



## Protocollo di lotta integrata contro il deperimento delle querce sempreverdi mediterranee

Parte del rapporto D4.1 del Pacchetto di Lavoro 4

Applicazione su larga scala di nuovi protocolli personalizzati di lotta integrata

Autori:	
Francisco José Ruiz Gómez	Universidad de Córdoba
Rafael M. Navarro Cerrillo	Universidad de Córdoba
Rafael Sánchez Cuesta	Universidad de Córdoba
Carmen Morales Rodriguez	Università degli Studi della Tuscia
Andrea Brandano	Università degli Studi di Sassari
Bruno Scanu	Università degli Studi di Sassari

Acronimo del progetto: LIFE FAGESOS

Titolo del progetto: Il declino indotto da Phytophthora negli ecosistemi di Fagaceae nell'Europa meridionale, esacerbato dal cambiamento climatico: preservare i servizi ecosistemici attraverso una migliore gestione integrata dei patogeni

N° Accordo di sovvenzione: 101074466

Identificazione del bando: LIFE-2021-SAP-CLIMA

Data d'avvio del progetto: 01/09/2022

Durata: 60 mesi

Website: [www.lifefagesos.it](http://www.lifefagesos.it) & [EU Portal](#)



Questo documento è stato prodotto con il supporto finanziario del Programma LIFE dell'Unione Europea nell'ambito dell'accordo di sovvenzione n. 101074466. I punti di vista e le opinioni espresse sono esclusivamente quelli degli autori e non riflettono necessariamente quelli dell'Unione Europea o del CINEA. Né l'Unione Europea né il CINEA possono essere ritenuti responsabili per essi.



## Indice

<b>1. Riepilogo esecutivo.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Introduzione.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Il declino delle querce sempreverdi.....</b>	<b>4</b>
<b>4. Prodotti sostenibili da applicare nella difesa integrata .....</b>	<b>7</b>
<b>4.1 Formulazione e dosaggio del prodotto.....</b>	<b>8</b>
4.1.1 Riduzione e mitigazione dei livelli di inoculo di <i>Phytophthora</i> .....	8
4.1.2 Migliorare la salute degli alberi attraverso il microbioma del suolo .....	10
4.1.3 Induttore di resistenza .....	12
<b>4.2 Periodo di applicazione e tempistica .....</b>	<b>14</b>
<b>5. Misure igieniche .....</b>	<b>15</b>
<b>5.1 Segnaletica .....</b>	<b>20</b>
<b>6. Buone pratiche nei castagneti tradizionali.....</b>	<b>20</b>
<b>7. Bibliografia .....</b>	<b>23</b>

## 1. Riepilogo esecutivo

Il declino delle foreste rappresenta una sfida importante per la gestione degli ecosistemi. I patogeni forestali invasivi alieni (AIFP) e i loro effetti, esacerbati dai cambiamenti climatici, minacciano la sostenibilità socioeconomica ed ecologica delle specie di querce e castagni mediterranei. Uno degli obiettivi principali del progetto LIFE FAGESOS è sviluppare protocolli personalizzati di gestione integrata dei parassiti (IPM), basati su prodotti ecologicamente compatibili e raccomandazioni di gestione.

Durante la prima fase del progetto, sono stati testati diversi prodotti per mitigare l'impatto causato da *Phytophthora cinnamomi* nelle piante di *Quercus suber* e *Q. ilex*. Questo documento fornisce la prima versione di un protocollo di lotta integrata per le "dehesas" e i popolamenti di quercia sempreverde (leccio e sughere), basato sui risultati dei test. Include informazioni contestuali sul problema e sui trattamenti, informazioni dettagliate sui prodotti selezionati e sulla loro applicazione, raccomandazioni per l'applicazione di misure igieniche e di controllo e linee generali sulla gestione dei siti degradati.

## 2. Introduzione

La gestione integrata dei parassiti (IPM) è una strategia di controllo dei parassiti basata su soluzioni sostenibili dal punto di vista ambientale che mirano a prevenire a lungo termine l'impatto di parassiti e malattie combinando piani di monitoraggio, rilevamento precoce, uso di agenti di biocontrollo, microrganismi promotori della crescita delle piante (PGP), manipolazione dell'habitat e modifica delle pratiche culturali tra gli altri strumenti. I trattamenti, preferibilmente basati su molecole sicure per l'ambiente, vengono utilizzati solo dopo che il monitoraggio ne indica la necessità, secondo le linee guida stabilite. Inoltre, i prodotti per il controllo dei parassiti dovrebbero essere selezionati e applicati in modo da ridurre al minimo i rischi per la salute umana, gli organismi utili e non bersaglio e l'ambiente.

Piuttosto che prendere di mira direttamente l'organismo nocivo, la strategia IPM mira a creare condizioni ambientali sfavorevoli agli agenti nocivi, rafforzando al tempo stesso la capacità della pianta di reagire aumentando la propria resilienza.

I programmi IPM combinano approcci gestionali per una maggiore efficacia. Il modo più efficace e a lungo termine per gestire i parassiti è utilizzare una combinazione di metodi che funzionano meglio insieme piuttosto che separatamente. Gli approcci per la gestione dei parassiti sono spesso raggruppati nelle seguenti categorie.

### I) Controllo biologico

Il controllo biologico è l'uso di nemici naturali – predatori, parassiti, antagonisti e concorrenti – per controllare gli agenti patogeni e i loro danni. Un concetto più ampio comprende anche le molecole prodotte da nemici naturali.

### II) Controlli colturali

I controlli culturali sono pratiche che riducono l'insediamento, la riproduzione, la dispersione e la sopravvivenza dei parassiti. Ad esempio, applicando misure igieniche a macchinari, veicoli e personale

per ridurre la dispersione dell'agente patogeno, riducendo l'intensità dello sfruttamento o applicando trattamenti di fertilizzazione del terreno per aumentare la vitalità della pianta.

### III) Controlli meccanici e fisici

I trattamenti meccanici e fisici mirano a controllare il parassita uccidendolo, o bloccando o rendendo direttamente l'ambiente inadatto all'agente patogeno. Le trappole per roditori sono esempi di controllo meccanico. I controlli fisici includono pacciamatura per la gestione delle infestanti, sterilizzazione a vapore del terreno per la gestione delle malattie o barriere come schermi per tenere lontani uccelli o insetti.

### IV) Controllo chimico

Il controllo chimico è l'uso di pesticidi. Nell'IPM, i pesticidi vengono utilizzati solo quando necessario e in combinazione con altri approcci per un controllo più efficace e a lungo termine. I pesticidi sono selezionati e applicati in modo da ridurre al minimo i possibili danni alle persone, agli organismi non bersaglio e all'ambiente. Nelle strategie IPM, la scelta di molecole selettive è incoraggiata per ridurre al minimo l'impatto sugli organismi non bersaglio e per preservare la qualità dell'aria, del suolo e dell'acqua.

## 3. Il declino delle querce sempreverdi

Il declino delle querce è una delle maggiori sfide che gli ecosistemi mediterranei si trovano ad affrontare negli ultimi decenni (Jung et al., 2000; Burgess et al., 2017; Ruiz-Gómez et al., 2019). Il leccio e la quercia da sughero sono le specie più minacciate a causa degli episodi di mortalità legati al declino delle querce, guidati principalmente dal marciume radicale causato dal patogeno forestale invasivo alieno (AIFP) *Phytophthora cinnamomi*.

