



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO di AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE  
NATURALI E AMBIENTE

Corso di laurea in SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

Gestione delle piante infestanti attraverso l'uso di estratti  
naturali: situazione attuale e prospettive future

Relatore

Prof.ssa Roberta Masin

Correlatore

Dott. Giacomo Trespidi

Laureando

Giacomo Bonotto

Matricola n. 2007396

ANNO ACCADEMICO 2022/2023



# INDICE

<b>1</b>	<b>Riassunto.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Abstract.....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Le piante infestanti in agricoltura.....</b>	<b>9</b>
3.1	Definizione e classificazione .....	10
3.2	Le malerbe, la principale avversità per la produttività agricola: .....	13
3.2.1	Il danno delle infestanti nelle principali coltivazioni erbacee.....	15
<b>4</b>	<b>La gestione delle piante infestanti tra IWM e controllo biologico.....</b>	<b>19</b>
4.1	Quadro normativo UE sull'utilizzo sostenibile dei prodotti fitosanitari .....	19
4.2	Applicazione dei principi generali della difesa integrata nell'Integrated Weed Management:..	21
4.3	Gli estratti vegetali come erbicidi: analisi dei prodotti esistenti .....	29
<b>5</b>	<b>Sviluppo di erbicidi naturali dai sottoprodotti della filiera del legno – un esempio di sperimentazione .....</b>	<b>35</b>
5.1	Introduzione.....	35
5.1.1	Economia circolare e riutilizzo dei sottoprodotti di segheria.....	35
5.1.2	Il fenomeno dell'allelopatia e i composti allelopatici delle conifere .....	36
5.1.3	Lo sviluppo di agrofarmaci naturali da olii essenziali e estratti acquosi.....	38
5.2	Materiali e Metodi .....	40
5.2.1	La preparazione degli estratti acquosi.....	40
5.2.2	La prova di germinazione in piastra Petri .....	41
5.3	Risultati e Discussioni .....	42
5.3.1	Effetto degli estratti acquosi sulla germinazione delle specie.....	42
5.3.2	Effetto degli estratti acquosi di <i>Picea abies</i> L. sulla lunghezza radicale .....	43
5.3.3	Effetto degli estratti acquosi di <i>Larix decidua</i> Mill. sulla crescita radicale .....	45
5.3.4	Confronto degli estratti acquosi di segatura .....	47
5.3.5	Confronto estratti acquosi di corteccia .....	48
<b>6</b>	<b>Conclusioni .....</b>	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>Bibliografia.....</b>	<b>51</b>
<b>8</b>	<b>Siti web .....</b>	<b>56</b>
<b>9</b>	<b>Appendice .....</b>	<b>57</b>



## 1 Riassunto

Le malerbe rappresentano la principale avversità per il settore agroalimentare, in quanto tra tutti i fattori biotici causano la maggiore perdita di produzione agricola. Negli ultimi anni la loro gestione si pone degli obiettivi tecnici e politici sempre più sfidanti. Dato che l'evoluzione di piante resistenti agli erbicidi e l'introduzione di regolamenti più restrittivi sull'uso dei prodotti fitosanitari determinano la riduzione dei principi attivi disponibili, una sempre maggiore attenzione viene posta nello sviluppo di agrofarmaci e estratti naturali che presentano un profilo ambientale favorevole.

In questa tesi è stata approfondita l'entità del problema e studiato un nuovo approccio sulla gestione delle malerbe, basato sul controllo integrato e sulla ricerca di nuovi bioerbicidi provenienti da estratti vegetali. In particolare è stata posta l'attenzione sugli erbicidi derivati da estratti acquosi e attraverso un esempio di sperimentazione è stato studiato l'effetto erbicida di sottoprodotti di segheria (corteccia e segatura di *Picea abies* L. e *Larix decidua* Mill.) sulla germinazione e crescita radicale di 4 specie vegetali. I risultati hanno mostrato delle differenze di effetto tra le diverse combinazioni specie, concentrazione e tipologia di estratto, ma queste differenze non hanno raggiunto livelli significativi dal punto di vista agronomico.

Le prospettive future richiedono la transizione a un modello di gestione delle infestanti sempre più sostenibile, ma da questa tesi emergono delle difficoltà a trovare attualmente delle alternative al diserbo chimico altrettanto efficaci. Per questo motivo le aziende produttrici di agrofarmaci e gli enti di ricerca dovranno impegnarsi sempre di più nella ricerca e sviluppo di nuove tecniche di diserbo.



## 2 Abstract

Weeds represent the main adversity for the agri-food sector, as they are the greatest cause of yield losses among all biotic factors. In recent years, their management has had to deal with increasingly difficult challenges and goals.

As the evolution of herbicide-resistant plants and the introduction of more restrictive regulations on the sustainable use of pesticides lead to reduction of available active ingredients, more and more attention is being paid to the development of new agrochemicals and natural extracts.

In this thesis, this issue has been further explored and a new approach on weed management has been studied. In particular, the focus has been on herbicides derived from aqueous extracts and, through an experimental example, we assessed the herbicidal effect of sawmill by-product (*Picea abies* L. and *Larix decidua* Mill. Sawdust and bark) on the germination and root growth of 4 plant species.

The results showed differences in effect among different combinations of species, concentrations and types of extracts, but these differences did not reach agronomically significant levels.

Future prospects call for transition to an increasingly sustainable weed management model. However, this thesis shows that finding equally effective alternatives to chemical weed control is currently challenging. For this reason, researchers will have to put more effort into the development of new weed management techniques.





### **3 Le piante infestanti in agricoltura**

Sin dalle origini dell'agricoltura l'uomo spende la maggior parte delle sue energie in operazioni colturali, che mirano a fornire le condizioni ottimali per la crescita di colture di interesse agrario. Essendo le piante infestanti una delle principali avversità, il loro controllo rappresenta da sempre un'operazione fondamentale per garantire la produttività agricola.

Se per migliaia di anni il controllo delle malerbe è stato manuale o meccanico, negli ultimi decenni gli agricoltori si sono abituati a fare affidamento su veloci ed efficaci sostanze attive erbicide di origine sintetica per il controllo delle piante infestanti. Queste sostanze, oggi, rappresentano la spina dorsale del settore agroalimentare, assicurando produzioni di cibo e minimizzando le perdite di resa (Kostina-Bednarz et al., 2023). Tuttavia, l'uso eccessivo di erbicidi chimici di sintesi risulta essere un ostacolo alla produzione sostenibile contribuendo significativamente alla degradazione del suolo e all'inquinamento ambientale. Inoltre, può essere causa di effetti negativi sia su organismi non-target che per la salute dell'uomo (Kostina-Bednarz et al., 2023). In aggiunta a queste problematiche vi sono tre minacce: la prima, l'evoluzione globale della resistenza agli erbicidi che riduce il numero delle sostanze attive disponibili; la seconda, ricerca e sviluppo di nuovi erbicidi hanno subito un forte rallentamento a causa dei regolamenti restrittivi, che richiedono molte risorse di tempo e denaro per poter registrare un nuovo prodotto; la terza, che riguarda il cambiamento dell'opinione pubblica, la quale si vede preoccupata dell'uso che si fa degli erbicidi e che ad esempio, in Europa, ha portato a un inasprimento delle regolamentazioni che riguardano l'uso degli erbicidi rispetto al resto del mondo (Loddo et al., 2021).

Pertanto, la necessità di mantenere gli standard di produzione qualitativi elevati e migliorare la sostenibilità del controllo delle malerbe hanno spinto la

ricerca a sviluppare nuove soluzioni. Vi è un bisogno crescente di erbicidi con profili tossicologici e ambientali più rispettosi. Un'alternativa più in linea alle necessità dell'agricoltura moderna potenzialmente può essere quella dell'uso di sostanze naturali come bioerbicidi, i quali si basano su composti sintetizzati da organismi viventi o da metaboliti secondari prodotti da quest'ultimi.

### **3.1 Definizione e classificazione**

Ogni ricercatore nel campo della malerbologia ha bene in mente il significato del termine malerba, ma della definizione non vi è condivisione tra essi e negli anni è in continuo cambiamento. Nel 1967, la Weed Science Society of America definì malerba come “una pianta che cresce dove non è desiderata”. Nel 1989 la stessa società modificò la definizione in “qualsiasi pianta che è contestabile o interferisce con le attività o il benessere dell'uomo”. Ancora nel 2016 venne modificata come “una malerba è una pianta che causa perdite economiche e provoca danni ecologici, inficiando la salute dell'uomo e degli animali, oppure questa cresce in luoghi in cui non è desiderata” (wssa.net). Il concetto di pianta infestante assume quindi un significato antropocentrico, in quanto sono considerate tali tutte le piante che nascono in luoghi non desiderati e interferiscono con l'attività umana. Se queste, però, nascessero in contesti naturali non antropizzati verrebbero considerate come semplici piante spontanee.

Le malerbe possono essere classificate in diversi modi a seconda degli obiettivi. Di seguito verrà trattata la classificazione biologica, ecologica ed ecofisiologica.

#### **Biologia**

Dal punto di vista biologico le malerbe si suddividono in base al ciclo vitale: annuali, biennali e perenni. Le annuali si sviluppano nell'arco di un anno solare; le biennali, invece, sono chiamate così perché si sviluppano a cavallo di due anni solari, nascono generalmente nella stagione autunno invernale, superano l'inverno allo stadio di rosetta e completano il loro ciclo producendo fiori, frutti e semi nella primavera

successiva; le perenni sono specie che persistono nel terreno per più anni grazie alla presenza di specifici organi.

Un altro metodo per la classificazione delle piante infestanti è quello proposto dall'ecologo danese Raunkiaer. Egli classifica le piante in base al modo in cui esse superano il momento sfavorevole dell'annata (Raunkiaer, 1934). Le forme biologiche presenti per la maggiore in campo malerbologico sono tre: emicriptofite, geofite e terofite.

- Emicriptofite: piante erbacee biennali o perenni che superano la stagione sfavorevole con la gemma posta allo stesso livello del suolo. Particolarmente adatte a superare i periodi avversi con basse temperature, sono le specie più numerose nelle regioni temperate o temperato-freddo umide.
- Geofite: piante erbacee perenni che superano il periodo sfavorevole con gemme portate in organi sotterranei come rizomi, tuberi o bulbi ricchi di acqua e sostanze nutritive. Sempre in tale periodo, inoltre, la parte epigea della pianta degenera e muore, mentre la parte ipogea rimane viva.
- Terofite: piante erbacee annuali che concludono il ciclo vitale rilasciando semi nel terreno. Esse sono in grado di tollerare una elevata disidratazione e presentano sul tegumento inibitori chimici che ne impediscono la germinazione e che vengono dilavati solo con abbondanti precipitazioni. Ben poco resistenti al freddo, sono tipiche delle regioni mediterranee e il loro breve ciclo biologico le rende ottime colonizzatrici anche in ambienti periodicamente disturbati. Proprio per questi adattamenti le terofite presentano numerose forme infestanti ([www.biopills.net](http://www.biopills.net)).

## **Ecologia**

Lo studio dell'ecologia delle piante esamina la relazione tra esse e l'ambiente. Infatti, le piante sono organismi fotosintetici che devono ottenere luce, l'acqua e i nutrienti direttamente dall'ambiente che le circonda. Le dimensioni e la posizione in cui si

possono trovare influenza molto la capacità di trovare queste risorse e per questa ragione le piante hanno sviluppato dei meccanismi di adattamento specifici. Il modello C-S-R di Grime (1977) descrive la relazione tra stress fisiologico e alterazione dell'ambiente con i meccanismi evolutivi delle piante:

- Specie competitive (C): gli ambienti a basso stress e bassa alterazione favoriscono la competizione tra le piante, le quali si adattano a utilizzare gli stessi spazi, quantità di luce, nutrienti e acqua, cercando di massimizzare la crescita.
- Specie stress-tolleranti (S): gli ambienti che presentano alti stress fisiologici e basse alterazioni, come le zone desertiche, ospitano specie stress tolleranti. Queste piante hanno grandi capacità di adattamento e di gestire efficacemente le poche risorse, ma hanno un limitato sviluppo vegetativo.
- Specie ruderali (R): gli ambienti che presentano alterazioni frequenti e basso stress fisiologico ospitano quelle piante che hanno la capacità di disseminare molto velocemente e quindi colonizzare un ambiente in poco tempo (Stella & Bendix, 2019).

Secondo il modello di Grime le infestanti sono in generale piante che hanno una strategia evolutiva intermedia tra i tipi C e R, cioè sono specie competitive-ruderali. Sono piante tipiche degli ambienti agricoli dove la dominanza delle C è attenuata dal disturbo che l'uomo arreca all'ambiente con le pratiche agricole. Via via che il disturbo aumenta sono le specie ruderali che prendono il sopravvento. Dato il loro carattere ruderale le malerbe hanno perciò bisogno di una certa quantità di disturbo per il loro insediamento e sviluppo. Poiché nella realtà agricola non è possibile mantenere un'ambiente totalmente disturbato, le malerbe hanno sviluppato anche caratteristiche di tipo competitivo. Si ritiene che molte delle specie infestanti si siano originariamente evolute come ruderali nell'habitat naturale ed in seguito con l'avvento dell'agricoltura abbiano sviluppato caratteristiche competitive per

adeguarsi a un ambiente dove le piante coltivate tendono a utilizzare gran parte delle risorse disponibili (Catizone & Zanin, 2001).

### **Ecofisiologia**

Suddivisione che si basa sul periodo di emergenza delle malerbe, sia annuali che perenni, da seme e da organi di propagazione vegetativa. Questa caratteristica dipende prevalentemente delle esigenze termiche, tipiche delle specie, che possono essere:

- Indifferenti: possono germinare in tutte le stagioni tranne in inverni molto rigidi.
- Autunnali: devono passare l'inverno allo stadio di rosetta per svernare e soddisfare il fabbisogno di unità di freddo.
- Primaveraili: possiedono semi dormienti che devono soddisfare il fabbisogno di basse temperature (0-5°C) per almeno 4-5 settimane e più di 10°C per poter germinare in primavera, altrimenti entrano in dormienza.
- Estive o pre-estive: sono specie che non esigono vernalizzazione e possono essere sub-termofile o termofile.

