menta e specie spontanee del controllo, le quali avevano portato a registrare per il pesco i più bassi valori di diametro e di RLD, allo stesso modo hanno portato ai più bassi valori di volumi radicali.

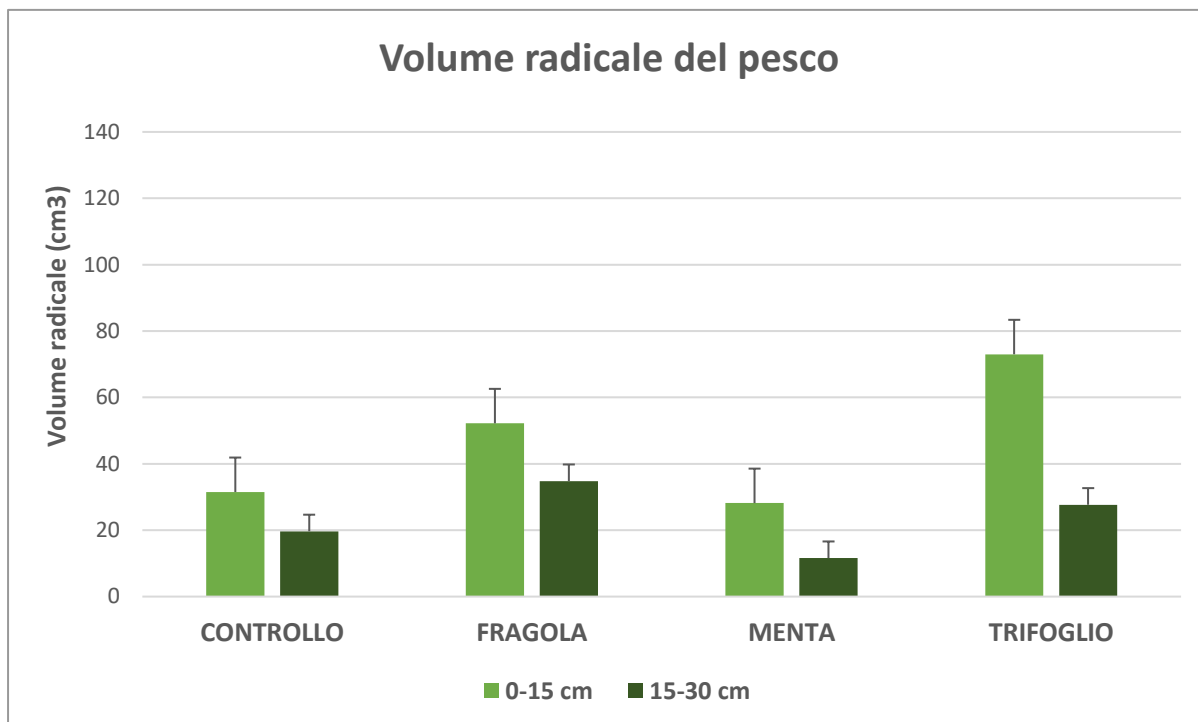
La biomassa radicale delle specie della copertura si presenta omogenea in tutti i trattamenti, con un valore di poco superiore agli altri per quanto riguarda il controllo, che conferma le tendenze di densità di lunghezza e diametro radicale.

Il pesco riporta in tutti i casi una biomassa radicale più bassa di quella delle spontanee e pacciamanti. A fronte di RLD mediamente inferiori (Figura 28) ma diametri mediamente superiori (Figure 31 e 32) si comprende come, a differenza delle specie erbacee, il pesco abbia un apparato radicale costituito da un popolo di radici meno numerose e di diverso tipo, investendo non solo in radici assorbenti, ma anche strutturali e di trasporto, dai diametri maggiori ma di numero decisamente inferiore.