Gli ecosistemi della quercia da sughero (*Quercus suber* L.) sono di grande rilevanza in termini di valore economico, culturale ed ecologico nelle regioni mediterranee (Aronson et al., 2009). Negli ultimi tre decenni, un crescente declino delle querce da sughero è stato segnalato come un problema crescente in tutta la sua distribuzione geografica (Brasier et al. 1993; Camilo-Alves et al. 2013; Moricca et al. 2016). Diversi fattori, tra cui malattie e parassiti, incendi, cambiamenti climatici, pascolo eccessivo, degrado e frammentazione, sono stati associati al declino delle querce da sughero (Jung et al., 1996; Sanchez et al., 2002, Gomez-Aparicio et al., 2012). Tuttavia, il patogeno del suolo *Phytophthora cinnamomi* è uno dei principali responsabili di questo fenomeno (Brasier et al., 1993, Robin et al. 1998; Scanu et al. 2013), sebbene siano coinvolte anche molte altre specie di *Phytophthora* (Seddaiu et al. 2020; Aurangzeb et al. 2023) I sintomi del declino della quercia da sughero sono il deperimento della chioma, con conseguente aumento significativo della trasparenza della chioma; la presenza di germogli epicormici su ramoscelli e rami; a livello radicale, progressiva necrosi delle radici sottili alimentatrici e presenza di cancri sulle radici più grandi e suberizzate; necrosi della corteccia, associata ad essudato nerastro, che occasionalmente delimita tutto il fusto (Brasier, 1996; Robin et al., 1998; Scanu et al., 2013) (Fig. 1).

Il leccio (*Quercus ilex* L.) è una delle specie più estese nel bacino del Mediterraneo e la principale specie che domina lo strato arboreo dell'ecosistema "dehesas", che copre una superficie stimata di oltre 4,6

milioni di ettari nella penisola iberica. I dati sulla distribuzione del leccio in quest'area rappresentano circa 2,2 milioni di ettari di ecosistemi di pascoli “dehesas” di *Q. ilex* (Díaz Esteban e Pulido Díaz, 2009), oltre ad altri 1,42 milioni di ettari di foreste mediterranee naturali di leccio (Rodá et al ., 2009).

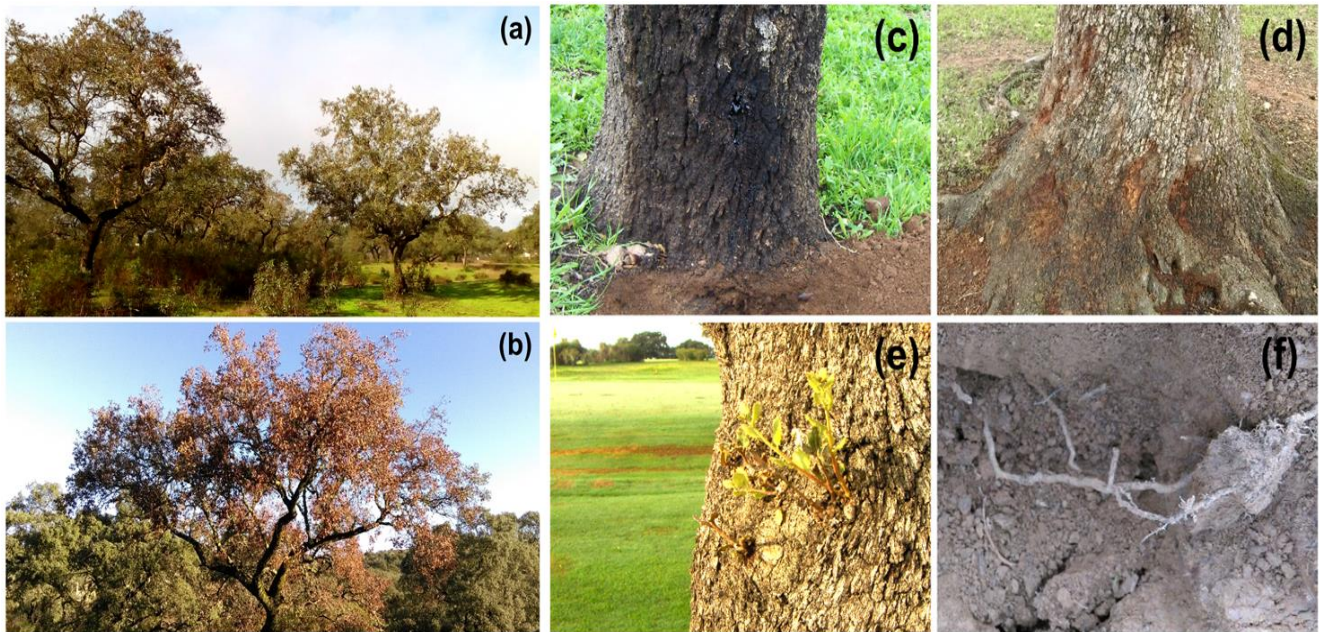
Il declino del leccio, noto anche come sindrome “La Seca”, sta devastando intere aree della parte occidentale della regione andalusa (Andévalo) e della Sierra Morena, a causa della morte di alberi giovani e maturi (Ruiz-Gómez et al ., 2019) e il fallimento del rimboschimento (Sánchez-Cuesta et al., 2022). Si ritiene che il principale fattore scatenante la mortalità degli alberi sia il marciume radicale causato dal patogeno forestale invasivo alieno (AIFP) *Phytophthora cinnamomi* e da altre specie di *Phytophthora*.



**Figura 1.** Grave deperimento e mortalità delle querce da sughero a causa dell’infezione da *Phytophthora*

I sintomi del marciume radicale non sono specifici e diventano identificabili quando gran parte dell'apparato radicale è già compromesso, tranne in caso di morte improvvisa, nel qual caso il problema è identificabile solo quando l'albero è morto (Carrasco Gotarredona et al., 2009) (Figura 2)

Sebbene non esistano dati accurati sull'incidenza o sull'entità del declino del leccio, nel 2010, fonti ufficiali hanno stimato la perdita di boschi di leccio a più di 8000 ettari all'anno solo in Spagna (Senado, 2010). Questo declino provoca gravi perdite ambientali ed economiche in un ecosistema particolarmente vulnerabile situato nelle aree rurali, esacerbate da altri problemi come l'intensificazione delle pratiche agricole e dell'allevamento del bestiame, il ritiro e l'abbandono delle terre e gli effetti diretti del cambiamento climatico (Hernández-Lambraño et al. ., 2018; La tutela dell'ecosistema delle “dehesas” e il recupero delle aree già degradate sono quindi in prima linea nelle politiche di gestione forestale dell'amministrazione regionale.



**Figura 2.** Principali sintomi del declino del leccio. (a) declino regressivo con progressiva defogliazione. (b) morte improvvisa. Il fogliame rovinato rimane sulla chioma dell'albero. (c) cancro alla base del tronco. (d) gallerie di insetti perforatori del legno con segatura alla base del tronco. (e) germogli epicormici sul tronco. (f) perdita fine di radici su radici assorbenti superficiali. Fonte: archivio dell'autore.

**L'epidemiologia** della malattia è associata alle condizioni climatiche e alla gestione, insieme ad altri fattori rilevanti come la qualità del suolo e l'inquinamento. Le precipitazioni medie non sono un fattore principale, poiché *Q. ilex* è una specie sclerofilla ben adattata alle aree aride, ma episodi di forti piogge e inondazioni del suolo sono correlati alla mortalità e ad episodi di forte defogliazione. Inoltre, l'elevata ricorrenza di eventi di siccità estrema e l'aumento globale delle temperature sembrano esacerbare questi episodi, probabilmente a causa dei loro effetti sullo stato di salute globale dei boschi di leccio (fattore incitante) (Sánchez-Cuesta et al., 2021). Periodi prolungati di siccità, ristagni idrici, fluttuazioni imprevedibili dei livelli dell'acqua, terreni sabbiosi o poco profondi, forti piogge inaspettate, così come agenti patogeni e parassiti opportunistici, possono accelerare il progresso della malattia e portare ad avvizzimento improvviso e morte degli alberi (Brasier et al., 1993; Jung et al., 1996; Balci e Halmschlager, 2003; In accordo con i modelli osservati nel castagno, è stata dimostrata l'associazione della malattia dell'inchiostro con le vie di drenaggio naturali e la rete di strade forestali e locali (Cardillo et al., 2018).