### **3.2 Le malerbe, la principale avversità per la produttività agricola:**

Le malerbe influenzano in modo significativamente negativo la produttività delle coltivazioni e il loro controllo rappresenta il fattore che più mette alla prova il settore agroalimentare. Tra tutti i fattori biotici e abiotici che compromettono la produzione, le piante infestanti costituiscono la fetta più grande delle perdite, arrivando a più del 30% sul totale, seguite dagli insetti e altri organismi patogeni, i quali ne determinano il 18% e 16% rispettivamente (Głąb et al., 2017).

Le piante infestanti sono la causa di molteplici danni e questi includono: la competizione, i fenomeni allelopatici e il parassitismo, che rappresentano le

principali voci nella lista delle cause di perdita di resa riconducibili alle malerbe. Oltre ai danni di tipo quantitativo, queste sono responsabili di un peggioramento qualitativo del prodotto, in quanto possono essere fonte di inquinamento alimentare con conseguente aumento dei costi di pulitura e/o cernita del prodotto. Ad esempio se nella granella di frumento sono presenti semi di *Picris hieracioides* o *Thlaspi arvense* la farina assume un sapore amaro inaccettabile (Catizone & Zanin, 2001). Inoltre, alcune specie spontanee se presenti nel foraggio possono causare avvelenamenti più o meno gravi del bestiame, i quali, anche se non letali, provocano riduzione della crescita, peggioramento della qualità del latte e della carne. In alcuni casi, la presenza di specie perenni o resistenti ad alcuni erbicidi, può precludere la possibilità di scegliere una certa coltura. Ad esempio la presenza di forti infestazioni di cuscuto sconsiglia la coltivazione dell'erba medica e il *Solanum nigrum* del pomodoro. Le piante infestanti possono, anche, essere ospiti di parassiti animali e vegetali delle piante coltivate, contribuendo così alla loro diffusione e all'aumento indiretto dei costi di protezione delle colture (Catizone & Zanin, 2001). Infine, le malerbe possono interferire con la gestione dell'acqua. Lungo i canali, fossi e scoline il flusso può essere rallentato anche del 30-40% da infestanti che crescono lungo gli argini ed ancor più da quelle che vivono completamente sommerse. La diminuzione del flusso riduce la possibilità di irrigazione degli appezzamenti più lontani, mentre aumenta l'evaporazione e la probabilità di perdite per infiltrazione (Catizone & Zanin, 2001).

### 3.2.1 Il danno delle infestanti nelle principali coltivazioni erbacee

Secondo i dati riportati dalla Food and Agriculture Organization (FAO) a livello europeo, frumento (*triticum aestivum* L.), barbabietola da zucchero (*Beta vulgaris* L. spp. *vulgaris*) e mais (*Zea mays* L.) rappresentano le colture più coltivate tra il 2010 e il 2021 come si può vedere in Figura 1.

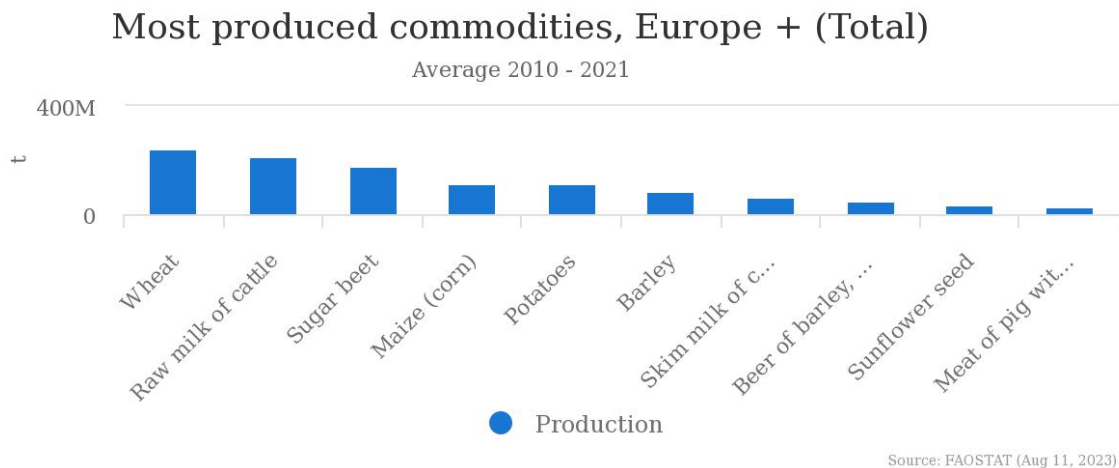


Figura 1- Principali produzioni agricole in Europa (ISTAT 2023)

Il frumento è il cereale più importante a livello globale, cresce in quasi tutti i Paesi e rappresenta la principale risorsa alimentare per miliardi di persone. Nel 2021, la produzione Europea è stata di circa 270 milioni di tonnellate. Il principale produttore è la Russia, seguita da Francia e Ucraina ([www.fao.org](http://www.fao.org)). Per far fronte alla continua crescita della popolazione mondiale è fondamentale continuare a incrementare la produzione. Si stima che le piante infestanti riducano le rese di frumento del 15-30% e che la loro crescita incontrollata potenzialmente potrebbe portare a una perdita del 60% (Kubiak et al., 2022). Uno studio condotto nella Francia occidentale su un campione di 150 campi di frumento invernale, ha dimostrato la presenza di 108 specie di malerbe (con una media di 9.46 specie per appezzamento), dominate da *Fallopia convolvulus* L. A. Love, *Mercurialis annua* L., *Polygonum aviculare* L., *Veronica persica* Poir., *Galium aparine* L. e *Poa* sp (Gaba et al., 2016). Mentre altri autori (Hofmeijer et al., 2021) hanno verificato la presenza di 197 specie di malerbe in 5 stati europei (Danimarca, Finlandia, Germania, Lettonia e Svezia) e, di queste, le

più comuni in 207 appezzamenti di frumento primaverile sono *Stellaria media* L. Cirillo, *Viola arvensis* Murray, *Cirsium arvense* L. Scop., *Tripleurospermum inodorum* L. Sch. Bip. e *Chenopodium album* L.. Questi studi ci permettono di capire quante e quali sono le specie che possono infestare questa coltura, nell'ottica di creare metodi di controllo che si basano sulla conoscenza della biologia, dell'ecologia e ecofisiologia degli organismi da combattere.

La barbabietola da zucchero, invece, è particolarmente suscettibile alle malerbe a foglia larga, in quanto la sua crescita è lenta e gli spazi tra le file sono molto ampi. Ciò permette a questo tipo di malerbe di crescere e con la vegetazione di limitare l'irradiazione solare alle barbabietole. Si stima che la crescita incontrollata e lo sviluppo di queste specie nelle prime otto settimane dopo la semina, oppure nelle quattro settimane dopo aver sviluppato le prime due foglie, possa ridurre la resa del 26-100% (Kubiak et al., 2022). Secondo la FAO a livello europeo nel 2021 sono stati prodotti circa 180 milioni di tonnellate di barbabietole in cui la Russia, di nuovo, ne produce la quantità maggiore, seguita da Germania e Francia. Le principali specie infestanti in Europa sono *Chenopodium album* L., *Amaranthus retroflexus* L., *Galium aparine* L., *Matricaria chamomilla* L., *M. inodora* L., *Stellaria media* (L.) Vill., *Polygonum convolvulus* L. (Petersen, 2004).

La sensibilità della coltura e la diversificazione delle specie infestanti richiedono applicazioni multiple (3-4) di erbicidi selettivi, i quali devono essere distribuiti dopo ogni singola emergenza di malerba per minimizzare le perdite (Gerhards et al., 2017). Infine il mais, anche esso vulnerabile alle piante infestanti a causa della limitata crescita vegetativa nelle prime 4-6 settimane e della scarsa densità di piante per metro quadro (6-7). Nel 2021 la produzione di mais europea ammontava a circa 142 milioni di tonnellate, in cui i tre principali produttori sono in ordine: Ucraina, Russia e Francia. Le piante infestanti, in questo caso, si possono suddividere in più di 50 gruppi tassonomici. Le più importanti tra le malerbe monocotiledoni sono le *Poaceae*, di cui citiamo: *Echinochloa crus-galli* L. Beauv. e la *Setaria viridis* L. Beauv.,



specie ubiquitarie in tutta Europa, *Sorghum halepense* L. Pers. principalmente presente nelle zone centro-meridionali ed infine, *Elymus repens* L. Gould e *Poa annua* L. che si adattano meglio alle zone settentrionali. Per quanto riguarda le malerbe dicotiledoni ci sono *Chenopodium album* L. *Amaranthus* spp. e *Solanum nigrum* L. ed esse rappresentano le principali specie si possono trovare in tutto il territorio europeo (Meissle et al., 2010).



## **4 La gestione delle piante infestanti tra IWM e controllo biologico**

### **4.1 Quadro normativo UE sull'utilizzo sostenibile dei prodotti fitosanitari**

L'Unione Europea sta predisponendo una serie di misure volte a ridurre i rischi per l'ambiente e la salute umana dovuti all'impiego degli agrofarmaci e, più in generale, a promuovere un uso più sostenibile di questi prodotti e a una sensibile riduzione complessiva dei rischi e degli utilizzi senza perdita di efficienza per gli utilizzatori professionali. In particolare, gli interventi proposti riguardano il potenziamento del monitoraggio e della ricerca sui fitosanitari, la formazione e l'informazione degli utilizzatori e misure specifiche sull'uso di queste sostanze ([eur-lex.europa.eu](http://eur-lex.europa.eu)).

Il quadro normativo attuale si basa su due pilastri, ovvero il Regolamento 1107/2009 che riguarda le norme per l'immissione dei prodotti fitosanitari in commercio e la Direttiva 128/2009 che detta le linee guida per l'utilizzo di questi prodotti in modo sostenibile.

I punti chiave del Regolamento 1107/2009 sono:

- la legislazione si applica ai prodotti utilizzati per proteggere o preservare le piante, per influenzarne la crescita, per eliminare le piante indesiderate o per arrestarne lo sviluppo;
- una sostanza attiva, ovvero qualunque sostanza chimica, estratto vegetale o microrganismo che agisca contro i parassiti o sulla pianta, sarà approvata nel caso in cui: i prodotti fitosanitari contenenti la sostanza attiva sono efficaci; non hanno alcun effetto nocivo, immediato o ritardato, sulla salute umana; non hanno alcun effetto inaccettabile sull'ambiente; infine non provocano ai vertebrati da combattere sofferenze e dolore non necessari;
- i residui di questi prodotti non devono avere alcun effetto nocivo sulla salute umana, compresa quella dei gruppi vulnerabili, né alcun effetto inaccettabile sull'ambiente;

- la commissione fornisce la prima approvazione di una sostanza attiva per un periodo non superiore a 10 anni. Il rinnovo dell'approvazione non può superare i 15 anni.

In sintesi, l'obiettivo del regolamento è di rimpiazzare le sostanze attive più tossiche con delle nuove più sicure oppure con metodi di controllo che non richiedono l'uso della chimica. Tuttavia, ciò ha comportato una riduzione significativa della disponibilità di sostanze attive per la protezione delle piante, che si stima essere del 20% solo nel primo anno dopo l'introduzione del regolamento (Food.europa.ec.eu). La direttiva 128/2009, invece, istituisce un quadro per realizzare un uso sostenibile dei prodotti fitosanitari mirando a ridurre i rischi e gli impatti sulla salute umana e sull'ambiente.

L'articolo 4 della direttiva prevede che gli Stati membri adottino piani d'azione nazionali che contengano obiettivi, misure e tempi per: la riduzione dei rischi e degli impatti dell'utilizzo degli agrofarmaci; incoraggiare lo sviluppo; l'introduzione della difesa integrata e di approcci o tecniche alternative al fine di ridurre la dipendenza dall'utilizzo di agrofarmaci. In aggiunta, i piani d'azione nazionali devono comprendere degli indicatori per controllare l'impiego di prodotti fitosanitari contenenti sostanze attive che destano particolare preoccupazione, specialmente se sono disponibili alternative ([www.gazzettaufficiale.it](http://www.gazzettaufficiale.it)). Il piano d'azione nazionale emanato dal decreto legislativo n. 150 del 14 agosto 2012 è scaduto a febbraio 2019 e ad oggi, complice anche la pandemia da covid-19, non c'è ancora un nuovo testo. La norma si spinge oltre, individuando nelle tecniche di difesa a basso impatto ambientale, cioè la difesa integrata e l'agricoltura biologica, i sistemi produttivi da incentivare per ridurre l'impatto dell'uso dei prodotti fitosanitari sulla salute dell'uomo e sull'ambiente.

L'Unione Europea ha intrapreso azioni strategiche per eliminare o ridurre l'impatto negativo che genera l'attività umana sull'ambiente nel lungo periodo. Per superare questa sfida il Green Deal europeo trasformerà l'UE in un'economia moderna,

efficiente sotto il profilo delle risorse e competitiva garantendo, entro il 2025, che non siano più generate emissioni nette di gas serra, che la crescita economica venga dissociata dall'uso di risorse e nessuna persona o nessun luogo sia trascurato. Il raggiungimento di questo ambizioso obiettivo dipenderà dal livello di realizzazione delle strategie applicate in otto aree diverse: l'energia, l'economia circolare, l'industria, l'edilizia, la mobilità, l'alimentazione, la biodiversità e l'inquinamento. Il settore alimentare svolge un ruolo essenziale nei programmi di sviluppo politici e di ricerca (Vanham & Leip, 2020). Gli interventi che riguardano il settore alimentare, nell'ambito dell'EGD, si concentrano principalmente sulle problematiche di produzione di cibo nei terreni agricoli. Entro il 2030 almeno il 25% delle superficie agricola utilizzata (SAU) in Europa dovrebbe essere coltivata in modo biologico (Purnhagen & Wesseler, 2021). Secondo il database dell'Unione Europea la SAU gestita in biologico è aumentata di 6 punti percentuali in 20 anni, ricoprendo il 3% nel 2000 e arrivando al 9,09% sul totale nel 2020 (Eurostat, 2020).