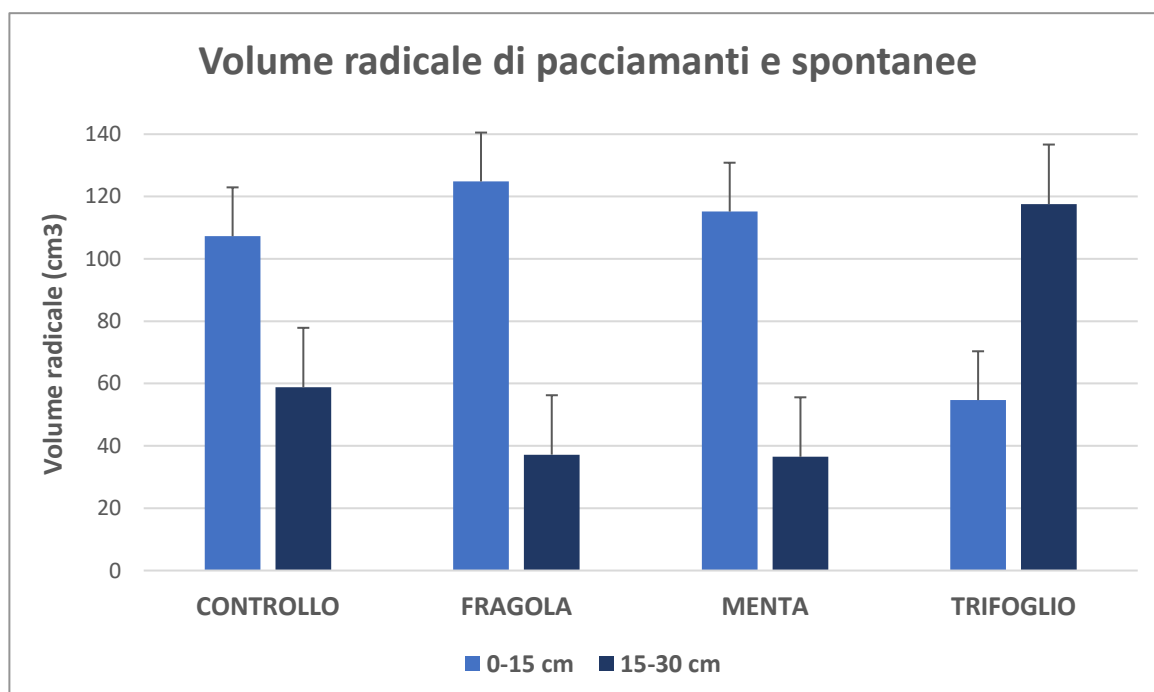


**Figura 33: Volumi radicali (cm<sup>3</sup>) di pesco e specie della copertura. Le barre di errore indicano la deviazione standard. Lettere diverse indicano differenze significative (test HSD Tukey,  $p < 0,001$ )**

Trifoglio e fragola, come sopra descritto, stimolano maggiormente rispetto agli altri trattamenti la biomassa radicale della pianta pesco; tuttavia è interessante notare come, mentre nella pacciamatura con fragola, le radici di pacciamanti e spontanee siano distribuite maggiormente nei primi 15 cm di profondità del suolo, dove anche le radici di pesco sono in maggior quantità, nella copertura a base di trifoglio la biomassa delle radici delle erbacee è maggiore a profondità più elevate, lasciando lo strato di suolo da 0 a 15 cm popolato maggiormente da radici di pesco, meno presenti invece tra 15 e 30 cm (Figure 34 e 35).



*Figura 34: Volumi radicali (cm<sup>3</sup>) del pesco alle diverse profondità. Le barre di errore indicano l'errore standard.*



*Figura 35: Volumi radicali (cm<sup>3</sup>) di pacciamanti e spontanee alle diverse profondità. Le barre di errore indicano la deviazione standard.*

