



# IL CASTAGNO DA FRUTTO

**ecologia, avversità parassitarie,  
meccanizzazione innovativa**



*a cura di*  
*Salvatore Moricca, Matteo Bracalini e Tiziana Panzavolta*



**INGECA**

dall’imbrunimento o azzurramento dei tessuti legnosi, dovuti all’azione patogena dei funghi simbionti che, a partire dalle gallerie di *Xylosandrus*, possono poi colonizzare l’intera pianta.

## CAPITOLO 7

### Lotta agli *Xylosandrus*

La lotta nei confronti di questi scolitidi deve basarsi innanzitutto sulla prevenzione, favorendo le condizioni vegetative dei castagni da difendere. Occorre, quindi, essere consapevoli di tutti i fenomeni che possono causare l’indebolimento (anche solo temporaneo) delle piante, come ad esempio traumi da potatura, crisi post trapianto, stress idrico, come anche l’azione parassitaria di altri organismi. Saper riconoscere le piante più suscettibili alla colonizzazione da parte di *Xylosandrus* permette di prendere provvedimenti culturali atti a ristabilire nel minor tempo possibile la normale vitalità dei castagni. Inoltre, l’attento monitoraggio del castagneto consente di potere effettuare una precoce diagnosi di eventuali focolai in modo da poter intervenire repentinamente con le dovute misure di eradicazione. Infatti, non essendo disponibili rimedi chimici o biologici efficaci, tutto il materiale infestato deve essere pirodistrutto prima dello sfarfallamento delle nuove generazioni, così che l’infestazione non possa diffondersi ulteriormente nei castagneti limitrofi. Nel caso in cui l’infestazione interessi solo parte delle chiome, la lotta meccanica mediante la potatura dei soli rami attaccati permette di ottenere buoni risultati di contenimento, avendo cura di tagliare 10 cm a monte del primo foro di *Xylosandrus*. Anche in questo caso è importante distruggere tutto il materiale di risulta mediante bruciatura, in quanto la cippatura non garantisce la totale mortalità degli scolitidi presenti all’interno del legno infestato.

La lotta nei confronti di questi scolitidi deve basarsi innanzitutto sulla prevenzione, favorendo le condizioni vegetative dei castagni da difendere. Occorre, quindi, essere consapevoli di tutti i fenomeni che possono causare l’indebolimento (anche solo temporaneo) delle piante, come ad esempio traumi da potatura, crisi post trapianto, stress idrico, come anche l’azione parassitaria di altri organismi. Saper riconoscere le piante più suscettibili alla colonizzazione da parte di *Xylosandrus* permette di prendere provvedimenti culturali atti a ristabilire nel minor tempo possibile la normale vitalità dei castagni. Inoltre, l’attento monitoraggio del castagneto consente di potere effettuare una precoce diagnosi di eventuali focolai in modo da poter intervenire repentinamente con le dovute misure di eradicazione. Infatti, non essendo disponibili rimedi chimici o biologici efficaci, tutto il materiale infestato deve essere pirodistrutto prima dello sfarfallamento delle nuove generazioni, così che l’infestazione non possa diffondersi ulteriormente nei castagneti limitrofi. Nel caso in cui l’infestazione interessi solo parte delle chiome, la lotta meccanica mediante la potatura dei soli rami attaccati permette di ottenere buoni risultati di contenimento, avendo cura di tagliare 10 cm a monte del primo foro di *Xylosandrus*. Anche in questo caso è importante distruggere tutto il materiale di risulta mediante bruciatura, in quanto la cippatura non garantisce la totale mortalità degli scolitidi presenti all’interno del legno infestato.