Pertanto l'eliminazione di molti prodotti fitosanitari e l'incremento della SAU gestita in modo biologico determinano la necessità di sviluppare delle alternative sicure, efficienti ed economiche per garantire una produzione alimentare sostenibile. Tuttavia, la ricerca e lo sviluppo di queste alternative sono in ritardo e vanno ampliate (Taning et al., 2021).

#### **4.2 Applicazione dei principi generali della difesa integrata nell'Integrated Weed Management:**

Nell'allegato n°3 della Direttiva 128/2009 vengono enunciati i principi della difesa integrata. Questi calati nell'ambito del controllo delle malerbe costituiscono i sistemi, che internazionalmente vengono chiamati, di Integrated Weed Management. I principi generali della difesa integrata possono essere così riassunti:

1. La prevenzione e soppressione di organismi nocivi dovrebbero essere perseguiti con rotazioni colturali, utilizzo di tecniche colturali adeguate, cv resistenti, gestione

intelligente delle risorse disponibili in senso lato e protezione e accrescimento di organismi utili.

2. Gli organismi nocivi devono essere monitorati con metodi e strumenti adeguati.
3. I risultati del monitoraggio permettono di prendere decisioni ponderate quando si applicano misure fitosanitarie.
4. I metodi di difesa chimica devono essere presi in considerazione per ultimi.
5. Usare agrofarmaci selettivi che combattono gli organismi nocivi senza interferire con il benessere dell'uomo, dell'ambiente e di organismi non bersaglio.
6. L'utilizzatore dovrebbe utilizzare i prodotti fitosanitari ai livelli necessari di dosaggio.
7. Strategie antiresistenza dovrebbero essere messe in atto per mantenere l'efficacia di prodotti.
8. L'utilizzatore deve verificare il grado di successo delle tecniche di difesa impiegate attraverso il monitoraggio e la valutazione (Direttiva 128/2009/CE).

Questi principi rappresentano i paradigmi dell'agricoltura moderna che impone la diminuzione dell'uso degli agrofarmaci, ma dall'altra parte propone metodologie alternative per il controllo degli organismi nocivi. Anche le malerbe non si sottraggono a questa evidenza. Infatti queste possono essere controllate utilizzando grandi quantità di erbicidi, ma se dobbiamo contenere l'uso di questo mezzo, l'unica alternativa è il ricorso a strategie di lungo periodo basate sulla conoscenza della biologia ed ecologia delle piante.

Questo approccio contiene le premesse del sistema integrato di gestione delle malerbe (IWM integrated weed management) teorizzato per la prima volta da Mc Whorther e Shaw nel 1982. Si definisce integrato un sistema che si basa sull'utilizzo di più conoscenze e mezzi, di tipo tecnologico, biologico ed agronomico, in una strategia coordinata di medio-lungo periodo. È l'integrazione di tutto questo bagaglio conoscitivo che consente di attuare con successo una lotta alle malerbe basata su un ricorso limitato e consapevole al mezzo chimico (Catizone & Zanin, 2001)

Semplificando si può dire che l'IWM si compone di due fasi: la gestione delle popolazioni di malerbe e il controllo vero e proprio.

La gestione si compone a sua volta di interventi su:

- popolazioni di malerbe: questi interventi hanno l'obiettivo di mantenere una flora bilanciata, ridurre la competitività e diminuire la banca di semi presente nel terreno
- coltura: selezione di cv e altri accorgimenti possono rendere il campo coltivato il meno adatto possibile alla diffusione delle malerbe, limitando la loro possibilità di accedere alle risorse disponibili (acqua, luce e elementi nutritivi).

## INTERVENTI SULLE POPOLAZIONI DI MALERBE

### 1) Rotazione delle colture.

Il ciclo colturale e le condizioni ambientali determinano le operazioni colturali e il controllo delle malerbe in termini di tempo e mezzi che possono essere utilizzati. Quindi la successione di colture diverse nello stesso appezzamento richiede metodologie differenti per la gestione delle malerbe, ciò determina una minore capacità di competizione sulla coltura di interesse e minori perdite di produzione. La modifica della rotazione colturale è il principale fattore di diversificazione del sistema di coltivazione sia per i seminativi che per le orticole. Mentre le proprietà intrinseche delle diverse colture (es. la capacità competitiva) influenzeranno direttamente le malerbe, l'effetto principale della rotazione delle colture sarà indiretto attraverso cambiamenti nelle pratiche di gestione associate alle diverse colture, come l'epoca e la modalità di semina, la lavorazione del suolo, la fertilizzazione e l'epoca di raccolta. L'avvicendamento colturale può anche aumentare le opzioni per il controllo meccanico delle erbe infestanti e generalmente permette l'utilizzo di erbicidi con modalità d'azione diversa, riducendo la possibilità di insorgenza di resistenze. Inoltre, questo sistema determina un'alterazione continua delle condizioni di crescita delle piante e di conseguenza le malerbe, che prosperano in una coltura, saranno meno

adatte alla successiva. Più le colture in rotazione sono diverse in termini di epoca di semina e raccolta, fenologia, esigenze nutrizionali, tempi e tipo di gestione delle infestanti, meno è probabile che le singole specie di infestanti dominino sulle altre. Secondo i risultati di meta-analisi ottenuti confrontando 54 studi condotti in 6 continenti diversi circa la risposta delle piante infestanti alle rotazioni colturali, si è riscontrato che quest'ultime riducono la densità delle malerbe del 49% (Weisberger et al., 2019).

## 2) Cover crop

Un secondo tipo di diversificazione delle colture è l'inserimento delle cover crop tra due colture da reddito. In questo caso la cover crop fornisce la copertura del suolo in un periodo in cui questo si troverebbe nudo o infestato dalla vegetazione spontanea. Le cover crop possono avvantaggiare la gestione delle infestanti sopprimendone la germinazione nella successiva coltura da reddito (Riemens et al., 2022).

Le condizioni ambientali di ogni luogo determineranno la scelta delle pratiche di gestione delle infestanti. Nelle regioni con abbondanti precipitazioni intorno all'epoca di semina, la tecnica della falsa semina potrebbe non essere possibile, mentre l'uso di una cover crop con proprietà allelopatiche potrebbe aiutare, assieme ad altre tecniche, la gestione delle malerbe. In questo caso le colture di copertura devono essere accuratamente selezionate per evitare effetti allelopatici sulla coltura da reddito.

I risultati di un recente studio hanno dimostrato che la soppressione delle infestanti fornita dalle cover crop varia a seconda della gestione, come la scelta delle specie, la densità e l'epoca di semina, la terminazione, ecc. Tra le specie di cover crop le poaceae hanno una capacità di soppressione maggiore rispetto alle specie a foglia larga sulla base di osservazioni fatte fino a quattro settimane dalla terminazione. La differenza di efficacia potrebbe essere attribuita alla loro persistenza in campo (Osipitan et al., 2019). Inoltre sono stati segnalati casi in cui i residui di cover crop, formate da specie a foglia larga (legumi), stimolano l'emergenza di malerbe a causa



di un aumento della quantità di azoto nel terreno dopo la terminazione. Le analisi hanno dimostrato che le cover crop formate da miscugli di poaceae potrebbero determinare una soppressione delle malerbe fino al 96% rispetto a un controllo in cui non viene fatto nessun intervento (Osipitan et al., 2019).

### 3) Consociazioni

La consociazione è la pratica agronomica di coltivare due o più colture nello stesso appezzamento per almeno una parte del loro periodo di crescita. Questa può coinvolgere più colture da reddito, oppure può consistere in una da reddito e una cover crop, la quale, generalmente, non viene raccolta ma utilizzata come pacciamatura. Quest'ultima è particolarmente efficace per il controllo delle infestanti e, in caso di associazioni cereali con leguminose da foraggio, è stato notato un effetto positivo sul controllo delle malerbe dopo la raccolta della coltura principale (Amossé et al., 2013). Una recente analisi ha confermato il potenziale dell'utilizzo di consociazioni come metodo di gestione delle piante infestanti, in quanto va a ridurre la biomassa di quest'ultime del 58% (Gu et al., 2021).

### 4) Lavorazioni del terreno

La lavorazione primaria è tradizionalmente eseguita a profondità variabile da 15 a 35 cm. L'aratura in particolare è vista come uno dei migliori modi per gestire meccanicamente le malerbe, in quanto seppellisce i semi di quest'ultime a grandi profondità non permettendo loro di germinare. Gli effetti ottimali vengono raggiunti tramite arature a profondità maggiori di 20 cm, soprattutto contro le infestanti perenni (Riemens et al., 2022).

Il tipo di lavorazione influisce sulla distribuzione dei semi di malerbe nei primi strati del suolo: in generale vengono distribuiti in modo più uniforme con l'aratura, mentre restano prevalentemente in superficie dopo le lavorazioni che non rivoltano il terreno, come per esempio l'estirpatura e la dissodatura.

Le lavorazioni secondarie sono più superficiali e vengono eseguite per preparare il letto di semina e incorporare gli ammendanti o i concimi. Quando queste operazioni

sono eseguite vicino all'epoca di semina assumono il compito di controllare le infestanti emerse, ma allo stesso tempo stimolano la germinazione di nuovi semi causando la presenza di molte piante infestanti durante la prima fase di crescita della coltura. Solitamente queste plantule vengono eliminate attraverso l'utilizzo di erbicidi non selettivi ma, se l'obiettivo è ridurre l'uso, il controllo può essere raggiunto anche con lavorazioni meccaniche superficiali o con strumenti non meccanici (es. pirodiserbo). Le lavorazioni del terreno influenzano la composizione e le caratteristiche dell'insieme delle piante infestanti, in quanto quelle tradizionali tendono a inibire la presenza di specie perenni, ad avere una maggiore densità di specie annuali e una minore biodiversità rispetto alla gestione in regime di minima o nessuna lavorazione. Pertanto, il tipo di lavorazione, i tempi e la profondità durante la rotazione delle colture possono essere utilizzati per regolare la densità e la composizione delle comunità infestanti. Tuttavia, le lavorazioni del suolo, utilizzate nell'ottica di ridurre la dipendenza dagli erbicidi, possono entrare in conflitto con altri obiettivi come aumentare la fissazione di carbonio, migliorare la fertilità del suolo e ridurre l'uso di combustibili fossili.

## INTERVENTI SULLA COLTURA

### 1) Selezione delle cultivar

Tra le tecniche colturali che possono essere impiegate nella gestione delle erbe infestanti, la selezione di cultivar competitive è un'opzione interessante, in quanto non comporta spese aggiuntive per l'agricoltore. Queste cultivar sono in grado di ridurre la fitness delle malerbe attraverso la competizione per le risorse, possono produrre essudati chimici che riducono la crescita e diminuire il danno economico resistendo alla perdita di rendimento. Inoltre potrebbero ridurre la presenza di semi delle specie infestanti e contribuire a strategie di gestione a medio-lungo periodo, riducendo la pressione sugli erbicidi e migliorando la sostenibilità dei sistemi di coltivazione. Ad esempio, in Grecia, l'uso di cultivar competitive ha già dimostrato di

consentire una riduzione dell'utilizzo di erbicidi del 50% rispetto al livello massimo permesso (Travlos, 2012).

Si possono definire due aspetti della competitività delle cultivar. Il primo è la capacità della coltura di ridurre la fitness di una pianta concorrente e il secondo è la capacità di tollerare l'influenza di altre piante senza perdere produttività. Questi sono indicati come capacità soppressiva e capacità di tolleranza, in quanto entrambi hanno risultati diversi in termini di gestione delle infestanti. In presenza di una forte cultivar soppressiva, la produzione di semi da parte delle piante infestanti viene inibita. Per contro, tolleranza significa mantenere la resa sotto l'influenza delle piante infestanti, che con il passare del tempo, potrebbero raggiungere livelli che non possono più essere tollerati (Andrew et al., 2015).

## 2) Disponibilità delle risorse

Le piante competono per le risorse che condividono durante le diverse fasi del loro ciclo di vita. La risposta delle specie infestanti alle variazioni del livello dell'acqua disponibile nel suolo e alla presenza di nutrienti è spesso diversa dalla risposta delle piante coltivate. Ciò può essere utilizzato per ottimizzare le condizioni di crescita della coltura attraverso la localizzazione delle risorse nel tempo e nello spazio. In uno studio sulla risposta di 21 specie di piante infestanti, grano e colza alla concimazione azotata, è stato osservato che il frumento era tra le specie meno reattive (Blackshaw et al., 2003). Pertanto l'uso di fertilizzanti inorganici può talvolta ridurre la resa delle colture, se le malerbe ne beneficiano di più, e stimolare la loro capacità infestante (Riemens et al., 2022).

## 3) Pacciamatura

Una metodologia che può sostituire o integrare le operazioni di lavorazioni del terreno è l'utilizzo di pacciamature per la gestione delle infestanti. Si possono utilizzare molti materiali come: paglia, corteccia, segatura, aghi di pino, sabbia, carta cerata e i film plastici. L'efficacia della pacciamatura dipende dalla loro penetrabilità, resilienza alle condizioni atmosferiche e spessore. La maggior parte dei semi delle

piante infestanti germinano ed emergono nei primi 2,5 cm del suolo. La pacciamatura può, quindi, inibire l'emergenza creando uno strato fisico impenetrabile o troppo spesso (Riemens et al., 2022).