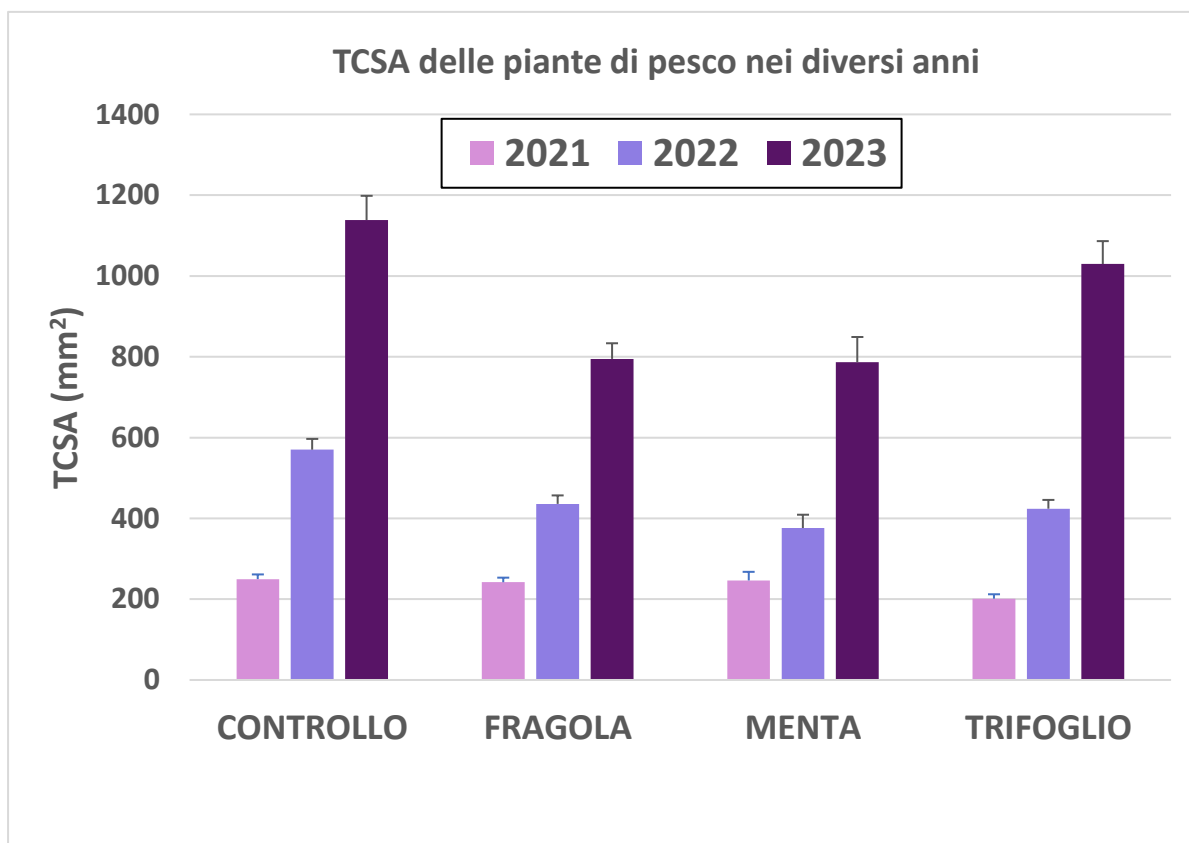
### 4.3 Calibro dei fusti delle piante di pesco

Le misure delle aree delle sezioni trasversali dei tronchi (TCSA) delle piante di pesco relative ai diversi anni sono riportate nel grafico di seguito (Figura 36).

I valori più elevati di TCSA si sono rilevati dal primo al terzo anno, sempre in corrispondenza del controllo.

Nel primo anno di rilievo dei diametri (luglio 2021) le piante presentavano tuttavia valori di TCSA simili in cui, per ordine di grandezza, il controllo era seguito da menta, fragola e trifoglio. Il secondo anno i diametri delle piante sul trattamento con fragola risultano essere ancora simili a quelli su trifoglio e menta, la quale riporta però i valori più bassi. È bene tuttavia ricordare che al momento del secondo rilievo (settembre 2022) la copertura a base di trifoglio, le cui piante di pesco al di sopra hanno mostrato un forte incremento del diametro, era già scomparsa.

Al terzo anno di rilievo i diametri delle piante in corrispondenza del controllo sono ancora i maggiori, seguiti da quelli su trifoglio, fragola e menta, la quale si conferma il trattamento che ha portato ad avere i valori di diametro più bassi, anche se non statisticamente differenti da quelli della fragola. Le piante sottoposte alla pacciamatura con trifoglio sono quelle che hanno registrato i valori di TCSA più bassi nel primo anno e più alti, dopo il controllo, il terzo anno. Il contributo alla crescita potrebbe essere dato dal fatto che, una volta scomparsa la copertura della specie leguminosa, a seguito della degradazione dei suoi residui, essa abbia contribuito ad aumentare il livello di azoto nel suolo a vantaggio delle radici delle piante di pesco sotto di essi. Il controllo ha portato le piante in corrispondenza di esso ad avere i valori di TCSA maggiori, indicando forse che le specie spontanee non hanno esercitato una competizione maggiore rispetto alle pacciamanti nei confronti della crescita vegetativa del pesco. Fragola e menta sembrano invece aver influenzato in maniera simile tra loro i TCSA delle piante di pesco, riportando, dal secondo anno in poi i valori più bassi.