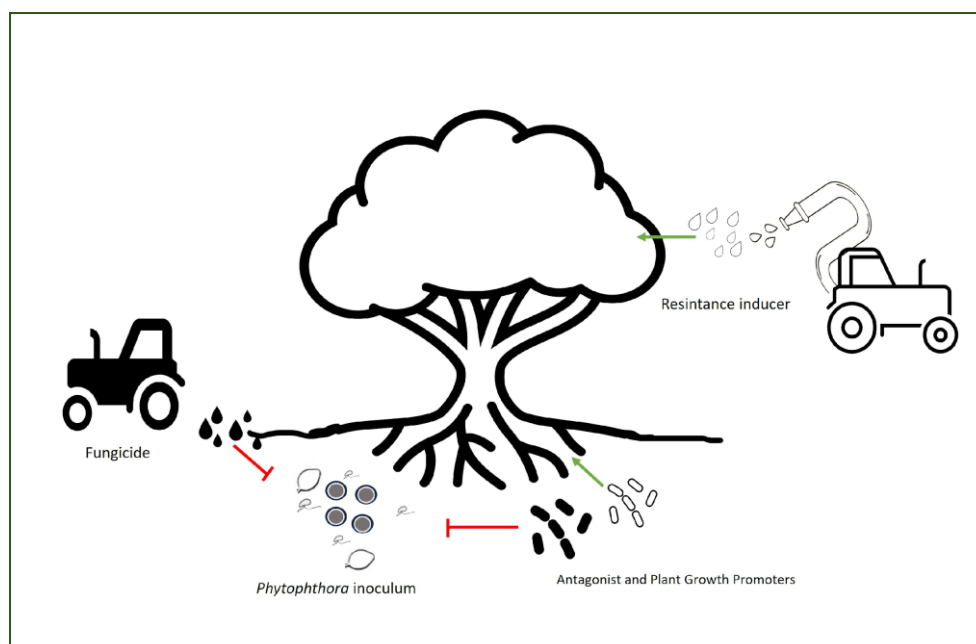
La **gestione integrata** del declino del leccio è difficile e deve prendere in considerazione diverse variabili e fattori associati alla sua diffusione, incidenza e gravità. Tali variabili possono essere considerate in un contesto generale di eterogeneità territoriale e paesaggistica. Le infrastrutture fisiche e umane come la rete esistente di drenaggio naturale e le strade offrono corridoi preferenziali di diffusione e dispersione della *Phytophthora*. Altre variabili includono le pratiche culturali e la resistenza dell'ospite. Rilevante è anche la pressione esercitata da attività legate a specifici usi del territorio, come la presenza di vivai o di altro tipo di piantagione nelle aree limitrofe che potrebbero fungere da ponte per lo spostamento degli ospiti e l'introduzione di agenti patogeni in aree indenni da malattie. Ultimo,

ma non meno importante, la qualità e il livello di monitoraggio del territorio potrebbero alterare l'efficacia applicativa delle misure di controllo (Vannini e Morales-Rodriguez, 2019).

#### 4. Prodotti sostenibili da applicare nella difesa integrata

Invece di una reazione istintiva a un problema specifico, la gestione “olistica” dei parassiti è una serie di processi interconnessi incorporati nell'intero spettro della strategia IPM. L'olismo è la teoria secondo la quale i sistemi, e ciascuna parte di un sistema, dovrebbero essere visti nel loro insieme e non come parti isolate. “Olistico”, quindi, è un approccio che guarda al quadro generale e considera tutte le parti. La gestione olistica dei parassiti è un approccio integrato e preventivo che considera la salute generale della pianta e dell'ambiente dell'albero per prevenire problemi e gestirli saggiamente se si presentano.

La strategia di questa IPM si basa sull'applicazione delle corrette misure igieniche descritte nella sezione 5 per evitare la diffusione dell'agente patogeno e sul trattamento in tre fasi delle aree colpite. Questi trattamenti si basano: 1) sull'applicazione di un fungicida per abbassare la concentrazione dell'inoculo presente nel terreno; 2) l'incorporazione di microrganismi che occupano lo spazio lasciato dal patogeno, con funzione antagonista nei confronti del patogeno e stimolazione della crescita delle piante; 3) trattamenti con induttori di difesa della pianta che proteggono l'albero dall'impatto del patogeno (Figura 3).



**Figura 3.** Approccio olistico di trattamento per mitigare l'impatto di *P. cinnamomi*

## 4.1 Formulazione del prodotto e dose

### 4.1.1 Riduzione e controllo dei livelli di inoculo di *Phytophthora*

Le piante di *Brassica* contengono alte concentrazioni di glucosinolati (GLS) in specifici tipi di cellule che fanno parte dei sistemi di difesa naturale di queste piante (Koroleva et al. 2010). Queste molecole costituiscono un substrato per gli enzimi idrolitici (mirosinasi), immagazzinati in vacuoli o cellule specifiche di mirosina delle piante di *Brassicaceae*. In seguito alla rottura dei tessuti, le GSL entrano in contatto con le mirosinasi e vengono idrolizzate in isotiocianati (ITC). È noto che gli ITC hanno un'ampia attività di biocontrollo contro artropodi, funghi e oomiceti (Brown e Morra 1997; Rosa et al., 1997).

Il prodotto scelto nei test sul mesocosmo FAGESOS per controllare i livelli di inoculo di *P. cinnamomi* nel terreno è un prodotto commerciale, già disponibile per il suo utilizzo come fertilizzante (BioFence FL, Nutrien Italia S.p.a., Livorno, IT). Nella sua forma commerciale, BioFence è prodotto da *Brassica carinata* selezione ISCI7 utilizzando un metodo di sgrassamento parziale che limita la degradazione di GSL e mirosinasi, ottimizzando in questo modo l'efficacia del prodotto (Lazzeri et al. 2004). L'efficacia del biocontrollo (96,5%) dei pellet di *Brassica* su *P. cinnamomi* è stata segnalata in esperimenti in vitro e nel mesocosmo fornendo un'alternativa ai pesticidi sintetici nell'ambito dei programmi di gestione delle malattie (Morales-Rodriguez et al., 2016). Oltre alla sua attività biocida, questo prodotto sembra avere un effetto positivo e duraturo come fertilizzante del terreno. Favorisce inoltre l'emissione di nuove radici, migliorando la capacità delle piante di assorbire i nutrienti e quindi la resilienza agli stress abiotici (ad esempio temperature estreme e siccità).

BioFence è disponibile in commercio come pellet per applicazioni a secco e come prodotto bicomponente (Figura 4), costituito da un formulato liquido e farina di brassica da combinare e applicare come innaffiamento del terreno. Entrambe le formulazioni sono state confrontate per l'efficacia in studi sul mesocosmo, essendo la formulazione liquida quella con le migliori prestazioni nel ridurre l'inoculo di *P. cinnamomi*.

---

#### **Composizione:**

Biofence FL è un prodotto bicomponente, comprende la formulazione liquida e un derivato della farina da pellet. Il pacco include un sacchetto filtro per facilitare il processo di infusione.

#### **Apporto nutrizionale:**

- Azoto organico in polvere 6%
  - Zolfo totale 15% e Magnesio 0.5%
  - Contenuto di aminoacidi liberi in N totale >50%
  - Azoto organico liquido 3%
- 



**Figura 4.** Biofence FL

**Preparazione:**

1) Agitare la formula liquida per amalgamare bene i componenti e diluirla in qualche litro d'acqua utilizzando un contenitore capiente (Figura 5A).

*ca. 4 L di acqua per 1 L di formulazione liquida.*

2) Utilizzare la polvere necessaria al trattamento, versarla nell'apposito filtro, quindi immergere il filtro nella soluzione precedentemente preparata (Figura 5B).

*0,9 kg di farina per 1 L di formulazione liquida e 4 L di acqua.*

Per l'intera confezione commerciale (5 Kg di farina in pellet e 10 L di formulato liquido), utilizzare 22 L di acqua. Prepararlo in un contenitore da 50 L di volume

3) Lasciare in infusione la farina per almeno un'ora ma non più di 4/5 ore. Durante questo tempo agitare regolarmente il filtro in modo che tutta la farina venga a contatto con la soluzione liquida.

4) Trascorso il tempo minimo di infusione, sollevare il filtro dal composto liquido e mantenerlo in sospensione per poterlo strizzare e permettere quindi all'isotiocianato di fuoriuscire e di integrarsi nella soluzione.

