

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

LAUREA MAGISTRALE IN SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

STRATEGIE SOSTENIBILI DI GESTIONE DELLE PIANTE INFESTANTI
CON SOTTOPRODOTTI DI SEGHERIA

Relatore

Prof.ssa Roberta Masin

Correlatori

Dott. Donato Loddo

Dott. Giacomo Trespidi

Laureando

Francesco Valente

Matricola n. 2057912

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

Indice

Riassunto	- 1 -
Abstract	- 3 -
1. INTRODUZIONE.....	- 5 -
1.1 DEFINIZIONE DI PIANTA INFESTANTE.....	- 5 -
1.2 GESTIONE DELLE PIANTE INFESTANTI.....	- 6 -
1.2.1 METODI DI GESTIONE INTEGRATA DELLE MALERBE.....	- 7 -
1.2.1.1 LA PACCIAMATURA PER LA GESTIONE DELLE INFESTANTI.....	- 9 -
1.2.1.2 GLI ESTRATTI NATURALI PER LA GESTIONE DELLE MALERBE.....	- 10 -
1.3 I SOTTOPRODOTTI DI SEGHERIA.....	- 14 -
1.3.1 USO DEI SOTTOPRODOTTI DI SEGHERIA NEL CONTENIMENTO DELLE INFESTANTI.....	- 15 -
2. SCOPO DEL LAVORO	- 19 -
3. MATERIALI E METODI.....	- 21 -
3.1 REPERIMENTO MATERIALE VEGETALE.....	- 21 -
3.2 PROCESSO DI ESTRAZIONE ACQUOSA.....	- 22 -
3.3 LE PROVE.....	- 23 -
3.3.1 PROVA DI POST-EMERGENZA CON AEROGRAFO.....	- 23 -
3.3.2 PROVA PETRI.....	- 25 -
3.3.3 PROVA IN VASO.....	- 26 -
3.4 ANALISI STATISTICA.....	- 29 -
3.4.1 PROVA DI POST-EMERGENZA CON AEROGRAFO.....	- 29 -
3.4.2 PROVA PETRI.....	- 30 -
3.4.3 PROVA IN VASO.....	- 30 -
4. RISULTATI E DISCUSSIONE.....	- 33 -
4.1 PROVA DI POST-EMERGENZA CON AEROGRAFO.....	- 33 -
4.2 PROVA PETRI.....	- 35 -
4.2.1 EFFETTO DEGLI ESTRATTI ACQUOSI SULLA GERMINAZIONE.....	- 35 -
4.2.2 EFFETTO DEGLI ESTRATTI ACQUOSI DI <i>PICEA ABIES</i> L. SULLA LUNGHEZZA RADICALE.....	- 36 -
4.2.3 EFFETTO DEGLI ESTRATTI ACQUOSI DI <i>LARIX DECIDUA</i> MILL. SULLA LUNGHEZZA RADICALE.....	- 37 -
4.3 PROVA IN VASO.....	- 39 -
4.3.1 EFFETTO DEI TRATTAMENTI CON SOTTOPRODOTTI DI <i>PICEA ABIES</i> SULLE EMERGENZE.....	- 39 -
4.3.1.1 EFFETTO DEI TRATTAMENTI CON SOTTOPRODOTTI DI <i>PICEA ABIES</i> SULLE EMERGENZE DI FRUMENTO.....	- 41 -
4.3.1.2 EFFETTO DEI TRATTAMENTI CON SOTTOPRODOTTI DI <i>PICEA ABIES</i> SULLE EMERGENZE DI <i>AMARANTHUS RETROFLEXUS</i>	- 42 -
4.3.2 EFFETTO DEI TRATTAMENTI CON SOTTOPRODOTTI DI <i>PICEA ABIES</i> SUL RITARDO DELLE EMERGENZE (T50).....	- 43 -

4.3.2.1 EFFETTO DEI TRATTAMENTI CON SOTTOPRODOTTI DI <i>PICEA ABIES</i> SUL RITARDO DELLE EMERGENZE (T50) DI FRUMENTO	- 45 -
4.3.2.2 EFFETTO DEI TRATTAMENTI CON SOTTOPRODOTTI DI <i>PICEA ABIES</i> SUL RITARDO DELLE EMERGENZE (T50) DI <i>AMARANTHUS RETROFLEXUS</i>	- 46 -
4.3.3 EFFETTO DEI TRATTAMENTI CON SOTTOPRODOTTI DI <i>LARIX DECIDUA</i> SULLE EMERGENZE	- 47 -
4.3.3.1 EFFETTO DEI TRATTAMENTI CON SOTTOPRODOTTI DI <i>LARIX DECIDUA</i> SULLE EMERGENZE DI FRUMENTO	- 49 -
4.3.3.2 EFFETTO DEI TRATTAMENTI CON SOTTOPRODOTTI DI <i>LARIX DECIDUA</i> SULLE EMERGENZE DI <i>AMARANTHUS RETROFLEXUS</i>	- 51 -
5. CONCLUSIONE	- 55 -
Bibliografia.....	- 57 -
Sitografia.....	- 61 -
Appendice.....	- 63 -
TABELLE PROVA DI POST-EMERGENZA CON AEROGRAFO.....	- 63 -
TABELLE PROVA PETRI.....	- 64 -
TABELLE PROVA IN VASO	- 69 -

Riassunto

Le piante infestanti sono il fattore biotico che, a livello mondiale, causa le perdite di resa più elevate e la loro gestione si rivela uno dei punti chiave per garantire la produttività delle colture.

L'uso degli erbicidi chimici di sintesi, ad oggi, è ancora il principale metodo di controllo delle infestanti, vista anche la mancanza di alternative altrettanto efficaci. Risulta, però, fondamentale trovare nuove soluzioni di gestione delle malerbe più sostenibili, alla luce delle problematiche ambientali e sulla salute umana che sono emerse negli ultimi anni. Per questo motivo, le ultime politiche comunitarie si sono mostrate più rigide nella regolamentazione sull'uso ed immissione dei prodotti fitosanitari e si sono poste degli obiettivi da raggiungere nei prossimi anni, come l'abbattimento dell'uso dei pesticidi del 50% e l'aumento delle superfici investite a biologico entro il 2030. Inoltre, la comparsa di resistenze ad alcuni meccanismi d'azione e la contemporanea frenata nella scoperta di nuove sostanze attive con target molecolari diversi, hanno determinato una riduzione dei principi attivi disponibili.

In questa tesi sono state studiate strategie di gestione delle piante infestanti con sottoprodotti di segheria. Le prove sperimentali hanno indagato la possibilità di utilizzare la segatura e la corteccia di *Picea abies* L. e *Larix decidua* Mill. come materiali per l'ottenimento di estratti acquosi con effetto fitotossico in post e pre-emergenza e il loro uso tal quale come pacciamatura e interrimento.

I risultati ottenuti dalle prove con gli estratti acquosi in post-emergenza hanno mostrato uno scarso effetto di controllo delle infestanti. Nella prova di pre-emergenza in piastra Petri non vi sono stati effetti sulla germinazione delle infestanti, ma la crescita radicale ha risentito maggiormente dell'effetto fitotossico. Alla concentrazione di estratto più elevata (100% v/v) dell'estratto di corteccia di *L. decidua* si è osservata una riduzione della lunghezza radicale fino al 55 e 74% per *Triticum aestivum* L. e *Lolium rigidum*, rispettivamente. La prova in vaso ha evidenziato come la pacciamatura sia un'efficace strategia per il contenimento delle specie infestanti in confronto all'interrimento, che non ha avuto alcun effetto sul controllo.

I risultati di questa tesi ribadiscono quanto sia difficile trovare delle valide alternative al diserbo chimico. Da questa tesi emerge la necessità di intensificare l'attività di ricerca per lo sviluppo di tecniche di gestione integrata delle piante infestanti. La scoperta di nuovi erbicidi naturali efficaci e il maggiore utilizzo di interessanti tecniche come la pacciamatura rimangono una sfida che può rappresentare un passo verso un'agricoltura più sostenibile.

Abstract

Weeds are the biotic factor that causes the highest yield losses worldwide and their management is one of the key points to ensure crop productivity.

To date, the use of chemical herbicides is still the main method of weed control, due to the lack of equally effective alternatives. However, it is crucial to find new and more sustainable weed management solutions, considering the environmental and human health issues that have emerged in recent years. For this reason, recent EU policies have been stricter in regulating the use and marketing of pesticides and have set targets to be achieved in the coming years, such as reducing pesticide use by 50% and increasing the area under organic cultivation by 2030. Furthermore, the development of resistance to specific Mode of Action and the simultaneous slowdown in the discovery of new active substances with different molecular targets, have led to a reduction in the available active ingredients.

In this thesis, weed management strategies with sawmill by-products were investigated. Experiments investigated the possibility of using sawdust and bark of *Picea abies* L. and *Larix decidua* Mill. as materials for obtaining water extracts with a phytotoxic effect in post and pre-emergence and their use as mulch and incorporated into the soil.

Results from tests with water extracts in post-emergence showed a low weed control effect. In the pre-emergence Petri dish test, there was no effect on weed germination, but root growth was more affected by the phytotoxic effect. At the highest extract concentration (100% v/v) of *L. decidua* bark extract, a reduction in root length of up to 55 and 74% was observed for *Triticum aestivum* L. and *Lolium rigidum*, respectively. The pot experiment showed that mulching was an effective strategy for the control of weeds compared to incorporating into the soil, which had no control effect.

The results of this thesis underline how difficult it is to find valid alternatives to chemical weeding. From this thesis, it emerges that more research is needed for the development of integrated weed management techniques. The discovery of new effective natural herbicides and the greater use of interesting techniques such as mulching remain a challenge that can represent a step towards more sustainable agriculture.

1. INTRODUZIONE

Ci sono molte variabili in grado di influenzare la produzione agricola, come le condizioni meteorologiche e le caratteristiche del terreno. Tra i fattori biotici, invece, le piante infestanti sono le responsabili delle maggiori perdite di resa potenziale (Oerke, 2006): risulta, dunque, fondamentale gestire le malerbe per l'ottenimento di una buona produzione in termini di quantità e qualità.

Nell'ultimo secolo, l'introduzione degli erbicidi sintetici ha rivoluzionato la gestione delle infestanti in molte colture, permettendo un incremento dei raccolti (Oerke, 2006); tuttavia, negli ultimi anni, sono emerse delle problematiche legate all'utilizzo di queste armi chimiche, con l'insorgere, tra molte specie infestanti, di resistenze a vari meccanismi d'azione (Ervin et al., 2019). Vista la tossicità degli erbicidi nei confronti dell'essere umano e degli animali (Gupta, 2022), l'Unione Europea ha aumentato l'attenzione in materia di uso ed immissione dei prodotti fitosanitari (Direttiva 2009/128/CE, Regolamento 1107/2009, 2009) ed ambisce entro il 2030 ad investire a biologico almeno il 25% della superficie agricola dell'UE (Commissione Europea, 2020).

È evidente che la gestione delle piante infestanti dovrà, nei prossimi anni, prevedere l'integrazione di pratiche più sostenibili, con l'utilizzo di nuove tecniche di diserbo meno impattanti sulla salute e più rispettose nei confronti dell'ambiente, così da poter raggiungere i vari obiettivi fissati dall'Unione Europea.

1.1 DEFINIZIONE DI PIANTA INFESTANTE

Non è semplice dare un'unica definizione di pianta infestante poiché questo termine viene utilizzato da diversi autori con differenti significati; dal punto di vista dell'agricoltore, per esempio, la malerba potrebbe essere definita come quella pianta che "cresce dove non si vuole che cresca" (Salisbury, 1942). Il termine "malerba" ha quindi un connotato negativo, designando tutte quelle piante non desiderate che vanno soppresse affinché non causino un danno economico (Zoschke & Quadranti, 2002). Se si ragiona in termini di produzione agricola, la malerba rappresenta un problema in quanto va a competere per le risorse con le colture e per questo motivo vanno investiti tempo e forza lavoro per contrastarle, al fine di evitare ingenti perdite (Liebman et al., 2001).

Tuttavia le malerbe non sono solamente ostili per l'uomo, infatti rappresentano anche una fondamentale componente per l'ecosistema agricolo, ormai sempre più degradato: ad esempio il mantenimento di una copertura del suolo con piante infestanti riduce significativamente il fenomeno di erosione, soprattutto in caso di terreni inclinati (Lenka et al., 2017).

Alcune specie spontanee comunemente considerate infestanti possono ospitare insetti predatori e parassiti di insetti dannosi: mantenendo la presenza di queste piante è possibile contenere le popolazioni di insetti dannosi attraverso un approccio di controllo biologico (Altieri & Whitcomb, 1979).

1.2 GESTIONE DELLE PIANTE INFESTANTI

La crescita della popolazione mondiale ed il conseguente aumento della richiesta di cibo ha incentivato l'uomo a trovare nuove soluzioni per massimizzare le produzioni.

Il controllo delle piante infestanti è una delle chiavi fondamentali per il successo della produzione agricola: a livello mondiale le malerbe sono responsabili di una perdita potenziale di resa del 34%, più elevata rispetto ai parassiti animali e agli agenti patogeni, che hanno una minore incidenza, provocando perdite del 18 e 16% rispettivamente (Oerke, 2006).

Nel corso del ventesimo secolo, l'avvento delle sostanze chimiche nell'agricoltura è stato uno dei motivi del forte aumento delle rese di molte colture, con i fertilizzanti e i prodotti fitosanitari tra i maggiori responsabili di questo cambiamento. Tra gli erbicidi, le prime sostanze chimiche utilizzate per il controllo delle infestanti furono i sali di rame inorganici nei primi anni del secolo scorso e l'acido solforico un po' di tempo dopo (Hamill et al., 2004). Gli erbicidi hanno rivoluzionato il modo di combattere le piante infestanti, sostituendo sempre più il controllo meccanico e favorendo la meccanizzazione delle colture (Oerke, 2006): la raccolta non può avvenire in modo meccanizzato se le malerbe non sono state controllate adeguatamente.

Il successo degli erbicidi chimici è dovuto ai loro numerosi aspetti positivi. La loro efficacia ed affidabilità, tra le caratteristiche più ricercate dagli agricoltori, hanno portato questi prodotti ad essere la prima scelta per il controllo delle infestanti. L'affidabilità è dovuta essenzialmente a 2 proprietà degli erbicidi chimici: la selettività nei confronti di certe malerbe infestanti, senza danneggiare le colture e la tempestività di intervento, potendo trattare vaste superfici nell'intervallo di tempo in cui le malerbe presentano la massima sensibilità al principio attivo. Con gli erbicidi di pre-emergenza vi è, inoltre, la possibilità di contrastare le malerbe ancora prima che possano

competere per le risorse con le colture (Qasem, 2011). Infine, i bassi costi del controllo chimico rispetto a quello meccanico e manuale rappresentano un ulteriore punto di forza.

Gli erbicidi, come visto, presentano vari vantaggi, ma devono fare i conti con alcune problematiche che sono emerse soprattutto negli ultimi anni. Ad esempio, sono aumentate la preoccupazione e la critica dell'opinione pubblica nei confronti del settore agricolo, alla luce anche dei vari studi riguardanti la tossicità di molti dei prodotti fitosanitari utilizzati (Gupta, 2022).

Anche se mediamente meno tossici rispetto al resto degli agrofarmaci, gli erbicidi possono rappresentare una minaccia per i mammiferi e perciò va adoperata particolare attenzione durante la loro manipolazione e distribuzione; altri aspetti negativi sono la presenza di residui nei prodotti alla raccolta e la persistenza delle molecole erbicide nell'ambiente (Qasem, 2011): le molecole più pericolose sono quelle con un'emivita più lunga poiché si bioaccumulano nel corpo umano (Mehdizadeh et al., 2021). Infine, la contaminazione delle falde a causa della lisciviazione degli erbicidi è un problema serio vista l'importanza della risorsa acqua ((Vizantinopoulos & Lolos, 1994). Negli ultimi 30 anni non sono stati introdotti erbicidi con nuovi target molecolari (Dayan, 2019) e l'uso intensivo dei medesimi erbicidi ha portato la flora infestante a selezionare individui resistenti ad uno stesso meccanismo d'azione (Ervin et al., 2019). Inoltre, negli ultimi decenni è aumentato il peso dato dall'UE sulle tematiche salutistiche ed ambientali, proibendo l'immissione nel mercato di sostanze attive potenzialmente nocive alla salute umana ed all'ambiente (Regolamento 1107/2009, 2009). Ne deriva che gli agricoltori hanno a disposizione sempre meno armi chimiche per la lotta alle malerbe.

La protezione delle colture non può quindi essere affidata al solo controllo chimico ma deve essere affiancata da una gestione integrata che dia priorità a pratiche più sostenibili così da ottenere un sistema produttivo che può essere utilizzato in modo continuativo negli anni (Oerke, 2006).

Le problematiche ambientali e sulla salute umana (Gupta, 2022), la comparsa di resistenze a vari meccanismi d'azione (Ervin et al., 2019) e la contemporanea frenata nella scoperta di nuove molecole con diversi target d'azione (Dayan, 2019), pongono un punto interrogativo sul futuro della lotta alle malerbe: la sfida sarà arginare la diffusione delle specie infestanti resistenti attraverso metodi alternativi di lotta (IWM= Integrated Weed Management) (Loddo et al., 2021) e trovare nuove soluzioni efficaci e sostenibili.

1.2.1 METODI DI GESTIONE INTEGRATA DELLE MALERBE

La gestione integrata delle colture è l'insieme dei metodi di difesa per contrastare lo sviluppo di popolazioni di organismi nocivi, in modo sostenibile, mantenendo comunque l'uso dei prodotti fitosanitari; la definizione di "difesa integrata" è stata fornita dal Decreto Legislativo 150/2012, in attuazione della direttiva 2009/128/CE, come segue:

"difesa integrata: attenta considerazione di tutti i metodi di protezione fitosanitaria disponibili e conseguente integrazione di misure appropriate intese a contenere lo sviluppo di popolazioni di organismi nocivi e che mantengono l'uso dei prodotti fitosanitari e altre forme d'intervento a livelli che siano giustificati in termini economici ed ecologici e che riducono o minimizzano i rischi per la salute umana e per l'ambiente. L'obiettivo prioritario della «difesa integrata» è la produzione di colture difese con metodi che perturbino il meno possibile gli ecosistemi agricoli e che promuovano i meccanismi naturali di controllo fitosanitario"

Sempre in un'ottica di sostenibilità, tra gli obiettivi comunitari da raggiungere entro il 2030 c'è l'abbattimento dell'uso dei pesticidi del 50% e l'aumento delle superfici investite a biologico almeno fino al 25% dei terreni agricoli dell'UE, come dichiarato nella strategia "Farm to Fork" (Commissione Europea, 2020).

L'IWM è definita come l'uso di più di una tattica (biologica, chimica, meccanica e culturale) nella gestione delle malerbe durante il ciclo di vita di una coltura in un dato campo (Harker & O'Donovan, 2013): nei prossimi paragrafi verranno elencate quelle che sono alcune delle possibilità di gestione integrata, approfondendo l'uso della pacciamatura.

Un caposaldo dell'IWM è la rotazione: ruotare le colture cambia le condizioni di crescita per le malerbe; le piante infestanti che prosperavano con la coltura precedente saranno tanto meno adattate quanto più dissimili saranno le caratteristiche della nuova coltura rispetto alla precedente, in termini di fenologia, date di semina e di raccolta (Adeux et al., 2019). Altri sistemi di gestione integrata sono l'uso di varietà tolleranti, capaci di mantenere alti i livelli di produzione anche con forte presenza di infestanti, rischiando però di intensificare l'infestazione (Hansen et al., 2008) e l'uso di trattamenti termici, con però grossi limiti di costo (Coleman et al., 2019). Tra le operazioni meccaniche, invece, l'aratura è la più efficace per il contenimento delle infestanti, interrando grandi quantità di semi a profondità tali per cui non saranno in grado di germinare (Kouwenhoven et al., 2002), ma anche alcune lavorazioni secondarie del terreno, come l'erpicoltura, eseguite dopo la creazione del falso letto di semina, possono ridurre le densità di infestanti (De Cauwer et al., 2019). Elemento fondamentale dell'IWM è il monitoraggio, per mappare e valutare l'intensità di infestazione nel campo, in modo da intervenire per il controllo solo nel caso in cui la presenza di

infestanti superi una certa soglia; durante la stagione produttiva l'agricoltore può effettuare uno scouting per stimare la presenza di piante infestanti ed impostare così la migliore strategia di lotta. Lo scouting manuale pone però dei limiti, essendo dispendioso in termini di tempo e richiedendo una conoscenza delle infestanti già nei primi stadi di crescita (Riemens et al., 2022).

Nonostante le diverse possibilità di metodi alternativi di gestione delle malerbe, è impensabile, nel vicino futuro, una totale sostituzione degli erbicidi a favore di questi metodi; tuttavia l'uso combinato degli erbicidi con una gestione integrata delle malerbe sarà la chiave per preservare l'efficacia di queste armi chimiche (Loddo et al., 2021).

Altra strategia di gestione integrata è l'uso di cover crops, per fornire una copertura del suolo in un periodo della stagione in cui non è presente la coltura principale: questo sistema offre una serie di servizi ecosistemici, tra cui il miglioramento della fertilità e della struttura del suolo, la riduzione dell'erosione e della lisciviazione dei nutrienti. Inoltre le cover crops avvantaggiano la coltura successiva sopprimendo le germinazioni delle infestanti (Schipanski et al., 2014).

Infine, la pacciamatura è un'ulteriore strategia sostenibile di gestione delle infestanti che può offrire anche altri vantaggi alla coltivazione, mantenendo l'umidità nel suolo e migliorando la sua struttura (Schumann et al., 1995).

1.2.1.1 LA PACCIAMATURA PER LA GESTIONE DELLE INFESTANTI

La pacciamatura può essere utilizzata in modo efficace sia in vivaio che in campo e svolge il controllo attraverso 3 meccanismi:

- la riduzione della luce provoca una riduzione delle germinazioni dei semi, soprattutto se piccoli (Schumann et al., 1995);
- la barriera fisica creata dallo strato pacciamante si oppone all'emergenza delle eventuali plantule germinate (Schumann et al., 1995);
- controllo chimico: certi materiali organici, come i cippati di legno, potrebbero esercitare anche un effetto tossico nei confronti dei semi delle malerbe, attraverso la lisciviazione nei più bassi strati di sostanze chimiche allelopatiche (Chalker-Scott, 2007): a conferma di tale effetto allelopatico, pacciamature ricavate da pino, eucalipto ed acacia sono risultate efficaci nel sopprimere la germinazione di varie specie di malerbe, così come lo sono stati gli estratti acquosi ricavati dai medesimi materiali (Schumann et al., 1995).