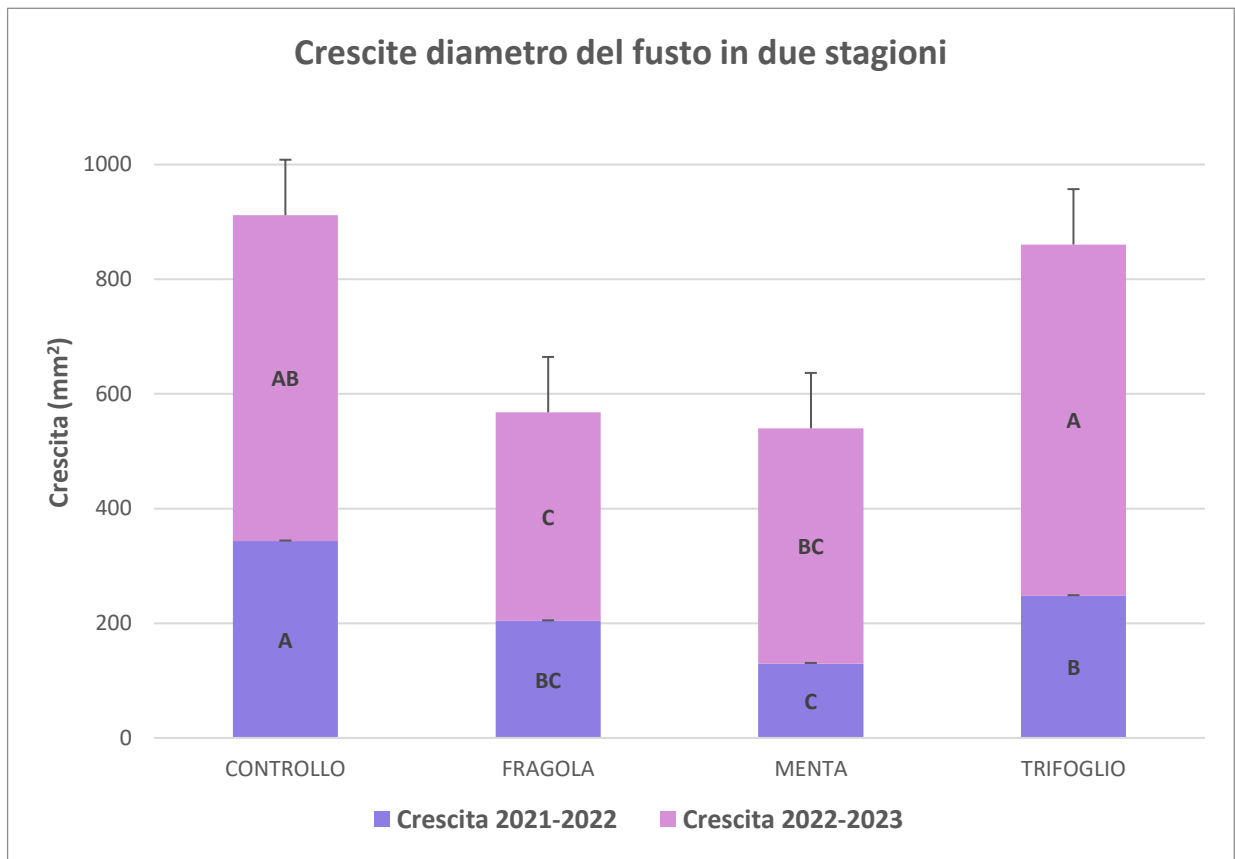
**Figura 36:** TCSA (mm<sup>2</sup>) delle piante di pesco negli anni 2021, 2022, 2023. Le barre di errore indicano l'errore standard.

Considerando le differenze tra i valori dei diametri rilevati nelle tre stagioni, e quindi due periodi di crescita delle piante (Figura 37), si può notare come le piante in corrispondenza di controllo e trifoglio siano cresciute significativamente di più rispetto a fragola e menta, soprattutto tra il secondo e il terzo anno di rilievi. Nel primo anno invece le crescite delle piante su trattamento con fragola sono simili sia a quelle con menta che con trifoglio. Nella seconda stagione invece, il trifoglio presenta il valore di crescita maggiore, superiore anche al controllo (612,5 mm<sup>2</sup> di crescita per il trifoglio contro i 568,5 mm<sup>2</sup> per il controllo). Questo potrebbe valorizzare l'ipotesi sopra discussa: la pacciamatura a base di trifoglio viene subito a mancare, presto sostituita da una copertura a base di spontanee come nel controllo. A differenza di queste ultime tuttavia, le piante che hanno goduto della presenza del trifoglio si avvantaggiano, una volta scomparso, dei notevoli benefici da esso lasciati in termini di azoto,

in quanto leguminosa, vedendosi incrementare anche più del controllo a base di spontanee, la crescita in termini di diametri del fusto.