Come già detto tutte queste tecniche appena descritte sono strategiche, ovvero orientate a favorire nel medio-lungo periodo la presenza di una flora infestante meno competitiva e più facile da controllare. Come tali, gli interventi strategici sono fondamentali all'interno dell'IWM, anche se è probabile che nel breve periodo l'emergenza delle malerbe sia comunque abbondante e tale da richiedere interventi diretti. In queste situazioni fare monitoraggio delle piante infestanti risulta fondamentale per decidere come, quando e in che modo intervenire.

Durante la stagione e negli anni la valutazione e il monitoraggio sono essenziali per stabilire la strategia ottimale per la gestione delle infestanti e valutare l'efficienza delle tecniche applicate. Gli agricoltori generalmente si affidano all'esperienza per formulare strategie di controllo prima dell'emergenza delle infestanti. Tuttavia, non tutti utilizzano queste conoscenze in modo attivo e strutturato. Il supporto di macchine in grado di visionare e analizzare immagini attraverso l'apprendimento automatico permette all'agricoltore di mappare gli appezzamenti in modo preciso e tempestivo. Queste informazioni se processate da dei DSS (decision support system) possono essere integrate ad altri fattori, come condizioni ambientali, stadio fenologico della coltura, vincoli legislativi, ecc., per proporre dei piani di controllo diretto delle infestanti. I sistemi disponibili sono molto diversi nel loro approccio e obiettivo, alcuni valutano la necessità del diserbo, altri sono volti a ottimizzare la scelta dell'erbicida, la dose, i tempi e le attrezzature da utilizzare. Attualmente nessun DSS propone soluzioni che considerino insieme le rotazioni colturali, la scelta varietale e il controllo diretto meccanico o chimico (Riemens et al., 2022).

L'Unione Europea sottolinea fortemente il concetto di utilizzare i mezzi chimici solo nel momento in cui tutte le altre tecniche non hanno avuto successo e la presenza

dell'organismo nocivo all'interno della coltura supera le soglie economiche di intervento.

Gli erbicidi sono il pilastro del controllo diretto delle infestanti e l'applicazione in pre e post-emergenza è stata la tecnica più usata dalla metà del XX secolo fino ad oggi. Il numero di erbicidi a disposizione degli agricoltori a livello europeo è diminuito e l'uso di alcuni di questi è stato limitato, ad esempio in termini di dosi più basse o di una finestra di applicazione limitata. Questo, in combinazione con il fatto che nessun nuovo meccanismo di azione erbicida è stato commercializzato dagli anni '80 (Duke, 2012), ha stimolato la ricerca a trovare metodi alternativi per il controllo diretto.

I prodotti fitosanitari di origine naturale potrebbero avere un ruolo importante nella difesa integrata, in quanto generalmente questi hanno più meccanismi d'azione, meno richieste per l'autorizzazione all'utilizzo e tempi di carenza ridotti in preraccolta (Villaverde et al., 2014).

#### **4.3 Gli estratti vegetali come erbicidi: analisi dei prodotti esistenti**

I prodotti a base di composti naturali hanno ispirato insetticidi e fungicidi di nuova generazione, mentre per gli erbicidi ciò non è accaduto o solo in parte. Tuttavia, le informazioni sui meccanismi di azione di molte fitotossine naturali indicano che i prodotti di questa natura potrebbero essere la base per nuovi erbicidi (Cordeau et al., 2016).

I bioerbicidi sono costituiti da microrganismi patogeni o da fitotossine derivate da microbi, insetti o estratti vegetali (Hasan et al., 2021). Il primo progetto di bioerbicida riguardava l'applicazione di *Fusarium oxysporum* Schlecht contro *Opuntia ficus-Indica* (L.) Mill (Pacanoski, 2015), mentre nel 1950 la pianta parassita *Cuscuta* spp. è stata controllata con *Alternaria cuscutacidae* Rudakov (Pacanoski, 2015).

Gli estratti vegetali e gli olii essenziali rappresentano le due categorie di bioerbicidi prodotti a partire da piante o parti di esse. Si differenziano in base al metodo di

estrazione che può avvenire attraverso solventi o distillazione. Di particolare interesse sono i composti allelopatici contenuti in questi estratti, in quanto entrando in contatto con un'altra pianta sono in grado di alterare la funzionalità di alcuni enzimi, ormoni e processi metabolici. Ad esempio il sorgoleone è una sostanza allelopatica rilasciata nell'ambiente come essudato radicale dal *Sorghum bicolor*. La sua fitotossicità comporta l'inibizione della fotosintesi e l'interruzione della biosintesi dei carotenoidi con conseguente decolorazione dell'apparato fogliare. Inoltre inibendo l'attività dell'ATP-sintetasi diminuisce l'assorbimento dell'acqua e causa un squilibrio osmotico. Il sorgoleone è risultato essere più efficace contro le malerbe a foglia larga rispetto alle poaceae, ma comunque entrambe si sono dimostrate sensibili alla fitotossicità già a concentrazioni di 10 µM in saggi idroponici (Jesudas et al., 2014).

Gli erbicidi naturali approvati in agricoltura biologica sono principalmente oli essenziali non selettivi ad azione essiccante applicati in post-emergenza. Spesso la loro scarsa efficacia richiede molteplici applicazioni a dosi elevate per ottenere un buon controllo delle infestanti. Una sostanza testata per la sua attività erbicida è l'olio di Manuka, olio essenziale estratto dall'albero *Leptospermum scoparium*. Il meccanismo d'azione si basa sulla presenza di β-trichetone che è in grado di inibire l'enzima 4-idrossifenilpiruvato deossigenasi (4-HPPD). Questo enzima agisce catalizzando la conversione metabolica dell'amminoacido tirosina a plastochinone, un co-fattore dell'enzima fitoene-desaturasi, fondamentale per la biosintesi dei pigmenti carotenoidi. Questo meccanismo d'azione porta al blocco della sintesi dei carotenoidi che si manifesta con sbiancamento e clorosi dei tessuti vegetali per mancanza di clorofilla e conseguente deficit fotosintetico delle essenze infestanti. Di recente sono state scoperte la sua potenzialità in pre-emergenza, a differenza degli altri oli essenziali, e la persistenza nel suolo del Leptospermone (principio attivo dell'olio di Manuka), le quali rendono l'olio di Manuka uno strumento interessante

per la gestione delle infestanti in agricoltura biologica e convenzionale (Dayan et al., 2011).

Le specie di eucalipto (famiglia Myrtaceae) sono note per i loro oli essenziali. Tra queste *Eucalyptus citriodora*, varietà ampiamente coltivata in diverse parti del mondo, viene usata nell'industria del profumo e studiata per le sue proprietà come pesticida. È stato segnalato che gli oli essenziali di eucalipto sono fitotossici in natura in quanto impediscono la germinazione e la crescita delle piante. Questi oli sono composti da una miscela di diversi monoterpeni come il cineolo, il citronellolo e il linalolo i quali sono noti allelochemici (Kohli et al., 1998).

Un'altra importante categoria di sostanze naturali ad uso erbicida, oggetto di molti studi negli ultimi 20 anni, sono gli acidi organici come l'acido acetico e acido pelargonico.

L'acido pelargonico è un acido grasso saturo a 9 atomi di carbonio, isolato per la prima volta dalle foglie di *Pelargonium roseum*. È una sostanza naturale presente in molti organismi vegetali come olio essenziale e degrada velocemente nell'ambiente senza lasciare residui nel suolo e sulle derrate (Fabbri et al., 2018). Si può ottenere a livello industriale dalla demolizione ossidativa dell'acido oleico (es. dall'olio di colza). Usato per la produzione di solventi, lubrificanti, aromi, profumi, ecc., presenta attività erbicida ad azione totale di contatto, una volta distribuito sui tessuti vegetali verdi, si lega alle pareti cellulari, distruggendone la funzionalità e rendendole permeabili, cosicché i tessuti teneri e acquosi si disidratano in brevissimo tempo. Il grado di efficacia viene massimizzato con bassa umidità relativa, elevata luminosità e temperature superiori a 15°C. L'elevata attività di contatto permette di devitalizzare solo le giovani plantule in attiva crescita (fino a circa 10-12 cm di altezza), mentre per quelle più sviluppate, in particolare graminacee e perennanti, si possono originare ricacci dalla base.

In questi ultimi anni è stata effettuata un'attività di sperimentazione per valutare le modalità di impiego e il grado di disseccamento degli steli e delle foglie di patata. Dai

risultati ottenuti dallo studio di (Fabbri et al., 2018), l'acido pelargonico ha mostrato una buona attività dissecante, in particolare quando applicato su varietà precoci, dimostrandosi una buona alternativa da affiancare ai principi attivi già presenti in commercio. Ultimamente un numero crescente di studi si sta concentrando sull'efficacia dell'acido pelargonico sulle piante infestanti (Loddo et al., 2023; Muñoz et al., 2022; Pannacci et al., 2022). Da questi studi emerge che l'effetto dissecante è migliore su piante poco sviluppate, le piante monocotiledoni presentano una minore sensibilità al pelargonico rispetto alle dicotiledoni, l'efficacia dipende dalle condizioni ambientali (caldo e secco riducono gli effetti), l'efficacia dipende molto dalla dose di sostanza attiva applicata e considerato l'alto costo dei prodotti commerciali un'integrazione del pelargonico con altre tecniche di diserbo è attualmente la migliore strategia di gestione delle infestanti con questo principio attivo.

L'acido acetico è un erbicida naturale che agisce per contatto evidenziando effetti "caustici" su tutta la parte aerea della vegetazione intercettata. Sebbene da solo non possa risolvere le problematiche di gestione della vegetazione, per la criticità della resilienza delle perenni, esso ha mostrato delle ottime performances nei confronti delle specie annuali. L'integrazione di interventi meccanici con questo prodotto appare una strategia importante nei casi di sistemi colturali biologici. Tuttavia, anche negli agroecosistemi convenzionali questo prodotto appare importante per alternare l'uso di glifosate, la cui ripetitività nello spazio e nel tempo tende ad evolvere biotipi di malerbe resistenti (Benvenuti & Tardivo, 2018).

La ricerca di nuovi estratti vegetali è fondamentale per fornire agli agricoltori nuove tecniche per affrontare la gestione delle piante infestanti.

È stato dimostrato che gli estratti di piante allelopatiche e gli erbicidi sintetici possono essere utilizzati insieme per ridurre le dosi di sostanze pericolose per l'uomo e l'ambiente. Un esempio di questo approccio è fornito da uno studio che ha utilizzato estratti acquosi di sorgo, girasole, brassica (*Brassica campestris* L.) e gelso con una dose ridotta di atrazina. È stato concluso che una dose di triazina e metà di



questa in combinazione con gli estratti acquosi delle specie citate ha migliorato la riduzione della densità delle infestanti e della biomassa secca, aumentando così la resa dei cereali e il reddito netto (Khan et al., 2012).



## **5 Sviluppo di erbicidi naturali dai sottoprodotti della filiera del legno – un esempio di sperimentazione**

### **5.1 Introduzione**

#### 5.1.1 Economia circolare e riutilizzo dei sottoprodotti di segheria

L'uso delle risorse a livello mondiale è in costante aumento e secondo le stime del Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente l'estrazione delle materie prime ha superato gli 80 miliardi di tonnellate nel 2015. Nel 2011 in Europa il consumo pro-capite delle risorse risultava essere di 16 tonnellate all'anno, di cui 6 venivano sprecate e la metà finivano negli ecocentri. In altri termini i cittadini europei stanno consumando risorse primarie ad una velocità doppia rispetto a quella con cui viene rigenerata (Paquot, 2017).

Una via di sostenibilità promossa a livello globale è l'economia circolare. Questa è stata definita da Kirchherr et al., 2017 come un sistema economico che si basa su modelli di business che sostituiscono il concetto di fine vita con la riduzione, il riutilizzo alternativo, il riciclaggio e il recupero dei materiali nei processi di produzione/distribuzione e consumo. In altre parole, l'obiettivo principale dell'economia circolare è quello di riorganizzare il ciclo di vita del prodotto affinché tutto ciò che è associato alla sua produzione non eserciti alcun impatto negativo sull'ambiente.

Il concetto di economia circolare (CE) può essere esteso anche in ambito agricolo-forestale attraverso la riduzione dell'input di risorse naturali vergini nei sistemi di produzione, la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> e il riutilizzo dei prodotti e dei sottoprodotti della filiera del legno (Lazaridou et al., 2021). Il report annuale dell'European Panel Federation (*European Panel Federation, 2018*) fornisce una valutazione del flusso del legno in Europa, il quale mostra che delle 160 milioni di tonnellate di legno lavorato utilizzate ogni anno, solo 20 milioni (12,5% della massa iniziale) costituiscono prodotti che vengono sfruttati per un periodo di tempo più lungo. Inoltre si stima che 110 milioni di tonnellate della biomassa legnosa (circa il

70%) siano convertite in energia, influenzando negativamente l'ambiente generando micropolveri e contribuendo all'immissione di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera (Fregoso-Madueño et al., 2017; Zbieć et al., 2022). Un utilizzo meno impattante dei sottoprodotti di segheria è dunque auspicabile, anche perché grazie alle loro proprietà sono utili per diversi scopi. Per esempio, sottoprodotti come corteccia e segatura trovano utilizzazione nell'estrazione di zuccheri, fertilizzanti, produzione di pannelli isolanti, utilizzo delle ceneri di combustione come potenziale additivo nelle malte a base di cemento, sviluppo di materiali compositi legno-plastica (Lazaridou et al., 2021) e per l'estrazione di composti antiossidanti (Sut et al., 2021).