La profondità dalla quale un seme è in grado di emergere dipende dalle sue dimensioni: semi più grandi sono in grado di emergere da profondità più elevate rispetto a semi più piccoli (Riemens et al., 2022). La maggior parte delle malerbe emerge da semi interrati nei primi centimetri di terreno, mentre i semi della coltura, essendo più grandi, possono venire seminati più in profondità. La pacciamatura è così in grado di inibire l'emergenza delle infestanti creando una barriera fisica troppo profonda per essere attraversata dal germinello.

Sulla stessa linea, una prova condotta con lolla di riso ha dimostrato come un aumento della profondità dello strato pacciamante sia in grado di ridurre l'insediamento delle infestanti (Altland et al., 2016); l'esperimento ha anche evidenziato che uno strato maggiore di pacciamatura di lolla di riso lascia passare meno radiazione fotosinteticamente attiva e che la germinazione di *Cardamine flexuosa* è stata fortemente inibita dalla riduzione del livello di luce (Altland et al., 2016).

Altri autori sono in accordo sull'efficacia della barriera alla luce creata dalla pacciamatura, tale da non permettere la fotosintesi delle infestanti, le quali non possono sopravvivere senza la formazione di glucosio (Iqbal et al., 2020).

Infine, un esperimento ha confermato ricerche precedenti, indicando che un aumento di spessore dello strato di pacciamatura risulta in un miglior controllo dell'infestazione: in particolare è stata riscontrata una diminuzione del numero di individui di *Eclipta alba* del 54 e dell'87% nei confronti del non trattato, con uno strato di 1,27 e 2,54 cm rispettivamente, utilizzando come materiale pacciamante delle scaglie di corteccia di pino (Cochran et al., 2009).

In agricoltura possono essere utilizzati vari materiali di pacciamatura. Gli agricoltori possono scegliere tra diversi tipi di plastica, usare residui colturali, optare per film biodegradabili o per pacciamature di carta. Possono, poi, essere utilizzate pacciamature organiche, tra cui materiali legnosi come la corteccia e la segatura, la paglia, il fieno ed il compost (Haapala et al., 2014).

Le informazioni raccolte nella letteratura scientifica ci indicano, quindi, che la pacciamatura è una valida strategia per il contenimento delle emergenze delle infestanti e per l'inibizione delle loro germinazioni. Come visto, l'entità di inibizione delle infestanti è influenzata da vari fattori, come le dimensioni del seme della malerba (Riemens et al., 2022), il tipo di materiale pacciamante che è stato utilizzato e la dose del materiale applicata (Cochran et al., 2009).

1.2.1.2 GLI ESTRATTI NATURALI PER LA GESTIONE DELLE MALERBE

Negli ultimi anni sono state condotte molte sperimentazioni per valutare la fitotossicità di vari estratti naturali, con l'obiettivo di ridurre la dipendenza dagli erbicidi chimici di sintesi e di trovare nuovi meccanismi d'azione. Gli estratti naturali possono essere ricavati da diversi organi vegetali come le radici, le foglie, la corteccia ed i semi, ma anche da componenti animali. Gli estratti derivati da piante contengono metaboliti primari e secondari prodotti da esse, come le proteine, gli zuccheri, gli oli essenziali, gli antiossidanti, gli aromi e molte altre sostanze (Chemat et al., 2019). Proprio i metaboliti secondari sono al centro della ricerca in varie discipline, come nella farmaceutica, viste le innumerevoli proprietà di cui sono dotati.

Gli estratti si possono preparare tramite varie procedure, dipendentemente dal tipo di estratto che si vuole ottenere. Ad esempio gli oli essenziali (OE= oli essenziali) si possono ottenere sia usando metodi tradizionali come la distillazione a vapore, l'estrazione con solventi e la spremitura a freddo, sia con metodi emergenti come l'estrazione con fluidi supercritici e l'estrazione con microonde (Cavalcanti et al., 2022). L'estrazione con l'acqua, invece, vede i composti più polari essere estratti con maggiore efficienza a temperature più basse, mentre le componenti meno polari ed apolari presenti nel substrato richiedono temperature più elevate, tali da rendere il solvente acqua meno polare (Chemat et al., 2019).

Un'altra tecnica prevede l'uso di CO₂ supercritica: questo fluido non è tossico, è poco costoso, è facilmente rimovibile dal prodotto finale ed ha una buona capacità di estrazione. E' un solvente apolare, dunque adatto all'estrazione di composti come i carotenoidi, gli aromi e gli acidi grassi, a discapito, però, dei composti più polari, il che rappresenta il più grosso svantaggio (Chemat et al., 2019).

Gli estratti naturali trovano largo impiego nel mercato. E' ormai noto che gli OE sono potenzialmente utilizzabili nella prevenzione e cura del cancro, così come nel trattamento delle malattie cardiovascolari, riducendo la concentrazione di colesterolo nel plasma (Cavalcanti et al., 2022). Ma svariati sono i campi di applicazione, dall'industria alimentare, per la conservazione del cibo, alla cosmetica, nella quale gli OE sono inseriti nelle composizioni di fragranze (Cavalcanti et al., 2022), passando per la medicina, sfruttando alcune proprietà come l'attività antiossidante: per esempio è emerso da uno studio che con l'estrazione con acqua calda da foglie e radici di *Lindera strychnifolia* si ottiene un estratto che ha proprietà antiossidanti, così come molti altri estratti naturali (Noda & Mori, 2007).

Nel comparto agricolo è cresciuto l'interesse sul controllo delle avversità biotiche, come le malerbe, con l'uso di sostanze naturali: tra il 2007 ed il 2019 sono stati pubblicati più di 3500 articoli sull'allelotropia (Macías et al., 2019).

L'allelotropia è definita come l'inibizione della germinazione dei semi e della crescita delle piante causata dal rilascio di molecole chimiche (Chalker-Scott, 2007); queste sostanze allelopatiche, chiamate anche allelochimici, possono alterare le funzioni fisiologiche delle piante target come la respirazione, la fotosintesi, l'assorbimento di ioni e l'attività enzimatica (Vitalini et al., 2022). Gli allelochimici sono metaboliti secondari tossici che vengono rilasciati dalle piante nell'ambiente come essudati radicali, per volatilizzazione, ma anche per lisciviazione dai residui in decomposizione (Saha et al., 2018). Tra le sostanze allelopatiche troviamo gli acidi fenolici, le lignine, gli alcaloidi, i tannini, le cumarine, i flavonoidi e i terpenoidi, i quali sono presenti in molte parti della pianta, come la corteccia, le foglie, i fusti, le radici, i rizomi, i semi, i frutti ed i fiori (Singh et al., 1999).

Negli ultimi decenni molti sono i lavori che sono stati condotti per testare l'efficacia di vari estratti naturali, come gli OE e gli estratti acquosi, al fine di valutare la loro fitotossicità nei confronti delle infestanti, per scoprire nuovi allelochimici potenzialmente utilizzabili come erbicidi naturali: i vantaggi nell'utilizzo di questi prodotti naturali sono la facilità con cui si degradano in natura e la diversità dei meccanismi d'azione rispetto agli erbicidi di sintesi (Saha et al., 2018).

Una delle componenti principali degli OE sono i monoterpeni: uno di questi, il limonene, ha manifestato una forte inibizione della germinazione e della crescita delle plantule di *Amaranthus tricolor* (Macías et al., 2019), a dimostrazione dell'attività allelopatica degli OE. L'allelotropia degli OE si manifesta anche nella distruzione delle membrane cellulari, con conseguente disidratazione, come è stato osservato in seguito all'applicazione di eugenolo, un olio essenziale ricavato dai chiodi di garofano, su plantule di cetriolo (Ibáñez & Blázquez, 2020).

Risultati interessanti sono emersi da prove condotte con OE estratti da malerbe appartenenti alla famiglia delle Asteraceae: in particolare è risultata una totale inibizione della germinazione di *Amaranthus retroflexus* e *Setaria viridis* a concentrazioni di 100 µg L⁻¹ di OE ottenuti da 2 specie di *Artemisia* e dallo *Xanthium strumarium*. In seguito la prova ha previsto un trattamento di post-emergenza su plantule coltivate in contenitori di polistirolo, per valutare la tossicità in 2 diversi stadi fenologici (cotiledonale e di terza foglia vera), utilizzando un aerografo per la distribuzione ad un volume di 350 L ha⁻¹ ed a concentrazioni di 10, 100 e 1000 mg L⁻¹: le migliori performance sono state riscontrate con gli OE di *Artemisia annua* e *Xanthium strumarium* e allo stadio cotiledonale, evidenziando così una maggiore sensibilità durante gli stadi iniziali di crescita; infatti solo l'OE di

Xanthium strumarium è stato completamente efficace nel trattamento alla terza foglia vera, negli altri casi la tossicità è stata seguita da ricrescita (Benvenuti et al., 2017).

Un altro lavoro, invece, è stato condotto testando un estratto acquoso per valutare la potenzialità di una cover crop realizzata con *Lolium multiflorum* Lam. L'obiettivo era confermare le osservazioni fatte dagli agricoltori sull'effetto inibitorio di *L. multiflorum* preferenzialmente su *Echinochloa oryzoides* (Ard.) Fritsch, una delle erbe infestanti più dannose per la coltivazione del riso, rispetto a *Oryza sativa*. L'esperimento è stato svolto in piastre Petri utilizzando sia una polvere che un estratto acquoso ottenuto da foglie di *L. multiflorum*. Il test di germinazione è stato svolto sia sull'infestante che sul riso: è emerso che la malerba è più suscettibile al trattamento e questa differenza può essere utile per ottenere un vantaggio competitivo a favore del riso. Nella foglia di *L. multiflorum* sono stati individuati 35 composti, tra cui molti polifenoli, flavonoidi e terpenoidi: alcuni di questi sono già conosciuti come composti allelochimici e ciò conferma che questa specie è una potenziale fonte di sostanze fitotossiche (Vitalini et al., 2020).

Sono molte le sperimentazioni che sono state tenute con gli OE e varie sono le materie prime di partenza: in linea generale sono stati ottenuti buoni risultati di inibizione delle infestanti, sia su semi in germinazione che in post-emergenza, suggerendoci che questo tipo di estratto è in grado di concentrare una quantità di costituenti allelopatici tale da risultare inibitoria e, talvolta, mortale nei confronti degli individui target. Buoni risultati di controllo si possono ottenere anche con gli estratti acquosi, come è stato dimostrato in uno studio condotto con OE ed estratti acquosi ricavati da menta piperita: entrambi gli estratti hanno avuto effetti significativi di inibizione sia di germinazione che di crescita delle varie specie e potrebbero essere, così, considerati dei potenziali ingredienti attivi per la formulazione di erbicidi naturali nei futuri programmi di controllo delle infestanti (Mahdavia & Saharkhiz, 2015).

Inoltre, l'estrazione acquosa è una strategia di estrazione di principi attivi che suscita notevole interesse per affrontare le sfide dell'agricoltura contemporanea: un estratto prodotto con questo metodo, evitando l'impiego di solventi sintetici per estrarre i composti attivi dalle piante, può essere registrato come corroborante con procedure più semplificate rispetto a un prodotto fitosanitario (Regolamento 1107/2009).

Alla luce delle recenti politiche europee che mirano all'aumento delle superfici investite a biologico (Commissione europea, 2020) si profila necessario, nei prossimi anni, trovare nuovi mezzi di gestione delle infestanti: infatti, le malerbe sono la sfida più grande incontrata dai coltivatori biologici (Dayan et al., 2009) viste le restrizioni su molti erbicidi sintetici efficienti ed economici. Negli ultimi anni

sono stati sviluppati sempre più prodotti erbicidi a base di sostanze naturali per l'utilizzo nei sistemi biologici, come quelli derivati dalle farine allelopatiche di mais e senape, nonché dall'acido acetico e dagli acidi grassi (Hodge et al., 2019). Interessanti sono, ad esempio, gli OE ottenuti da molti tipi di piante ed erbe: oltre ad essere prodotti di origine naturale, sono considerati in generale sicuri da maneggiare e meno soggetti a sviluppare delle resistenze nelle malerbe (Ismail et al., 2013).

1.3 I SOTTOPRODOTTI DI SEGHERIA

Il sottoprodotto è il residuo di un ciclo produttivo che, quando specifiche condizioni vengono soddisfatte, non viene classificato come rifiuto. Di conseguenza, non è tenuto a conformarsi a tutte le normative riguardanti la gestione dei rifiuti, ma può essere impiegato e venduto come una risorsa commerciabile (D.Lgs 152/06, 2006)

Vista la grande abbondanza, in Finlandia le specie di piante più utilizzate a fini commerciali sono alcune conifere, come il pino e l'abete rosso. Le segherie di questo areale si trovano a dover gestire notevoli quantità di sottoprodotti che vengono generati durante il taglio e la lavorazione del legno, come la segatura, la corteccia e il cippato (<https://sahateollisuuskirja.fi/en/>, 2023).

Da un tronco non scortecciato che arriva in azienda si ricavano circa il 45/50 % di legname segato, il 10/15% di segatura, il 10/12% di corteccia ed una consistente quantità di cippato, pari al 28/32%. Questi materiali vengono generati in step diversi della lavorazione del legno: la corteccia è il primo sottoprodotto che si ricava, quando il tronco viene scortecciato, ancora prima che inizi il processo di segatura. In seguito si ottiene la segatura, quando i tronchi vengono tagliati per la realizzazione di assi.

Ci sono, poi, 2 tipi di cippati che vengono prodotti, quelli umidi e quelli secchi: quelli umidi si ricavano durante il processo di segatura del legno, mentre quelli secchi vengono ottenuti da processi successivi l'essiccazione (<https://sahateollisuuskirja.fi/en/>, 2023).

I sottoprodotti costituiscono una componente significativa dei guadagni di una segheria, rappresentando circa il 15% delle entrate totali; tra i vari sottoprodotti, il cippato è quello più redditizio, mentre la vendita di segatura e corteccia è inferiore (<https://sahateollisuuskirja.fi/en/>, 2023).

Questi sottoprodotti trovano varie applicazioni nel mercato: oltre il 90 % del cippato viene utilizzato nella produzione di carta e polpa, mentre la segatura può finire nella produzione di pannelli e polpa. La corteccia può essere utilizzata nelle serre e nei giardini, ma il suo impiego principale è come

combustibile per la produzione di energia. Corteccia, segatura e cippato sono tutti validi materiali combustibili in condizioni di bassa umidità del materiale, pertanto trovano largo utilizzo nella produzione di energia (<https://sahateollisuuskirja.fi/en/>, 2023). Conferme sull'utilizzo dei sottoprodotti di segheria nella produzione di polpe, carta e pannelli, arrivano anche da Wan et al. (2012) i quali sottolineano come la lavorazione del legno generi grandi quantità di residui che possono essere utilizzati anche per produrre bioenergia: pertanto, oltre alla produzione di massa di legname, basata su strategie orientate alla materia prima, le segherie hanno recentemente investito più risorse in una loro produzione di bioenergia (Wan et al., 2012).

Altro ramo di destinazione di questi sottoprodotti è la zootecnia, in cui possono venire utilizzati come lettiera per varie specie animali; per esempio, negli allevamenti di suini non sono utilizzate lettiere, ma a volte può essere applicato uno strato di paglia o di segatura vista la sua forte capacità di ridurre l'odore di ammoniaca. Trucioli e segatura vengono poi impiegati come lettiera nelle stalle con cavalli e negli allevamenti di conigli e polli visto il forte potere assorbente di questi substrati (Kürsten & Militz, 2004). Inoltre, materiale legnoso di basso valore (segatura, piccoli pezzi di steli) risulta un ottimo substrato per la produzione di funghi edibili (Kürsten & Militz, 2004).

La corteccia di diverse specie arboree, in particolare di conifere, è nota per contenere metaboliti secondari bioattivi. Per questo motivo è stato condotto uno studio con l'obiettivo di valutare la corteccia di *Picea abies* come possibile fonte di sostanze naturali con potenziale applicazione nell'ambito cosmetico o nutraceutico. I residui di segheria derivanti dalla scorfecciatura di *P. abies* sono stati esaminati al fine di valutare un'eventuale presenza di composti vegetali di valore: l'estrazione condotta con solventi lipofili ha permesso l'isolamento di vari costituenti chimici, tra cui i terpenoidi. I dati di questo studio indicano la presenza, in questi estratti, di composti potenzialmente bioattivi con proprietà antiossidanti (Sut et al., 2021).

Dunque per i sottoprodotti di segheria esistono diverse opportunità di mercato che possono valorizzarli, trasformando ciò che altrimenti sarebbe uno scarto di produzione in una materia prima con valore economico. Nella prossima sezione verrà descritto quali sono le applicazioni di questi sottoprodotti di segheria nel controllo delle infestanti.

1.3.1 USO DEI SOTTOPRODOTTI DI SEGHERIA NEL CONTENIMENTO DELLE INFESTANTI

Negli ultimi anni sono stati condotti numerosi studi per valutare l'efficacia di diverse tipologie di pacciamature, sia organiche che non. Alcuni di essi hanno indagato le potenzialità dei sottoprodotti di segheria.

Uno studio realizzato su vasi da vivaio ha testato vari substrati pacciamanti, utilizzando materiali di scarto e sottoprodotti dell'industria del legno. Alcuni dei prodotti valutati sono la lolla di riso, il corteccino di conifera, la segatura di faggio e una segatura mista, prodotto di scarto della lavorazione del legno. Nel trattamento con segatura di faggio è stata rilevata una riduzione media dell'89% della biomassa di infestante rispetto al non trattato. I pacciamanti organici hanno dimostrato un livello medio di contenimento delle malerbe del 75% in termini di peso fresco, risultando in alcuni casi più performanti del prodotto chimico di sintesi; in aggiunta, sono stati osservati valori più elevati di peso fresco della pianta coltivata nei vasi trattati rispetto al controllo senza pacciamatura, probabilmente grazie alla minor presenza di infestanti e ad un miglior controllo dell'umidità nella zona radicale. Nonostante i risultati positivi ottenuti con le varie pacciamature organiche, la pratica comune di lotta alle malerbe prevede ancora l'utilizzo di erbicidi chimici, pur non avendo performance così diverse nel contenimento: probabilmente, il costo è il fattore principale che porta alla scelta di questo metodo di controllo (Massa et al., n.d.).

Un'altra prova ha mostrato che l'uso di pacciamatura in vivaio ha avuto migliori risultati nel contenimento delle malerbe rispetto ad un'unica applicazione di erbicida: la prova è stata svolta su contenitori da vivaio, confrontando varie pacciamature come la corteccia di pino, il cippato, la plastica, i fanghi di carta (paper slurry) e la segatura, con un trattamento erbicida ed un non trattato. I rilievi sono stati eseguiti mensilmente ed è emerso che tutti i trattamenti hanno ridotto il peso fresco delle malerbe, rispetto al non trattato; in particolare, la plastica ha ridotto più di qualsiasi altro trattamento, seguita da vicino dalla corteccia di pino, il cippato e i fanghi di carta. Anche con questa prova è emerso come l'uso della pacciamatura in vivaio sia una strategia efficace ed ambientalmente sostenibile che però, a causa dei costi e dei tempi di applicazione, non è ancora implementata su larga scala (Marble et al., 2019).

Gli autori delle 2 prove appena descritte concordano sul fatto che sussistano dei limiti tecnici per una diffusione su più larga scala della pacciamatura, come i costi più elevati ed il maggior dispendio di tempo rispetto al trattamento chimico.

Un esperimento condotto per valutare l'efficacia di substrati pacciamanti è stato svolto su 2 fronti, valutando anzitutto l'efficacia del materiale come pacciamatura e saggiando, poi, un estratto di questo per valutare la presenza di eventuali componenti fitotossiche; la prova è stata condotta con

cippato di legno di *Juniperus silicicola* e di *Magnolia grandiflora* per valutare l'efficacia nel contenimento delle germinazioni di *Amaranthus retroflexus* e di *Digitaria sanguinalis*. L'esperimento, che è stato effettuato in serra usando vasi da vivaio, ha mostrato che entrambe le pacciamature hanno ridotto le germinazioni delle 2 infestanti, in particolar modo dell'amaranto, suggerendo così che le dicotiledoni potrebbero essere più suscettibili delle monocotiledoni. Parallelamente, è stato condotto un biosaggio con percolati acquosi derivati dalle medesime specie: entrambi sono risultati in una significativa soppressione delle germinazioni dei semi di lattuga, indicando così la presenza di sostanze chimiche tossiche per le piante all'interno del legno delle 2 specie (Ferguson et al., 2008).

Nella letteratura sono presenti anche studi che indagano le molteplici proprietà degli OE estratti da conifere. Questi estratti, oltre alle diverse potenzialità di antifungini (Gabaston et al., 2017) ed insetticidi (Pavela et al., 2021), possiedono anche effetti allelopatici: tra le Gimnosperme vi è un numero considerevole di specie che hanno proprietà allelopatiche, tra cui si contraddistinguono quelle appartenenti ai generi *Pinus*, *Taxus* e *Cedrus*, visti i forti effetti negativi sulla germinazione e sviluppo di altre specie vegetali (da Silva et al., 2015).

Un esperimento si è focalizzato sullo studio degli OE di 2 Gimnosperme, *Juniperus communis var. saxatilis* Pall. e *Larix decidua* Mill. per valutare l'effetto inibitorio sulle germinazioni di 2 specie, il *Lolium multiflorum* Lam. e la *Sinapsis alba* L.; è stata evidenziata una maggiore efficacia degli OE di *L. decidua* e una diversa suscettibilità delle 2 specie target, con la monocotiledone più sensibile al trattamento rispetto alla dicotiledone. In sintesi, i risultati ottenuti mostrano che i trattamenti sono stati efficaci in modo dipendente dalla dose di OE applicata ed hanno ridotto le germinazioni (fino al 100% e al 45-60% rispettivamente, con carta da filtro e terreno come substrato nelle Petri) e lo sviluppo delle plantule di entrambe le specie (Vitalini et al., 2022).