5) Sciacquare il filtro in un altro contenitore con acqua pulita. Agitare il filtro per consentire la massima quantità di prodotto disciolta in acqua. Quindi, spremere il filtro e incorporare l'acqua nell'infusione.

*Per l'intera confezione commerciale, sciacquare in un volume di 10 L.*

6) La soluzione ottenuta deve essere portata al volume necessario nel serbatoio del fertilizzante, per poterla distribuire nel terreno attorno all'albero, avendo cura di irrorare soprattutto la base delle piante sotto la zona di proiezione della chioma.

*Per l'intera confezione commerciale, a questo punto, avremo circa 40-41 L di infuso. Mescolare con 1460 L di acqua per avere un volume finale di 1500 L.*



**Figura 5.** Preparazione del Biofence FL.

A) Miscelare la soluzione liquida in 22 L di acqua pulita e preparare la farina in pellet introducendola nel sacco filtro.

B) Immergere il sacchetto filtro nella miscela di acqua e soluzione liquida. Agitare vigorosamente per migliorare l'infusione.

C) Dopo 1 ora, sciacquare il sacchetto filtro e aggiungere la soluzione in un serbatoio di fumigazione o fertilizzante con 1460 L di acqua.

**Modalità di applicazione e dosaggio:** (per 1 confezione, 1500 L di diluizione finale; 35-45 alberi)

- Il prodotto deve essere applicato solo su alberi affetti da malattia e/o situati nella parte limitrofa ai focolai di malattia in avanzamento.
- Il prodotto va applicato trattando la superficie sottostante la chioma dell'albero all'inizio della primavera dopo un periodo piovoso. L'obiettivo è quello di uccidere l'inoculo negli strati più esterni del terreno (10-15 cm) per ridurre il rischio di dispersione attraverso il movimento passivo delle particelle di terreno contaminate.
- Applicare il volume adeguato di soluzione a seconda delle dimensioni dell'albero (Tabella 1):

**Tabella 1:** Volume della soluzione per l'applicazione al suolo in base alle dimensioni della proiezione della chioma.

Diametro della chioma (m)	Volume della soluzione (L)
< 10	25
10 to 20	35
> 20	45



**ATTENZIONE!!! UTILIZZARE ENTRO 4 ORE DALLA PREPARAZIONE**

#### 4.1.2 Migliorare la salute degli alberi attraverso il microbioma del suolo

Questo trattamento ha lo scopo di migliorare la fisiologia delle piante e di limitare l'idoneità dell'habitat per l'agente patogeno attraverso la modifica con bioprodotto a base di microrganismi promotori della crescita delle piante e antagonisti di *Trichoderma* spp. Il bio-ammendante del suolo con microbi che promuovono la crescita delle piante (PGPM) è un'alternativa ecologica alla fertilizzazione chimica. Questi organismi possono colonizzare le radici delle piante, apportando benefici ai loro ospiti: aumentano la disponibilità di nutrienti nel suolo e la resistenza ai patogeni, modulando la produzione di fitormoni. Quindi, mitigano gli stress biotici e abiotici e aumentano la produzione vegetale.

*Trichoderma* è un fungo con un alto potenziale nel controllo biologico nell'implementazione della difesa integrata. *Trichoderma* comprende diversi simbionti vegetali opportunisti e avirulenti, essendo i principali colonizzatori del suolo in tutti i tipi di ecosistemi, in grado di controllare molti agenti patogeni del suolo attraverso diversi meccanismi come l'induzione della resistenza delle piante, la competizione diretta, l'inibizione e il parassitismo (Vinale et al., 2008). I simbionti vegetali opportunisti sono organismi che non sono obbligati a essere simbionti per sopravvivere, ma prosperano notevolmente di più quando hanno una pianta ospite. Alcuni ceppi di *Trichoderma* sono ben noti come efficaci agenti di biocontrollo, poiché riducono la gravità delle malattie delle piante, principalmente nel

terreno o sulle radici delle piante (Sharma e Sharma 2020). Questi effetti sono stati confermati con successo nella ricerca su *Phytophthora* spp., controllando o addirittura riducendo le malattie correlate a *Phytophthora* (Aleandri et al., 2015; Sharma e Sharma 2020, Ruiz-Gómez e Miguel-Rojas, 2021).

- Tra i prodotti testati nelle prove sul mesocosmo FAGESOS, tutti i prodotti a base di PGPB e 2 prodotti a base di *Trichoderma* spp. ha avuto un effetto positivo sullo stato di salute delle piante di quercia infette. Alla fine, due prodotti sono stati scelti per i protocolli IPM per la loro efficacia, e anche considerando la loro attuale disponibilità sul mercato: Bactrium® e Tricoten® di Atens (Agrotecnologías Naturales, S.L., Tarragona, Spagna).

- Bactrium® (Fig. 6) ha batteri della rizosfera altamente competitivi che colonizzano il sistema radicale. Questi batteri migliorano la nutrizione delle piante, migliorano l'efficienza dell'uso dei fertilizzanti e sbloccano gli elementi bloccati nel terreno. Entrambi i ceppi di *Bacillus megaterium* contenuti in Bactrium sono stati completamente sequenziati presso NGA lab. Grazie a questo lavoro possiamo affermare che contengono geni codificanti che contribuiscono a:

- L'assorbimento e l'assimilazione dell'azoto (trasportatore dei nitriti ed enzimi della famiglia delle nitroreduccasi)
- Maggiore resistenza alla contaminazione da rame (Copper Resistance Protein)
- Assorbimento del ferro (siderofori)
- Solubilità del fosforo (fosfatasi acida e fitasi)

#### **Composizione:**

- *Bacillus megaterium* MHBM06: 5x10<sup>9</sup> UFC/g
- *Bacillus megaterium* MHBM77: 5x10<sup>9</sup> UFC/g
- Total rhizosphere bacteria: 1x10<sup>10</sup> UFC/g



**Figura 7.** Bactrium®, Atens

Tricoten® è una formulazione in polvere bagnabile a base di *Trichoderma atroviride*. La sua efficacia nel controllo di agenti patogeni come *Fusarium*, *Sclerotinia* e *Botrytis* è già stata dimostrata, ed è stato dimostrato che riduce significativamente i sintomi della malattia nelle querce infettate da *Phytophthora cinnamomi* negli studi sul mesocosmo condotti nel progetto FAGESOS. Sono disponibili sul mercato altre formulazioni con *T. atroviride*, sebbene non possiamo fornire informazioni sulla loro efficacia nel leccio o nella quercia da sughero contro *P. cinnamomi* perché non sono state incluse negli studi sul mesocosmo FAGESOS. Tuttavia, se la loro formulazione si basa sul *T. atroviride*, si presume che gli effetti potrebbero essere simili. Per l'Italia Tricoten® non è ancora disponibile, anche se al momento della stesura di questo documento è in fase di registrazione.



## ATTENZIONE!!! NON UTILIZZARE PRODOTTI A BASE DI *T. KONINGII*.

*Questo microrganismo può stimolare l'omotalismo in P. cinnamomi*

(Pratt et al., 1972; Brassier, 1978)

### Composizione:

- *Trichoderma atroviride* AT10,  
conidial wettable powder, 5x10<sup>9</sup> UFC/g



Figure 7. Tricoten®, Atens®

### Modalità di applicazione e dosaggio:

- Dosaggio di Bactrium®: 2 L/ha
- Dose di Tricoten®: 1 Kg/ha
- Entrambi i prodotti possono essere applicati direttamente al terreno, tramite barra spruzzatrice, disciolti nella quantità necessaria acqua, a seconda del consumo di ciascuna barra spruzzatrice.

Esempio: Per un serbatoio da 2000 L con barra irroratrice da 6 m, in ragione di 200 L/ha, aggiungere 20 L di Bactrium® e 10 kg di Tricoten® per 10 ha.