In agricoltura materiali dal basso valore economico come ramaglie, cippato, corteccia e segatura hanno del potenziale per la pacciamatura, la concimazione e la gestione di organismi nocivi. In particolare, la pacciamatura con corteccia e segatura appare come un'interessante tecnica di gestione di infestanti. L'azione di controllo si può esplicare sia in modo fisico con un impedimento meccanico e/o di riduzione della luce necessaria alla germinazione sia chimico attraverso il rilascio di composti fitotossici che possono inibire la crescita delle plantule (Iqbal et al., 2020).

### 5.1.2 Il fenomeno dell'allelopatia e i composti allelopatici delle conifere

L'allelopatia è un termine ampio che considera l'insieme delle interazioni tra piante mediante composti chimici prodotti dai loro metabolismi secondari e rilasciati nell'ambiente. Le sostanze allelopatiche sono principalmente metaboliti secondari come i tannini, gli acidi fenolici, le lignine, gli alcaloidi, le cumarine e i flavonoidi. L'allelopatia delle piante si esprime attraverso diversi meccanismi d'azione, basati su attività come la repellenza, l'inibizione della crescita, la denaturazione delle proteine, l'alterazione della respirazione e altri effetti che dipendono dal tipo sostanza chimica e dalla specie di malerba. Il rilascio di sostanze allelopatiche avviene principalmente attraverso la volatilizzazione in condizioni di scarsa umidità, la lisciviazione mediata

dalle precipitazioni o dall'irrigazione e l'essudazione radicale. Il metodo più complesso e meno conosciuto riguarda la composizione di queste sostanze durante la decomposizione dei residui vegetali (Kostina-Bednarz et al., 2023).

Le conifere sono considerate un gruppo di piante molto abili nella sintesi di allelochimici. Le sostanze allelopatiche rilasciate dalla corteccia, dagli aghi, dalla lettiera e dagli essudati radicali persistono nel terreno e possono interferire con la germinazione di nuove piante (Singh et al., 1999). I gruppi di composti chimici responsabili di questo fenomeno sono diversi, per esempio si pensa che nell'abete rosso (*Picea abies* L.) essi siano principalmente fenoli (pirocatecolo, piceolo, l'acido p-idrossibenzoico, l'acido protocatecuico) e tannini (Singh et al., 1999).

Il pino di Aleppo (*Pinus halepensis* Miller) è stato ampiamente studiato per i suoi effetti fitotossici e allelopatici sviluppati da organi vegetali diversi. Negli aghi si trovano vari composti fenolici e terpenici che possono essere autotossici, perché inibiscono la germinazione di semi della specie stessa. Nektarios et al., 2005 hanno valutato il potenziale allelopatico degli aghi verdi, senescenti e in decomposizione di *P. halepensis* su *Festuca Arundinacea* Scherb, *Cynodon dactylon* (L.) Pers e su colture come *Avena sativa* e *Lemna Minor* L. attraverso studi in vivo e in vitro. I risultati confermano la teoria del potenziale allelopatico dei tessuti di pino, in cui gli aghi verdi sono i più efficaci. Questa evidenza risulta molto interessante in quanto la porzione verde di queste piante fa parte degli scarti della filiera del legno, che quindi potrebbero essere riutilizzati per l'estrazione di sostanze naturali.

Node et al., 2003 hanno studiato le pigne di pino rosso giapponese (*Pinus densiflora*), le quali rilasciano delle sostanze allelopatiche che inibiscono la crescita della vegetazione sottostante. Tra queste sostanze è stato isolato acido fenilacetico, del quale si è vista la sua capacità nell'inibire l'allungamento radicale di *Cryptantha crassipes* I.M Johnst a concentrazioni di 30-100 ppm.

Lo studio di Ismail et al., 2014 ha mostrato come l'olio essenziale delle foglie di *Junipersus oxycedrus* L subsp. *Macrocarpa* abbia inibito la germinazione dei semi di tre piante infestanti; *Phalaris paradoxa* L., *Trifolium campestre* e *Lolium rigidum*. L'inibizione della germinazione è arrivata al 76-91% (a seconda della specie) grazie al contatto diretto con la pianta, mentre nel caso della componente volatile l'inibizione è diminuita al 31-62%. Inoltre è stato osservato un'inibizione a livello di crescita radicale e del fusticino.

Questa attività erbicida è stata attribuita agli effetti combinati di 41 costituenti dell'olio essenziale di *J. oxycedrus*, tra cui principalmente  $\alpha$  e  $\beta$ -pinene e z-cariofillene.

### 5.1.3 Lo sviluppo di agrofarmaci naturali da oli essenziali e estratti acquosi

Gli agrofarmaci estratti dai sottoprodotti della filiera del legno possono essere divisi in due gruppi: oli essenziali ed estratti acquosi.

Diverse attività biologiche sono state assegnate agli oli essenziali di conifere come: antibatterici, antifungini, antivirali, allelopatici, insetticidi, ecc. I componenti principali presenti negli oli essenziali sono gli idrocarburi monoterpenici  $\alpha$ -pinene,  $\beta$ -pinene e  $\delta$ -3-carene e la composizione di queste sostanze dipende dalla genetica della specie (Koukos et al., 2001). L'elevata produzione di oli essenziali nella resina delle conifere, come arma di difesa contro attacchi di erbivori e agenti patogeni e come materiale protettivo delle porzioni di legno danneggiato, è considerata una delle ragioni principali del loro successo evolutivo. La loro efficacia insetticida dipende principalmente dal contenuto di composti principali negli oli essenziali, il che è un grande vantaggio in quanto questo carattere è controllato a livello genetico e non ambientale come nelle piante aromatiche. Dal momento che le conifere sono fonti rinnovabili di oli essenziali, altamente disponibili e diffusi, si sono rivelate una risorsa interessante per l'industria agrochimica per la produzione di insetticidi naturali

(Pavela et al., 2021). Inoltre è stata studiata l'attività antifungina della corteccia di abete rosso (*Picea Abies*) contro la peronospora della vite (*Plasmopara viticola*), gli estratti si sono rivelati molto efficaci nell'inibire la mobilità delle zoospore e la crescita del micelio (Gabaston et al., 2017).

Garzoli et al., 2023 hanno studiato il contenuto chimico degli oli essenziali ottenuto dalle foglie di quattro Pinaceae (*Abies alba*, *Picea abies*, *Pinus cembra* e *Pinus mugo*). La fase vapore era caratterizzata dai monoterpeni con valori superiori al 95%, tra questi i più abbondanti sono stati  $\alpha$ -pinene (24,7-48,5%), il limonene (17,2-33,1%) e il  $\beta$ -mircene (9,2-27,8%). Il limonene è stato il componente principale in *A. alba*, *P. abies* e *P. mugo* mentre  $\alpha$ -pinene in *P. cembra*. Inoltre sono state studiate le proprietà fitotossiche di questi estratti e tutti sono risultati significativamente attivi rispetto alle due specie riceventi. Nei test di pre-emergenza, la germinazione di *Lolium multiflorum* e *Sinapis alba* è stata inibita rispettivamente del 62-66% e 65-82% e la crescita fino al 60-74% e 65-67%. In condizioni di post-emergenza alla massima concentrazione questi oli essenziali hanno causato gravi sintomi e, nel caso della *Sinapis alba*, l'*Abies alba* ha completamente distrutto le plantule trattate.

Una metodologia di estrazione di sostanze chimiche alternativa si basa sull'utilizzo dell'acqua come solvente per estrarre componenti idrosolubili. Gli estratti acquosi rappresentano una metodologia di estrazione di sostanze attive molto interessante per affrontare le sfide dell'agricoltura moderna, in quanto non utilizzando solventi sintetici e sfruttando principi attivi prodotti da vegetali non deve sottostare al regolamento 1107/2009 per essere approvato. Inoltre questo tipo di prodotti potrebbero essere utilizzati in agricoltura biologica, ciò permetterebbe di ampliare le modalità di gestione delle malerbe. Molti studi hanno testato la capacità di inibizione degli estratti acquosi sulla germinazione e sviluppo radicale delle principali malerbe e colture, ma ancora nessuno si è concentrato sugli estratti acquosi dei sottoprodotti della filiera del legno.

Per esempio lo studio di Scavo et al., 2018 ha valutato il potenziale allelopatico degli estratti acquosi ottenuti dalle foglie di *Cynara cardunculus* L. sulla germinazione di sei infestanti comuni degli agroecosistemi mediterranei. Gli effetti sono variati in base alla specie e alla concentrazione utilizzata, ma in media hanno ridotto significativamente la germinazione rispetto al controllo di *Amaranthus retroflexus* del 58,1%, *Diplotaxis eruroides* L. 43,9% e *Potulaca oleracea* 42,5%.

Molti studi sugli effetti erbicidi degli estratti acquosi sostengono che l'inibizione della germinazione può essere molto elevata, anche fino a più del 70%, e si riscontra molto spesso anche un'inibizione della crescita radicale (Krstin et al., 2020; Vitalini et al., 2021). Uno studio del 2012 che ha valutato l'efficacia di numerosi estratti acquosi di piante mediterranee, invece, sostiene che in questo tipo di studi la crescita radicale è spesso un parametro più sensibile rispetto alla germinazione. Inoltre, si osserva sempre una risposta molto variabile tra specie testate (Araniti et al., 2012).

## **5.2 Materiali e Metodi**

### **5.2.1 La preparazione degli estratti acquosi**

I materiali per la preparazione degli estratti sono corteccia e segatura di larice (*Larix decidua* Mill.) e abete rosso (*Picea abies* L.) reperiti durante febbraio 2022 presso la segheria Hofer di Valle di Cadore (BL). La corteccia di entrambe le specie è stata dapprima essiccata al buio per un periodo di 30 giorni e successivamente macinata finemente con un mulino elettrico RETSCH sm300. La farina di corteccia ottenuta e la segatura tal quale sono stati posti in sacchetti sottovuoto e conservati al buio fino alla preparazione degli estratti.

La preparazione degli estratti acquosi è in accordo con Vitalini et al. (2021). Acqua distillata è stata aggiunta in rapporto 1:10 rispetto al peso secco di farina di corteccia e segatura di larice e abete rosso. La sospensione è stata posta in un agitatore orbitale per 24 ore in una beuta coperta da carta stagnola per evitare il contatto con



la luce. Al termine dell'agitazione, il contenuto è stato filtrato con doppia garza sterile per rimuovere i grandi residui solidi e centrifugato a 4500 rpm per 30 minuti. Le soluzioni così ottenute sono state conservate in provette Falcon da 50 ml in freezer a -20°C fino al loro utilizzo.

### 5.2.2 La prova di germinazione in piastra Petri

Le specie vegetali per la prova di germinazione sono due infestanti (*Lolium rigidum* Gaudin e *Abutilon theophrasti* Medik) e due colture (frumento tenero *Triticum aestivum* L. e senape bianca *Sinapis alba* L.). I semi di *Lolium rigidum* e *Abutilon theophrasti* sono stati reperiti da piante infestanti nei pressi dell'azienda agricola sperimentale universitaria Lucio Toniolo a Legnaro (PD) e conservati in frigo a 4°C fino al loro utilizzo. I semi di frumento e senape, sono stati forniti dall'azienda sperimentale.

Il test è stato condotto in piastre Petri da 9 cm di diametro coperte da 2 dischi di carta da filtro. Gli estratti 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 (estratto puro). Nelle piastre Petri sono stati seminati 20 semi di *Lolium rigidum*, *Abutilon theophrasti*, *Triticum aestivum* e *Sinapis alba* e sono stati irrorati con 4 ml degli estratti per tutte le concentrazioni ottenute. Per ogni combinazione di specie\*concentrazione dell'estratto sono state preparate 3 repliche (piastre Petr. In questo modo, considerando che le specie testate sono 4, le concentrazioni sono 6 e gli estratti sono 4 sono state predisposte 288 piastre Petri. Infine, per ottenere un riferimento non trattato, 3 Petri con 20 semi per ogni specie sono state irrorate con acqua distillata (0% concentrazione dell'estratto). La prova ha previsto in totale 300 piastre Petri.

Le piastre Petri sono state poste in un germinatoio (KW Apparecchi Scientifici) con cicli di 12h/25°C con luce e 12H/15°C al buio.

Il numero di semi germinati è stato monitorato giornalmente per 7 giorni per le specie *Lolium rigidum*, *Abutilon theophrasti* e senape. Nel caso del frumento, invece, il monitoraggio delle germinazioni giornaliere è durato solo 5 giorni a causa della sua veloce crescita in condizioni di laboratorio.

Il rilievo finale ha incluso anche la misurazione della lunghezza della radichetta e dell'epicotile attraverso l'uso di un foglio con carta millimetrata. Per ogni piastra Petri, le misurazioni sono state effettuate sulle 5 piante che presentavano una crescita rappresentativa rispetto alla totalità dei semi germinati. La prova è stata ripetuta due volte, una nella settimana dal 17 al 24 agosto 2023 e una dal 21 al 28 agosto 2023.

I dati ottenuti sono stati messi in tabella e analizzati attraverso il programma Microsoft Excel. I dati di germinazione sono stati espressi come % dei semi iniziali, mentre la lunghezza della radice delle tesi trattate con gli estratti è stata espressa come % della lunghezza media del non trattato della stessa specie infestante.

I dati delle due ripetizioni dell'esperimento sono stati poi uniti per la successiva analisi statistica dato che non sono emerse differenze significative tra le due ripetizioni. Per ogni tesi è stata quindi calcolata la media delle 6 repliche e il corrispondente errore standard.

Data l'assenza di effetti rilevanti da parte degli estratti testati sulla % di germinazione o lunghezza radicale, non è stato possibile effettuare analisi statistiche complesse per individuare un effetto dose-risposta. Pertanto è stata semplicemente valutata la presenza di differenze significative tra le tesi trattate e quella non trattata di ciascuna infestante mediante il test t di Student ( $p < 0,05$ ).