Una prova simile è stata condotta anche l'anno successivo, andando ad indagare l'effetto dell'applicazione degli OE di 4 specie conifere sia in pre che in post-emergenza. Sono state studiate le inibizioni sulle germinazioni (pre-emergenza) e gli effetti sulle plantule (post-emergenza) di 2 specie infestanti, *Lolium multiflorum* Lam. e la *Sinapsis alba* L.; con gli OE estratti da *P. abies* è stata evidenziata un'inibizione delle germinazioni del 56 e 71% rispettivamente per *L. multiflorum* e *S. alba* alla concentrazione massima di 20 $\mu\text{L mL}^{-1}$, mentre, in post-emergenza, il trattamento con lo stesso OE alla concentrazione di 100 $\mu\text{L mL}^{-1}$ ha danneggiato il 76 e 67% della superficie fogliare rispettivamente per *L. multiflorum* e *S. alba* (Garzoli et al., 2023).

Come visto in precedenza, sono stati tenuti svariati test per valutare gli effetti tossici degli OE e degli estratti acquosi, ottenuti da vari tipi di substrati, nei confronti delle malerbe; tuttavia, nella letteratura ci sono ancora pochi studi che approfondiscono l'uso dei sottoprodotti di segheria come matrici di partenza per l'ottenimento di estratti erbicidi.

Considerando la scarsa disponibilità di studi condotti sull'impiego dei sottoprodotti di segheria nell'ambito della gestione delle erbe infestanti e in un'ottica di economia circolare, dove ogni scarto generato in un processo produttivo può essere considerato come una potenziale risorsa, il presente studio si propone di condurre una valutazione sull'idoneità dei sottoprodotti di segheria corteccia e segatura come materie prime per la produzione di pacciamature e per l'estrazione di erbicidi.

2. SCOPO DEL LAVORO

Lo scopo del lavoro è di valutare il possibile utilizzo dei sottoprodotti di segheria corteccia e segatura di larice (*Larix decidua* Mill.) e abete rosso (*Picea abies* L.) nel controllo delle piante infestanti. Al giorno d'oggi, trovare alternative per una gestione integrata delle infestanti è un obiettivo di fondamentale importanza per continuare a garantire la produttività delle colture in un'epoca in cui vi è una significativa riduzione degli erbicidi disponibili.

In questa tesi sono state svolte tre prove sperimentali per la ricerca e sviluppo di tecniche di diserbo sostenibili. Le prime due prove hanno previsto la preparazione di estratti acquosi dai sottoprodotti di segheria e il loro utilizzo come erbicidi di post e pre-emergenza. La terza prova ha invece indagato l'utilizzo di corteccia e segatura tal quali come interrimento e pacciamatura.

Per la prima prova ci si aspetta di osservare una riduzione della biomassa delle plantule trattate, alla luce dei danni fogliari causati sulle infestanti trattate con oli essenziali di *P. abies* (Garzoli et al., 2023) e considerando il contenuto di sostanze allelopatiche in numerose specie di conifere (Singh et al., 1999). Questa prova ha lo scopo di capire se gli estratti acquosi di corteccia e segatura di larice ed abete rosso possono essere dei validi prodotti naturali con efficacia erbicida in post-emergenza, come è stato visto con gli OE.

Numerosi studi sono stati condotti per valutare gli effetti fitotossici di estratti vegetali sui semi in germinazione, mostrando spesso forti inibizioni (Vitalini et al., 2022; Vitalini et al., 2020; Mahdavia & Saharkhiz, 2015). Per questo motivo, con la prova di pre-emergenza in piastra Petri si ipotizza di osservare un buon effetto di inibizione della germinazione e della crescita radicale, in particolar modo alle concentrazioni più elevate. Ci si aspetta un maggiore effetto di inibizione rispetto alla prova di post-emergenza, avendo a che fare con i semi, i quali, per germinare, necessitano di un'imbibizione: in questo modo l'estratto acquoso è assorbito più efficacemente rispetto a quanto avviene in un organo come la foglia, in cui la penetrazione dell'acqua e dei soluti disciolti in essa è ostacolata dalla presenza di cere sulla superficie (Schieferstein & Loomis, 1956).

Infine, per la prova in vaso si prevede una riduzione delle germinazioni ed emergenze causata sia dalla pacciamatura, la quale può fungere da ostacolo alla radiazione luminosa (Altland et al., 2016) e da impedimento fisico all'emergenza delle plantule (Schumann et al., 1995), sia dall'interrimento a causa della presenza e del rilascio di sostanze allelopatiche (Singh et al., 1999).

3. MATERIALI E METODI

3.1 REPERIMENTO MATERIALE VEGETALE

Le prove sono state svolte con l'utilizzo di sottoprodotti di segheria reperiti a febbraio 2023 nella segheria Hofer di Valle di Cadore (BL). I sottoprodotti utilizzati sono segatura e corteccia (Fig. 1) provenienti da 2 specie arboree, il larice (*Larix decidua* Mill) e l'abete rosso (*Picea abies* L.). A seguito del reperimento tutti i materiali sono stati essiccati al buio a temperatura ambiente per un periodo di 30 giorni.

Per quanto riguarda la segatura non è stato effettuato alcun trattamento sul materiale poiché, per sua natura, presenta particelle di dimensioni adatte allo scopo dello studio. Diversamente, la corteccia è stata frantumata attraverso un biotrituratore R70 Negri Honda GP 170 poiché le sue dimensioni erano troppo elevate per l'uso nelle prove sperimentali.

L'applicazione di queste matrici organiche è stata eseguita con diverse modalità nelle 3 diverse prove che sono state condotte. In particolare, per la prova in vaso, è stato utilizzato il materiale tal quale, mentre per le prove Petri e con l'aerografo, il substrato è stato elaborato per ottenere un estratto acquoso attraverso un processo di estrazione.



Figura 1: Sottoprodotti di segheria utilizzati per le 3 prove, con a sinistra la segatura (1) e a destra la corteccia frantumata (2).

3.2 PROCESSO DI ESTRAZIONE ACQUOSA

L'estrazione acquosa è stata condotta sulla segatura e la corteccia di larice ed abete rosso. La corteccia tritata è stata macinata finemente con l'utilizzo di un mulino elettrico Retsch sm300. La farina di corteccia ottenuta e la segatura tal quale sono state poste in sacchetti sottovuoto e conservate al buio fino alla preparazione degli estratti.

L'intera procedura è stata svolta in laboratorio.

L'operazione di estrazione è stata divisa in 2 fasi:

- macerazione, durante la quale alcune componenti dei sottoprodotti di segheria sono stati rilasciati nel solvente (acqua) e, quindi, solubilizzati;
- filtrazione con successiva purificazione, per l'ottenimento di un estratto puro, senza particelle grossolane che rischierebbero di intasare gli organi di dispersione del prodotto durante la sperimentazione.

La prima fase ha avuto una durata di 24 ore.

Il materiale per l'estrazione è stato immerso nell'acqua, con un rapporto peso su peso di 1 a 10, per 24 ore, all'interno di beute chiuse ermeticamente che sono state tenute costantemente in agitazione con un agitatore orbitale Heidolph Unimax 1010 ed avvolte da un film di alluminio per evitare un'eventuale degradazione dei composti estratti a causa della luce (Fig.2).

A seguito dell'agitazione, l'estratto grezzo, ancora ricco di particelle grossolane in sospensione, è stato filtrato con l'utilizzo di garze sterili ed un setaccio, per la rimozione della maggior parte del materiale solido (Fig. 2).

Successivamente il liquido filtrato è stato posto in centrifuga Hettich Zentrifugen Universal 32R a 4500 rpm per 30 minuti, in modo da separare anche le particelle più fini (Fig. 2).

Infine, gli estratti sono stati conservati in provette Falcon da 50 ml in freezer a -20°C fino al loro utilizzo (Fig.2).



Figura 2: Varie fasi del processo di estrazione acquosa condotto in laboratorio; in ordine, da sinistra verso destra, sono mostrate la macerazione in beuta posta su agitatore (1), la filtrazione (2), la centrifugazione (3) e la conservazione degli estratti puri (4).

3.3 LE PROVE

Le prove con l'aerografo e in vaso sono state condotte tra aprile e luglio 2023 in serra presso l'Azienda Agraria Sperimentale Lucio Toniolo dell'Università di Padova. La serra è una struttura in ferro-vetro sprovvista di un impianto di raffrescamento, ma dotata di aperture laterali e al colmo automatizzate, che si aprono al superamento di certi valori di temperatura preimpostati. Le prove Petri, invece, sono state condotte tra luglio e agosto 2023 in germinatoio.

I semi delle infestanti sono stati raccolti negli anni precedenti la sperimentazione presso l'Azienda Agraria Sperimentale Lucio Toniolo ed opportunamente conservati in cella frigo a 4°C, distanti da fonti luminose. I semi delle colture sono stati forniti dall'Azienda.

3.3.1 PROVA DI POST-EMERGENZA CON AEROGRAFO

Gli estratti acquosi testati sono stati ottenuti dalla corteccia di abete rosso (AR_C), dalla segatura di abete rosso (AR_S), dalla corteccia di larice (LA_C) e dalla segatura di larice (LA_S).

Le piante infestanti trattate in questo esperimento sono l'*Abutilon theophrasti* (in seguito abbreviato in ABUTH), il *Lolium rigidum* (in seguito LOLRI), il *Solanum nigrum* (SOLNI) e la *Setaria pumila* (SETPU).

L'esperimento è un fattoriale a 2 vie in cui sono state disposte 3 repliche per ogni combinazione dei 4 estratti (fattore 1) con le 4 specie infestanti (fattore 2); per il testimone sono state effettuate 5

repliche. Il disegno sperimentale ha quindi visto impegnati 17 vasi alveolati disposti sul bancone in modo randomizzato. Lo schema sperimentale a randomizzazione completa ha previsto 2 ripetizioni. I semi delle infestanti sono stati collocati in cella di germinazione KW Apparecchi Scientifici con cicli di 12H/25°C con luce e di 12H/15°C con buio fino alle prime fasi di crescita delle plantule che in seguito sono state trapiantate in vasi alveolati con 6x4 alveoli contenenti torba: in ogni vaso alveolato sono state piantate 4 file, una per ogni specie, con 6 plantule ciascuna.

Il trattamento di post-emergenza è stato realizzato con gli estratti acquosi puri (100% v/v) quando le piante erano allo stadio di quarta foglia (circa 2 settimane dal trapianto), utilizzando un aerografo Paasche MIL-3AS con ugello da 1,06 mm a una pressione di 0.5 BAR (Fig. 3). Questo apparecchio, grazie alla capacità di nebulizzare la soluzione di estratto immessa nel suo serbatoio, è in grado di simulare un trattamento di post-emergenza. L'aerografo è stato tarato per l'erogazione di 900 L/ha. Per la prima e la seconda ripetizione i trattamenti con l'aerografo sono stati eseguiti in data 17/04 e 29/05 rispettivamente; i rilievi sono stati condotti nei giorni 28/04 per la prima ripetizione e 8/06 per la seconda, a 10-11 giorni di distanza dal trattamento.

Per il rilievo sono state conteggiate le piante vive e morte per ogni tesi ed in seguito è stata pesata la biomassa aerea delle piantine con una bilancia di precisione (Fig. 3).



Figura 3: Da sinistra verso destra, dettaglio dell'aerografo (1), trattamento di post-emergenza con irrorazione delle plantule (2) e rilievo biomassa aerea con bilancia di precisione (3).

3.3.2 PROVA PETRI

L'esperimento è stato condotto trattando 2 colture, il frumento tenero (in seguito denominato FRU) (*Triticum aestivum L.*) e la senape (in seguito abbreviata SEN) (*Sinapis alba L.*) e 2 specie infestanti, l'*Abutilon theophrasti* (ABUTH) e il *Lolium rigidum* (LOLRI). Gli estratti acquosi testati sono gli stessi utilizzati nella prova con l'aerografo.

Lo studio lo si può distinguere in 2 stadi:

- In un primo momento si è rivolto alla valutazione della dinamica delle germinazioni monitorando il numero di semi germinati nei giorni successivi alla semina;
- In seguito è stata misurata la lunghezza del fusto e delle radici delle plantule.

L'esperimento, con disegno sperimentale a randomizzazione completa, è stato ripetuto 2 volte.

Si tratta di un esperimento fattoriale a 4 vie: per le 4 specie (fattore 1) sono stati testati i 2 sottoprodotti di segheria (fattore 2) per ognuna delle 2 specie di conifere (fattore 3) e con tutti e 6 i livelli di diluizione (fattore 4), effettuando 3 repliche per tesi (Fig. 4): ne deriva che sono state preparate 288 Petri contenenti gli estratti più 12 piastre per i non trattati (3 repliche x 4 specie) per un totale di 300 Petri per ognuna delle 2 ripetizioni dell'esperimento.

Inizialmente i semi delle 4 specie sono stati disinfettati con ipoclorito di sodio diluito 1 a 10 e ripetutamente risciacquati. Il test è stato condotto in piastre Petri da 9 cm di diametro coperte da 2 dischi di carta da filtro. Gli estratti acquosi tal quali di segatura e corteccia di larice e abete rosso sono stati diluiti con acqua distillata al fine di ottenere concentrazioni finali di 2.5, 5, 10, 20, 40, 100% v/v.

Sono stati adagiati 20 semi di una singola specie ogni piastra Petri, per le 4 specie; ogni Petri è stata irrorata con 4 ml di ognuno dei 4 estratti e a tutte e 6 le concentrazioni ottenute, preparando 3 repliche (quindi 3 Petri) per ogni tesi.

Le Petri sono state poi chiuse e sigillate con parafilm per evitare la disidratazione del substrato con conseguente scarsa germinazione dei semi e per impedire l'entrata di patogeni che avrebbero interferito con la normale crescita delle plantule.

Infine le piastre sono state collocate in modo randomizzato all'interno di una cella di germinazione KW Apparecchi Scientifici con cicli di 12H/25°C con luce e 12H/15°C con buio (Fig.4).

I rilievi sulla germinazione sono stati eseguiti ogni 24 ore per 7 giorni a partire dalla data di semina: nelle 2 ripetizioni sono stati eseguiti rispettivamente in data 17/07, 18/07, 19/07, 20/07, 21/07, 22/07, 24/07 ed in data 21/08, 22/08, 23/08, 24/08, 25/08, 26/08, 28/08. Unica eccezione, il

frumento, per il quale i rilievi sono stati interrotti rispettivamente nelle 2 ripetizioni nei giorni 22/07 e 26/08, cioè a 5 giorni dall'inizio della prova.

I semi germinati sono stati segnati e conteggiati giornalmente così da ottenere una dinamica di germinazione dei semi.

Il rilievo sulla lunghezza radicale e del fusto è stato eseguito, per la prima ripetizione, in data 24/07 (22/07 per il frumento) ed il 28/08 (26/08 per il frumento) per la seconda ripetizione: il rilievo è stato effettuato su un campione di 5 plantule rappresentative delle 20 all'interno di ciascuna piastra: la lunghezza della radichetta e del fusticino delle plantule è stata misurata su carta millimetrata (Fig. 4).



Figura 4: Diluizioni dell'estratto acquoso di corteccia di abete rosso, da sinistra verso destra, di 2.5, 5, 10, 20, 40, 100% v/v (1), 3 repliche del frumento trattato con AR_C 10% v/v (2), piastre Petri in cella di germinazione (3) e dettaglio del rilievo sulla lunghezza radicale e del fusto con carta millimetrata (4).

3.3.3 PROVA IN VASO

È stato scelto di condurre questa prova in 2 momenti diversi, dividendola sulla base della specie di origine dei sottoprodotti di segheria (larice ed abete rosso) (Fig.5).

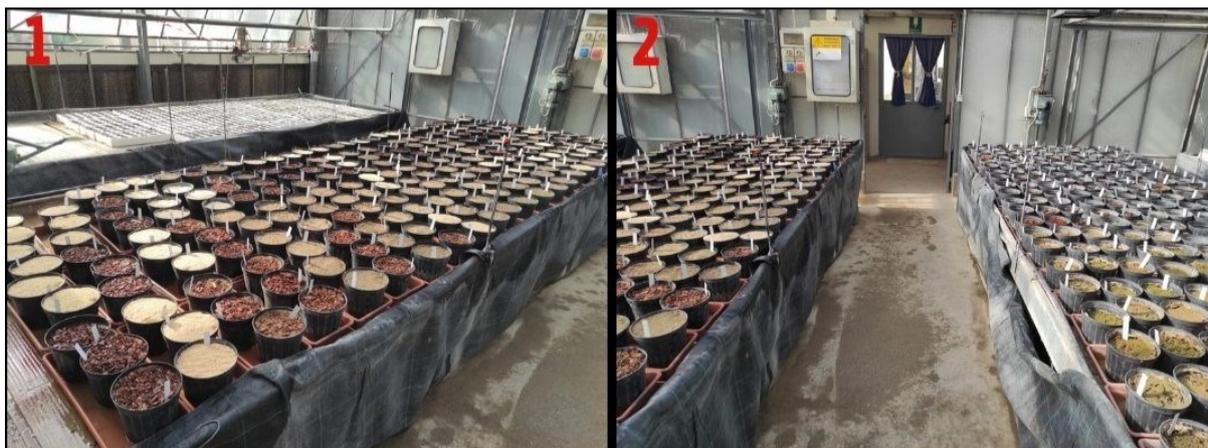


Figura 5: Bancone con vasi trattati con i sottoprodotti di abete rosso (1); panoramica dei vasi dei 2 banconi, trattati con sottoprodotti di abete rosso, a sinistra e di larice, a destra (2).

Sono state analizzate le emergenze delle 3 specie infestanti *Abutilon theophrasti* (ABUTH), *Lolium rigidum* (LOLRI) e *Amaranthus retroflexus* (in seguito abbreviato AMARE) e delle 3 colture frumento tenero (FRU) (*Triticum aestivum* L.), senape (SEN) (*Sinapis alba* L.) e soia (in seguito abbreviata SOI) (*Glycine Max* L.).

Per ottenere il peso medio dei semi di ogni specie, 300 semi sono stati pesati con l'uso di una bilancia di precisione.

Il disegno sperimentale è stato un fattoriale a randomizzazione completa con 4 fattori:

1. i 2 materiali di scarto, la segatura e la corteccia (Fig. 6);
2. le 2 tipologie di trattamento, la pacciamatura e l'interramento (Fig. 6);
3. le 3 diverse dosi di applicazione del materiale;
4. le 6 specie testate.

Ne deriva un fattoriale di $2 \times 2 \times 3 \times 6 = 72$ tesi a confronto con 3 repliche (3 vasi).

La prova è stata eseguita nello stesso modo usando materiali di scarto di 2 specie, il larice e l'abete rosso.

Tenendo conto dei 18 non trattati (6 specie x 3 repliche) che sono stati allestiti per ognuna delle 2 prove svolte in momenti diversi (larice ed abete rosso), il numero complessivo dei vasi che sono stati messi a dimora è stato 468.



Figura 6: Confronto tra i 2 materiali corteccia (1, 3) e segatura (2, 4) utilizzati per le 2 tipologie di trattamento interrato (1, 2) e pacciamato (3, 4). Particolare dell'emergenza di plantule di soia (3).

Come substrato per i vasi è stato utilizzato il terreno dell'Azienda agraria sperimentale "Lucio Toniolo", finemente macinato per renderlo più duttile all'invaso e più adatto alla semina. I vasi utilizzati per la prova sono conici, hanno un'altezza di 14 cm e un'area sommitale di 0,02 m². Ogni vaso contiene circa 1,5 kg di terreno.

I semi di ogni specie sono stati interrati lungo 2 piccoli solchi, a 1/2 cm di profondità, per un totale di 20 semi per vaso, tranne per la specie *Amaranthus retroflexus* (AMARE) per la quale ne sono stati seminati 50 e a una profondità minore. Per la tesi "mulch" è stato poi aggiunto il substrato di scarto delle segherie (corteccia o segatura), ricoprendo la superficie del vaso a 3 diverse dosi: 15, 30 e 45 g corrispondenti a 0.75, 1.5 e 2.25 kg/m² (Fig. 6) (Tab. 1).

Nella tesi "interramento", invece, i 10 cm più superficiali del vaso sono stati riempiti con un mix ottenuto mescolando il terreno dell'Azienda agricola sperimentale, macinato, con il materiale di scarto a dosi di 1, 2 e 3% sul peso del substrato, corrispondenti a quantità pari a 15, 30 e 45 g per ogni vaso, rispettivamente (Fig. 6) (Tab. 1). In questo caso i semi sono stati seminati direttamente nel mix, con le stesse modalità enunciate in precedenza.

Tabella 1: Dosi di sottoprodotto di segheria (corteccia o segature) aggiunte per ogni vaso come pacciamatura (mulch) o interrate.

DOSE	Peso materiale per vaso (kg)	Percentuale in peso del materiale sul peso dei primi 10 cm di terreno	Materiale per metro quadrato (kg/m²)
D1	0,015	1	0,75
D2	0,03	2	1,5
D3	0,045	3	2,25

I vasi sono stati poi disposti su un bancone in serra. Il terreno dei vasi è stato mantenuto costantemente alla capacità di campo tramite irrigazione per aspersione, in modo da facilitare l'imbibizione dei semi e, dunque, la germinazione e la conseguente emergenza delle plantule.

Il test con i sottoprodotti di segheria derivati dal larice è iniziato il 9/06 con la semina, mentre i rilievi sul numero delle plantule emerse sono stati effettuati in data: 9/06, 10/06, 11/06, 12/06, 13/06, 14/06, 15/06, 16/06, 18/06, 19/06, 20/06, 21/06, 22/06, 23/06, 24/06, 25/06, 26/06, 29/06 e 3/07. Durante il test con il larice, i non trattati hanno riscontrato una ridottissima emergenza, probabilmente a causa di ristagno idrico che ha portato i semi ad asfissia. È stato dunque necessario ridisporre i 18 vasi coi testimoni: sono stati seminati in data 12/06, mentre i rilievi sono stati tenuti in parte gli stessi giorni visti in precedenza, a partire dal 12/06 e fino al 26/06 compreso; gli altri rilievi sono stati effettuati in data 27/06, 28/06, 29/06, 30/06, 3/07 e 4/07.

Per quanto riguarda il test con l'abete rosso la semina è stata eseguita il 20/06 e i rilievi sono stati effettuati in data: 20/06, 21/06, 22/06, 23/06, 24/06, 25/06, 26/06, 27/06, 28/06, 29/06, 30/06, 3/07, 5/07, 7/07, 10/07, 11/07, 14/07 e 17/07.

3.4 ANALISI STATISTICA

3.4.1 PROVA DI POST-EMERGENZA CON AEROGRAFO

I dati di biomassa delle tesi trattate di ciascuna specie sono stati espressi come percentuale della biomassa media del non trattato. Preliminarmente è stata valutata la significatività della differenza tra le 2 ripetizioni della prova. Data la non significatività, i dati sono stati riuniti per la successiva analisi statistica.