- Il trattamento può essere applicato insieme in primavera nei mesi di marzo-aprile, preferibilmente dopo un periodo piovoso

#### 4.1.3 Induttore di resistenza

Gli induttori di resistenza delle piante (PRI) potrebbero essere utili per ridurre l'uso di pesticidi. Si tratta di molecole di diversa natura che portano ad una migliore protezione dagli attacchi di agenti patogeni inducendo meccanismi di difesa della pianta, i cosiddetti "Plant Triggered Immunity" (PTI). È noto che i PRI sono efficaci contro vari agenti patogeni, inclusi virus, batteri, oomiceti e funghi che attaccano le piante. Questo trattamento è altamente raccomandato nel declino della quercia perché *P. cinnamomi* non è un patogeno primario del leccio e della quercia da sughero ma un fattore scatenante di mortalità nel sintomo del declino. Pertanto, il miglioramento dei meccanismi di difesa naturale degli alberi li proteggerà da eventi soglia che possono portare a gravi episodi di marciume radicale e alla morte degli alberi.

Tra i prodotti testati nelle prove sul mesocosmo FAGESOS, il prodotto che ha presentato la massima efficacia nel ridurre i sintomi e la mortalità nelle piante infette è stato Kalex EVO® (Alba Milagro International S.p.A.; Parabiagio, Italia). Kalex EVO® è un potenziatore delle difese naturali che comprende sostanze fertilizzanti (rame e molibdeno) e diversi composti organici attivatori (acido carbossilico, polisaccaridi ed estratti naturali), dimostrati efficaci contro un'ampia gamma di malattie fungine e batteriche. KALEX EVO è formulato in modo che le sostanze in esso contenute vengano rapidamente assorbite e trasportate dalle radici alle foglie e viceversa. Per il suo effetto veicolante può essere combinato con antiparassitari, per migliorarne l'impianto ed il funzionamento, previa verifica di compatibilità. Non utilizzarlo durante la fioritura.

### **Composizione:**

- Rame (Cu), 4.1 % w/w
- Molibdeno (Mo), 0.03 % w/w
- Estratti vegetali: Polisaccaridi, vitamine, minerali, grassi, aminoacidi, polifenoli e pigmenti.
- Acido carbossilico



**Figura 8.** Kalex EVO®, Milagro International S.p.A

### **Modalità di applicazione e dosaggio:**

- Il trattamento consigliato consiste in 2 applicazioni fogliari con un intervallo di 15 giorni tra loro.
- L'applicazione deve essere effettuata in primavera (aprile-maggio), dopo la fioritura, e senza precipitazioni previste nelle 24 ore successive.
- Dosaggio: 2 L/ha.
- Nel caso di una quercia comune "dehesa" (sia leccio che sughere) con una densità di alberi compresa tra 60 e 90 alberi/ha, si può preparare una vasca da 2000 L aggiungendo 20 L di prodotto e applicandolo seguendo le raccomandazioni di Tab. 2.
- Per controllare il declino delle querce nei rimboschimenti giovani o nelle piantagioni dense, utilizzare una dose di 3 L/ha

**Tabella 2:** Volume della soluzione orientativa per l'applicazione a spruzzo sulla chioma del leccio a seconda delle dimensioni della pianta

Diametro della chioma (m)	Volume della soluzione (L)
< 10	18
10 to 20	25
> 20	32

#### 4.2 Periodo di applicazione e tempistica

I trattamenti dovrebbero seguire un ordine determinato, iniziando dalla riduzione dell'inoculo, come fase critica. Questo prodotto deve essere applicato dopo un periodo piovoso, su terreno umido, per garantirne la penetrazione, e in coincidenza con il periodo di massima probabilità di attività proliferativa di *P. cinnamomi*.

Dopo il trattamento con BioFence FL, è necessario osservare un periodo di 30 giorni prima di trattare con microrganismi o qualsiasi altro prodotto biologico, per garantire che gli isotiocianati siano degradati ed evitare interferenze con l'ammendante.

Per quanto riguarda il trattamento fogliare, l'aspetto più importante da considerare è la fioritura. Il prodotto deve essere applicato quando il periodo della fioritura è terminato ed i fiori sono già stati fecondati per garantire una migliore produzione di frutti.

Osservando tutti questi aspetti, e prendendo come esempio il calendario dell'Area Dimostrativa di La Tejera, il calendario proposto per l'applicazione nelle "dehesas" sarebbe il seguente (Tabella 3):

**Tabella 3:** Calendario dei trattamenti per l'Area Dimostrativa FAGESOS di La Tejera (Villaviciosa de Córdoba, Spagna)

	Settimana					
	I	II	III	IV	V	VI
BioFence	20-21 Marzo					
Kalex EVO				18-19 Aprile		1-2 Maggio
Bactrium+Tricoten				22-23 Aprile		

Le date verrebbero adeguate tenendo conto degli episodi piovosi e dei periodi di fioritura.

Nel caso di piantagioni o foreste naturali sempreverdi non legate all'allevamento di suini iberici, è possibile anticipare il trattamento Biofence® effettuandolo durante l'inverno quando il terreno è umido e la crescita dell'erba è minore. Un esempio di trattamento in queste aree è mostrato nella Tabella 4.

**Tabella 4:** Calendario dei trattamenti per piantagioni o foreste naturali sempreverdi

	Settimana					
	I	II	III	IV	V	VI
BioFence	20-21 Febbraio					
Kalex EVO				18-19 Aprile		1-2 Maggio
Bactrium+Tricoten		22-23 Marzo				

Le date verrebbero adeguate tenendo conto degli episodi piovosi e dei periodi di fioritura.

## 5. Misure igieniche

Le misure igieniche sono metodi preventivi per evitare il trasporto passivo dell'inoculo di *P. cinnamomi* dai focolai di infezione alle aree sane. Tutto ciò che favorisce il trasporto passivo del terreno infetto può fungere da portatore della malattia. Ciò include pneumatici per veicoli, calzature e animali selvatici e da fattoria. Vannini et al. (2021) hanno dimostrato che la maggior parte dell'inoculo si muove lungo la rete di strade che costeggiano o attraversano i castagneti e la rete di drenaggi delle acque superficiali, ciò si presenta anche nelle "dehesas" di leccio (Cardillo et al., 2018). Pertanto, le misure igieniche rappresentano una parte fondamentale della strategia IPM.

Vannini et al. (2010) hanno suggerito le seguenti precauzioni e pratiche igieniche:

1. La restrizione del transito di persone, animali e macchinari nelle aree infette (focolai) e lungo strade e sentieri che attraversano o confinano con boschetti e/o frutteti colpiti. Questa misura è molto rilevante durante gli episodi di forti piogge e i periodi di inondazioni.
2. La disinfezione di pneumatici e scarpe all'uscita da zone infette, in particolare nella stagione delle piogge.
3. La gestione dei flussi idrici superficiali raccogliendo e convogliando le acque di deflusso dalle aree interessate.

Le misure elencate ai punti (1) e (2) sono economicamente vantaggiose, ma la loro corretta applicazione dipende dall'educazione e dalla consapevolezza tra le parti interessate della castagna e i privati cittadini. Quest'ultima misura è costosa e non facile da attuare in grandi focolai di infezione. Nel caso delle misure igieniche serve il sostegno di tutti; è altamente raccomandato un approccio multilaterale, attuato in stretta collaborazione con i comuni locali, le associazioni senza scopo di lucro, i gruppi di cittadini, le associazioni di proprietari e coltivatori forestali e altre parti interessate.

Nell'ambito del progetto FAGESOS, nelle aree dimostrative in Spagna e Italia verranno implementate e mantenute le seguenti misure igieniche:

**I) Stabilizzazione delle strade e miglioramento dei fossati:** le aziende agricole e le aree forestali sono piene di strade di campagna utilizzate per attività culturali e zootecniche. Nella maggior parte dei casi, il manto stradale è altamente instabile, soggetto a pozzanghere di fango e buche in grado di contenere

l'inoculo patogeno, che può essere diffuso da automobili e macchinari pesanti. In questo caso, poiché la maggior parte delle strade sono costituite da piattaforme di terreno naturale compattato, con poco movimento del terreno, è facile ed economico riparare il manto stradale con una semplice trave o una macchina lisciatrice. Inoltre, i fossati lungo le strade principali che attraversano le aree colpite saranno puliti e migliorati per raccogliere l'acqua di piena, incanalando il deflusso verso i principali corsi d'acqua e limitando così la diffusione dell'inoculo (Figura 9).