### **5.3 Risultati e Discussioni**

#### **5.3.1 Effetto degli estratti acquosi sulla germinazione delle specie**

La germinazione delle specie è stata elevata e ha raggiunto in molti casi percentuali tra il 90 e il 100%. In particolare *A. theophrasti* è risultata la specie con la

germinazione media più bassa, attestandosi tra l'80 e il 90% con una media di 86,8%. Nel caso di *L. rigidum*, la germinazione è stata tra il 95 e il 100% con una media del 97,7% in tutti gli estratti testati. Per quanto riguarda la senape e il frumento, invece, la germinazione media è stata rispettivamente del 94,4% e 97,6%.

Per le specie *Abutilon theophrasti* e *Lolium rigidum* gli estratti di corteccia e segatura di larice e abete rosso non hanno avuto effetti sulla percentuale di germinazione dei semi in nessuna delle concentrazioni testate (Vedi Allegato 1 dell'Appendice per la consultazione delle tabelle di significatività del test T di Student).

Per le specie *Triticum aestivum* e *Sinapis alba*, invece, sono state osservate delle differenze significative tra gli estratti alle varie concentrazioni (vedi Allegato 1 dell'Appendice). Queste differenze, però, sono molto ridotte e non sono considerate agronomicamente rilevanti. Infatti si pensa che le differenze statistiche siano dovute alla ridotta variabilità insita nei dati e non a un reale effetto di inibizione della germinazione dovuta agli estratti. Confrontando i nostri risultati con quelli ottenuti da altri studi possiamo affermare che l'effetto degli scarti di segheria sulla germinazione è stato molto blando (Araniti et al., 2012; Vitalini et al., 2021).

### 5.3.2 Effetto degli estratti acquosi di *Picea abies* L. sulla lunghezza radicale

Per quanto riguarda gli estratti acquosi di abete rosso si sono osservati degli effetti sulla crescita radicale di tutte le specie dipendenti sia dal tipo di materiale estratto (corteccia o segatura) sia dalle differenti concentrazioni (Figura 2). Gli estratti di corteccia di abete rosso sono risultati più efficaci nel ridurre la crescita radicale di tutte le specie rispetto agli estratti di segatura. Nel caso degli estratti di corteccia in tutte le specie si è osservato un lieve effetto dose-risposta, in cui la riduzione di crescita radicale più evidente si è manifestata alle concentrazioni di 40 e 100% v/v dell'estratto. La senape bianca e *Lolium rigidum* sono le specie che si sono rivelate più sensibili all'estratto di corteccia puro (100% v/v) mostrando una riduzione di

crescita della radice del 57 e 69% rispettivamente (Vedi Allegato 2 dell'Appendice). In generale l'estratto di segatura di abete rosso non ha generato effetti significativi, ma nel caso dell'*Abutilon theophrasti* ha addirittura stimolato l'allungamento radicale (17% in più rispetto al non trattato) raggiungendo il suo picco alla concentrazione del 20% v/v (Vedi Allegato 2 dell'Appendice).

L'effetto maggiore degli estratti di corteccia è probabilmente dovuto alla maggiore presenza di composti allelopatici, in questo estratto rispetto a quello di segatura. Come sostiene Singh et al. 1999, infatti, l'azione allelopatica dovuta alla lisciviazione di composti della corteccia rappresenta un'importante modalità attraverso la quale le conifere immettono nell'ambiente composti allelopatici come tannini e fenoli, composti solubili in acqua che potrebbero essere responsabili degli effetti osservati. Per verificare la maggiore presenza di molecole allelopatiche negli estratti di corteccia rispetto alla segatura bisognerebbe procedere con le analisi chimiche.

Confrontando i risultati ottenuti con la bibliografia sugli effetti degli estratti acquosi sulla crescita radicale, notiamo che Araniti et al., (2012) è in accordo con il nostro studio poiché egli afferma che la crescita radicale è un parametro più influenzato dalle sostanze allelopatiche rispetto alla germinazione. Inoltre, la riduzione percentuale della crescita radicale è in linea con quella di altri studi (Krstin et al., 2020; Vitalini et al., 2021).

Infine sebbene si siano riscontrate delle differenze di efficacia tra le varie concentrazioni e estratti, queste non possono essere considerate significative dal punto di vista agronomico.

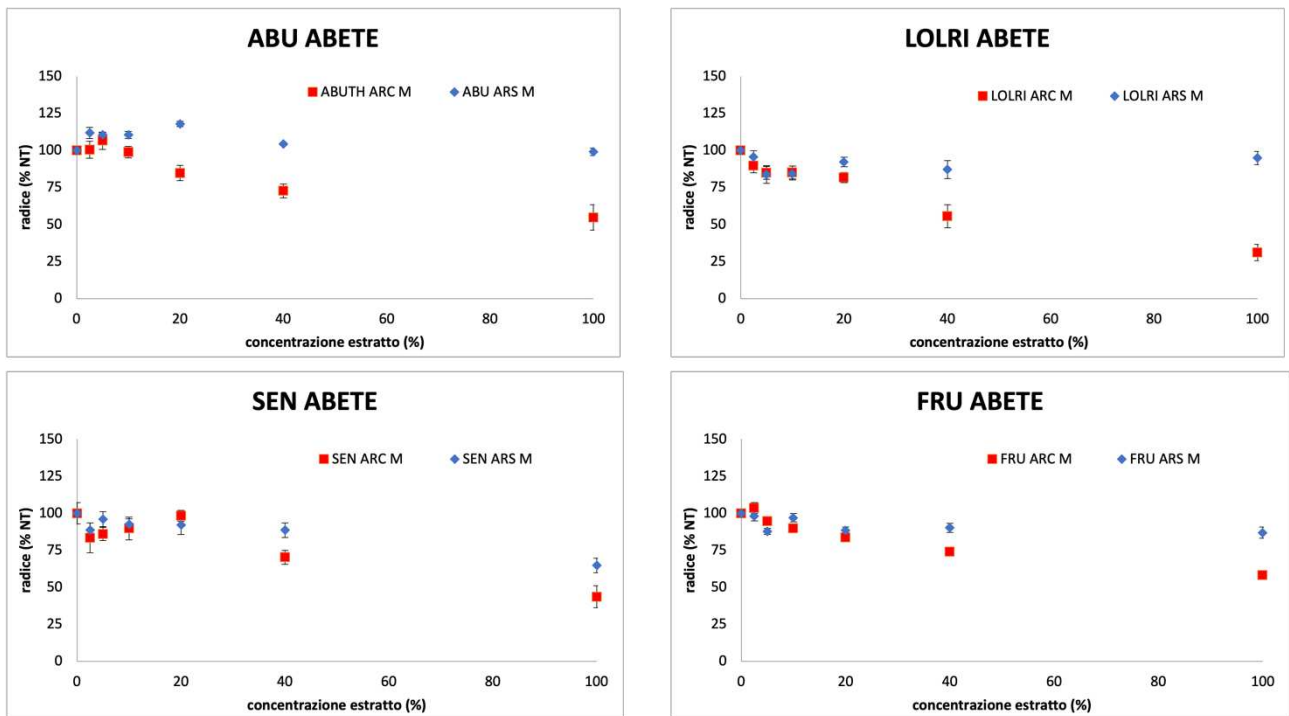


Figura 2- Effetto delle differenti concentrazioni degli estratti di corteccia e segatura di Abete Rosso sulla lunghezza radicale di *Abutilon theophrasti*, *Lolium rigidum*, senape e frumento. I valori espressi come % sul non trattato sono la media di 6 repliche e le barre rappresentano l'errore standard.

### 5.3.3 Effetto degli estratti acquosi di *Larix decidua* Mill. sulla crescita radicale

Anche nel caso del larice (*Larix decidua*) gli estratti acquosi di corteccia si sono dimostrati più efficaci rispetto alla segatura e per tutte le specie, tranne per l'*A. theophrasti*, si è osservato un lieve effetto dose-risposta, in cui la riduzione di crescita radicale più evidente si è manifestata alla contrazione di 100% v/v dell'estratto (Figura 3) (Vedi allegato 2 dell'appendice).

Senape bianca, frumento tenero e *Lolium rigidum* hanno subito un'inibizione da parte degli estratti di corteccia a partire dal 40% v/v con un intervallo di riduzione dell'allungamento radicale rispetto al non trattato che va dal 23 al 32%; relativamente minore rispetto all'estratto puro che ha raggiunto un effetto inibitorio che va dal 55 al 74% (Vedi Allegato 2 dell'Appendice). L'*Abutilon theophrasti*, invece, ha mostrato un comportamento più singolare in quanto non c'è stata differenza tra

l'applicazione degli estratti di segatura e quelli di corteccia. Ad ogni modo, la tesi con l'estratto puro di segatura o corteccia hanno mostrato una riduzione dell'allungamento radicale di circa il 20% rispetto al non trattato. Invece l'estratto di corteccia, a concentrazioni di 2,5 e 5% v/v, ha stimolato l'allungamento radicale di un +13% rispetto al non trattato.

L'effetto stimolante dell'allungamento radicale potrebbe essere legato alla presenza di carboidrati semplici all'interno della corteccia. Lo studio Bianchi et al., 2015 ha valutato il contenuto di questi componenti in alcune specie di conifere. In abete bianco, larice e abete di Douglas mono e oligosaccaridi costituivano la maggior parte dei carboidrati estratti con rese di estrazione che andavano da 10,4 a 19,8 g/kg di corteccia secca.

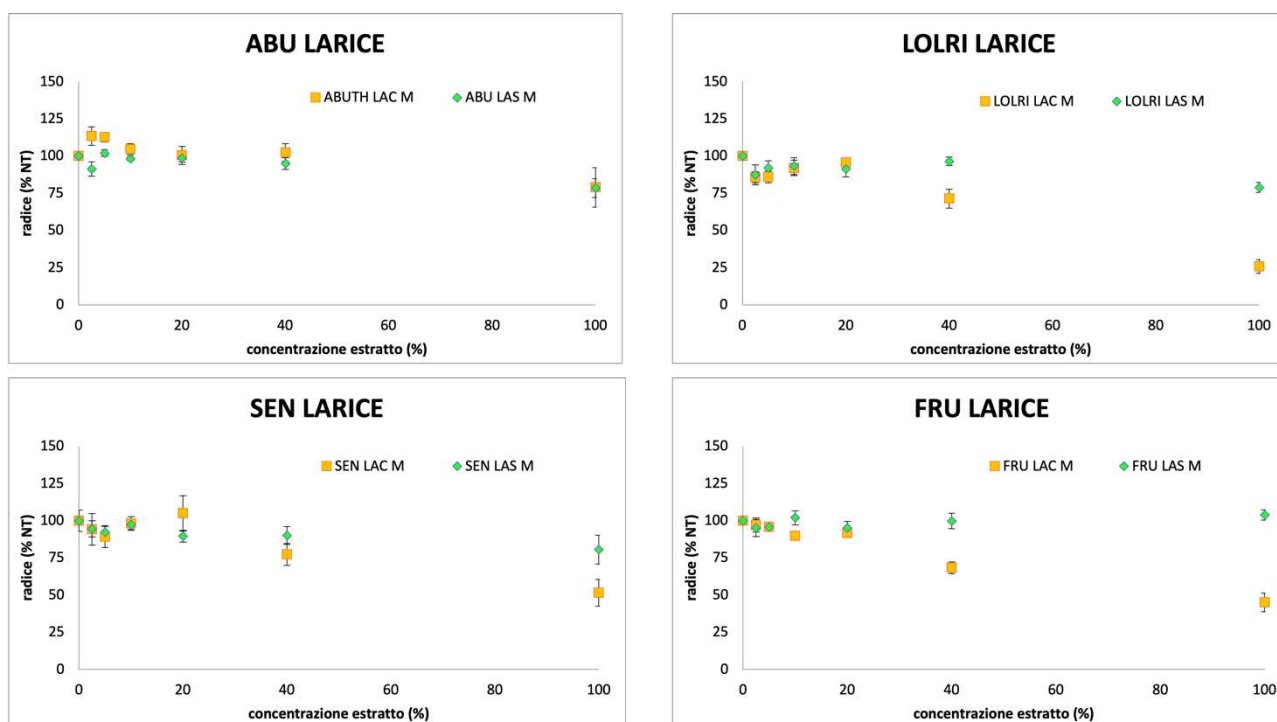


Figura 3 - Effetto delle differenti concentrazioni degli estratti di corteccia e segatura di larice sulla lunghezza radicale di *Abutilon theophrasti*, *Lolium rigidum*, senape e frumento. I valori espressi come % sul non trattato sono la media di 6 repliche e le barre rappresentano l'errore standard.

### 5.3.4 Confronto degli estratti acquosi di segatura

Gli estratti acquosi di segatura di abete rosso e larice hanno mostrato un'efficacia bassa ma simile in tutte le specie tranne che per *Abutilon theophrasti* (Figura 4). In generale la segatura di abete rosso è stata lievemente più efficace considerando un intervallo di inibizione da 0 a 20%, fa eccezione la senape bianca, trattata con estratto puro, che ha subito un'inibizione del 36% (Vedi Allegato 2 dell'Appendice). L'*Abutilon theophrasti*, invece, ha invertito l'andamento generale dei due estratti, in quanto quelli di segatura di larice hanno mantenuto un'inibizione da 0 al 20% circa e sono risultati più efficaci, mentre gli estratti di segatura di abete rosso si sono rivelati stimolatori della crescita radicale soprattutto a concentrazioni più basse (2,5-5-10-20), dove si è raggiunto un incremento fino al +17% rispetto al non trattato.

Il lieve effetto di inibizione degli estratti acquosi di segatura indica la scarsa presenza di composti allelopatici idrosolubili all'interno di questi tessuti rispetto alla corteccia.