I dati sulla biomassa percentuale sono stati sottoposti ad analisi della varianza. L'ANOVA fattoriale è stata condotta considerando come fattori fissi la specie (4 infestanti) e l'estratto (4 estratti e non trattato) ed è stata testata la loro interazione. Successivamente è stata condotta l'analisi della varianza ad una via per ogni singola specie considerando il solo fattore estratto.

Le medie dei fattori risultati significativi nelle ANOVA sono state confrontate con il test t di Tukey.

3.4.2 PROVA PETRI

I dati raccolti sono stati organizzati in tabella ed elaborati mediante Microsoft Excel. La germinazione è stata espressa come % sulla totalità dei semi iniziali, mentre la lunghezza radicale delle tesi trattate è stata espressa come % della lunghezza media del non trattato della stessa specie.

Vista l'assenza di differenze significative tra le 2 ripetizioni, i dati delle 2 ripetizioni della prova sono stati riuniti per la successiva analisi statistica. Successivamente, per ogni tesi è stata calcolata la media e l'errore standard delle 6 repliche.

Non è stato possibile condurre analisi statistiche complesse per individuare un effetto dose-risposta, vista la mancanza di inibizioni rilevanti da parte dei vari estratti sulla germinazione e sulla lunghezza radicale. Quindi, per ogni pianta infestante, è stata indagata solamente la presenza di differenze significative tra le tesi trattate e quella non trattata con il test t di Student ($p < 0,05$).

3.4.3 PROVA IN VASO

I dati di emergenza finale sono stati espressi come percentuale sul non trattato e sottoposti ad analisi della varianza, allo stesso modo per la prova con sottoprodotti di abete rosso e larice. L'ANOVA fattoriale è stata condotta considerando come fattori fissi: la specie (3 colture e 3 infestanti), il materiale (segatura e corteccia), la tipologia di gestione del materiale (interramento o pacciamatura) e la dose (3 dosi). In seguito è stata eseguita l'analisi della varianza per le singole specie, nello stesso

modo per la prova con abete rosso e larice, considerando i medesimi fattori descritti in precedenza (tranne la specie).

I dati di emergenza della prova in serra con abete rosso sono stati cumulati nel tempo ed espressi come percentuale sul totale delle plantule emerse per ciascun vaso. Le percentuali cumulate sono state interpolate con una funzione di regressione log-logistica secondo la seguente formula:

$$EP_t = \frac{100}{1 + e^{a \cdot (\ln(t+0,0000001) - \ln(b))}}$$

Dove EP_t indica la percentuale di emergenza cumulata, t rappresenta il tempo espresso in giorni, a è la pendenza della curva e b è il punto di flesso. Il valore del t_{50} , che è il tempo necessario per raggiungere il 50% di emergenza, è stato determinato dal parametro b ed è stato usato per stimare la velocità di emergenza. I valori di t_{50} sono stati espressi come percentuale sul t_{50} del non trattato e sono stati sottoposti ad analisi della varianza, considerando i fattori come descritto precedentemente per i dati di emergenza finale. Anche in questo caso è stata svolta l'analisi della varianza per le singole specie.

L'analisi sulla velocità di emergenza non è stata condotta nella prova con il larice per il ridotto numero di emergenze in alcuni vasi che non ha permesso la creazione della dinamica di emergenza da cui ricavare il t_{50} .

4. RISULTATI E DISCUSSIONE

4.1 PROVA DI POST-EMERGENZA CON AEROGRAFO

I risultati dell'ANOVA fattoriale hanno evidenziato un effetto non significativo, anche se per poco, del fattore Specie ($F_{3,116} = 2.439$, $p = 0.068$), altamente significativo per il fattore Estratto ($F_{4,116} = 4.42$, $p = 0.002$) e non significativo per la loro interazione ($F_{12,116} = 0.839$, $p = 0.611$) sulla biomassa delle specie testate (Tab. 11).

Il test post-hoc (Test di Tukey) eseguito per il fattore Estratto mostra una differenza significativa tra l'estratto LA_S e gli estratti LA_C ed AR_C. In particolare l'estratto di LA_S ha avuto un effetto stimolante sulla biomassa rispetto agli estratti di corteccia (Fig. 7): questa diversa risposta osservata potrebbe essere spiegata in una presenza, all'interno della corteccia, di alcune sostanze allelopatiche solubili in acqua come tannini e fenoli non presenti, invece, nella segatura. In accordo con questa ipotesi, Singh et al. (1999) sostengono che dalla corteccia delle Gimnosperme vengono percolate nel terreno sostanze allelopatiche idrosolubili attraverso le piogge.

Per quanto riguarda i vari estratti, non vi sono state riduzioni statisticamente significative della biomassa rispetto al NT (Tab. 12), però per gli estratti AR_C, AR_S e LA_C vi è stata una riduzione della biomassa dal 13 al 18% rispetto al NT (Fig. 7).

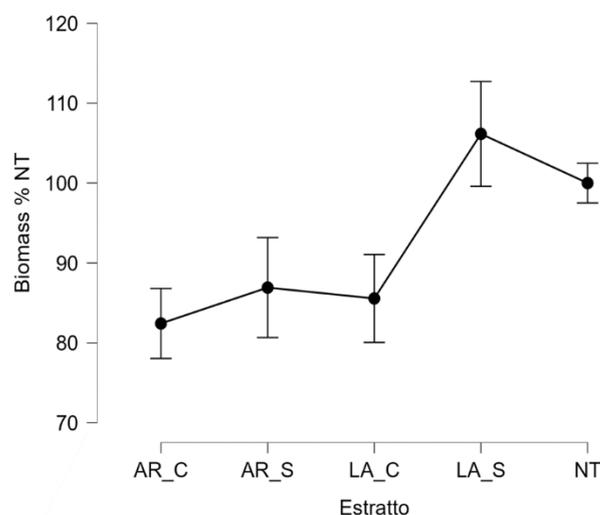


Figura 7: Effetto degli estratti di segatura e corteccia di abete rosso e larice e del non trattato sulla biomassa delle infestanti. I valori sono espressi in % sul non trattato e le barre rappresentano l'errore standard.

L'ANOVA ad una via delle singole specie non ha individuato un effetto significativo del fattore Estratto sulla biomassa di ABUTH, LOLRI e SETPU, mentre è stato osservato un effetto significativo per quanto riguarda SOLNI ($p = 0.019$) (Tab. 13).

Il test post-hoc su SOLNI ha mostrato differenze, ma non significative, tra la tesi NT e le tesi AR_S ($p = 0.084$) e LA_C ($p = 0.111$) (Tab. 14) (Fig. 8). La riduzione della biomassa riscontrata in SOLNI trattato con questi 2 estratti, considerando anche la scarsa efficacia sulle altre specie, pensiamo sia più dovuta al caso che a un'effettiva efficacia dei trattamenti. Inoltre, dalla prova in Petri risulta una maggiore efficacia degli estratti di corteccia rispetto a quelli di segatura, mentre, in questa prova, per il SOLNI, i trattamenti con AR_S e LA_C hanno avuto effetti simili.

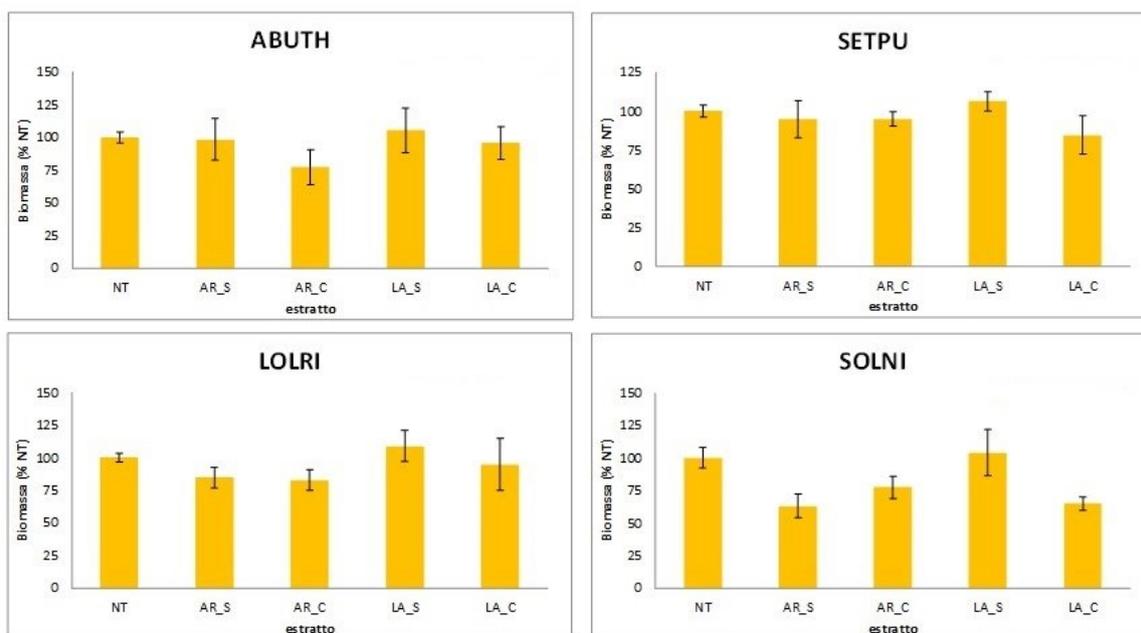


Figura 8: Effetto dei trattamenti di post-emergenza con estratti puri di segatura e corteccia di abete rosso e larice sulla biomassa di *Abutilon theophrasti*, *Setaria pumila*, *Lolium rigidum* e *Solanum nigrum*. Le percentuali, espresse sul non trattato (NT), sono la media di 6 repliche, tranne per il NT per il quale sono 10; le barre rappresentano l'errore standard.

In sintesi, i risultati mostrano che i trattamenti di post-emergenza effettuati a 900 L/ha con gli estratti acquosi puri (100% v/v) ottenuti dai sottoprodotti di segheria non hanno avuto un'efficacia agronomicamente interessante. L'effetto fitotossico rilevato in questa prova di post-emergenza è, dunque, scarso, se non assente.

Garzoli et al. (2023) hanno mostrato come, invece, OE estratti da conifere possano causare danni alla superficie fogliare delle piante trattate in post-emergenza; inoltre, una prova condotta con OE di *Xanthium strumarium* applicato in post-emergenza allo stadio di terza foglia con una concentrazione di 100 mg L⁻¹, ha causato la morte delle plantule (Benvenuti et al., 2017).

4.2 PROVA PETRI

4.2.1 EFFETTO DEGLI ESTRATTI ACQUOSI SULLA GERMINAZIONE

La germinazione è stata alta per tutte le specie testate, con valori compresi tra l'85 e il 100%. Tra le 4 specie testate, solo ABUTH è risultato avere una media di germinazione sotto al 90%, che rimane comunque alta, con un valore pari a 86,8%. Per le altre specie i valori sono stati più elevati: LOLRI e FRU hanno avuto medie di germinazione comprese tra il 95 ed il 100%, con medie di tutti gli estratti testati rispettivamente del 97,7 e 97,6; leggermente inferiore, invece, la media della SEN (94,4%).

Per quanto riguarda le 2 specie infestanti ABUTH e LOLRI, i test condotti sugli estratti di corteccia e segatura di larice e abete rosso hanno dimostrato che la percentuale di germinazione dei semi rispetto al non trattato non è stata influenzata significativamente in nessuna delle concentrazioni testate (Allegato 1 dell'Appendice per la consultazione delle tabelle di significatività del test t di Student).

Diversamente, sono state riscontrate delle differenze significative tra i vari estratti e nelle varie concentrazioni testate sulle 2 colture FRU e SEN (Allegato 1 dell'Appendice). Va considerato che queste medie significativamente diverse sono, però, limitate per poche combinazioni di estratto x concentrazione e che, comunque, non sono agronomicamente interessanti data la scarsa differenza di queste medie dalla media del NT. Inoltre, è probabile che queste differenze siano più dovute ad una scarsa numerosità dei dati che ad un reale effetto inibitorio della germinazione provocato dagli estratti.

In altri studi, numerosi estratti acquosi ricavati da materiali vegetali hanno mostrato un maggior effetto di inibizione della germinazione rispetto a quello osservato con i sottoprodotti di segheria (Mahdavia & Saharkhiz, 2015; Vitalini et al., 2020).

Altri studi che hanno utilizzato gli OE, invece, hanno mostrato inibizioni più importanti delle germinazioni di *Lolium multiflorum* Lam. e *Sinapsis alba* L. con l'utilizzo di OE estratti da *L. decidua* e

P. abies (Vitalini et al., 2022; Garzoli et al., 2023). Ma ci sono altre specie che si sono dimostrate interessanti, come quelle della famiglia delle Asteraceae: infatti, uno studio ha osservato che concentrazioni 100 µg L⁻¹ di OE estratti da 2 specie di *Artemisia* siano state in grado inibire totalmente la germinazione dell'*Amaranthus retroflexus* e della *Setaria viridis* (Benvenuti et al., 2017). Dal confronto tra le percentuali di inibizione degli OE con quelle degli estratti acquosi appare evidente come i primi siano in grado di inibire maggiormente la germinazione, probabilmente grazie ad un più elevato contenuto di sostanze allelopatiche.

4.2.2 EFFETTO DEGLI ESTRATTI ACQUOSI DI *PICEA ABIES* L. SULLA LUNGHEZZA RADICALE

In tutte le specie testate sono stati osservati effetti sulla lunghezza radicale in seguito ai trattamenti con gli estratti acquosi ottenuti da *P. abies* L., in relazione sia al materiale estratto (segatura o corteccia) che alle differenti concentrazioni (Fig. 9).

I risultati mostrano che la lunghezza delle radici sia stata inibita in modo più importante dagli estratti di corteccia rispetto a quelli di segatura: è, quindi, probabile che nella corteccia vi sia un maggior contenuto di sostanze allelopatiche con effetto tossico sulla crescita radicale rispetto alla segatura. Nel caso degli estratti di corteccia si è potuto osservare come la concentrazione dell'estratto abbia influito in modo rilevante sulla lunghezza delle radici, con una maggiore inibizione alle concentrazioni più elevate, visti i migliori risultati di inibizione osservati a concentrazioni di 40 e 100% v/v dell'estratto (Fig. 9)

Il picco di inibizione è stato ottenuto con l'estratto di corteccia puro (100 % v/v) con riduzioni della lunghezza radicale tra il 40 ed il 45 % per ABUTH e FRU, del 56 % per la SEN e del 69 % per il LOLRI (Allegato 2 dell'Appendice). Questi risultati sono in linea con quelli ottenuti da Vitalini et al. (2022), in cui è emerso che il LOLRI presenta una maggiore suscettibilità al trattamento con l'estratto rispetto alla SEN.

L'estratto di segatura, invece, ha avuto un effetto di inibizione meno evidente della corteccia, soprattutto alle concentrazioni più alte (SEN e FRU), nullo o addirittura stimolante come nel caso di ABUTH. In questa specie alle concentrazioni più basse sono stati riscontrati valori di lunghezza radicale più elevati rispetto al testimone, come il +17% rispetto al NT ottenuto alla concentrazione del 20 % v/v (Allegato 2 dell'Appendice).

Dai risultati raccolti sulla germinazione e sulla lunghezza radicale delle varie specie, si può affermare che la crescita radicale è più sensibile agli effetti di inibizione degli estratti acquosi rispetto alla germinazione. Questo risultato emerge anche in altri studi: Mahdavia e Saharkhiz, (2015) hanno dimostrato che estratti acquosi di menta piperita hanno maggiori effetti di riduzione sulla crescita radicale e sostengono che anche se il seme germina in presenza dell'estratto, la crescita della plantula potrebbe essere limitata.

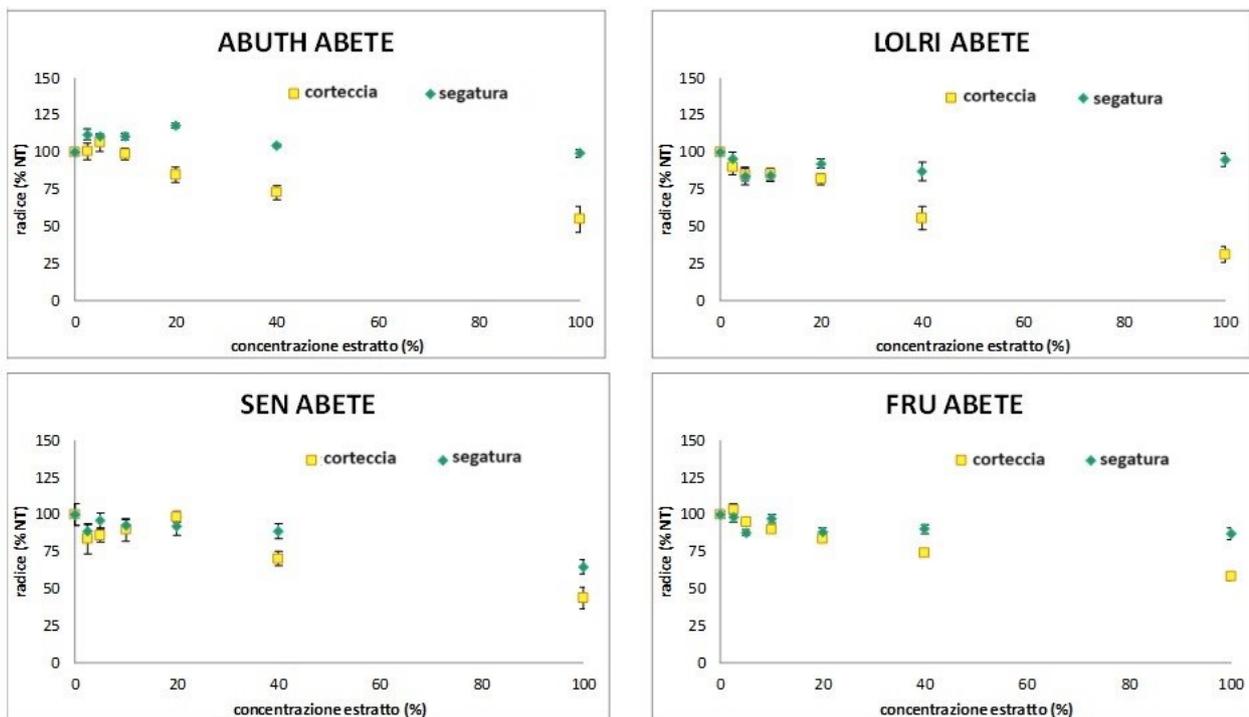


Figura 9: Effetto delle varie concentrazioni degli estratti di corteccia e segatura di abete rosso sulla lunghezza delle radici di *Abutilon theophrasti*, *Lolium rigidum*, senape e frumento. Le percentuali, espresse sul non trattato, sono la media di 6 repliche e le barre rappresentano l'errore standard.

4.2.3 EFFETTO DEGLI ESTRATTI ACQUOSI DI *LARIX DECIDUA* MILL. SULLA LUNGHEZZA RADICALE

I risultati osservati nei test con estratti di *L. decidua* riflettono in gran parte quelli già visti con *P. abies*. In particolare sono stati riscontrati effetti significativi sulla lunghezza radicale in tutte e 4 le specie testate, relativamente ai 2 materiali estratti ed alle diverse concentrazioni (Fig. 10).

Come gli estratti acquosi ottenuti da *P. abies*, anche quelli di *L. decidua* hanno mostrato una riduzione della crescita radicale più elevata se ottenuti da corteccia rispetto alla segatura, per le 3 specie LOLRI,

SEN e FRU. Per queste 3 specie, con gli estratti di corteccia si è potuto rilevare anche un effetto concentrazione-risposta alle concentrazioni 40 e 100% v/v, con un'inibizione rispettivamente del 29 e 74% su LOLRI, del 23 e 48% su SEN e del 32 e 55% su FRU (Allegato 2 dell'appendice). Alle concentrazioni inferiori 2,5, 5, 10 e 20 % v/v, le medie delle lunghezze radicali non hanno subito rilevanti differenze significative rispetto al NT, sia per la segatura che per la corteccia. Nel caso dell'ABUTH, invece, i 2 materiali estratti hanno causato effetti simili alle radici, tranne alle concentrazioni 2,5 e 5% v/v in cui l'estratto di corteccia ha stimolato l'allungamento radicale di un 13% rispetto al NT (Allegato 2 dell'appendice). Per l'ABUTH le uniche differenze significative di inibizione rispetto al NT sono state osservate con l'estratto puro, con una riduzione della lunghezza radicale del 20% con entrambi i materiali (segatura e corteccia) (Allegato 2 dell'appendice).

Infine, visti i migliori risultati di riduzione della lunghezza radicale ottenuti con gli estratti di corteccia, rispetto alla segatura, sia di *L. decidua* che di *P. abies*, si può ipotizzare che vi sia stata un'azione fitotossica causata da sostanze allelopatiche rilasciate dalla corteccia; questa ipotesi è, poi, in accordo con Singh et al. (1999), i quali affermano che dalla corteccia delle Gimnosperme vengono percolate sostanze allelopatiche.

Inoltre, in un confronto con la prova di post-emergenza, nella quale non è stato riscontrato alcun effetto fitotossico nelle piante trattate, si può spiegare questa diversa risposta nella minore capacità delle foglie, rivestite di cere (Schieferstein & Loomis, 1956), di assorbire le componenti, per lo più polari (Chemat et al., 2019) dell'estratto acquoso, rispetto ai semi in germinazione.