**Figura 9.** Miglioramento della strada di campagna a La Tejera. La pavimentazione stradale può essere facilmente compattata con una trave pesante. I fossati dovrebbero essere puliti nelle aree di deflusso vicino ai focolai e/o alle aree fortemente colpite, incanalando il deflusso verso i principali corsi d'acqua.

**II) Stazioni di pulizia delle calzature:** Queste stazioni sono costituite da un modulo di spazzolatura per rimuovere lo sporco. Le stazioni di pulizia delle calzature del progetto FAGESOS includevano anche dispositivi laterali per rimuovere il fango in eccesso prima di pulire le scarpe, spazzole laterali per facilitare la pulizia e un modulo di spruzzatura con disinfettante integrato nel modulo di spazzolatura. (Figura 10).

**III) Le stazioni di pulizia dei veicoli** rappresentano un'importante misura igienica preventiva. Nel caso di strade extraurbane costituite da piattaforme compattatrici per terreno naturale, l'aspetto più importante da considerare è la pulizia degli pneumatici con disinfettante. La misura più efficace in termini di costi e tempo a questo scopo è l'installazione di bagni per pneumatici nei principali punti di uscita delle strade di campagna dell'azienda agricola/tenuta (Figura 11). Le vasche per la pulizia dei pneumatici devono essere riempite con una soluzione disinfettante e devono essere sufficientemente profonde da bagnare efficacemente l'intero pneumatico a bassa velocità, senza costituire un ostacolo significativo per il veicolo.



**Figura 10:** Stazioni di lavaggio delle calzature progettate per il progetto FAGESOS. Le stazioni erano dotate di spazzole laterali, piastre laterali per la rimozione del fango in eccesso e un dispenser di disinfettante.



**Figura 11:** Esempio di bagno per pneumatici all'ingresso principale di un'azienda agricola.

Le postazioni di pulizia delle calzature e i bagni per pneumatici devono essere dotati di una soluzione disinfettante che non presenti pericolo di contaminazione ambientale, del suolo, della vegetazione e della fauna. A questo scopo i disinfettanti a base di sali quaternari offrono una soluzione ottimale. Questi disinfettanti, in dosaggio adeguato, non danneggiano gli animali e sono innocui per la vegetazione. Nell'ambito del progetto FAGESOS sono stati testati in laboratorio diversi prodotti a base di queste sostanze e senza sostanze chimiche o contaminanti nella loro composizione. Tra i prodotti testati, e considerando anche la loro composizione, prezzo e disponibilità in Spagna, il prodotto scelto per essere incluso nelle azioni dimostrative di FAGESOS è stato Sanibacter® (Quimpa S.L.; Madrid, Spagna) (Fig. 12). Tra i prodotti testati, e tenendo conto della loro composizione, prezzo e disponibilità in Italia, il prodotto scelto da inserire nelle azioni dimostrative di FAGESOS è Blu (gruppo chimico Arco), il prodotto si utilizza diluendolo in acqua in proporzione di 1/200. In questo modo una confezione da 1l produrrà complessivamente 200 litri di liquido disinfettante.

#### **Composizione:**

- Didecylidimethylammonium chloride (4.5% v/v)
- Eccipienti



**Figura 12.** Sanibacter®, Quimpa S.L

I test includevano dosi diverse, per trovare la dose minima in grado di uccidere efficacemente l'inoculo di *P. cinnamomi* (Tabella 5).

**Tabella 5:** Dosaggio di Sanibacter® per diverse applicazioni. La dose indica la concentrazione alla quale dai test non è stato recuperato alcun inoculo vitale di *P. cinnamomi*.

Applicazione	Dosaggio	Raccomandazione
Test di laboratorio	1.111 µL / mL	---
Stazioni per la pulizia delle calzature e disinfettanti per le mani	7 µL / mL	I dispenser di disinfettante saranno riempiti con una soluzione allo 0,7% v/v di Sanibacter® (7 mL per ogni L)
Bagni di pneumatici	2.5 µL / mL	Per un pediluvio contenente 1000 L di acqua aggiungere 2,5 L di Sanibacter®. Ripetere l'operazione dopo ogni episodio di forte pioggia

Un'ulteriore opzione, i tappetini disinfettanti (Fosse Ltd) (Figura 13 b,c) potrebbero essere posizionati all'ingresso e all'uscita delle strade che attraversano o confinano con aree infette, per contrastare il movimento passivo dell'inoculo. I tappetini sono riempiti con soluzione disinfettante (Blu, gruppo chimico Arco®) senza deflusso tranne quando i veicoli transitano. Saranno accompagnati da segnaletica appositamente progettata e accattivante (Figura 13 d). Questi segnali:

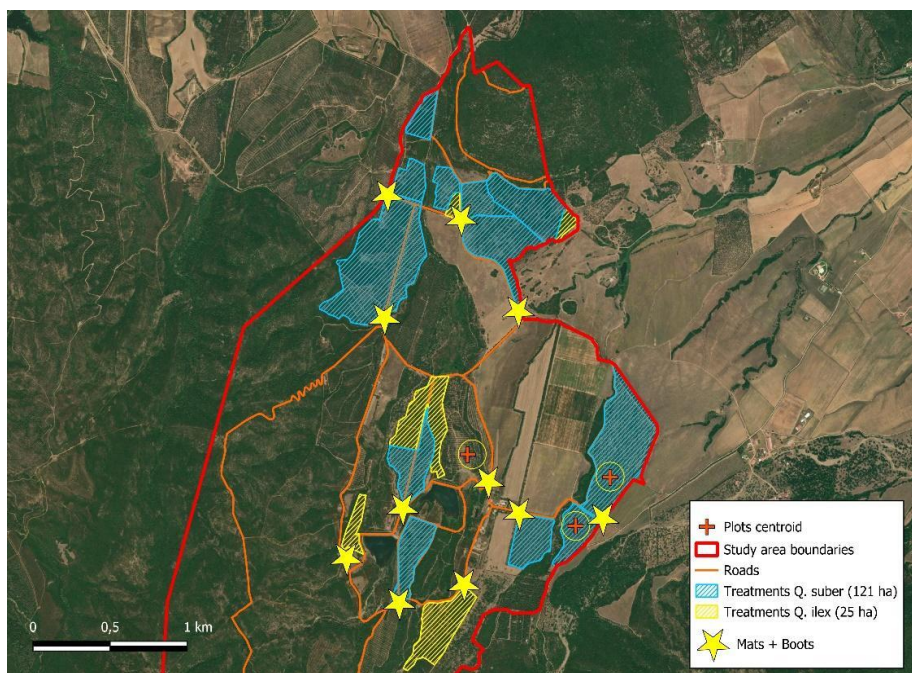
- 1) descrivono in dettaglio i passaggi necessari per pulire con successo i veicoli e in particolare i pneumatici dei veicoli dall'inoculo ogni volta che si utilizza una delle strade che attraversano o confinano con aree infette;
- 2) sottolineare la gravità delle infezioni da *Phytophthora* e il danno da esse causato in termini generalmente comprensibili, racchiusi in un significativo invito all'azione.

**IV) Kit di pulizia mobili:** kit di pulizia facili da usare che includono uno spray disinfettante e una spazzola per igienizzare stivali e altri strumenti per quelle persone (escursionisti, lavoratori, coltivatori, tecnici forestali) che interagiscono frequentemente o necessariamente con aree infette (Figura 13a).



**Figura 13.** Kit mobili di pulizia (a), stazioni di pulizia veicoli (b e c), segnaletica (d).

L'intera implementazione dell'IMP è visibile nella Figura 14, che rappresenta le attività svolte presso l'azienda agricola Monte Arcosu (Sardegna, Italia)



**Figura 14.** Mappe delle piantagioni di sughero e leccio con ubicazione della stazione di pulizia dei veicoli nell'azienda agricola Monte Arcosu

## 5.1 Segnaletica

Le misure igieniche saranno accompagnate da segnaletica appositamente studiata e accattivante (Figura 15).