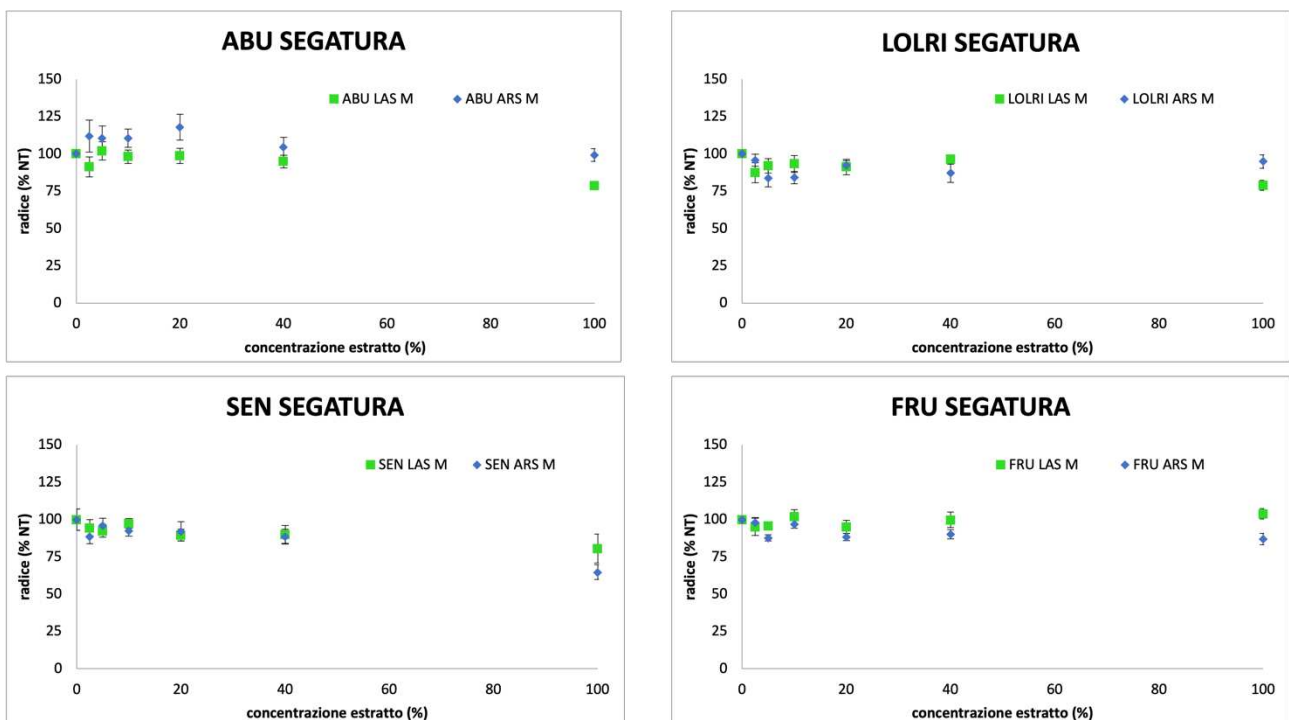


Figura 4 - Effetto delle differenti concentrazioni degli estratti di segatura di Abete Rosso e larice sulla lunghezza radicale di *Abutilon theophrasti*, *Lolium rigidum*, senape e frumento. I valori espressi come % sul non trattato sono la media di 6 repliche e le barre rappresentano l'errore standard.

### 5.3.5 Confronto estratti acquosi di corteccia

L'inibizione della crescita radicale ottenuta con gli estratti acquosi di corteccia di abete rosso e di larice è molto simile, infatti in *Lolium rigidum*, senape bianca e frumento i livelli di inibizione alle varie concentrazioni sono praticamente uguali (Figura 5). Da concentrazioni di 2,5 a 20% v/v l'inibizione dell'allungamento radicale è inferiore al 17%, al 40% v/v l'inibizione va dal 25 al 45% e per l'estratto puro va dal 45 al 69% (Vedi Allegato 2 dell'Appendice). Per quanto riguarda l'*Abutilon theophrasti*, i livelli di inibizione dell'estratto di corteccia di abete rosso sono comparabili alle altre specie, mentre l'estratto di corteccia di larice si discosta da questi livelli mostrando un'efficacia molto bassa. Il trattamento con estratto puro ha ridotto la crescita di solo il 21%, mentre a concentrazioni di 2,5 e 5% v/v ha stimolato l'allungamento radicale fino a +13%. Anche in questo caso possiamo dire che gli estratti di corteccia determinano un lieve effetto dose-risposta, in cui la riduzione di crescita radicale più evidente si è manifestata alle concentrazioni di 40 e 100% v/v dell'estratto.

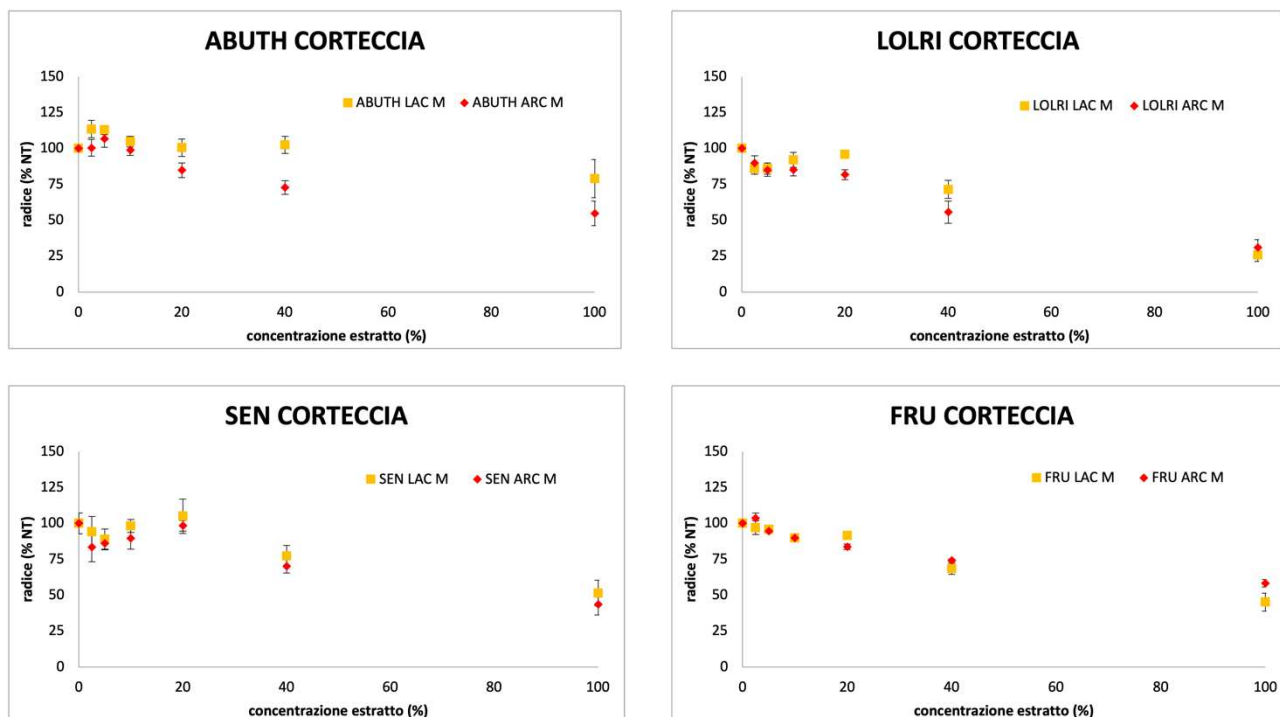


Figura 5- Effetto delle differenti concentrazioni degli estratti di corteccia di Abete Rosso e larice sulla lunghezza radicale di *Abutilon theophrasti*, *Lolium rigidum*, senape e frumento. I valori espressi come % sul non trattato sono la media di 6 repliche e le barre rappresentano l'errore standard.



## 6 Conclusioni

Oggi la gestione delle malerbe necessita competenze sempre maggiori. Molti agrofarmaci, che permettevano di controllare un'ampia gamma di specie diverse con pochi interventi, sono stati ritirati dal mercato o sono destinati ad essere sostituiti. Per controllare al meglio le malerbe bisogna partire dalla conoscenza delle caratteristiche biologiche ed ecologiche e questo è fondamentale per intervenire in modo efficace e selettivo. L'approccio integrato è attualmente la modalità di gestione delle infestanti più evoluta e complessa. Anche se l'IWM è conosciuto sin dal 1982 quando fu teorizzato da Shaw, oggi può contare su nuove tecnologie come l'utilizzo della robotica per il controllo delle piante infestanti o i Decision Support System per la creazione di piani di intervento. Di conseguenza l'IWM dispone ora di una serie diversificata di strumenti e strategie che possono essere integrati nel controllo delle malerbe, ma che richiedono molte competenze di professionalità.

Oltre alle competenze da incrementare bisogna essere consapevoli delle prospettive future della gestione delle malerbe. La salute dell'uomo, degli organismi non target e il rispetto dell'ambiente sono elementi al centro di molte politiche internazionali che non transigono su compromessi che possano metterli in pericolo. L'Unione Europea ha imposto direttive e regolamenti per raggiungere due obiettivi principali: la riduzione del 50% dell'uso degli agrofarmaci e l'aumento fino al 25% della quota di superficie agricola utilizzata gestita in biologico entro il 2030. Per realizzare questi obiettivi, nell'ambito della gestione delle piante infestanti, dobbiamo continuare a studiare e sviluppare prodotti chimici compatibili per l'agricoltura biologica, poiché attualmente vi è carenza di mezzi tecnici disponibili.

A tal proposito lo sviluppo di erbicidi sulla base di estratti acquosi vegetali nasconde notevoli potenzialità. Dal punto di vista legale questi prodotti non devono sostenere l'intero iter di approvazione di un prodotto di sintesi, il che determina un minore impiego di risorse di tempo e denaro per la commercializzazione. I costi di produzione

sono ridotti in quanto l'estrazione viene eseguita con acqua. Inoltre un prodotto naturale distribuibile con atomizzatori potrebbe avvantaggiarsi dei pregi della lotta chimica, come: la rapidità di esecuzione del trattamento; la possibilità di applicazione nell'emergenza improvvisa; la semplicità di esecuzione e l'economicità del costo di intervento.

Tuttavia la problematica di questi prodotti sta nell'efficacia di controllo delle piante infestanti che, come nel caso degli estratti acquosi di corteccia e segatura di larice e abete rosso, non raggiungono livelli di inibizione significativi dal punto di vista agronomico. In generale anche se altri studi hanno riscontrato risultati positivi, la maggior parte si ferma a prove di laboratorio in piastra Petri e non si spinge a verificare l'efficacia in condizioni di campo.

Ecco che proprio in questo sta la sfida posta ai ricercatori, ovvero sviluppare erbicidi naturali che siano efficaci e compatibili con l'ambiente. La presenza o meno di questi prodotti nel mercato determinerà le prospettive future della gestione delle piante infestanti.

## 7 Bibliografia

- Amossé, C., Jeuffroy, M.-H., Celette, F., & David, C. (2013). Relay-intercropped forage legumes help to control weeds in organic grain production. *European Journal of Agronomy*, *49*, 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.04.002>
- Andrew, I. K. S., Storkey, J., & Sparkes, D. L. (2015). A review of the potential for competitive cereal cultivars as a tool in integrated weed management. *Weed Research*, *55*(3), 239–248. <https://doi.org/10.1111/wre.12137>
- Araniti, F., Sorgonà, A., Lupini, A., & Abenavoli, M. (2012). Screening of Mediterranean wild plant species for allelopathic activity and their use as bio-herbicides. *Allelopathy Journal*, *29*.
- Benvenuti & Tardivo. (2018). *ACIDO ACETICO COME ERBICIDA NATURALE: ALCUNE ESPERIENZE EFFETTUATE IN VIGNETI DI AGROECOSISTEMI DELLA TOSCANA*. <https://fitogest.imagelinenetwork.com/it/giornate-fitopatologiche/2018/acido-acetico-come-erbicida-naturale-alcune-esperienze-effettuate-in-vigneti-di-agroecosistemi-della-toscana/4729>
- Bianchi, S., krolakova, ivana, & janzon, ron. (2015). Characterization of condensed tannins and carbohydrates in hot water bark extracts of European softwood species. *Phytochemistry*, *120*, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.10.006>
- Blackshaw, R. E., Brandt, R. N., Janzen, H. H., Entz, T., Grant, C. A., & Derksen, D. A. (2003). Differential response of weed species to added nitrogen. *Weed Science*, *51*(4), 532–539. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2003\)051\[0532:DROWST\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2003)051[0532:DROWST]2.0.CO;2)
- Catizone, P., & Zanin, G. (2001). *Malerbologia*. [https://www.lafeltrinelli.it/malerbologia-libro-pietro-catizone-giuseppe-zanin/e/9788855526241?lgw\\_code=50948-B9788855526241&awaid=9507&gclid=CjwKCAjwxaanBhBQEiwA84TVXJ6McywchMTd7TctCGNV2HXA2jXDB98TKq7KXGGe6M4\\_wbuM0pSekRoCJIIQAvD\\_BwE](https://www.lafeltrinelli.it/malerbologia-libro-pietro-catizone-giuseppe-zanin/e/9788855526241?lgw_code=50948-B9788855526241&awaid=9507&gclid=CjwKCAjwxaanBhBQEiwA84TVXJ6McywchMTd7TctCGNV2HXA2jXDB98TKq7KXGGe6M4_wbuM0pSekRoCJIIQAvD_BwE)
- Cordeau, S., Triolet, M., Wayman, S., Steinberg, C., & Guillemain, J.-P. (2016). Bioherbicides: Dead in the water? A review of the existing products for integrated weed management. *Crop Protection*, *87*, 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.04.016>
- Dayan, F. E., Howell, J., Marais, J. P., Ferreira, D., & Koivunen, M. (2011). Manuka Oil, A Natural Herbicide with Preemergence Activity. *Weed Science*, *59*(4), 464–469. <https://doi.org/10.1614/WS-D-11-00043.1>
- Duke, S. O. (2012). Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years? *Pest Management Science*, *68*(4), 505–512. <https://doi.org/10.1002/ps.2333>
- European Panel Federation. (2018, giugno 19). <https://europanel.org/publications-studies/>
- Eurostat. (2020). [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/SDG\\_02\\_40/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/SDG_02_40/default/table?lang=en)
- Fabbri, Casagrandi, Paganelli, Campagna, & Maffioli. (2018). *ESPERIENZE DI DISSECCAMENTO DELLA PATATA CON ACIDO PELARGONICO*. <http://www.giornatefitopatologiche.it/it/elenco/24/2018/esperienze-di-disseccamento-della-patata-con-acido-pelargonico/4727>
- Fregoso-Madueño, J., Goche, R., Rutiaga-Quiñones, J., González-Laredo, R., Bocanegra-Salazar, M., & Chávez-Simental, J. (2017). Alternative uses of sawmill industry waste. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, *23*, 243–260. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.06.040>