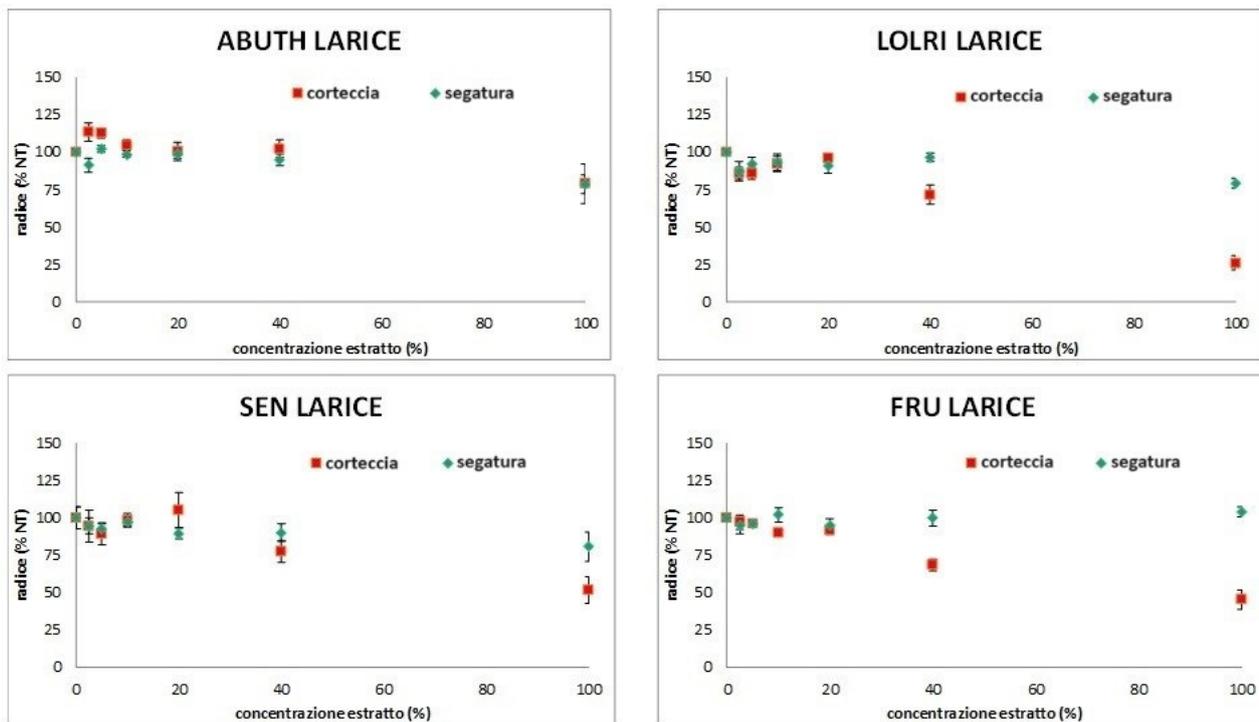


Figura 10: Effetto delle varie concentrazioni degli estratti di corteccia e segatura di larice sulla lunghezza delle radici di *Abutilon theophrasti*, *Lolium rigidum*, senape e frumento. Le percentuali, espresse sul non trattato, sono la media di 6 repliche e le barre rappresentano l'errore standard.

4.3 PROVA IN VASO

4.3.1 EFFETTO DEI TRATTAMENTI CON SOTTOPRODOTTI DI *PICEA ABIES* SULLE EMERGENZE

I risultati dell'ANOVA fattoriale hanno evidenziato una significatività per l'interazione Specie*Materiale*Tipologia*Dose ed una forte significatività per l'interazione Specie*Tipologia e per i singoli fattori Specie, Tipologia e Dose (Tab. 2).

Tabella 2: ANOVA fattoriale sulla variabile emergenza (% su NT) delle 6 specie trattate con i 2 materiali, le 2 tipologie e le 3 dosi utilizzando sottoprodotti di abete rosso. Nella colonna più a destra la significatività (p) è segnalata dagli asterischi: $p < 0,001$ ***, $p < 0,01$ **, $p < 0,05$ *.

FV	Dev	GdL	Var	F	p-value	
Specie	14672	5	2934	14,26	0,000	***
Materiale	641	1	641	3,11	0,080	

Tipologia	30429	1	30429	147,84	0,000	***
Dose	2992	2	1496	7,27	0,001	**
Specie*Materiale	264	5	53	0,26	0,936	
Specie*Tipologia	24545	5	4909	23,85	0,000	***
Materiale*Tipologia	58	1	58	0,28	0,595	
Specie*Dose	1757	10	176	0,85	0,578	
Materiale*Dose	1207	2	603	2,93	0,057	
Tipologia*Dose	1199	2	599	2,91	0,058	
Specie*Materiale*Tipologia	2075	5	415	2,02	0,080	
Specie*Materiale*Dose	1661	10	166	0,81	0,622	
Specie*Tipologia*Dose	2235	10	223	1,09	0,377	
Materiale*Tipologia*Dose	161	2	80	0,39	0,678	
Specie*Materiale*Tipologia*Dose	4291	10	429	2,08	0,029	*
Errore	29638	144	206			

In particolare, per quanto riguarda l'interazione Specie*Tipologia, è possibile osservare come la pacciamatura sia stata in grado di inibire maggiormente le emergenze rispetto all'interramento, più o meno intensamente a seconda della specie trattata (Fig. 11). Le specie che hanno risentito maggiormente della pacciamatura sono AMARE, SEN (-50% di germinazione) e LOLRI (-25%). Per le specie SOI e FRU, invece, i livelli di emergenza non si discostano molto dal NT.

Dal confronto tra le percentuali di emergenza di colture e infestanti, emerge come la pacciamatura sia più efficace nel ridurre le emergenze di specie con un seme più piccolo, come AMARE e LOLRI, rispetto a colture a seme più grande, come FRU e SOI (Fig. 11). Molti sono gli studi che evidenziano che semi più grandi sono in grado di emergere da profondità più elevate rispetto a semi più piccoli (Riemens et al., 2022).

Per semplificare la comprensione della significatività dell'interazione a 4 fattori, le specie sono state studiate singolarmente. In particolare sono state approfondite 2 specie, una coltura (frumento) ed un'infestante (*Amaranthus retroflexus*): l'effetto dei vari fattori sulla percentuale delle emergenze di queste 2 specie è esposto qui di seguito; per le altre specie, invece, è possibile trovare i risultati dell'ANOVA fattoriale in Appendice (Tab. 23).

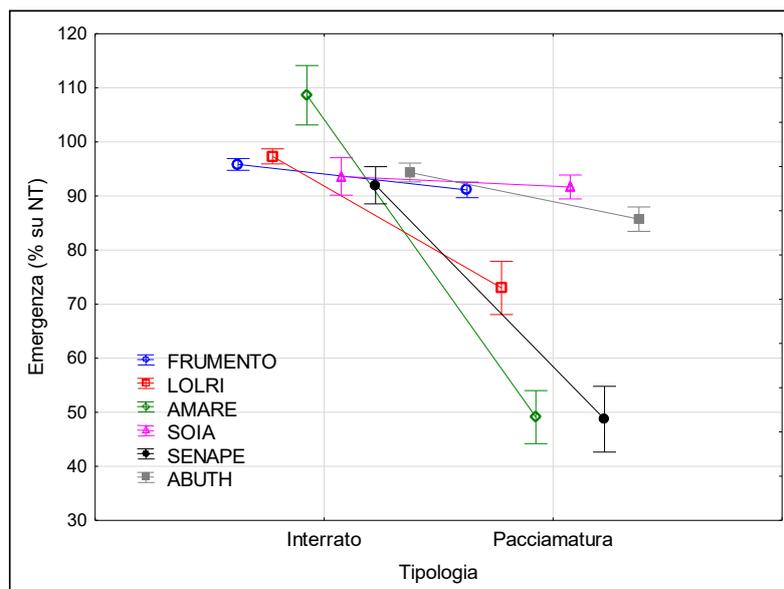


Figura 11: Emergenza finale (espressa in percentuale sul non trattato) delle diverse specie in vasi con interramento o con pacciamatura di sottoprodotti di abete rosso. Le barre verticali indicano l'errore standard.

4.3.1.1 EFFETTO DEI TRATTAMENTI CON SOTTOPRODOTTI DI *PICEA ABIES* SULLE EMERGENZE DI FRUMENTO

Per quanto riguarda il frumento, l'ANOVA fattoriale mostra significatività per i fattori Tipologia e Materiale; la dose, invece, non ha influenzato significativamente l'emergenza delle plantule (Tab. 3). Per quanto riguarda il fattore Materiale, la corteccia ha inibito le emergenze più della segatura e, analogamente, per il fattore Tipologia, la pacciamatura ha ridotto le emergenze più dell'interramento. Per entrambi i fattori, tuttavia, si può dire che l'inibizione delle emergenze rispetto al NT è stata lieve, non raggiungendo il 10% (Fig. 12).

Tabella 3: ANOVA fattoriale sulla variabile emergenza (% su NT) per il frumento trattato con i 2 materiali, le 2 tipologie e le 3 dosi utilizzando sottoprodotti di abete rosso.

FV	Dev	GdL	Var	F	p-value	
Materiale	200,7	1	200,7	6,72	0,016	*
Tipologia	200,7	1	200,7	6,72	0,016	*
Dose	26,4	2	13,2	0,44	0,648	
Materiale*Tipologia	6,3	1	6,3	0,21	0,651	
Materiale*Dose	9,7	2	4,9	0,16	0,851	

Tipologia*Dose	26,4	2	13,2	0,44	0,648	
Materiale*Tipologia*Dose	4,2	2	2,1	0,07	0,933	
Errore	716,7	24	29,9			

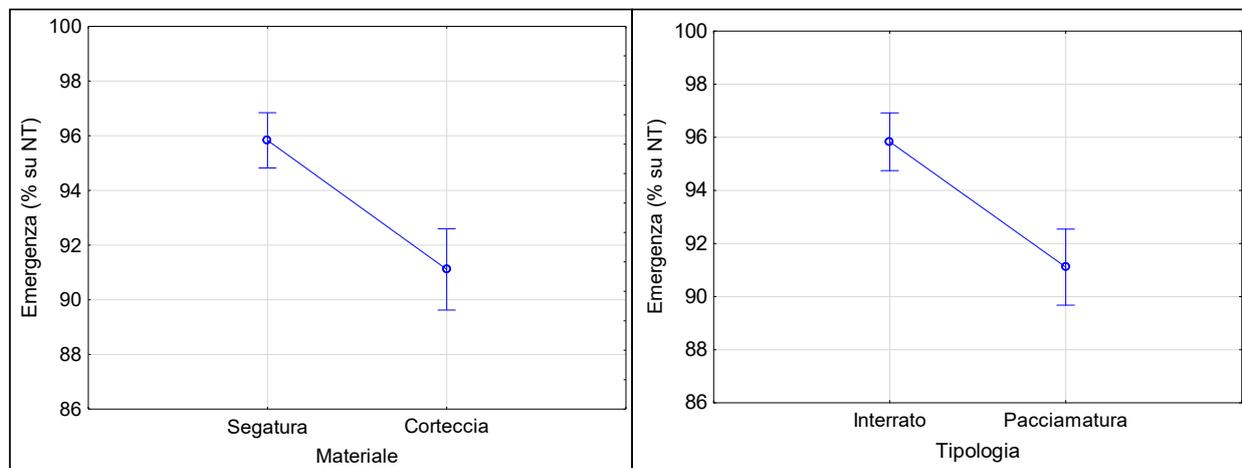


Figura 12: Emergenza finale (espressa in percentuale sul non trattato) di frumento in vasi con segatura o corteccia (a sinistra) e con interramento o pacciamatura (a destra) di sottoprodotti di abete rosso. Le barre verticali indicano +/- errore standard.

4.3.1.2 EFFETTO DEI TRATTAMENTI CON SOTTOPRODOTTI DI *PICEA ABIES* SULLE EMERGENZE DI *AMARANTHUS RETROFLEXUS*

Per quanto riguarda la specie *Amaranthus retroflexus*, l'ANOVA fattoriale mostra un'unica forte significatività per il fattore Tipologia (Tab. 4). In particolare, la pacciamatura ha inibito in modo molto significativo le emergenze rispetto all'interramento, dimezzando il numero di piante emerse rispetto al NT; l'interramento dei materiali, invece, ha avuto un effetto stimolante delle emergenze, aumentandole di un 10% rispetto al NT (Fig. 13).

Con i sottoprodotti di abete rosso, la pacciamatura è stata più efficace nel contenimento delle emergenze di AMARE (Fig. 13) rispetto al FRU (Fig. 12). Questo risultato è agronomicamente interessante in un'ottica di controllo sostenibile delle infestanti in frumento, in quanto evidenzia una certa selettività della pacciamatura nei confronti dell'AMARE.

Tabella 4: ANOVA fattoriale sulla variabile emergenza (% su NT) per la specie *Amaranthus retroflexus* trattato con i 2 materiali, le 2 tipologie e le 3 dosi utilizzando sottoprodotti di abete rosso.

FV	Dev	GdL	Var	F	p-value	
----	-----	-----	-----	---	---------	--

Materiale	0,0	1	0,0	0,00	1,000	
Tipologia	31887,8	1	31887,8	67,11	0,000	***
Dose	1886,2	2	943,1	1,98	0,159	
Materiale*Tipologia	1406,3	1	1406,3	2,96	0,098	
Materiale*Dose	703,1	2	351,6	0,74	0,488	
Tipologia*Dose	489,5	2	244,7	0,52	0,604	
Materiale*Tipologia*Dose	703,1	2	351,6	0,74	0,488	
Errore	11403,1	24	475,1			

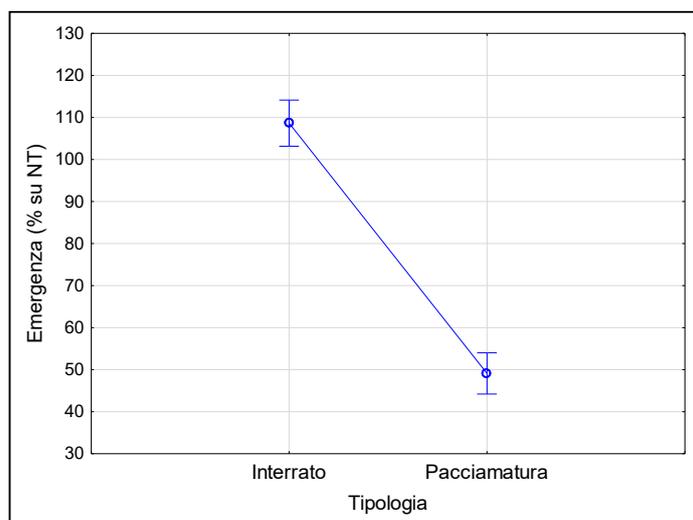


Figura 13: Emergenza finale (espressa in percentuale sul non trattato) di *Amaranthus retroflexus* in vasi con interramento o con pacciamatura di sottoprodotti di abete rosso. Le barre verticali indicano +/- errore standard.

4.3.2 EFFETTO DEI TRATTAMENTI CON SOTTOPRODOTTI DI *PICEA ABIES* SUL RITARDO DELLE EMERGENZE (T50)

I risultati dell'ANOVA fattoriale hanno evidenziato una significatività per l'interazione Specie*Materiale*Dose, per l'interazione Specie*Materiale*Tipologia e per l'interazione Specie*Dose; inoltre, è risultata una forte significatività per l'interazione Specie*Tipologia e per i singoli fattori Dose, Tipologia e Specie, mentre il fattore Materiale, ancora una volta, non è risultato significativo (Tab. 5).

Tabella 5: ANOVA fattoriale sul tempo di raggiungimento del 50% delle emergenze in vaso (t50 espresso in rapporto al t50 del non trattato) delle 6 specie trattate con i 2 materiali, le 2 tipologie e le 3 dosi utilizzando sottoprodotti di abete rosso.

FV	Dev	GdL	Var	F	p-value	
Specie	1,258	5	0,252	26,16	0,000	***
Materiale	0,022	1	0,022	2,26	0,135	
Tipologia	2,181	1	2,181	226,73	0,000	***
Dose	0,287	2	0,144	14,93	0,000	***
Specie*Materiale	0,029	5	0,006	0,61	0,692	
Specie*Tipologia	0,287	5	0,057	5,98	0,000	***
Materiale*Tipologia	0,006	1	0,006	0,67	0,415	
Specie*Dose	0,217	10	0,022	2,25	0,018	*
Materiale*Dose	0,043	2	0,022	2,26	0,108	
Tipologia*Dose	0,032	2	0,016	1,64	0,197	
Specie*Materiale*Tipologia	0,139	5	0,028	2,88	0,016	*
Specie*Materiale*Dose	0,195	10	0,020	2,03	0,034	*
Specie*Tipologia*Dose	0,085	10	0,008	0,88	0,551	
Materiale*Tipologia*Dose	0,026	2	0,013	1,34	0,264	
Specie*Materiale*Tipologia*Dose	0,122	10	0,012	1,27	0,252	
Errore	1,385	144	0,010			

Per quanto riguarda il fattore Tipologia, la pacciamatura ha ritardato le emergenze in modo molto significativo rispetto all'interramento. Inoltre, il t50 della pacciamatura risulta superiore del 20% rispetto al NT (Fig. 14), questo significa che la pacciamatura ha un effetto ritardante delle emergenze. Anche il fattore Dose è risultato significativo, in particolare si può osservare graficamente come all'aumentare della dose vi sia un aumento del ritardo delle emergenze, con circa un 17% di ritardo alla D3, rispetto al NT (Fig. 14).

Come osservato con le emergenze (Fig. 11), anche con il t50 è emerso come sia la pacciamatura il trattamento più efficace. Tuttavia, il ritardo delle emergenze osservato, seppur statisticamente significativo, non è agronomicamente interessante visto che comunque si discosta modestamente dal NT; inoltre, FRU ed AMARE hanno subito effetti simili nel ritardo delle emergenze con la pacciamatura come tipologia di trattamento (Fig. 15 e 16). Dunque, i vari trattamenti, anche se eseguiti alle dosi più elevate e con la pacciamatura, non sono probabilmente in grado di provocare

un sufficiente ritardo delle emergenze delle infestanti tale da poter avvantaggiare, ad esempio, la crescita delle colture nelle prime fasi di sviluppo.

Infine, il fattore specie è risultato molto significativo: di seguito sono descritti i risultati osservati con il FRU e l'AMARE, mentre per le altre specie è possibile consultare l'ANOVA in Appendice (Tab. 24).

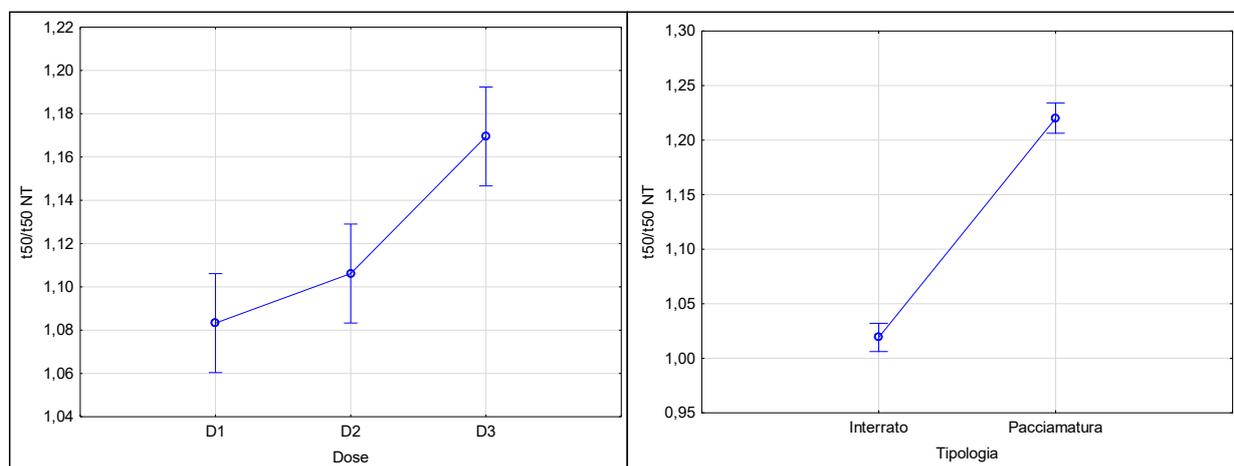


Figura 14: Ritardo nel raggiungimento del 50% delle emergenze in vaso (t_{50} espresso in rapporto al t_{50} del non trattato) in relazione alla dose di sottoprodotti di abete rosso (a sinistra) e alla tipologia (a destra). Le barre verticali indicano +/- errore standard.

4.3.2.1 EFFETTO DEI TRATTAMENTI CON SOTTOPRODOTTI DI *PICEA ABIES* SUL RITARDO DELLE EMERGENZE (T_{50}) DI FRUMENTO

L'ANOVA fattoriale per il FRU mostra una forte significatività per i fattori Dose e Tipologia (Tab. 6). I ritardi delle emergenze in FRU sono in linea con quelli appena descritti per le 6 specie: è stato riscontrato, nuovamente, un significativo ritardo delle emergenze con la pacciamatura (circa 20% maggiore rispetto al NT) rispetto all'interramento e, per il fattore Dose, si può osservare graficamente come, all'aumentare di questa, il t_{50} subisca un ritardo di circa un 20% alla D3, rispetto al NT (Fig. 15).

Tabella 6: ANOVA fattoriale sul tempo di raggiungimento del 50% delle emergenze in vaso (t_{50} espresso in rapporto al t_{50} del non trattato) per il frumento trattato con i 2 materiali, le 2 tipologie e le 3 dosi utilizzando sottoprodotti di abete rosso.

FV	Dev	GdL	Var	F	p-value
Materiale	0,007	1	0,007	1,45	0,241

Tipologia	0,135	1	0,135	26,49	0,000	***
Dose	0,089	2	0,044	8,70	0,001	**
Materiale*Tipologia	0,005	1	0,005	1,04	0,317	
Materiale*Dose	0,012	2	0,006	1,15	0,332	
Tipologia*Dose	0,009	2	0,005	0,91	0,415	
Materiale*Tipologia*Dose	0,000	2	0,000	0,01	0,988	
Errore	0,122	24	0,005			

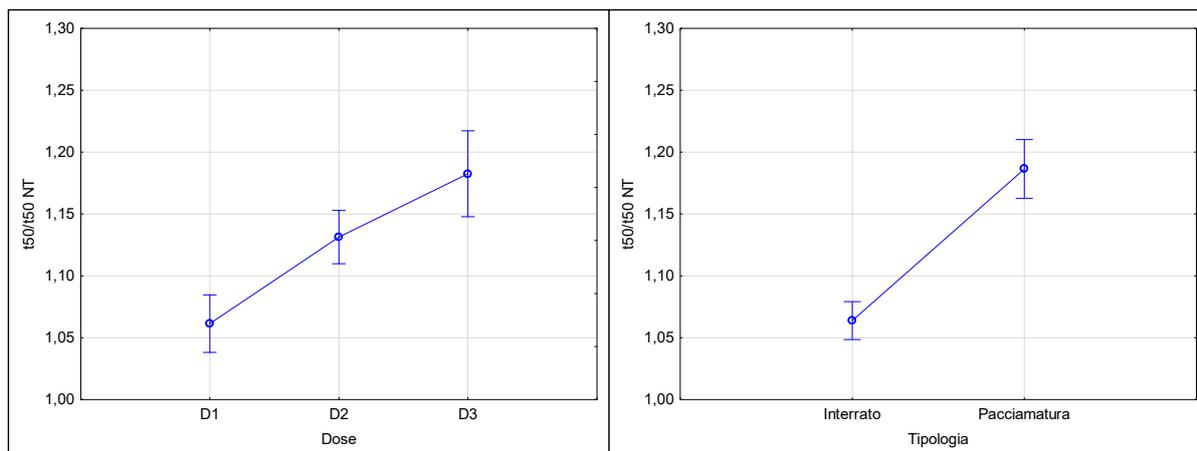


Figura 15: Ritardo nel raggiungimento del 50% delle emergenze in vaso (t_{50} espresso in rapporto al t_{50} del non trattato) di frumento in relazione alla dose di sottoprodotti di abete rosso (a sinistra) e alla tipologia (a destra). Le barre verticali indicano \pm errore standard.