Tali segnali hanno principalmente i seguenti obiettivi:

- Dettagliare i passaggi necessari per utilizzare con successo le stazioni di pulizia delle calzature
- Sottolineare la gravità delle infezioni da *Phytophthora* e il danno causato da questo patogeno in termini generalmente comprensibili, racchiusi in un significativo invito all'azione.
- Avvertenza sulla presenza di bagni per pneumatici e sulla velocità consigliata alla quale devono essere utilizzati.
- Indicare la zona in cui verranno effettuati i trattamenti.



**Figura 15.** Segnaletica per le misure igieniche e la sensibilizzazione dei cittadini installata presso l'Area Dimostrativa di La Tejera (Villaviciosa de Córdoba, Spagna).

## 6. Buone pratiche nelle “dehesas” di quercia sempreverde

Infine, la gestione è considerata una parte altamente rilevante dei protocolli IPM. Tra i fattori scatenanti del declino rientrano le pratiche culturali scorrette. Una serie di misure elencate di seguito può essere implementata per la gestione delle “dehesas” di leccio per quanto riguarda la loro relazione con il declino delle querce e la diffusione di agenti patogeni.

### **1. Continuare a gestire le “dehesas”**

L'abbandono delle “dehesas” porta all'invasione degli arbusti e al deperimento degli alberi. La sostenibilità economica delle “dehesas” dovrebbe essere al centro dei protocolli IPM, poiché le “dehesas” economicamente redditizie sono più probabilmente ben gestite rispetto a quelle povere. L'allevamento estensivo e le pratiche agricole che offrono prodotti di alta qualità sono le migliori opzioni.

### **2. Monitorare regolarmente lo stato di salute dei lecci**

Valutare regolarmente la defogliazione degli alberi e l'abbondanza di parassiti (insetti e cancri). Se la defogliazione comincia ad aumentare in un'area limitata, interessando più alberi, o si manifesta un declino generalizzato e la diffusione di agenti patogeni, rivolgersi tempestivamente ad un tecnico forestale specializzato o ad un tecnico agronomo per la diagnosi e la terapia adeguata. Tenete presente che una diagnosi precoce aumenta notevolmente l'efficacia delle misure di controllo e riduce sensibilmente i costi.

### **3. Effettuare una potatura regolare**

La potatura è funzionale a i) rimuovere le parti morte della pianta fonte di proliferazione di parassiti e patogeni e ii) stimolare una vigorosa attività vegetativa e riproduttiva. Pertanto, si consiglia di effettuare la potatura di mantenimento ogni 3,5 anni. La potatura deve essere effettuata da arboricoltori esperti, a fine inverno o inizio primavera, a seconda delle condizioni locali, ma prima della fine del periodo di riposo invernale. La potatura deve essere effettuata solo su rami con diametro superiore a 15 cm e fare attenzione a non provocare danni all'albero per errata inclinazione di taglio o danni involontari causati da un errato utilizzo dell'utensile. Pratiche di potatura o lavorazione errate indebolirebbero gli alberi favorendo il processo di declino.

### **4. Evitare la lavorazione del terreno con aratura a versoio o con attrezzi per aratura profonda.**

Questi attrezzi hanno effetti negativi sul processo di declino, sia a causa del danneggiamento dell'apparato radicale della quercia, soprattutto delle sue radici secondarie, che sono molto superficiali, sia della diffusione del terreno infetto. La rimozione della boscaglia deve essere effettuata con mezzi che rimuovano la minor quantità di terra possibile, compresi decespugliatori a catena o martelli ove possibile. La semina dovrebbe essere effettuata, se possibile, con attrezzi poco profondi, evitando la lavorazione del terreno. Queste misure sono molto rilevanti quando viene identificato un focus della malattia e la diagnosi di *P. cinnamomi* è positiva.

### **5. Disinfezione di macchinari pesanti**

Nelle aree in declino del leccio, il controllo del movimento del suolo e del materiale vegetale è fondamentale. L'inoculo di *P. cinnamomi* è presente negli strati superficiali del terreno e molto probabilmente nei detriti e nel materiale organico del terreno. Pertanto, può essere facilmente trasportato con macchinari e attrezzi pesanti.

Pertanto, la disinfezione dei macchinari pesanti dopo le pratiche colturali è obbligatoria. Questa disinfezione può essere facilmente effettuata in condizioni normali, utilizzando una soluzione di

ipoclorito di sodio al 5% (comune candeggina al 10%). Si può preparare una sacca per la fumigazione con 1 litro di candeggina e 9 litri di acqua, da applicare sui carrelli e sulle parti sporche e da applicare a lavoro finito.

La disinfezione può essere effettuata anche con sali di ammonio quaternario, aggiungendo allo zaino di fumigazione una quantità di circa 250 mL in 10 L.

Quando il terreno è molto umido se l'accumulo di fango è rilevante per i macchinari, si consiglia di rimuovere quanto più fango possibile prima della disinfezione.

Ciò vale anche per tutti i veicoli che entrano nell'area interessata. Quando i veicoli entrano in campo, la probabilità che si accumulino terra e detriti è maggiore e, quindi, la loro disinfezione deve includere le parti più sporche oltre alle ruote, per cui il bagno degli pneumatici potrebbe non essere sufficiente.

## 6. Qualità del suolo

Il suolo è fondamentale per lo stato di salute degli alberi. Suoli pesanti, con bassa capacità di scambio cationico, e suoli molto carenti di nutrienti sono considerati fattori predisponenti al declino del leccio. Pertanto, nelle aree in declino sarebbe raccomandata un'analisi del suolo.

L'ammendamento del terreno calcareo può essere positivo quando la fertilità del suolo è molto scarsa. I terreni ricchi di calcare sono meno inclini al marciume radicale, principalmente a causa del loro effetto sullo stato di salute dell'albero. Quando la fertilità del suolo è troppo ricca o i suoli sono carenti, sarebbe raccomandabile un ammendante calcareo.

Se la "dehesa" viene coltivata regolarmente, si consiglia di attuare anche la rotazione colturale con colture di leguminose. In questo caso evitare l'uso del lupino (*Lupinus luteus* L). Questa coltura è stata tradizionalmente utilizzata nelle "dehesas" per il suo valore nutritivo. Tuttavia, non è raccomandato nelle "dehesas" in declino, poiché può fungere da serbatoio di inoculo di *P. cinnamomi* (è un ospite non sintomatico).

L'emendamento della sostanza organica dovrebbe essere attentamente considerato e utilizzato in diverse occasioni, molto limitate. *Phytophthora cinnamomi* può sopravvivere come saprofita nutrendosi di detriti e resti di materia vegetale e organica presenti nel terreno. Tuttavia, questo patogeno è considerato un cattivo concorrente in condizioni saprofite. Pertanto, un elevato contenuto di OM nel terreno può avere un effetto positivo sull'inoculo attraverso l'aumento della diversità e dell'abbondanza microbica, ma non è un mezzo per controllare l'inoculo. Inoltre, in presenza di basse concentrazioni di materia organica, un aumento del suo contenuto potrebbe addirittura migliorare le condizioni di sopravvivenza dei patogeni.