Fragola e menta sono risultati i trattamenti che hanno portato a una minor crescita, rispettivamente di 568 e 540 mm<sup>2</sup> contro i 911 mm<sup>2</sup> del controllo.

Tutte le piante, indipendentemente dal trattamento, hanno più che raddoppiato la loro crescita nella seconda stagione rispetto alla prima.



**Figura 37: Crescite dei diametri dei fusti nelle due stagioni (2021-22 e 2022-23). Le barre di errore indicano l'errore standard. Lettere diverse indicano differenze significative (test HSD Tukey,  $p < 0,001$ )**



## Capitolo 5 CONCLUSIONI

La copertura totale del suolo nel sottofila è stata raggiunta, in questo studio, dopo tre anni in tutti i trattamenti con pacciamanti e nel controllo inerbito allo stesso modo. Come riportato da molti studi (Tursun et al., 2018; Bhaskar et al., 2021; Mia et al., 2021), anche in questo caso la presenza di pacciamature vive contribuisce ad abbassare notevolmente il livello di infestanti presenti nel sottofila.

Le specie che hanno mostrato una migliore capacità di competizione con le specie spontanee nel tempo, in termini di effetto coprente del suolo, sono state menta e fragola. Le due pacciamature hanno consentito una riduzione della presenza di specie infestanti dopo quattro anni di circa il 60% nel caso della menta e del 45% in corrispondenza della fragola. Tuttavia, una tendenza diversa delle due specie si osserva nel corso degli anni: rispetto alla fragola, la menta garantisce una minore presenza di spontanee, un'occupazione del suolo più rapida, e una copertura maggiore, ma meno duratura nel tempo; infatti anche se nei primi anni la quantità di spontanee oscillava tra 5% e 15%, già dal quarto anno si osserva una notevole riduzione della presenza di menta e quindi una ricomparsa delle specie spontanee. Al contrario la fragola, che si insedia più lentamente, riesce a incrementare sempre più negli anni la sua presenza e al contempo ridurre progressivamente quella delle spontanee, senza mostrare, fino ad oggi, decrementi. Anche la pacciamatura con trifoglio ha ridotto notevolmente la presenza delle infestanti (fino al 100%) nei primi tre anni; al terzo anno tuttavia, pur mantenendo l'effetto pacciamante, il trifoglio non era più vitale ed è iniziata la rapida ricomparsa delle infestanti, che hanno raggiunto una copertura totale in un anno.

La fragola è stata anche la specie pacciamante che ha contribuito in modo significativamente maggiore a stimolare la radicazione del pesco nei primi 15 cm di profondità del suolo, in confronto alla menta, al trifoglio e alle spontanee del controllo, consentendo in questo modo al pesco l'accesso all'umidità superficiale del suolo, molto importante soprattutto in un frutteto gestito con irrigazione localizzata.

Le specie spontanee hanno avuto invece un insediamento iniziale più rapido di tutte le pacciamanti e hanno probabilmente esercitato da subito una competizione più elevata, nei confronti del pesco nell'occupare il suolo con le proprie radici. Tutte le specie pacciamanti

scelte hanno comunque portato le piante di pesco ad avere una maggiore radicazione rispetto a quelle del controllo inerbito spontaneamente a tutte le profondità del suolo investigate.

Le specie pacciamanti scelte, dunque, esercitando una competizione esse stesse con le specie spontanee, ma avendo uno sviluppo radicale più limitato, contribuiscono al contempo a ridurre la competizione che queste ultime hanno con le radici di pesco, favorendo l'occupazione dello spazio per la pianta coltivata.

La competizione che le specie pacciamanti esercitano con il pesco risulta dunque inferiore rispetto a quella che, nell'insieme, possono causare le specie infestanti.

Menta e fragola, tuttavia, che si sono dimostrate le specie pacciamanti più competitive contro le spontanee, hanno mostrato un comportamento simile verso la crescita vegetativa del pesco in termini di aumento del diametro dei fusti. Al tempo stesso però esse hanno contribuito ad incrementare il suo sviluppo radicale. La competizione per le risorse da parte di menta e fragola, dunque, non è selettiva verso le sole infestanti, ma nel pesco esse hanno stimolato lo sviluppo radicale a discapito di quello della parte aerea.