4.3.2.2 EFFETTO DEI TRATTAMENTI CON SOTTOPRODOTTI DI *PICEA ABIES* SUL RITARDO DELLE EMERGENZE (T_{50}) DI *AMARANTHUS RETROFLEXUS*

L'ANOVA fattoriale per l'AMARE mostra significatività per il fattore Tipologia (Tab. 7). La pacciamatura ha ritardato significativamente l'emergenza dell'AMARE rispetto all'interramento: in particolare, per la pacciamatura, il t_{50} è risultato più del 20% superiore rispetto al NT, mentre l'interramento ha accelerato le emergenze rispetto al NT di quasi un 10% (Fig. 16). Bisogna precisare che questi ritardi non sono agronomicamente importanti: per AMARE il t_{50} del NT è risultato di 3 giorni, quindi ad esempio il 20% in più significa meno di 1 giorno.

Tabella 7: ANOVA fattoriale sul tempo di raggiungimento del 50% delle emergenze in vaso (t_{50} espresso in rapporto al t_{50} del non trattato) per *Amaranthus retroflexus* trattato con i 2 materiali, le 2 tipologie e le 3 dosi utilizzando sottoprodotti di abete rosso.

FV	Dev	GdL	Var	F	p-value	
Materiale	0,002	1	0,002	0,09	0,770	
Tipologia	0,788	1	0,788	43,28	0,000	***
Dose	0,003	2	0,001	0,07	0,931	
Materiale*Tipologia	0,003	1	0,003	0,18	0,674	
Materiale*Dose	0,050	2	0,025	1,36	0,275	
Tipologia*Dose	0,014	2	0,007	0,38	0,686	
Materiale*Tipologia*Dose	0,047	2	0,023	1,28	0,296	
Errore	0,437	24	0,018			

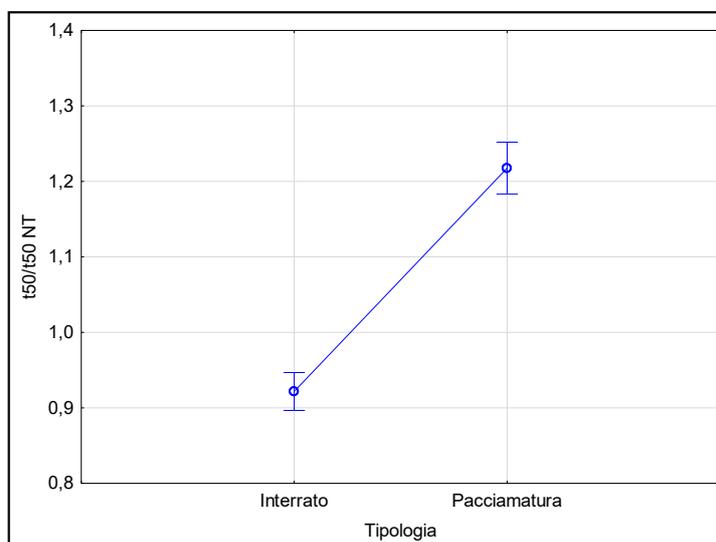


Figura 16: Ritardo nel raggiungimento del 50% delle emergenze in vaso (t_{50} espresso in rapporto al t_{50} del non trattato) di *Amaranthus retroflexus* in relazione alla tipologia di sottoprodotti di abete rosso. Le barre verticali indicano +/- errore standard.

4.3.3 EFFETTO DEI TRATTAMENTI CON SOTTOPRODOTTI DI *LARIX DECIDUA* SULLE EMERGENZE

I risultati dell'ANOVA fattoriale hanno mostrato molte interazioni significative, compresa quella a 4 fattori (Tab. 8).

Tabella 8: ANOVA fattoriale sulla variabile emergenza (% su NT) delle 6 specie trattate con i 2 materiali, le 2 tipologie e le 3 dosi utilizzando sottoprodotti di larice.

FV	Dev	GdL	Var	F	p-value	
----	-----	-----	-----	---	---------	--

Specie	33333	5	6667	22,94	0,000	***
Materiale	7316	1	7316	25,18	0,000	***
Tipologia	73373	1	73373	252,49	0,000	***
Dose	1087	2	543	1,87	0,158	
Specie*Materiale	10599	5	2120	7,29	0,000	***
Specie*Tipologia	35339	5	7068	24,32	0,000	***
Materiale*Tipologia	4117	1	4117	14,17	0,000	***
Specie*Dose	7045	10	704	2,42	0,011	*
Materiale*Dose	177	2	88	0,30	0,738	
Tipologia*Dose	3782	2	1891	6,51	0,002	**
Specie*Materiale*Tipologia	5184	5	1037	3,57	0,005	**
Specie*Materiale*Dose	2125	10	212	0,73	0,694	
Specie*Tipologia*Dose	5852	10	585	2,01	0,036	*
Materiale*Tipologia*Dose	1634	2	817	2,81	0,063	
Specie*Materiale*Tipologia*Dose	5852	10	585	2,01	0,036	*
Errore	41847	144	291			

In particolare, per quanto riguarda l'interazione Materiale*Tipologia, è possibile osservare come la pacciamatura abbia inibito le emergenze delle 6 specie quasi del 60% rispetto al NT con entrambi i materiali, risultando molto più efficace dell'interramento; con l'interramento, infatti, l'inibizione è stata meno evidente, soprattutto nel caso della segatura, con la quale l'emergenza è stata inibita di poco più del 10% rispetto al NT, mentre per la corteccia l'inibizione è risultata più alta con valori oltre il 30% rispetto al NT (Fig. 17).

Inoltre, l'interazione Tipologia*Dose, risultata fortemente significativa, mostra ancora una volta una forte differenza di inibizione delle emergenze tra le 2 tipologie, con la pacciamatura capace di inibire fino ad oltre il 60% le emergenze delle varie specie alla D2 ed alla D3 e comunque tra il 50 ed il 65% tra le 3 dosi, rispetto al NT, mentre l'interramento è risultato meno efficace, con valori compresi tra il 15 ed il 25% di inibizione alle 3 dosi, rispetto al NT (Fig. 17). Per quanto riguarda la pacciamatura è possibile notare graficamente un effetto dose-risposta, in cui all'aumentare della dose si abbassa la percentuale di emergenze; ciò non vale per l'interramento visto che alla D3 l'inibizione delle emergenze risulta minore rispetto alla D1 (Fig. 17).

L'interramento è stato indagato per valutare una possibile inibizione delle germinazioni e, quindi, delle emergenze, causato dal rilascio di sostanze allelopatiche da parte dei sottoprodotti di segheria;

infatti, in questo caso, l'effetto di barriera fisica all'emergenza della plantula e l'effetto di schermatura alla luce, non sussistono, permettendoci di intuire che un eventuale effetto di controllo potrebbe essere stato causato dall'eventuale presenza di sostanze allelopatiche. Tuttavia, l'interramento non ha mostrato particolari effetti di contenimento delle emergenze nei vasi (Fig. 11 e 17): si può, quindi, dedurre che la corteccia e la segatura di larice ed abete rosso non hanno rilasciato nella soluzione circolante una quantità di composti fitotossici tale da inibire le germinazioni; questa osservazione è avvalorata dalla prova di pre-emergenza condotta in Petri, la quale ha evidenziato come le varie tesi trattate con i diversi estratti acquosi, ottenuti dai medesimi sottoprodotti, non abbiano inibito le germinazioni in modo rilevante.

Il fattore specie è risultato molto significativo: nei prossimi paragrafi verranno descritti i risultati osservati con il FRU e l'AMARE, mentre per le altre specie è possibile consultare l'ANOVA in Appendice (Tab. 25).

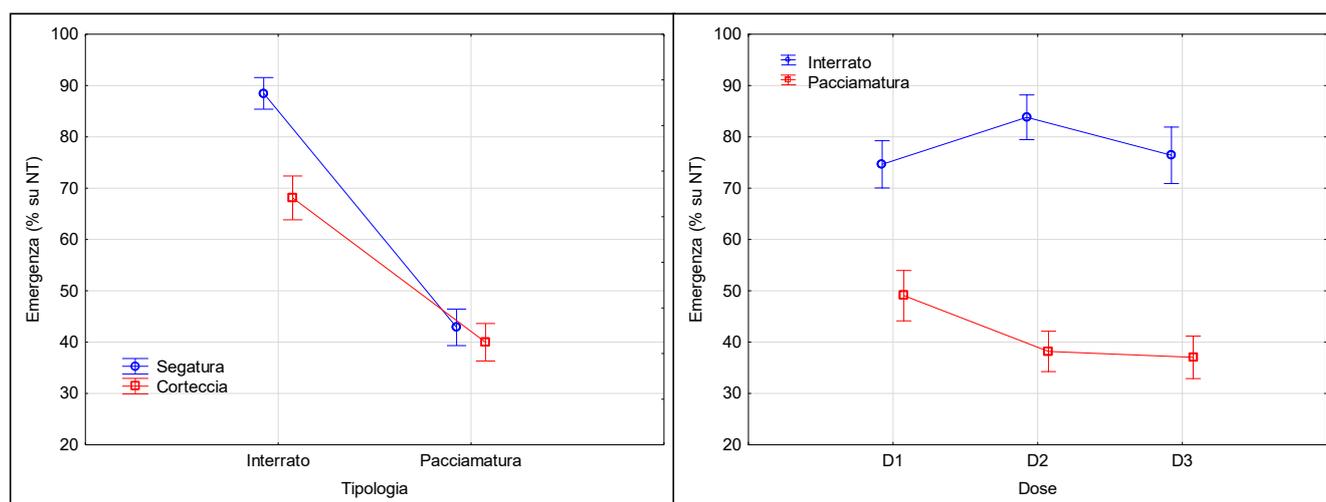


Figura 17: Emergenza finale (espressa in percentuale sul non trattato) delle specie in vasi con interramento o con pacciamatura di sottoprodotti di larice sottoforma di segatura o corteccia (a sinistra) e al variare della dose (a destra). Le barre verticali indicano +/- errore standard.

4.3.3.1 EFFETTO DEI TRATTAMENTI CON SOTTOPRODOTTI DI *LARIX DECIDUA* SULLE EMERGENZE DI FRUMENTO

L'ANOVA fattoriale per il FRU mostra una forte significatività per i singoli fattori Materiale e Tipologia (Tab. 9).

In particolare, la corteccia ha inibito le emergenze più che significativamente rispetto alla segatura, dimezzandole rispetto al NT (Fig. 18). In aggiunta, sulla linea di quanto visto finora, la pacciamatura ha avuto un forte effetto nei confronti del FRU, inibendo le emergenze più che significativamente rispetto all'interramento: con quest'ultimo, infatti, le emergenze sono diminuite solamente del 25% se paragonate con la forte inibizione osservata con la pacciamatura, con un 60% di emergenze in meno rispetto al NT (Fig. 18).

Tabella 9: ANOVA fattoriale sulla variabile emergenza (% su NT) per il frumento trattato con i 2 materiali, le 2 tipologie e le 3 dosi utilizzando sottoprodotti di larice.

FV	Dev	GdL	Var	F	p-value	
Materiale	2559,9	1	2559,9	9,77	0,005	**
Tipologia	11607,5	1	11607,5	44,29	0,000	***
Dose	1057,3	2	528,6	2,02	0,155	
Materiale*Tipologia	1111,1	1	1111,1	4,24	0,051	
Materiale*Dose	419,5	2	209,8	0,80	0,461	
Tipologia*Dose	274,9	2	137,5	0,52	0,598	
Materiale*Tipologia*Dose	1227,3	2	613,7	2,34	0,118	
Errore	6290,4	24	262,1			

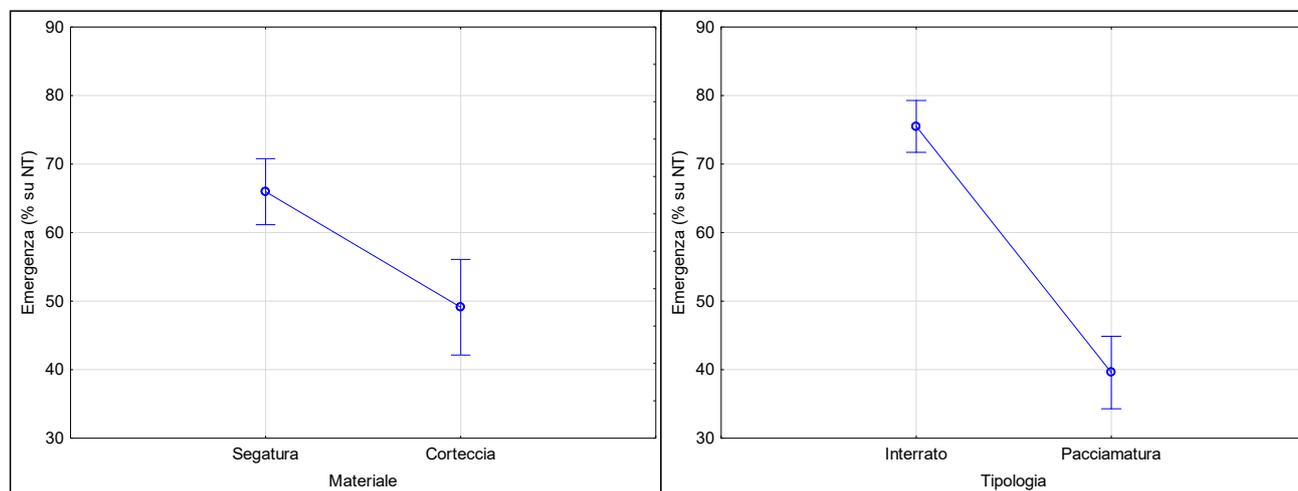


Figura 18: Emergenza finale (espressa in percentuale sul non trattato) di frumento in vasi con segatura o corteccia (a sinistra) e con interramento o pacciamatura (a destra) di sottoprodotti di larice. Le barre verticali indicano +/- errore standard.

4.3.3.2 EFFETTO DEI TRATTAMENTI CON SOTTOPRODOTTI DI *LARIX DECIDUA* SULLE EMERGENZE DI *AMARANTHUS RETROFLEXUS*

L'ANOVA fattoriale per l'AMARE ha evidenziato significatività per tutti i fattori e le interazioni, ad eccezione dell'interazione di primo grado Materiale*Dose (Tab. 10).

In particolare, osservando graficamente l'interazione Materiale*Tipologia*Dose, emerge una netta differenza di inibizione delle emergenze tra la pacciamatura e l'interramento; inoltre, si può osservare un effetto dose-risposta con l'utilizzo di pacciamatura ottenuta con entrambi i materiali, con gli effetti più forti alla D3, con inibizioni delle emergenze oltre il 95% con segatura e di circa il 90% con corteccia, rispetto al NT (Fig. 19). L'interramento, invece, non mostra l'effetto dose-risposta riscontrato con la pacciamatura, anzi, quando è stata utilizzata la segatura come materiale interrato, per le dosi più alte si è notato un effetto di stimolazione delle emergenze, con un picco di circa il 30% di emergenze in più, rispetto al NT, alla D3 (Fig. 19).

Come già riscontrato nella prova Petri, nella quale si era potuto osservare nella specie ABUTH un lieve effetto stimolante sulla lunghezza delle radici causato dagli estratti acquosi di LA_C ed AR_S, alle dosi più basse, così si è visto anche con l'interramento, nella quale si è osservato un effetto stimolante su AMARE, sia con l'interramento di sottoprodotti di abete rosso, in cui è stato evidenziato un 10% in più di emergenze rispetto al NT (Fig. 13), che con l'interramento di segatura di larice, come precedentemente descritto (Fig. 19).

I risultati ottenuti con i sottoprodotti di larice mostrano come, diversamente dalla prova con abete rosso, la selettività non sia evidente visto che sia FRU (Fig. 18) che AMARE (Fig. 19) hanno subito una riduzione delle emergenze in seguito a trattamenti con pacciamatura.

L'efficacia della pacciamatura è stata elevata con entrambi i materiali corteccia e segatura nel contenimento delle emergenze, soprattutto con i sottoprodotti derivati dal larice, con i quali si sono raggiunte le inibizioni di emergenza più elevate, fino al 90% alla D3 per la specie AMARE (Fig. 19).

È stato rilevato anche un effetto dose-risposta, sia nel ritardo delle emergenze, come detto precedentemente (Fig. 14), che nella riduzione delle emergenze, come è possibile, per esempio, osservare nell'effetto della pacciamatura sia con corteccia che con segatura su AMARE (Fig. 19): è evidente come, all'aumentare della dose, aumenti l'inibizione delle emergenze. Risultati simili sono stati ottenuti in un esperimento condotto con corteccia di pino come materiale pacciamante, il quale ha rilevato un numero di individui di *Eclipta alba* inferiore nelle tesi trattate con uno strato di

pacciamatura di 2,54 cm rispetto ad uno strato di 1,27 cm (Cochran et al., 2009). La minor emergenza riscontrata a dosi più alte potrebbe essere spiegata in una maggior difficoltà delle plantule germinate ad uscire dallo strato di pacciamatura, ostacolate dalla barriera fisica che lo strato oppone e nella minor quantità di luce che raggiunge il seme, come suggeriscono Schumann et al. (1995). Inoltre, Altland et al. (2016) sostengono che un aumento dello strato pacciamante comporti una diminuzione della radiazione fotosinteticamente attiva che lo attraversa ed hanno mostrato come la germinazione di *Cardamine flexuosa* sia stata fortemente inibita dalla riduzione del livello di luce. Queste evidenze sperimentali avvalorano, dunque, l'ipotesi che l'inibizione sia causata anche da una riduzione della radiazione luminosa che raggiunge il seme, per cui questo rimane dormiente e non emerge andando a competere con la coltura.

Infine, i risultati ottenuti dalla sperimentazione in vaso indicano che la tipologia del trattamento, interramento o pacciamatura, sia il fattore che più di tutti ha mostrato significatività nel test ANOVA. Questi risultati evidenziano, in particolare, l'inefficacia dell'interramento dei materiali corteccia e segatura nel contenimento delle emergenze, mettendo in luce, invece, la pacciamatura come efficace strategia di controllo.

Tabella 10: ANOVA fattoriale sulla variabile emergenza (% su NT) per la specie *Amaranthus retroflexus* trattato con i 2 materiali, le 2 tipologie e le 3 dosi utilizzando sottoprodotti di larice.

FV	Dev	GdL	Var	F	p-value	
Materiale	951,8	1	951,8	4,45	0,046	*
Tipologia	56280,0	1	56280,0	263,12	0,000	***
Dose	1917,2	2	958,6	4,48	0,022	*
Materiale*Tipologia	1087,6	1	1087,6	5,08	0,034	*
Materiale*Dose	314,6	2	157,3	0,74	0,490	
Tipologia*Dose	6860,6	2	3430,3	16,04	0,000	***
Materiale*Tipologia*Dose	1727,0	2	863,5	4,04	0,031	*
Errore	5133,5	24	213,9			

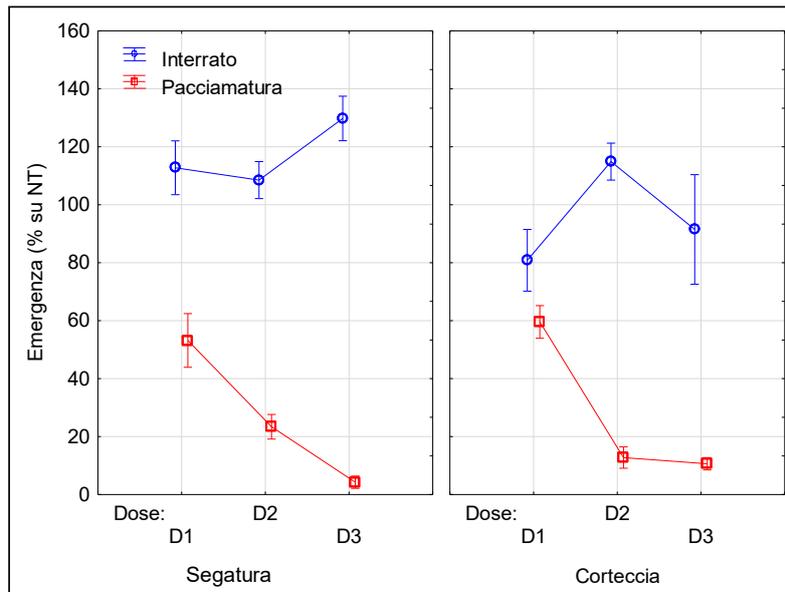


Figura 19: Emergenza finale (espressa in percentuale sul non trattato) di *Amaranthus retroflexus* in vasi con interramento o con pacciamatura di sottoprodotti di larice sottoforma di segatura o corteccia a diverse dosi. Le barre verticali indicano +/- errore standard.

Prove condotte su vasi da vivaio hanno mostrato che sottoprodotti di segheria come la corteccia, il cippato e la segatura, usati come pacciamatura, hanno avuto un buon controllo delle infestanti, riducendo notevolmente il peso fresco di queste, con effetti di contenimento del tutto simili a quelli di un erbicida (Marble et al., 2019; Massa et al., n.d.). Inoltre, una prova condotta con cippato di legno di *Juniperus silicicola* e di *Magnolia grandiflora*, per valutare l'efficacia nel contenimento delle germinazioni di *Amaranthus retroflexus* e di *Digitaria sanguinalis*, ha mostrato che entrambe le pacciamature hanno ridotto le germinazioni delle 2 infestanti, in particolar modo dell'amaranto (Ferguson et al., 2008).

I risultati ottenuti nella prova in vaso esposta in questa tesi hanno confermato le potenzialità della pacciamatura nel controllo delle infestanti, evidenziate anche da molti altri studi presenti in letteratura. Tuttavia, questa pratica ha il limite dei costi più elevati e del maggiore dispendio di tempo rispetto al trattamento chimico (Marble et al., 2019; Massa et al., n.d.).