### Nuovi strumenti per la diagnosi dei parassiti del castagno

Aglietti Chiara, Benigno Alessandra e Moricea Salvatore

La possibilità di rilevare in maniera certa la presenza e la quantità di un parassita in un tessuto vegetale analizzato, anche prima che i sintomi diventino visibili, costituisce un fattore fondamentale per l’implementazione di efficienti strategie di prevenzione, controllo e gestione delle avversità parassitarie (Thompson et al., 2016). Infatti, la possibilità di identificare in maniera certa un patogeno in tessuti vegetali anche in stadi asintomatici e in presenza di basse quantità di inocolo è uno degli scopi principali di una diagnosi efficiente, volta a prevenire l’introduzione di specie aliene e la diffusione incontrollata di patogeni e insetti. Nel caso di insetti e patogeni invasivi, come ad esempio *Cryphonectria parasitica* e *Dryocosmus kuriphilus*, le cui invasioni hanno minacciato nel corso della storia i castagneti, sono richiesti sistemi integrati di allerta precoce e interventi rapidi capaci di prevenire i danni che questi organismi potrebbero creare nei nuovi ambienti, portando a diffusioni incontrollate che potrebbero ripercuotersi sia sull’equilibrio dell’ecosistema invaso che sull’economia locale (Rainford et al., 2020). Tuttavia, gli strumenti di diagnosi possono rivelarsi estremamente utili anche quando si verifichino recrudescenze di malattie note (e.g. *Septoria* sp. leaf blotch, Chestnut mosaic virus, deterioramento o mummificazione delle castagne causate da *Phomopsis*) o in caso di epidemie causate da nuovi parassiti emergenti (e.g *Gnomoniopsis spp.*). Tali avversità sono spesso legate a cambiamenti delle condizioni climatiche e/o ambientali, ma richiedono interventi mirati a mitigarne l’impatto (Silva-Campos et al., 2022; Turco et al., 2021). In ogni caso, prima il parassita viene identificato, prima sarà possibile decidere quali strategie di gestione applicare, permettendo anche di scegliere come allocare i fondi e le risorse nei diversi siti di interesse (Hamelin et al., 2020). Un esempio dell’importanza dell’identificazione precoce di un’infezione può essere dato, ad esempio, dalla necessità di avere prodotti di qualità nella catena di produzione e vendita delle castagne. Infatti, la possibilità di isolare tempestivamente le castagne infette o verificare con sicurezza l’incidenza del marciume, permette di applicare efficaci misure di gestione per minimizzare le perdite economiche.

## 7.1 Metodi di diagnosi tradizionale: vantaggi e svantaggi

La diagnosi visiva, che generalmente viene usata nei contesti castanicoli, e che è la tipologia più frequentemente adottata anche nell’analisi di piante infette, può portare a sottostimare la presenza di un marciume, lasciandolo proliferare in maniera incontrollata (Vetrano et al., 2021). In patologia vegetale è infatti importante identificare e segnalare quanto prima una malattia ed il relativo agente causale, perché dalla tempistica con cui il parassita viene