Le piante al di sopra del controllo con inerbimento spontaneo hanno invece riportato i valori di TCSA maggiori e di RLD minori per il pesco, indice di come la maggiore competizione a livello radicale con le specie spontanee, rispetto a quella con le pacciamanti scelte, abbia impedito al pesco di investire sul proprio sviluppo radicale, a favore invece di quello della parte aerea. A livello del suolo, infatti, in presenza di sole spontanee, le radici del pesco hanno trovato una competizione maggiore espressa da una maggior occupazione dello spazio da parte delle spontanee. Le spontanee, infatti, hanno riportato valori di RLD, diametri e volumi radicali sempre maggiori rispetto a quelli delle coperture con anche le specie pacciamanti scelte.

Le pacciamature del sottofila con menta e fragola possono dunque contribuire, attraverso una minore competizione e anzi, uno stimolo dello sviluppo a livello radicale, a evitare che nel tempo vengano a crearsi degli squilibri nella pianta coltivata; si possono infatti sfuggire situazioni in cui a investimenti di risorse nella parte aerea non corrispondano adeguati sviluppi dell'apparato radicale (come accade in presenza di un inerbimento spontaneo).

Anche la pacciamatura con trifoglio si è dimostrata una valida scelta, generando uno stimolo sia allo sviluppo dell'apparato radicale in termini di volumi radicali, sia di quello aereo, consentendo un notevole diametro medio dei fusti, paragonabile a quello del controllo. Analizzando i dati di RLD, diametri e volumi delle radici della pianta di pesco in corrispondenza della pacciamatura con trifoglio si è visto che esso, a differenza della fragola,

sembra stimolare dei maggiori volumi radicali nel pesco dovuti a radici con minor RLD ma di maggior diametro. Al contrario, le radici del pesco, stimulate dalla pacciamatura con fragola, simili in termini di biomassa al caso del trifoglio, sono radici con elevate RLD e diametri inferiori. La radice del portinnesto del pesco potrebbe mostrare, dunque, un comportamento più tollerante verso la presenza della fragola piuttosto che del trifoglio, nei confronti del quale risponde sviluppando maggiori diametri radicali e dunque esponendo la minore superficie possibile al contatto con l'esterno.

Il consistente stimolo alla crescita vegetativa della porzione aerea della pianta di pesco da parte del trifoglio potrebbe essere dovuto all'effetto benefico dei residui della leguminosa una volta scomparsa, che hanno supportato la crescita vegetativa della pianta con quantitativi aggiunti di azoto.

La biomassa di radici del pesco sottoposto a trattamenti pacciamanti è risultata maggiore nei primi 15 cm di profondità del suolo, indicando che tutte le specie scelte hanno stimolato una maggior radicazione del pesco nella stessa area maggiormente occupata anche da esse stesse e dalle spontanee. Anche in questo caso si è mostrato interessante il comportamento del trifoglio, unica specie che ha stimolato un maggiore volume radicale delle spontanee più in profondità, suddividendo il suolo in orizzonti superficiali (fino a 15 cm) occupati soprattutto da pesco, e strati più profondi (fino a 30 cm) maggiormente ricchi di radici di specie erbacee.

Un ulteriore vantaggio, osservato in campo sulla fragola e documentato anche da Casas et al. (2022), è quello del possibile effetto protettivo delle specie spontanee verso le pacciamanti nei confronti delle alte temperature nella stagione estiva: la fragola in questo studio ha contribuito notevolmente alla copertura del suolo anche se con effetto competitivo verso le infestanti inizialmente ridotto rispetto ad altri trattamenti; le spontanee, di altezza superiore alle piante di fragola, risultavano coprire la stessa sovrastandola, creando un doppio strato di protezione del suolo e uno "scudo" per la fragola contro le temperature e luminosità eccessive durante l'estate (Figura 38).



***Figura 38: Pacciamatura viva sottofila con fragola: effetto delle specie spontanee.  
Le specie spontanee ricoprono le piante di fragola, esercitando un effetto protettivo nei loro confronti***

In questo fenomeno si può osservare la creazione di un flusso di servizi tra le varie componenti dell'ecosistema in cui si combina l'effetto pacciamante della fragola nel ridurre le infestanti e quindi la competizione con il pesco, in modo tuttavia equilibrato, preservando la diversità anche delle spontanee che a loro volta esercitano un effetto protettivo nei confronti della pacciamante.

Un limite della prova deriva dall'utilizzo di un portinnesto del pesco molto debole, Rootpac® - 40, che nelle condizioni della prova non ha permesso uno sviluppo ottimale del pesco "Leo". Per le Marche anche in presenza di irrigazione, è consigliabile utilizzare portinnesti vigorosi (eventualmente ibridi con mandorlo più adatto a terreni ricchi di calcare attivo) e varietà affini. Con un maggiore vigore dell'albero e una radice più esplorativa, la copertura del suolo con specie pacciamanti poco competitive potrebbe avere effetti positivi anche sulla crescita nei primi anni, cosa che non si è verificata con il portinnesto debole parzialmente affine con "Leo".