5. CONCLUSIONE

Negli ultimi decenni non sono state scoperte sostanze attive con nuovi meccanismi d'azione e allo stesso tempo continuano a comparire nuove resistenze a numerosi principi attivi erbicidi. Alcuni prodotti, inoltre, sono stati ritirati dal mercato o sono destinati ad essere sostituiti perché tossici e ambientalmente non sostenibili: di conseguenza, gli agricoltori dispongono di un numero sempre più limitato di prodotti chimici per il controllo delle infestanti.

Le recenti dinamiche a livello comunitario, come l'aumento dell'attenzione in materia di utilizzo ed immissione sul mercato dei prodotti fitosanitari e l'obiettivo di una diffusione su più larga scala dell'agricoltura biologica, rendono necessaria l'individuazione di nuove strategie per la lotta alle piante infestanti. In relazione a ciò, lo sviluppo di nuovi prodotti erbicidi come gli estratti acquosi, nasconde notevoli potenzialità.

L'estrazione acquosa rappresenta una strategia di estrazione di principi attivi che attira notevole interesse poiché i prodotti ottenuti devono sottostare a procedure di approvazione semplificate rispetto a un prodotto di sintesi, comportando una riduzione dei tempi e dei costi per la commercializzazione.

Un ulteriore beneficio degli estratti acquosi è la possibilità di essere distribuiti con attrezzature ampiamente disponibili e conosciute, come un atomizzatore o una barra da diserbo, riducendo i tempi ed i costi di intervento.

Tuttavia, i risultati di questa tesi hanno mostrato la scarsa efficacia degli estratti acquosi ricavati dai sottoprodotti di segheria, corteccia e segatura, nel controllo delle infestanti, sia in pre-emergenza che in post-emergenza. Le prove con gli estratti sono state effettuate in condizioni protette di laboratorio. Probabilmente in condizioni di pieno campo si sarebbero osservati risultati ancora meno soddisfacenti, dato, per esempio, l'effetto tampone del suolo.

Sarebbe, però, interessante valutare in una successiva prova i 4 estratti acquosi, ma più concentrati o applicandoli, in post-emergenza, in più momenti in modo da aumentare i volumi irrorati: questi studi ci permetterebbero di indagare più approfonditamente gli estratti, escludendoli da ulteriori studi nel caso non si riscontrasse, nuovamente, alcun effetto fitotossico significativo.

Inoltre, per quanto riguarda la prove di post-emergenza, si potrebbe indagare l'applicazione di un estratto con caratteristiche più lipofile, come un OE, che essendo in grado di penetrare meglio la foglia, potrebbe aumentare l'effetto fitotossico. Considerando che i sottoprodotti di segheria

utilizzati nell'esperimento derivano da 2 specie, il larice e l'abete rosso, che rientrano nel gruppo delle Gimnosperme, al cui interno vi sono molte specie da cui possono essere estratti OE con proprietà allelopatiche, sarebbe interessante testare a livello fogliare gli OE estratti da segatura e corteccia di larice ed abete rosso in esperimenti successivi.

Per quanto riguarda la prova in vaso, invece, sono stati ottenuti risultati più interessanti di controllo delle infestanti, vista la buona riduzione delle emergenze provocata dalla pacciamatura.

Va chiarito, tuttavia, che l'utilizzo della pacciamatura con sottoprodotti di segheria per il controllo delle infestanti nei seminativi è di difficile realizzazione a causa delle ingenti quantità di materiale da distribuire (la dose di pacciamatura risultata più efficace in questa tesi è di 22500 kg di materiale pacciamante per ettaro). Un'applicazione della pacciamatura potrebbe trovare un maggiore utilizzo in colture orticole, anche a pieno campo e nella vivaistica, per esempio in vaso dove vi è un utilizzo sito-specifico.

Concludendo, l'uso di sottoprodotti di segheria derivati da larice ed abete rosso, utilizzati come pacciamatura o per l'ottenimento di estratti erbicidi, potrebbe essere un interessante metodo di controllo delle infestanti in luoghi in cui vi è abbondanza di questi materiali di scarto, come le aree montane o i Paesi del nord Europa, al fine di valorizzarli, in un'ottica di economia circolare.

Bibliografia

- Adeux, G., Munier-Jolain, N., Meunier, D., Farcy, P., Carlesi, S., Barberi, P., & Cordeau, S. (2019). Diversified grain-based cropping systems provide long-term weed control while limiting herbicide use and yield losses. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(4). <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0587-x>
- Altieri, M. A., & Whitcomb, W. H. (1979). The Potential Use of Weeds in the Manipulation of Beneficial Insects. *HortScience*, 14(1), 12-18. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.14.1.12>
- Altland, J.E., K. Boldt, J., & C. Krause, C. (2016). Rice Hull Mulch Affects Germination of Bittercress and Creeping Woodsorrel in Container Plant Culture. *American Journal of Plant Sciences*, 07(16), 2359–2375. <https://doi.org/10.4236/ajps.2016.716207>
- Benvenuti, S., Cioni, P. L., Flamini, G., & Pardossi, A. (2017). Weeds for weed control: Asteraceae essential oils as natural herbicides. *Weed Research*, 57(5), 342–353. <https://doi.org/10.1111/wre.12266>
- Cavalcanti, R. N., Koshima, C. C., Forster-Carneiro, T., Gomes, M. T. M. S., Rostagno, M. A., Prado, J. M., & Meireles, M. A. A. (2022). Uses and Applications of Extracts from Natural Sources. <http://books.rsc.org/books/edited-volume/chapter-pdf/1670357/bk9781839162640-00001.pdf>
- Chalker-Scott, L. (2007). Impact of mulches on landscape plants and the environment—A review. *Journal of Environmental Horticulture*, 25(4), 239-249. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-25.4.239>
- Chemat, F., Abert-Vian, M., Fabiano-Tixier, A. S., Strube, J., Uhlenbrock, L., Gunjevic, V., & Cravotto, G. (2019). Green extraction of natural products. Origins, current status, and future challenges. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 118, 248-263. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.05.037>
- Cochran, D. R., Gilliam, C. H., Eakes, D. J., Wehtje, G. R., Knight, P. R., & Olive, J. (2009). Mulch depth affects weed germination. *Journal of Environmental Horticulture*, 27(2), 85-90. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-27.2.85>
- Coleman, G. R., Stead, A., Rigter, M. P., Xu, Z., Johnson, D., Brooker, G. M., Sukkarieh, S., & Walsh, M. J. (2019). Using energy requirements to compare the suitability of alternative methods for broadcast and site-specific weed control. *Weed Technology*, 33(4), 633-650. <https://doi.org/10.1017/wet.2019.32>
- da Silva, J. A. T., Karimi, J., Mohsenzadeh, S., & Dobranszki, J. (2015). Allelopathic Potential of Select Gymnospermous Trees. *Journal of Forest and Environmental Science*, 31(2), 109–118. <https://doi.org/10.7747/jfes.2015.31.2.109>
- Dayan, F. E. (2019). Current status and future prospects in herbicide discovery. *Plants*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/plants8090341>
- Dayan, F. E., Cantrell, C. L., & Duke, S. O. (2009). Natural products in crop protection. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 17(12), 4022–4034. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2009.01.046>
- De Cauwer, B., De Cuypere, T., De Ryck, S., Delanote, L., DeWaele, K., Willekens, K., & Reheul, D. (2019). Reduction in field emergence and seedbank density of *Galinsoga quadriradiata* and other weeds after contrasting false seedbed strategies in organic vegetable fields. *Weed Research*, 59(4), 265–278. <https://doi.org/10.1111/wre.12363>

- Ervin, D. E., Breshears, E. H., Frisvold, G. B., Hurley, T., Dentzman, K. E., Gunsolus, J. L., Jussaume, R. A., Owen, M. D. K., Norsworthy, J. K., Al Mamun, M. M., & Everman, W. (2019). Farmer Attitudes Toward Cooperative Approaches to Herbicide Resistance Management: A Common Pool Ecosystem Service Challenge. *Ecological Economics*, *157*, 237–245. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.11.023>
- Ferguson, J., Rathinasabapathi, B., & Warren, C. (2008). Southern redcedar and southern magnolia wood chip mulches for weed suppression in containerized woody ornamentals. *HortTechnology*, *18*(2), 266-270. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.18.2.266>
- Gabaston, J., Richard, T., Biais, B., Waffo-Teguo, P., Pedrot, E., Jourdes, M., Corio-Costet, M. F., & Mérillon, J. M. (2017). Stilbenes from common spruce (*Picea abies*) bark as natural antifungal agent against downy mildew (*Plasmopara viticola*). *Industrial Crops and Products*, *103*, 267–273. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.009>
- Garzoli, S., Vaglia, V., Iriti, M., & Vitalini, S. (2023). Vapor and Liquid Phase Profiles of Essential Oils from *Abies*, *Picea* and *Pinus* Species and Their Phytotoxic Interactions with Weed Growth in Pre- and Post-Emergence Conditions. *Plants*, *12*(5). <https://doi.org/10.3390/plants12051172>
- Gupta, P. K. (2022). Herbicides and fungicides. In *Reproductive and Developmental Toxicology* (pp. 665–689). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89773-0.00035-7>
- Haapala, T., Palonen, P., Korpela, A., & Ahokas, J. (2014). Feasibility of paper mulches in crop production—a review. *Agricultural and food science*, *23*(1), 60-79. <https://doi.org/10.23986/afsci.8542>
- Hamill, A. S., Holt, J. S., & Mallory-Smith, C. A. (2004). Contributions of weed science to Weed Control and Management. *Weed Technology*, *18*(sp1), 1563-1565. [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2004\)018\[1563:COWSTW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2004)018[1563:COWSTW]2.0.CO;2)
- Hansen, P. K., Kristensen, K., & Willas, J. (2008). A weed suppressive index for spring barley (*Hordeum vulgare*) varieties. *Weed Research*, *48*(3), 225–236. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2008.00620.x>
- Harker, K. N., & O'Donovan, J. T. (2013). Recent weed control, weed management, and integrated weed management. *Weed Technology*, *27*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1614/wt-d-12-00109.1>
- Hodge, S., Merfield, C. N., Bluon, A., Berry, N. A., & O'Connell, D. M. (2019). The potential of culinary vegetable oils as herbicides in organic farming: the effect of oil type and repeated applications on plant growth. *Organic Agriculture*, *9*(1), 41–51. <https://doi.org/10.1007/s13165-018-0208-z>
- Ibáñez, M. D., & Blázquez, M. A. (2020). Phytotoxic effects of commercial essential oils on selected vegetable crops: Cucumber and tomato. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, *15*. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2019.100209>
- Iqbal, R., Raza, M. A. S., Valipour, M., Saleem, M. F., Zaheer, M. S., Ahmad, S., Toleikiene, M., Haider, I., Aslam, M. U., & Nazar, M. A. (2020). Potential agricultural and environmental benefits of mulches—a review. *Bulletin of the National Research Centre*, *44*(1). <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00290-3>
- Ismail, A., Hamrouni, L., Hanana, M., & Jamoussi, B. (2013). Review on the phytotoxic effects of essential oils and their individual components: News approach for weed management. In *Article in International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology*. <https://www.researchgate.net/publication/235408958>

- Kouwenhoven, J. K., Perdok, U. D., Boer, J., & Oomen, G. J. M. (2002). Soil management by shallow mouldboard ploughing in The Netherlands. *Soil and Tillage research*, 65(2), 125-139. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00271-9](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00271-9)
- Kürsten, E., & Militz, H. (2004). Possibilities for the use of the different types of wood residues as raw material. In *Proc. Eur. COST E31 Conf. Manag. Recover. Wood Recycl. Bioenergy Options, Thessaloniki, Greece*.
- Lenka, N. K., Satapathy, K. K., Lal, R., Singh, R. K., Singh, N. A. K., Agrawal, P. K., Choudhury, P., & Rathore, A. (2017). Weed strip management for minimizing soil erosion and enhancing productivity in the sloping lands of north-eastern India. *Soil and Tillage Research*, 170, 104–113. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2017.03.012>
- Liebman, M., Mohler, C. L., & Staver, C. P. (2001). Ecological management of agricultural weeds. *Cambridge university press*.
- Loddo, D., McElroy, J. S., & Giannini, V. (2021). Problems and perspectives in weed management. *Italian Journal of Agronomy*, 16(4). <https://doi.org/10.4081/ija.2021.1854>
- Macías, F. A., Mejías, F. J., & Molinillo, J. M. (2019). Recent advances in allelopathy for weed control: From knowledge to applications. *Pest management science*, 75(9), 2413-2436. <https://doi.org/10.1002/ps.5355>
- Mahdavia, F., & Saharkhiz, M. J. (2015). Phytotoxic activity of essential oil and water extract of peppermint (*Mentha × piperita* L. CV. Mitcham). *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2(4), 146–153. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.09.003>
- Marble, S. C., Steed, S. T., Saha, D., & Khamare, Y. (2019). On-farm evaluations of wood-derived, waste paper, and plastic mulch materials for weed control in Florida container nurseries. *HortTechnology*, 29(6), 866–873. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04437-19>
- Massa, D., Antonetti, M., Cacini, S., & Burchi, G. (n.d.). *3S-Econursery fase 3. Contenimento delle erbe infestanti nelle colture in vaso*.
- Mehdizadeh, M., Mushtaq, W., Siddiqui, S. A., Ayadi, S., Kaur, P., Yeboah, S., Mazraedoost, S., K.A.AL-Taey, D., & Tampubolon, K. (2021). Herbicide residues in agroecosystems: Fate, detection, and effect on non-target plants. *Reviews in Agricultural Science*, 9, 157-167.
- Noda, Y., & Mori, A. (2007). Antioxidant activities of uyaku (*Lindera strychnifolia*) leaf extract: A natural extract used in traditional medicine. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 41(2), 139-145. <https://doi.org/10.3164/jcbrn.2007019>
- Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31-43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>
- Pavela, R., Maggi, F., Mazzara, E., Torresi, J., Cianfaglione, K., Benelli, G., & Canale, A. (2021). Prolonged sublethal effects of essential oils from non-wood parts of nine conifers on key insect pests and vectors. *Industrial Crops and Products*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113590>
- Qasem, J. R. (2011). Herbicides applications: problems and considerations. *Herbicides and environment*. IntechOpen
- Riemens, M., Sønderkov, M., Moonen, A. C., Storkey, J., & Kudsk, P. (2022). An Integrated Weed Management framework: A pan-European perspective. *European Journal of Agronomy*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126443>

- Saha, D., Marble, S. C., & Pearson, B. J. (2018). Allelopathic effects of common landscape and nursery mulch materials on weed control. *Frontiers in plant science*, *9*, 733. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00733>
- Salisbury, E.J. (1942). The Weed Problem. *Nature*, *149*, 594-597. <https://doi.org/10.1038/149594a0>
- Schieferstein, R. H., & Loomis, W. E. (1956). Wax Deposits on Leaf Surfaces. *Plant physiology*, *31*(3), 240–247. <https://doi.org/10.1104/pp.31.3.240>
- Schipanski, M. E., Barbercheck, M., Douglas, M. R., Finney, D. M., Haider, K., Kaye, J. P., Kemanian, A. R., Mortensen, D. A., Ryan, M. R., Tooker, J., & White, C. (2014). A framework for evaluating ecosystem services provided by cover crops in agroecosystems. *Agricultural Systems*, *125*, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.11.004>
- Schumann, A.W., Little, K.M., & Eccles, N. S. (1995). Suppression of seed germination and early seedling growth by plantation harvest residues. *South African Journal of Plant and Soil*, *12*(4), 170-174.
- Singh, H. P., Kohli, R. K., Batish, D. R., & Kaushal, P. S. (1999). Allelopathy of gymnospermous trees. *Journal of Forest Research*, *4*, 245-254. <https://doi.org/10.1007/BF02762256>
- Sut, S., Baldan, V., Faggian, M., Ferrarese, I., Maccari, E., Teobaldo, E., De Zordi, N., Bertoni, P., Peron, G., & Dall'acqua, S. (2021). The bark of *Picea abies* L., a waste from sawmill, as a source of valuable compounds: Phytochemical investigations and isolation of a novel pimarane and a stilbene derivative. *Plants*, *10*(10). <https://doi.org/10.3390/plants10102106>
- Vitalini, S., Iriti, M., Vaglia, V., & Garzoli, S. (2022). Chemical Investigation and Dose-Response Phytotoxic Effect of Essential Oils from Two Gymnosperm Species (*Juniperus communis* var. *saxatilis* Pall. and *Larix decidua* Mill.). *Plants*, *11*(11). <https://doi.org/10.3390/plants11111510>
- Vitalini, S., Orlando, F., Palmioli, A., Alali, S., Airoidi, C., De Noni, I., Vaglia, V., Bocchi, S., & Iriti, M. (2020). Different phytotoxic effect of *Lolium multiflorum* Lam. leaves against *Echinochloa oryzoides* (Ard.) Fritsch and *Oriza sativa* L. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09573-8>
- Vizantinopoulos, S., & Lolos, P. (1994). Persistence and Leaching of the Herbicide Imazapyr in Soil. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, *52*, 404-410. <https://doi.org/10.1007/BF00197829>
- Wan, M., Lähtinen, K., Toppinen, A., & Toivio, M. (2012). Opportunities and Challenges in the Emerging Bioenergy Business: The Case of the Finnish Sawmill Industry. *International Journal of Forest Engineering*, *23*(2), 89–101. <https://doi.org/10.1080/14942119.2012.10739965>
- Zoschke, A., & Quadranti, M. (2002). Integrated weed management: Quo vadis?. *Weed Biology and Management*, *2*(1), 1-10. <https://doi.org/10.1046/j.1445-6664.2002.00039.x>

Sitografia

- Commissione Europea, 2020: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0381>
- Decreto Legislativo 150/2012, 2012: https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/normativa/dlgs_14_08_2012_150.pdf
- Decreto Legislativo 152/2006, 2006: <https://www.isprambiente.gov.it/files/sostanze-pericolose/d.-lgs-152-2006.pdf>
- Direttiva 2009/128/CE, 2009: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:309:0071:0086:it:PDF>
- Regolamento (CE) n. 1107/2009, 2009: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R1107>
- Pagina web, 2023: <https://sahateollisuuskirja.fi/en/>

Appendice

TABELLE PROVA DI POST-EMERGENZA CON AEROGRAFO

Tabella 11: ANOVA fattoriale (Specie*Estratto) per le specie *Abutilon theophrasti*, *Lolium rigidum*, *Setaria pumila* e *Solanum nigrum*, per gli estratti di segatura e corteccia di larice ed abete rosso.

FV	Dev	GdL	Var	F	p-value	
Specie	4557,772	3	1519,257	2,439	0,068	ns
Estratto	11014,57	4	2753,643	4,42	0,002	**
Specie * Estratto	6270,95	12	522,579	0,839	0,611	ns
Residuo	72266,76	116	622,989			

Tabella 12: Test di Tukey per il confronto tra le medie dei vari estratti e del non trattato.

estratto	estratto	Differenza media	Lower	Upper	SE	t	p tukey	
AR_C	AR_S	-4,495	-24,462	15,472	7,205	-0,624	0,971	
	LA_C	-3,134	-23,101	16,833	7,205	-0,435	0,992	
	LA_S	-23,735	-43,702	-3,768	7,205	-3,294	0,011	*
	NT	-17,576	-35,435	0,283	6,445	-2,727	0,056	
AR_S	LA_C	1,361	-18,606	21,327	7,205	0,189	1	
	LA_S	-19,24	-39,207	0,727	7,205	-2,67	0,065	
	NT	-13,081	-30,94	4,778	6,445	-2,03	0,258	
LA_C	LA_S	-20,6	-40,567	-0,634	7,205	-2,859	0,04	*
	NT	-14,442	-32,301	3,417	6,445	-2,241	0,172	
LA_S	NT	6,158	-11,7	24,017	6,445	0,956	0,874	

Tabella 13: ANOVA ad una via (estratto) per le specie *Abutilon theophrasti*, *Lolium rigidum*, *Setaria pumila* e *Solanum nigrum*, per gli estratti di segatura e corteccia di larice ed abete rosso.

specie	FV	Dev	GdL	Var	F	p-value	
ABUTH	Estratto	2861,776	4	715,444	0,741	0,572	ns
ABUTH	Residuo	27989,61	29	965,159			
LOLRI	Estratto	2818,93	4	704,732	1,831	0,15	ns
LOLRI	Residuo	11162,96	29	384,93			
SETPU	Estratto	1585,702	4	396,425	0,934	0,458	ns
SETPU	Residuo	12308,43	29	424,429			
SOLNI	Estratto	10019,11	4	2504,778	3,491	0,019	*
SOLNI	Residuo	20805,76	29	717,44			

Tabella 14: Test di Tukey per il confronto tra le medie dei vari estratti e del non trattato di *Solanum nigrum*

estratto	estratto	Differenza media	Lower	Upper	SE	t	p tukey	
AR_C	AR_S	14,518	-30,434	59,47	15,464	0,939	0,879	ns
	LA_C	12,674	-32,278	57,626	15,464	0,82	0,922	ns
	LA_S	-26,496	-71,448	18,457	15,464	-1,713	0,442	ns
	NT	-22,344	-62,55	17,862	13,832	-1,615	0,5	ns
AR_S	LA_C	-1,844	-46,796	43,108	15,464	-0,119	1	ns
	LA_S	-41,014	-85,966	3,938	15,464	-2,652	0,087	ns
	NT	-36,862	-77,069	3,344	13,832	-2,665	0,084	ns
LA_C	LA_S	-39,169	-84,122	5,783	15,464	-2,533	0,111	ns
	NT	-35,018	-75,224	5,188	13,832	-2,532	0,111	ns
LA_S	NT	4,151	-36,055	44,358	13,832	0,3	0,998	ns

TABELLE PROVA PETRI

Allegato 1: Germinazioni delle 4 specie: test di significatività t di Student

Tabella 15: Germinazione *Abutilon theophrasti*: t di Student per gli estratti di segatura e corteccia di larice ed abete rosso alle diverse concentrazioni

specie	Conifera	estratto	dose	germinazione (%)	St. error	T Test
ABUTH		NT	0	89,2	2,47	
ABUTH	LARICE	S	2,5	90,8	1,54	
ABUTH	LARICE	S	5	84,2	2,39	
ABUTH	LARICE	S	10	85,0	2,24	
ABUTH	LARICE	S	20	86,7	2,79	
ABUTH	LARICE	S	40	86,7	2,11	
ABUTH	LARICE	S	100	85,0	4,65	
ABUTH	LARICE	C	2,5	80,8	3,96	
ABUTH	LARICE	C	5	87,5	4,96	
ABUTH	LARICE	C	10	85,8	2,71	
ABUTH	LARICE	C	20	88,3	2,79	
ABUTH	LARICE	C	40	89,2	1,54	
ABUTH	LARICE	C	100	80,8	13,41	
ABUTH	ABETE	S	2,5	87,5	2,14	
ABUTH	ABETE	S	5	86,7	2,47	
ABUTH	ABETE	S	10	82,5	4,61	
ABUTH	ABETE	S	20	86,7	2,79	
ABUTH	ABETE	S	40	85,8	3,27	
ABUTH	ABETE	S	100	86,7	2,47	