- Gaba, S., Gabriel, E., Chadœuf, J., Bonneu, F., & Bretagnolle, V. (2016). Herbicides do not ensure for higher wheat yield, but eliminate rare plant species. *Scientific Reports*, 6(1), Articolo 1. <https://doi.org/10.1038/srep30112>
- 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), Articolo 5. <https://doi.org/10.3390/plants12051172>
- Gerhards, R., Bezhin, K., & Santel, H.-J. (2017). Sugar beet yield loss predicted by relative weed cover, weed biomass and weed density. *Plant Protection Science*, 53 (2017)(No. 2), 118–125. <https://doi.org/10.17221/57/2016-PPS>
- Głąb, L., Sowiński, J., Bough, R., & Dayan, F. E. (2017). Chapter Two - Allelopathic Potential of *Sorghum* (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in Weed Control: A Comprehensive Review. In D. L. Sparks (A c. Di), *Advances in Agronomy* (Vol. 145, pp. 43–95). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.05.001>
- Gu, C., Bastiaans, L., Anten, N. P. R., Makowski, D., & van der Werf, W. (2021). Annual intercropping suppresses weeds: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 322, 107658. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107658>
- Hasan, M., Ahmad-Hamdani, M. S., Rosli, A. M., & Hamdan, H. (2021). Bioherbicides: An Eco-Friendly Tool for Sustainable Weed Management. *Plants*, 10(6), Articolo 6. <https://doi.org/10.3390/plants10061212>
- Hofmeijer, M. A. J., Melander, B., Salonen, J., Lundkvist, A., Zarina, L., & Gerowitt, B. (2021). Crop diversification affects weed communities and densities in organic spring cereal fields in northern Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 308, 107251. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107251>
- 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), 75. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00290-3>
- Ismail, A., Hanana, M., Jamoussi, B., & Hamrouni, L. (2014). Essential oils of *Pinus nigra* J.F. Arnold subsp. *laricio* Maire: Chemical composition and study of their herbicidal potential. *Arabian Journal of Chemistry*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.05.026>
- Jesudas, A., Kingsley, J., & Ignacimuthu. (2014). *Sorgoleone* from *Sorghum bicolor* as a Potent Bioherbicide.
- Khan, M., Ahmad, M., Hussain, M., Jabran, K., Farooq, S., & Waqas-Ul-Haq, M. (2012). Allelopathic plant water extracts tank mixed with reduced doses of atrazine efficiently control *Trianthema portulacastrum* L. in *Zea mays* L. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 22, 339–346.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

- Kohli, R. K., Batish, D. R., & Singh, H. P. (1998). Eucalypt oils for the control of *Parthenium* (*Parthenium hysterophorus* L.). *Crop Protection*, *17*(2), 119–122.  
[https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(97\)00095-1](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(97)00095-1)
- Kostina-Bednarz, M., Płonka, J., & Barchanska, H. (2023). Allelopathy as a source of bioherbicides: Challenges and prospects for sustainable agriculture. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, *22*(2), 471–504.  
<https://doi.org/10.1007/s11157-023-09656-1>
- Koukos, P. K., Papadopoulou, K. I., Papagiannopoulos, A. D., & Patiaka, D. Th. (2001). Chemicals from Greek Forestry Biomass: Constituents of the Leaf Oil of *Myrtus communis* L. Grown in Greece. *Journal of Essential Oil Research*, *13*(4), 245–246.  
<https://doi.org/10.1080/10412905.2001.9699683>
- Krstin, L., Katanic, Z., Pfeiffer, T., Špoljarić Maronić, D., Marinčić, D., Martinović, A., & Ivna, Š. (2020). Phytotoxic effect of invasive species *Amorpha fruticosa* L. on germination and the early growth of forage and agricultural crop plants. *Ecological Research*, *36*.  
<https://doi.org/10.1111/1440-1703.12184>
- Kubiak, A., Wolna-Maruwka, A., Niewiadomska, A., & Pilarska, A. A. (2022). The Problem of Weed Infestation of Agricultural Plantations vs. The Assumptions of the European Biodiversity Strategy. *Agronomy*, *12*(8), 1808. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081808>
- Lazaridou, D. C., Michailidis, A., & Trigkas, M. (2021). Exploring Environmental and Economic Costs and Benefits of a Forest-Based Circular Economy: A Literature Review. *Forests*, *12*(4), 436. <https://doi.org/10.3390/f12040436>
- Loddo, D., Jagarapu, K. K., Strati, E., Trespidi, G., Nikolić, N., Masin, R., Berti, A., & Otto, S. (2023). Assessing Herbicide Efficacy of Pelargonic Acid on Several Weed Species. *Agronomy*, *13*(6), Articolo 6. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061511>
- Loddo, D., McElroy, J. S., & Giannini, V. (2021). Problems and perspectives in weed management. *Italian Journal of Agronomy*, *16*(4), Articolo 4. <https://doi.org/10.4081/ija.2021.1854>
- Meissle, M., Mouron, P., Musa, T., Bigler, F., Pons, X., Vasileiadis, V. P., Otto, S., Antichi, D., Kiss, J., Pálincás, Z., Dorner, Z., Van Der Weide, R., Groten, J., Czembor, E., Adamczyk, J., Thibord, J.-B., Melander, B., Nielsen, G. C., Poulsen, R. T., ... Oldenburg, E. (2010). Pests, pesticide use and alternative options in European maize production: Current status and future prospects. *Journal of Applied Entomology*, *134*(5), 357–375.  
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2009.01491.x>
- Muñoz, M., Torres-Pagán, N., Jouini, A., Araniti, F., Sánchez-Moreiras, A. M., & Verdeguer, M. (2022). Control of Problematic Weeds in Mediterranean Vineyards with the Bioherbicide Pelargonic Acid. *Agronomy*, *12*(10), Articolo 10.  
<https://doi.org/10.3390/agronomy12102476>
- Nektarios, P. A., Economou, G., & Avgoulas, C. (2005). Allelopathic Effects of *Pinus halepensis* Needles on Turfgrasses and Biosensor Plants. *HortScience*, *40*(1), 246–250.  
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.1.246>
- Node, M., Tomita-Yokotani, K., Suzuki, T., Kosemura, S., Hirata, H., Hirata, K., Nawamaki, T., Yamamura, S., & Hasegawa, K. (2003). Allelopathy of pinecone in Japanese red pine tree (*Pinus densiflora* Sieb. Et Zucc.). *Weed Biology and Management*, *3*(2), 111–116.  
<https://doi.org/10.1046/j.1445-6664.2003.00092.x>

- Osipitan, O. A., Dille, J. A., Assefa, Y., Radicetti, E., Ayeni, A., & Knezevic, S. Z. (2019). Impact of Cover Crop Management on Level of Weed Suppression: A Meta-Analysis. *Crop Science*, 59(3), 833–842. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.09.0589>
- Pacanoski, Z. (2015). Bioherbicides. In *Herbicides, Physiology of Action, and Safety*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/61528>
- Pannacci, E., Ottavini, D., Onofri, A., & Tei, F. (2022). Dose–Response Curves of Pelargonic Acid against Summer and Winter Weeds in Central Italy. *Agronomy*, 12(12), Articolo 12. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123229>
- Paquot, S. (2017). *Moving towards a circular economy with EMAS: Best practices to implement circular economy strategies (with case study examples)*. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/463312>
- 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, 113590. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113590>
- Petersen, J. (2004). A Review on Weed Control in Sugarbeet. In Inderjit (A c. Di), *Weed Biology and Management* (pp. 467–483). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-0552-3\\_23](https://doi.org/10.1007/978-94-017-0552-3_23)
- Purnhagen, K., & Wesseler, J. (2021). EU Regulation of New Plant Breeding Technologies and Their Possible Economic Implications for the EU and Beyond. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 43(4), 1621–1637. <https://doi.org/10.1002/aep.13084>
- Raunkiaer, C. (1934). The life forms of plants and statistical plant geography; being the collected papers of C. Raunkiaer. *The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography; Being the Collected Papers of C. Raunkiaer*. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19340701044>
- 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, 126443. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126443>
- Scavo, A., Restuccia, A., Pandino, G., Onofri, A., & Mauromicale, G. (2018). Allelopathic effects of *Cynara cardunculus* L. leaf aqueous extracts on seed germination of some Mediterranean weed species. *Italian Journal of Agronomy*, 13(2), Articolo 2. <https://doi.org/10.4081/ija.2018.1021>
- Singh, H. P., Kohli, R. K., Batish, D. R., & Kaushal, P. S. (1999). Allelopathy of Gymnospermous Trees. *Journal of Forest Research*, 4(3), 245–254. <https://doi.org/10.1007/BF02762256>
- Stella, J. C., & Bendix, J. (2019). Chapter 5—Multiple Stressors in Riparian Ecosystems. In S. Sabater, A. Elozegi, & R. Ludwig (A c. Di), *Multiple Stressors in River Ecosystems* (pp. 81–110). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811713-2.00005-4>
- 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), Articolo 10. <https://doi.org/10.3390/plants10102106>
- Taning, C. N. T., Mezzetti, B., Kleter, G., Smagghe, G., & Baraldi, E. (2021). Does RNAi-Based Technology Fit within EU Sustainability Goals? *Trends in Biotechnology*, 39(7), 644–647. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.11.008>

- Travlos, I. S. (2012). Reduced herbicide rates for an effective weed control in competitive wheat cultivars. *International Journal of Plant Production*.
- Vanham, D., & Leip, A. (2020). Sustainable food system policies need to address environmental pressures and impacts: The example of water use and water stress. *The Science of the Total Environment*, 730, 139151. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139151>
- Villaverde, J. J., Sevilla-Morán, B., Sandín-España, P., López-Goti, C., & Alonso-Prados, J. L. (2014). Biopesticides in the framework of the European Pesticide Regulation (EC) No. 1107/2009. *Pest Management Science*, 70(1), 2–5. <https://doi.org/10.1002/ps.3663>
- Vitalini, S., Palmioli, A., Orlando, F., Scari, G., Airoidi, C., De Noni, I., Bocchi, S., & Iriti, M. (2021). Phytotoxicity, nematocidal activity and chemical constituents of *Peucedanum ostruthium* (L.) W.D.J.Koch (Apiaceae). *Industrial Crops and Products*, 166, 113499. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113499>
- Weisberger, D., Nichols, V., & Liebman, M. (2019). Does diversifying crop rotations suppress weeds? A meta-analysis. *PLoS ONE*, 14(7), e0219847. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219847>
- Zbieć, M., Franc-Dąbrowska, J., & Drejerska, N. (2022). Wood Waste Management in Europe through the Lens of the Circular Bioeconomy. *Energies*, 15(12), Articolo 12. <https://doi.org/10.3390/en15124352>

## 8 Siti web

1. [www.wssa.net](http://www.wssa.net)
2. <https://www.biopills.net/forme-biologiche-di-raunkiaer/#:~:text=Le%20forme%20biologiche%20di%20Raunkiaer%20sono%20basate%20sulla%20posizione%20assunta,le%20geofite%20e%20le%20terofite.>
3. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
4. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=LEGISSUM%3A128178#>
5. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2012/08/30/012G0171/sg>
6. Direttiva 128/2009/CE: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:309:0071:0086:it:PDF>
7. REPORT FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL. On the experience gained by Member States on the implementation of national targets established in their National Action Plans and on progress in the implementation of Directive 2009/128/EC on the sustainable use of pesticides . [https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-05/pesticides\\_sud\\_report-act\\_2020\\_en.pdf](https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-05/pesticides_sud_report-act_2020_en.pdf)



## 9 Appendice

### Allegato 1 – Test di significatività T di Student per la germinazione delle specie

**Tabella 1** – Test T di Student per la germinazione di *Abutilon theophrasti* per gli estratti di corteccia e segatura di larice e abete rosso

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 2** – Test T di Student per la germinazione di *Lolium rigidum* per gli estratti di corteccia e segatura di larice e abete rosso

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 3** – Test T di Student per la germinazione di *Triticum aestivum* per gli estratti di corteccia e segatura di larice e abete rosso

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	*

**Tabella 4** – Test T di Student per la germinazione di *Sinapis alba* per gli estratti di corteccia e segatura di larice e abete rosso

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	*

**Allegato 2** – Test di significatività T di student della crescita radicale delle specie

**Tabella 1** – Test di T di Student della crescita radicale di *Abutilon theophrasti* per gli estratti di corteccia e segatura di larice e abete rosso.

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 2** – Test di T di Student della crescita radicale di *Lolium rigidum* per gli estratti di corteccia e segatura di larice e abete rosso.

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 3** – Test di T di Student della crescita radicale di frumento per gli estratti di corteccia e segatura di larice e abete rosso.

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	*

**Tabella 4** – Test di T di Student della crescita radicale di senape bianca per gli estratti di corteccia e segatura di larice e abete rosso.

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	*