## BIBLIOGRAFIA

- Angers, D. A., Bissonnette, N., Ldgdre, A., Samson, N., & GMIs ContributionNo, C. (1993). wtmicrobial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. In *J. Soil Sci* (Vol. 73).
- Astrid C. Newenhouse, & Malcolm N. Dana. (1989). *Grass Living Mulch for Strawberries*.
- Bhaskar, V., Westbrook, A. S., Bellinder, R. R., & DiTommaso, A. (2021). Integrated management of living mulches for weed control: A review. In *Weed Technology* (Vol. 35, Issue 5, pp. 856–868). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/wet.2021.52>
- Casas, G. Las, Ciaccia, C., Iovino, V., Ferlito, F., Torrìsi, B., Lodolini, E. M., Giuffrida, A., Catania, R., Nicolosi, E., & Bella, S. (2022). Effects of Different Inter-Row Soil Management and Intra-Row Living Mulch on Spontaneous Flora, Beneficial Insects, and Growth of Young Olive Trees in Southern Italy. *Plants*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/plants11040545>
- DEVLET, A. (2021). Modern agriculture and challenges. *Frontiers in Life Sciences and Related Technologies*, 2(1), 21–29. <https://doi.org/10.51753/flsrt.856349>
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Bailey, B. A. (2005). Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. In *Communications in Soil Science and Plant Analysis* (Vol. 36, Issues 19–20, pp. 2733–2757). <https://doi.org/10.1080/00103620500303939>
- Gangatharan 2012 can biodiversity improve soil fertility*. (n.d.).
- Giorgi, V., Crescenzi, S., Marconi, L., Zucchini, M., Reig, G., & Neri, D. (2022). Living mulch under the row of young peach orchard. *Acta Horticulturae*, 1352, 193–198. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1352.26>
- Gonzalez-Sanchez, E. J., Veroz-Gonzalez, O., Blanco-Roldan, G. L., Marquez-Garcia, F., & Carbonell-Bojollo, R. (2015). A renewed view of conservation agriculture and its evolution over the last decade in Spain. *Soil and Tillage Research*, 146(PB), 204–212. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.10.016>

- Granatstein, D., & Sanchez, E. (2009). Research knowledge and needs for orchard floor management in organic tree fruit systems. *International Journal of Fruit Science*, 9(3), 257–281. <https://doi.org/10.1080/15538360903245212>
- Hamza, M. A., & Anderson, W. K. (2005). Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. In *Soil and Tillage Research* (Vol. 82, Issue 2, pp. 121–145). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.009>
- Hooks, C. R. R., Valenzuela, H. R., & Defrank, J. (n.d.). *Incidence of pests and arthropod natural enemies in zucchini grown with living mulches*.
- Keesstra, S., Pereira, P., Novara, A., Brevik, E. C., Azorin-Molina, C., Parras-Alcántara, L., Jordán, A., & Cerdà, A. (2016a). Effects of soil management techniques on soil water erosion in apricot orchards. *Science of the Total Environment*, 551–552, 357–366. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.182>
- Keesstra, S., Pereira, P., Novara, A., Brevik, E. C., Azorin-Molina, C., Parras-Alcántara, L., Jordán, A., & Cerdà, A. (2016b). Effects of soil management techniques on soil water erosion in apricot orchards. *Science of the Total Environment*, 551–552, 357–366. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.182>
- Larkin, R. P., Griffin, T. S., & Honeycutt, C. W. (2010). Rotation and cover crop effects on soilborne potato diseases, tuber yield, and soil microbial communities. In *Plant Disease* (Vol. 94, Issue 12, pp. 1491–1502). <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-10-0172>
- L'infiltrazione dell'acqua nel suolo Che cosa è l'infiltrazione*. (n.d.). [www.agricoltura.regione.campania.it/opedologia/](http://www.agricoltura.regione.campania.it/opedologia/)
- L.J. Wiles<sup>1</sup>, R.D. William, & G.D. Crabtree. (1989). *Analyzing Competition Between a Living Mulch*.
- Manlay, R. J., Feller, C., & Swift, M. J. (2007). Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems. In *Agriculture, Ecosystems and Environment* (Vol. 119, Issues 3–4, pp. 217–233). <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.07.011>
- Mathew, R. P., Feng, Y., Githinji, L., Ankumah, R., & Balkcom, K. S. (2012). Impact of No-tillage and conventional tillage systems on soil microbial communities. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/548620>
- Meisinger, J. J., & Hargrove, W. L. (1991). *Effects of cover crops on groundwater quality*. <https://www.researchgate.net/publication/246023745>