ABUTH	ABETE	C	2,5	90,8	2,71	
ABUTH	ABETE	C	5	91,7	3,07	
ABUTH	ABETE	C	10	88,3	3,07	
ABUTH	ABETE	C	20	90,0	2,58	
ABUTH	ABETE	C	40	85,0	2,89	
ABUTH	ABETE	C	100	89,2	13,93	

Tabella 16: Germinazione *Lolium rigidum*: t di Student per gli estratti di segatura e corteccia di larice ed abete rosso alle diverse concentrazioni

specie	Conifera	estratto	dose	germinazione (%)	St. error	T Test
LOLRI		NT	0	97,9	1,00	
LOLRI	LARICE	S	2,5	99,2	0,83	
LOLRI	LARICE	S	5	100,0	0,00	
LOLRI	LARICE	S	10	96,7	1,67	
LOLRI	LARICE	S	20	99,2	0,83	
LOLRI	LARICE	S	40	100,0	0,00	
LOLRI	LARICE	S	100	99,2	0,83	
LOLRI	LARICE	C	2,5	100,0	0,00	
LOLRI	LARICE	C	5	95,0	1,83	
LOLRI	LARICE	C	10	96,7	2,47	
LOLRI	LARICE	C	20	95,0	1,29	
LOLRI	LARICE	C	40	97,5	1,12	
LOLRI	LARICE	C	100	94,2	14,74	
LOLRI	ABETE	S	2,5	97,1	1,00	
LOLRI	ABETE	S	5	100,0	0,00	
LOLRI	ABETE	S	10	99,2	0,83	
LOLRI	ABETE	S	20	98,3	1,67	
LOLRI	ABETE	S	40	99,2	0,83	
LOLRI	ABETE	S	100	96,7	1,05	
LOLRI	ABETE	C	2,5	100,0	0,00	
LOLRI	ABETE	C	5	96,7	1,05	
LOLRI	ABETE	C	10	97,5	1,12	
LOLRI	ABETE	C	20	99,2	0,83	
LOLRI	ABETE	C	40	96,7	1,05	
LOLRI	ABETE	C	100	92,5	14,55	

Tabella 17: Germinazione *Sinapsis alba*: t di Student per gli estratti di segatura e corteccia di larice ed abete rosso alle diverse concentrazioni

specie	Conifera	estratto	dose	germinazione (%)	St. error	T Test
SENAPE		NT	0	98,3	0,83	
SENAPE	LARICE	S	2,5	91,7	2,79	
SENAPE	LARICE	S	5	95,8	2,39	
SENAPE	LARICE	S	10	96,7	1,12	
SENAPE	LARICE	S	20	92,5	2,14	*

SENAPE	LARICE	S	40	95,8	2,01	
SENAPE	LARICE	S	100	90,8	2,71	*
SENAPE	LARICE	C	2,5	95,0	1,83	
SENAPE	LARICE	C	5	94,2	2,01	
SENAPE	LARICE	C	10	94,0	2,45	
SENAPE	LARICE	C	20	95,0	2,24	
SENAPE	LARICE	C	40	91,7	2,11	*
SENAPE	LARICE	C	100	89,2	14,08	*
SENAPE	ABETE	S	2,5	96,7	1,67	
SENAPE	ABETE	S	5	94,2	2,01	
SENAPE	ABETE	S	10	97,5	1,71	
SENAPE	ABETE	S	20	96,7	1,67	
SENAPE	ABETE	S	40	92,5	1,71	*
SENAPE	ABETE	S	100	95,8	1,54	
SENAPE	ABETE	C	2,5	97,5	1,71	
SENAPE	ABETE	C	5	96,7	1,67	
SENAPE	ABETE	C	10	94,2	1,54	*
SENAPE	ABETE	C	20	95,0	1,83	
SENAPE	ABETE	C	40	95,8	0,83	
SENAPE	ABETE	C	100	87,5	13,84	*

Tabella 18: Germinazione *Triticum aestivum*: t di Student per gli estratti di segatura e corteccia di larice ed abete rosso alle diverse concentrazioni

specie	Conifera	estratto	dose	germinazione (%)	St. error	T Test
FRUMENTO		NT	0	98,8	0,85	
FRUMENTO	LARICE	S	2,5	98,3	1,67	
FRUMENTO	LARICE	S	5	100,0	0,00	
FRUMENTO	LARICE	S	10	97,5	1,12	
FRUMENTO	LARICE	S	20	100,0	0,00	
FRUMENTO	LARICE	S	40	96,7	2,47	
FRUMENTO	LARICE	S	100	99,2	0,83	
FRUMENTO	LARICE	C	2,5	97,5	1,71	
FRUMENTO	LARICE	C	5	98,3	1,05	
FRUMENTO	LARICE	C	10	100,0	0,00	
FRUMENTO	LARICE	C	20	97,5	1,12	
FRUMENTO	LARICE	C	40	97,5	1,71	
FRUMENTO	LARICE	C	100	97,5	1,12	
FRUMENTO	ABETE	S	2,5	95,8	2,01	
FRUMENTO	ABETE	S	5	97,5	1,71	
FRUMENTO	ABETE	S	10	98,3	1,05	
FRUMENTO	ABETE	S	20	97,5	1,71	
FRUMENTO	ABETE	S	40	96,7	2,47	
FRUMENTO	ABETE	S	100	99,2	0,83	
FRUMENTO	ABETE	C	2,5	96,7	1,05	
FRUMENTO	ABETE	C	5	95,8	0,83	*

FRUMENTO	ABETE	C	10	96,7	2,47	
FRUMENTO	ABETE	C	20	96,7	1,05	
FRUMENTO	ABETE	C	40	96,7	1,67	
FRUMENTO	ABETE	C	100	94,2	1,54	*

Allegato 2: Lunghezza radicale delle 4 specie: test di significatività t di Student

Tabella 19: Lunghezza radicale *Abutilon theophrasti*: t di Student per gli estratti di segatura e corteccia di larice ed abete rosso alle diverse concentrazioni

specie	Conifera	estratto	dose	radice (% NT)	St. error	T Test
ABUTH		NT	0	100,0	0,85	
ABUTH	LARICE	S	2,5	91,3	6,70	
ABUTH	LARICE	S	5	102,0	6,05	
ABUTH	LARICE	S	10	98,1	4,44	
ABUTH	LARICE	S	20	98,7	5,05	
ABUTH	LARICE	S	40	94,9	4,26	
ABUTH	LARICE	S	100	78,5	2,11	*
ABUTH	LARICE	C	2,5	113,5	6,16	
ABUTH	LARICE	C	5	112,8	3,21	*
ABUTH	LARICE	C	10	104,7	3,72	
ABUTH	LARICE	C	20	100,4	6,11	
ABUTH	LARICE	C	40	102,3	5,92	
ABUTH	LARICE	C	100	79,0	13,29	*
ABUTH	ABETE	S	2,5	111,8	10,72	
ABUTH	ABETE	S	5	110,5	8,23	
ABUTH	ABETE	S	10	110,5	6,08	
ABUTH	ABETE	S	20	117,9	8,57	
ABUTH	ABETE	S	40	104,5	6,57	
ABUTH	ABETE	S	100	99,2	4,28	
ABUTH	ABETE	C	2,5	100,4	5,73	
ABUTH	ABETE	C	5	106,6	5,88	
ABUTH	ABETE	C	10	98,8	3,88	
ABUTH	ABETE	C	20	84,8	5,11	*
ABUTH	ABETE	C	40	72,7	4,71	*
ABUTH	ABETE	C	100	54,7	8,57	*

Tabella 20: Lunghezza radicale *Lolium rigidum*: t di Student per gli estratti di segatura e corteccia di larice ed abete rosso alle diverse concentrazioni

specie	Conifera	estratto	dose	radice (% NT)	St. error	T Test
LOLRI		NT	0	100,0	2,39	
LOLRI	LARICE	S	2,5	87,3	6,68	

LOLRI	LARICE	S	5	91,9	4,77	
LOLRI	LARICE	S	10	93,3	5,59	
LOLRI	LARICE	S	20	91,2	5,10	
LOLRI	LARICE	S	40	96,5	2,81	
LOLRI	LARICE	S	100	78,9	3,35	*
LOLRI	LARICE	C	2,5	85,8	3,73	*
LOLRI	LARICE	C	5	85,9	3,99	*
LOLRI	LARICE	C	10	92,1	5,26	
LOLRI	LARICE	C	20	95,8	2,85	
LOLRI	LARICE	C	40	71,4	6,32	*
LOLRI	LARICE	C	100	25,8	4,68	*
LOLRI	ABETE	S	2,5	95,7	4,05	
LOLRI	ABETE	S	5	83,8	5,94	*
LOLRI	ABETE	S	10	84,2	4,17	*
LOLRI	ABETE	S	20	92,2	3,19	
LOLRI	ABETE	S	40	87,1	6,10	
LOLRI	ABETE	S	100	94,9	4,52	
LOLRI	ABETE	C	2,5	89,8	4,97	
LOLRI	ABETE	C	5	84,9	4,33	*
LOLRI	ABETE	C	10	85,2	4,29	*
LOLRI	ABETE	C	20	81,7	3,42	*
LOLRI	ABETE	C	40	55,6	7,73	*
LOLRI	ABETE	C	100	31,0	5,47	*

Tabella 21: Lunghezza radicale *Sinapsis alba*: t di Student per gli estratti di segatura e corteccia di larice ed abete rosso alle diverse concentrazioni

specie	Conifera	estratto	dose	radice (% NT)	St. error	T Test
SENAPE		NT	0	100,0	7,19	
SENAPE	LARICE	S	2,5	94,5	5,43	
SENAPE	LARICE	S	5	92,4	4,27	
SENAPE	LARICE	S	10	97,3	3,23	
SENAPE	LARICE	S	20	89,5	3,86	
SENAPE	LARICE	S	40	90,0	5,99	
SENAPE	LARICE	S	100	80,6	9,78	
SENAPE	LARICE	C	2,5	94,2	10,67	
SENAPE	LARICE	C	5	89,0	7,05	
SENAPE	LARICE	C	10	98,1	4,53	
SENAPE	LARICE	C	20	104,9	11,91	
SENAPE	LARICE	C	40	77,4	7,36	*
SENAPE	LARICE	C	100	51,5	9,01	*
SENAPE	ABETE	S	2,5	88,6	4,81	
SENAPE	ABETE	S	5	95,9	5,00	
SENAPE	ABETE	S	10	92,5	3,75	

SENAPE	ABETE	S	20	92,1	6,45	
SENAPE	ABETE	S	40	88,6	4,94	
SENAPE	ABETE	S	100	64,7	4,97	*
SENAPE	ABETE	C	2,5	83,4	10,11	
SENAPE	ABETE	C	5	85,9	4,47	
SENAPE	ABETE	C	10	89,7	7,61	
SENAPE	ABETE	C	20	98,3	3,69	
SENAPE	ABETE	C	40	70,2	4,76	*
SENAPE	ABETE	C	100	43,6	7,43	*

Tabella 22: Lunghezza radicale *Triticum aestivum*: t di Student per gli estratti di segatura e corteccia di larice ed abete rosso alle diverse concentrazioni

specie	Conifera	estratto	dose	radice (% NT)	St. error	T Test
FRUMENTO		NT	0	100,0	2,23	
FRUMENTO	LARICE	S	2,5	95,1	5,66	
FRUMENTO	LARICE	S	5	95,9	1,88	
FRUMENTO	LARICE	S	10	101,9	4,76	
FRUMENTO	LARICE	S	20	95,1	4,42	
FRUMENTO	LARICE	S	40	99,8	5,24	
FRUMENTO	LARICE	S	100	103,8	3,38	
FRUMENTO	LARICE	C	2,5	97,0	4,76	
FRUMENTO	LARICE	C	5	95,7	2,27	
FRUMENTO	LARICE	C	10	89,9	1,35	*
FRUMENTO	LARICE	C	20	91,6	2,82	*
FRUMENTO	LARICE	C	40	68,4	3,98	*
FRUMENTO	LARICE	C	100	45,1	6,27	*
FRUMENTO	ABETE	S	2,5	98,1	3,15	
FRUMENTO	ABETE	S	5	87,8	2,03	*
FRUMENTO	ABETE	S	10	97,0	2,83	
FRUMENTO	ABETE	S	20	88,4	2,45	*
FRUMENTO	ABETE	S	40	90,2	3,13	*
FRUMENTO	ABETE	S	100	86,9	3,78	*
FRUMENTO	ABETE	C	2,5	103,5	3,69	
FRUMENTO	ABETE	C	5	94,6	1,40	
FRUMENTO	ABETE	C	10	89,8	2,40	*
FRUMENTO	ABETE	C	20	83,7	1,82	*
FRUMENTO	ABETE	C	40	74,1	0,92	*
FRUMENTO	ABETE	C	100	58,2	2,53	*

TABELLE PROVA IN VASO

Tabella 23: ANOVA fattoriale sulla variabile emergenza (% su NT) per *Abutilon theophrasti*, *Lolium rigidum*, senape e soia trattati con i 2 materiali, le 2 tipologie e le 3 dosi utilizzando sottoprodotti di abete rosso

specie	FV	Dev	GdL	Var	F	p-value	
ABUTH	Materiale	7,2	1	7,2	0,091	0,765622	
ABUTH	Tipologia	670,4	1	670,4	8,495	0,007595	**
ABUTH	Dose	288,6	2	144,3	1,828	0,182371	
ABUTH	Materiale*Tipologia	0,8	1	0,8	0,010	0,920779	
ABUTH	Materiale*Dose	43,0	2	21,5	0,273	0,763628	
ABUTH	Tipologia*Dose	192,9	2	96,5	1,222	0,312264	
ABUTH	Materiale*Tipologia*Dose	49,4	2	24,7	0,313	0,734096	
ABUTH	Errore	1894,1	24	78,9			
LOLRI	Materiale	207,3	1	207,3	0,816	0,375240	
LOLRI	Tipologia	5331,5	1	5331,5	20,999	0,000120	**
LOLRI	Dose	103,6	2	51,8	0,204	0,816797	
LOLRI	Materiale*Tipologia	39,6	1	39,6	0,156	0,696373	
LOLRI	Materiale*Dose	546,3	2	273,1	1,076	0,356926	
LOLRI	Tipologia*Dose	535,0	2	267,5	1,053	0,364294	
LOLRI	Materiale*Tipologia*Dose	447,9	2	223,9	0,882	0,426958	
LOLRI	Errore	6093,6	24	253,9			
SENAPE	Materiale	333,8	1	333,8	1,4269	0,243947	
SENAPE	Tipologia	16850,0	1	16850,0	72,0356	0,000000	**
SENAPE	Dose	2109,8	2	1054,9	4,5099	0,021739	*
SENAPE	Materiale*Tipologia	674,0	1	674,0	2,8814	0,102539	
SENAPE	Materiale*Dose	1011,5	2	505,7	2,1621	0,136981	
SENAPE	Tipologia*Dose	2146,8	2	1073,4	4,5889	0,020528	*
SENAPE	Materiale*Tipologia*Dose	3067,7	2	1533,8	6,5573	0,005346	**
SENAPE	Errore	5613,9	24	233,9			
SOIA	Materiale	156,2	1	156,2	0,957	0,337592	
SOIA	Tipologia	34,0	1	34,0	0,209	0,652043	
SOIA	Dose	334,7	2	167,4	1,026	0,373791	
SOIA	Materiale*Tipologia	6,2	1	6,2	0,038	0,846494	
SOIA	Materiale*Dose	554,2	2	277,1	1,698	0,204333	
SOIA	Tipologia*Dose	43,1	2	21,5	0,132	0,877047	
SOIA	Materiale*Tipologia*Dose	179,2	2	89,6	0,549	0,584645	
SOIA	Errore	3916,7	24	163,2			

Tabella 24: ANOVA fattoriale sul tempo di raggiungimento del 50% delle emergenze in vaso (t50 espresso in rapporto al t50 del non trattato) per *Abutilon theophrasti*, *Lolium rigidum*, senape e soia trattati con i 2 materiali, le 2 tipologie e le 3 dosi utilizzando sottoprodotti di abete rosso

specie	FV	Dev	GdL	Var	F	p-value	
--------	----	-----	-----	-----	---	---------	--

ABUTH	Materiale	0,03232	1	0,03232	5,859	0,023435	*
ABUTH	Tipologia	0,22158	1	0,22158	40,165	0,000001	**
ABUTH	Dose	0,04098	2	0,02049	3,715	0,039315	*
ABUTH	Materiale*Tipologia	0,00603	1	0,00603	1,093	0,306242	
ABUTH	Materiale*Dose	0,00825	2	0,00413	0,748	0,484090	
ABUTH	Tipologia*Dose	0,03360	2	0,01680	3,046	0,066261	
ABUTH	Materiale*Tipologia*Dose	0,00280	2	0,00140	0,253	0,778263	
ABUTH	Errore	0,13240	24	0,00552			
LOLRI	Materiale	0,00101	1	0,00101	0,109	0,743966	
LOLRI	Tipologia	0,44181	1	0,44181	47,973	0,000000	**
LOLRI	Dose	0,07433	2	0,03717	4,036	0,030838	*
LOLRI	Materiale*Tipologia	0,00012	1	0,00012	0,013	0,911779	
LOLRI	Materiale*Dose	0,01154	2	0,00577	0,627	0,542855	
LOLRI	Tipologia*Dose	0,00925	2	0,00462	0,502	0,611453	
LOLRI	Materiale*Tipologia*Dose	0,03397	2	0,01698	1,844	0,179871	
LOLRI	Errore	0,22103	24	0,00921			
SENAPE	Materiale	0,00011	1	0,00011	0,014	0,906120	
SENAPE	Tipologia	0,75378	1	0,75378	99,594	0,000000	**
SENAPE	Dose	0,21789	2	0,10894	14,394	0,000078	**
SENAPE	Materiale*Tipologia	0,06499	1	0,06499	8,587	0,007318	**
SENAPE	Materiale*Dose	0,03914	2	0,01957	2,586	0,096173	
SENAPE	Tipologia*Dose	0,03531	2	0,01765	2,333	0,118647	
SENAPE	Materiale*Tipologia*Dose	0,02298	2	0,01149	1,518	0,239375	
SENAPE	Errore	0,18164	24	0,00757			
SOIA	Materiale	0,00874	1	0,00874	0,720	0,404435	
SOIA	Tipologia	0,12896	1	0,12896	10,628	0,003320	**
SOIA	Dose	0,07934	2	0,03967	3,269	0,055506	
SOIA	Materiale*Tipologia	0,06536	1	0,06536	5,387	0,029106	*
SOIA	Materiale*Dose	0,11843	2	0,05921	4,880	0,016662	*
SOIA	Tipologia*Dose	0,01511	2	0,00756	0,623	0,544887	
SOIA	Materiale*Tipologia*Dose	0,04171	2	0,02085	1,719	0,200666	
SOIA	Errore	0,29121	24	0,01213			

Tabella 25: ANOVA fattoriale sulla variabile emergenza (% su NT) per *Abutilon theophrasti*, *Lolium rigidum*, senape e soia trattati con i 2 materiali, le 2 tipologie e le 3 dosi utilizzando sottoprodotti di larice

specie	FV	Dev	GdL	Var	F	p-value	
ABUTH	Materiale	808,3	1	808,3	2,9717	0,097591	
ABUTH	Tipologia	10197,0	1	10197,0	37,4876	0,000003	**
ABUTH	Dose	324,9	2	162,4	0,5972	0,558339	
ABUTH	Materiale*Tipologia	1461,9	1	1461,9	5,3746	0,029272	*

ABUTH	Materiale*Dose	417,1	2	208,6	0,7668	0,475550	
ABUTH	Tipologia*Dose	532,5	2	266,2	0,9788	0,390266	
ABUTH	Materiale*Tipologia*Dose	109,6	2	54,8	0,2014	0,818942	
ABUTH	Errore	6528,3	24	272,0			
LOLRI	Materiale	2,1	1	2,1	0,0092	0,924489	
LOLRI	Tipologia	27873,6	1	27873,6	123,8756	0,000000	**
LOLRI	Dose	438,1	2	219,1	0,9736	0,392155	
LOLRI	Materiale*Tipologia	745,2	1	745,2	3,3119	0,081275	
LOLRI	Materiale*Dose	450,0	2	225,0	1,0000	0,382697	
LOLRI	Tipologia*Dose	295,4	2	147,7	0,6565	0,527723	
LOLRI	Materiale*Tipologia*Dose	176,5	2	88,3	0,3923	0,679758	
LOLRI	Errore	5400,3	24	225,0			
SENAPE	Materiale	2451,22	1	2451,22	6,8926	0,014828	*
SENAPE	Tipologia	2751,11	1	2751,11	7,7358	0,010369	*
SENAPE	Dose	505,09	2	252,55	0,7101	0,501618	
SENAPE	Materiale*Tipologia	4123,65	1	4123,65	11,5953	0,002328	**
SENAPE	Materiale*Dose	309,02	2	154,51	0,4345	0,652607	
SENAPE	Tipologia*Dose	346,50	2	173,25	0,4872	0,620312	
SENAPE	Materiale*Tipologia*Dose	1015,47	2	507,74	1,4277	0,259510	
SENAPE	Errore	8535,18	24	355,63			
SOIA	Materiale	11142,0	1	11142,0	26,8512	0,000026	**
SOIA	Tipologia	3,4	1	3,4	0,0083	0,928319	
SOIA	Dose	3888,9	2	1944,4	4,6860	0,019141	*
SOIA	Materiale*Tipologia	771,6	1	771,6	1,8595	0,185337	
SOIA	Materiale*Dose	390,9	2	195,5	0,4711	0,629983	
SOIA	Tipologia*Dose	1323,7	2	661,9	1,5950	0,223670	
SOIA	Materiale*Tipologia*Dose	3230,5	2	1615,2	3,8926	0,034344	*
SOIA	Errore	9958,8	24	415,0			