## 7. Bibliografia

- Akilli Şimşek, S., Katircioğlu, Y.Z., Ulubaş Serçe, Ç., Çakar, D., Rigling, D., Maden, S., 2019. *Phytophthora* species associated with dieback of sweet chestnut in Western Turkey. For. Pathol. 49 (4), e12533.
- Aleandri, M. P., Chilosi, G., Bruni, N., Tomassini, A., Vettraino, A. M., & Vannini, A., 2015. Use of nursery potting mixes amended with local *Trichoderma* strains with multiple complementary mechanisms to control soil-borne diseases. Crop Prot., 67, 269-278.
- Aronson, J.; Pereira, J.S.; Pausas, J.G. 2009. *Cork Oak Woodlands on the Edge: Ecology, Adaptive Management, and Restoration*; Island Press: Washington, DC, USA.
- Aurangzeb, W., Guidoni, L., Rodríguez, C. M., Cecca, D., & Vannini, A. 2023. Exploring the diversity of *Phytophthora* spp. and the role of *Phytophthora multivora* in cork and holm oak coastal forests in Italy. Mycol Progress, 22(7), 51.
- Balci, Y.; Halmschlager, E. 2003. First report of *Phytophthora quercina* from oak forests in Austria. Plant Pathol., 52, 403.
- Brasier, C.M.; Robredo, F.; Ferraz, J.F.P. 1993. Evidence for *Phytophthora cinnamomi* involvement in Iberian oak decline. Plant Pathol., 42, 140–145
- Brasier, C.M., 1978. Stimulation of oospore formation in *Phytophthora* by antagonistic species of *Trichoderma* and its ecological implications. Annals of Applied Biol., 89(1), 135-139.
- Camilo-Alves, C.S.P.; da Clara, M.I.E.; Ribeiro, N.A. 2013. Decline of Mediterranean oak trees and its association with *Phytophthora cinnamomi*: a review. Eur. J. For. Res., 132, 411–432.
- Cardillo, E., Acedo, A., Abad, E., 2018. Topographic effects on dispersal patterns of *Phytophthora cinnamomi* at a stand scale in a Spanish heathland. PLOS ONE 13, e0195060. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195060>
- Carrasco Gotarredona, Á., Fernández Cancio, Á., Trapero Casas, A., López Pantoja, G., Sánchez Osorio, I., Ruiz Navarro, J.M., Jiménez Molina, J.J., Domínguez Nevado, L., Romero Martín, M. de los Á., Carbonero Muñoz, M.D., Sánchez Hernández, M.E., Lucas Caetano, P.C., Gil Hernández, P., Fernández Rebollo, P., Navarro Cerrillo, R.M., Sánchez de la Cuesta, R., Raposo Llobet, R., Rodríguez Reviriego, S., 2009. Procesos de Decaimiento Forestal (la Seca): Situación del Conocimiento, 1ª edición. ed. Consejería de Medio Ambiente, Córdoba, España.
- Díaz Esteban, M., Pulido Díaz, F., 2009. 6310: “dehesas” perennifolias de *Quercus* spp, in: Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.
- Gallego, F.J.; Perez de Algaba, A.; Fernandez-Escobar, R. 1999. Etiology of oak decline in Spain. Eur. J. For. Pathol., 29, 17–27.

- Gómez-Aparicio, L.; Ibáñez, B.; Serrano, M.S.; De Vita, P.; Ávila, J.M.; Perez-Ramos, I.M.; Garcia, L.V.; Sanchez, M.E.; Maranon, T. 2012. Spatial patterns of soil pathogens in declining Mediterranean forests: implications for tree species regeneration. *New Phyt.*, 194, 1014–1024.
- Hernández-Lambrano, R.E., González-Moreno, P., Sánchez-Agudo, J.Á., 2018. Environmental factors associated with the spatial distribution of invasive plant pathogens in the Iberian Peninsula: The case of *Phytophthora cinnamomi* Rands. *Forest Ecology and Management* 419–420, 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.03.026>
- Jönsson, U., Lundberg, L., Sonesson, K., Jung, T . 2003. First records of soilborne *Phytophthora* species in Swedish oak forests. *Forest Pathol.*, 33(3), 175-179.
- Jung, T., Blaschke, H., Neumann, P. 1996. Isolation, identification and pathogenicity of *Phytophthora* species from declining oak stands. *Eur. J. Plant Pathol.* 26(5), 253-272.
- Martins, L., Castro, J., Macedo, W., Marques, C., Abreu, C., 2007. Assessment of the spread of chestnut ink disease using remote sensing and geostatistical methods. *Eur. J. Plant Pathol.* 119 (2), 159–164.
- Martins, L., Oliveira, M., Abreu, C., 1998. Soils and climatic characteristic of chestnut stands that differ on the presence of the ink disease. In: II International Symposium on Chestnut, p. 494.
- Moricca, S.; Linaldeddu, B.T.; Ginetti, B.; Scanu, B.; Franceschini, A.; Ragazzi, A. 2016. Endemic and emerging pathogens threatening cork oak trees: Management options for conserving a unique forest ecosystem. *Plant Dis.*, 100, 2184–2193.
- Moreira, A.C., Martins, J.M.S. 2005. Influence of site factors on the impact of *Phytophthora cinnamomi* in cork oak stands in Portugal. *Forest Pathol.* 35(3), 145-162.
- Pratt, B.H., Sedgley, J.H., Heater, W.A., Shepherd, C.J., 1972. Oospore Production in *Phytophthora Cinnamomi* in the Presence of *Trichoderma Koningii*. *Australian Journal of Biological Sciences*, 25(4), 861-864. <https://doi.org/10.1071/BI9720861>
- Robin, C., Desprez-Loustau, M. L., Capron, G., Delatour, C. 1998. First record of *Phytophthora cinnamomi* on cork and holm oaks in France and evidence of pathogenicity. In *Annales des sciences forestières* (Vol. 55, No. 8, pp. 869-883). EDP Sciences.
- Rodá, F., Vayreda, J., Ninyerola, M., 2009. 9340: Encinares de *Quercus ilex* y *Quercus rotundifolia*, in: Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.
- Ruiz-Gómez, F.J., Pérez-de-Luque, A., Navarro-Cerrillo, R.M., 2019. The Involvement of *Phytophthora* Root Rot and Drought Stress in Holm Oak Decline: from Ecophysiology to Microbiome Influence. *Curr Forestry Rep* 5, 251–266. <https://doi.org/10.1007/s40725-019-00105-3>
- Ruiz-Gómez, F.J.; Miguel-Rojas, C., 2021. Antagonistic Potential of Native *Trichoderma* spp. against *Phytophthora cinnamomi* in the Control of Holm Oak Decline in “dehesas” Ecosystems. *Forests*, 12(7), 945. <https://doi.org/10.3390/f12070945>.

- Sánchez-Cuesta, R., González-Moreno, P., Cortés-Márquez, A., Navarro-Cerrillo, R.M., Ruiz-Gómez, F.J., 2022. Soil distribution of *Phytophthora cinnamomi* inoculum in oak afforestation depends on site characteristics rather than host availability. *New Forests*. <https://doi.org/10.1007/s11056-022-09951-9>
- Sánchez-Cuesta, R., Ruiz-Gómez, F.J., Duque-Lazo, J., González-Moreno, P., Navarro-Cerrillo, R.M., 2021. The environmental drivers influencing spatio-temporal dynamics of oak defoliation and mortality in “dehesas” of Southern Spain. *Forest Ecology and Management* 485, 118946. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118946>
- Scanu, B., Linaldeddu, B.T., Franceschini, A., Anselmi, N., Vannini, A., Vettraino, A.M. 2013. Occurrence of *Phytophthora cinnamomi* in cork oak forests in Italy. *Forest Pathol.* 43:340-343.
- Seddaiu, S., Brandano, A., Ruiu, P.A., Sechi, C., Scanu, B., 2020. An overview of *Phytophthora* species inhabiting declining *Quercus suber* stands in Sardinia (Italy). *Forests* 11, 971.
- Senado, 2010. Ponencia de Estudio sobre la protección del ecosistema de la dehesa. (Boletín Oficial de las Cortes Generales, IX Legislatura, nº 8 No. 543/000009). Senado.
- Sharma, A. K., & Sharma, P. (2020). *Trichoderma*. Springer Singapore.
- Vannini, A., and Morales-Rodríguez, C. "Phytophthora diseases." *Forest Microbiology*. Academic Press, 2022. 379-402.
- Vannini, A., Natili, G., Anselmi, N., Montagni, A. and Vettraino, A. M. 2010. Distribution and gradient analysis of Ink disease in chestnut forests. *Forest Pathol.* 40(2), 73–86. doi:10.1111/j.1439-0329.2009.00609.x.
- Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E. L., Marra, R., Woo, S. L., & Lorito, M. (2008). *Trichoderma*–plant–pathogen interactions. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(1), 1-10.