- Merwin, I. A., Ray, J. A., & Curtis, P. D. (1999). Orchard Groundcover Management Systems Affect Meadow Vole Populations and Damage to Apple Trees. In *HORTSCIENCE* (Vol. 34, Issue 2).
- Mia, M. J., Furmanczyk, E. M., Golian, J., Kwiatkowska, J., Malusá, E., & Neri, D. (2021). Living mulch with selected herbs for soil management in organic apple orchards. *Horticulturae*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/horticulturae7030059>
- Mia, M. J., Massetani, F., Murri, G., & Neri, D. (2020). Sustainable alternatives to chemicals for weed control in the orchard – a Review. In *Horticultural Science* (Vol. 47, Issue 1, pp. 1–12). Czech Academy of Agricultural Sciences. <https://doi.org/10.17221/29/2019-HORTSCI>
- Neri, D. (2004). LOW-INPUT APPLE PRODUCTION IN CENTRAL ITALY: TREE AND SOIL MANAGEMENT. In *ORCHARD MANAGEMENT IN SUSTAINABLE FRUIT PRODUCTION Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* (Vol. 12).
- Neri, D., Polverigiani, S., Zucchini, M., Giorgi, V., Marchionni, F., & Mia, M. J. (2021). Strawberry living mulch in an organic vineyard. *Agronomy*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/agronomy11081643>
- Neri, D., Zucchini, M., & Giorgi, V. (2022). Weed management in organic orchards with strawberry species as living mulch. *Acta Horticulturae*, 1354, 49–56. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1354.7>
- Nunes, M. R., Denardin, J. E., Pauletto, E. A., Faganello, A., & Pinto, L. F. S. (2015). Mitigation of clayey soil compaction managed under no-tillage. *Soil and Tillage Research*, 148, 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.12.007>
- Paoletti, M. G. (1995). Biodiversity, traditional landscapes and agroecosystem management. In *Landscape and Urban Planning* (Vol. 31).
- Paušič, A., Tojnko, S., & Lešnik, M. (2021). Permanent, undisturbed, in-row living mulch: A realistic option to replace glyphosate-dominated chemical weed control in intensive pear orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 318. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107502>
- Pimentel, D. (2006). Soil erosion: A food and environmental threat. In *Environment, Development and Sustainability* (Vol. 8, Issue 1, pp. 119–137). <https://doi.org/10.1007/s10668-005-1262-8>
- Quintarelli, V., Radicetti, E., Allevato, E., Stazi, S. R., Haider, G., Abideen, Z., Bibi, S., Jamal, A., & Mancinelli, R. (2022). Cover Crops for Sustainable Cropping Systems: A Review.



- In *Agriculture (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 12). MDPI.  
<https://doi.org/10.3390/agriculture12122076>
- Ramos, M. E., Benítez, E., García, P. A., & Robles, A. B. (2010). Cover crops under different managements vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions: Effects on soil quality. *Applied Soil Ecology*, *44*(1), 6–14.  
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.08.005>
- Rossi, V., Patteri, E., Giosue'1, S. G., & Bugiani, R. (n.d.). *Growth and sporulation of Stemphylium vesicarium, the causal agent of brown spot of pear, on herb plants of orchard lawns.*
- Stark, C., Condrón, L. M., Stewart, A., Di, H. J., & O'Callaghan, M. (2007). Effects of past and current crop management on soil microbial biomass and activity. *Biology and Fertility of Soils*, *43*(5), 531–540. <https://doi.org/10.1007/s00374-006-0132-3>
- The equivalent of.* (n.d.).
- Tursun, N., Işık, D. gan, Demir, Z., & Jabran, K. (2018). Use of living, mowed, and soil-incorporated cover crops for weed control in apricot orchards. *Agronomy*, *8*(8).  
<https://doi.org/10.3390/agronomy8080150>
- Verret, V., Gardarin, A., Pelzer, E., Médiène, S., Makowski, D., & Valantin-Morison, M. (2017). Can legume companion plants control weeds without decreasing crop yield? A meta-analysis. *Field Crops Research*, *204*, 158–168.  
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.01.010>
- Yachi, S., & Loreau, M. (1999). Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: The insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *96*(4), 1463–1468.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.96.4.1463>