identificato dipende spesso l'efficacia del monitoraggio e della sorveglianza fitosanitaria (Brown et al., 2020). Generalmente, nella diagnosi di routine, i metodi convenzionali, che possono spaziare dall'analisi visiva dei sintomi alla coltura del parassita (seguita dall'osservazione dei suoi caratteri morfologici), sono preferiti in quanto sono i più semplici, ripetibili ed economici (Ray et al., 2017). Tuttavia, per identificare con certezza l'agente causale di una malattia con i metodi convenzionali, è necessario allevare in purezza l'organismo da analizzare. L'isolamento e l'analisi di alcuni parassiti piuttosto recalcitranti alla coltura in laboratorio su mezzo agarizzato (ad es., *Phytophthora* spp.), a partire da materiale vegetale, suolo o acqua, possono richiedere l'uso di substrati selettivi (es. PARP, PARPNH, PCH), che possono essere addizionati con sostanze selettive ed inibenti i microrganismi indesiderati, quali ampicillina, ritamicina, pimarcicina o pentaclorofenobenzene, ed affiancati da tecniche di isolamento specifiche (es. baiting) (Sena et al., 2018). Altri parassiti, come ad esempio *Cryphonectria parasitica* e *Gnomoniopsis* spp., possono essere coltivati su substrati universali quali PDA (Potato Dextrose Agar) e MEA (Malt Extract Agar). Data la necessità di lavorare in condizioni sterili per non contaminare la coltura e di evitare di usare sostanze che possono essere nocive per l'operatore, questi metodi richiedono un laboratorio all'uopo attrezzato e notevoli competenze specializzate (Baldi e La Porta, 2020). Inoltre, i sintomi osservati in campo potrebbero essere aspecifici e non facilmente individuabili da un occhio poco esperto, così come organismi tassonomicamente correlati potrebbero risultare difficili da discriminare sulla base dei soli caratteri morfologici. Tali difficoltà limitano l'efficacia del metodo diagnostico, richiedendo ulteriori test per arrivare a una diagnosi certa (Haribaran e Prasannath, 2021). Nel caso degli insetti, invece, risulta necessario avere un'elevata esperienza e conoscenza dei principali caratteri morfologici che possono essere discriminanti per una specie, ma esistono specie che non possono essere distinte basandosi solo su osservazioni morfologiche. Inoltre, anche disponendo delle competenze e di un laboratorio attrezzato, non è sempre possibile allevare in purezza tutti i microrganismi (ad es., i funghi biotrofi). Soprattutto, quindi, per l'identificazione di alcuni patogeni fungini si richiedono talvolta competenze di microbiologia avanzate e lunghi tempi di attesa, che possono variare da settimane a mesi (Sena et al., 2018). In aggiunta, i metodi convenzionali sono spesso etichettati come poco sensibili, non riuscendo a rilevare basse quantità dell'organismo di interesse che possono presentarsi in corrispondenza di bassi livelli di infestazione o di stadi di latenza della malattia (Ivanov et al., 2021). Per risolvere alcune di queste problematiche, la ricerca si è in tempi recenti concentrata sullo sviluppo di metodi diagnostici basati su tecniche immunoenzimatiche, in grado di riconoscere il parassita sulla base di specifiche reazioni "antigene-anticorpo". Fra questi, stanno avendo ampio successo alcune tipologie di test rapidi per *Phytophthora* ad altri microrganismi fitopatogeni come la tecnica lateral flow device (LFD). Questa metodica si pone come una valida soluzione diagnostica perché permette di identificare il parassita in pochi minuti e in maniera semplice (Benavent-Celma et al., 2022).

Tuttavia, sebbene queste tecniche risultino valide alternative per la diagnosi dei virus, per organismi più complessi, come i funghi, la selezione di anticorpi sufficientemente specifici per ottenere saggi immunoenzimatici sufficientemente discriminanti è laboriosa, costosa e richiede molto tempo (Haribaran e Prasannath, 2021). Come conseguenza, spesso questi metodi non riescono a discriminare i parassiti vegetali a livello di specie, richiedendo ulteriori analisi per ottenere identificazioni precise. Essi vengono quindi usualmente impiegati soltanto in saggi di

screening iniziale, che devono essere successivamente integrati da analisi diagnostiche più accurate (Ray et al., 2017).

## 7.2 La nascita della diagnosi molecolare: la reazione di amplificazione polimerasica (PCR) e le sue varianti

La scoperta negli anni '80 del secolo scorso della reazione a catena della polimerasi (PCR) ha posto le basi per la diagnosi molecolare, ritenuta ad oggi uno dei metodi diagnostici di più alte sensibilità e specificità che permette l'amplificazione e l'analisi di determinate sequenze di DNA o RNA presenti nel genoma dell'organismo di interesse (Silva et al., 2021). La PCR è una reazione mediante la quale il DNA può essere copiato e amplificato. Sfrutta enzimi (DNA polimerasi) per amplificare specifiche regioni di DNA utilizzando brevi e specifici oligonucleotidi (primer) che vengono aggiunti alla reazione e che agiscono da innesco per la costruzione *in vitro*, di una di sequenza di DNA complementare a partire da un filamento a singola elica. Il primo e più comunemente usato di questi enzimi è la Taq DNA polimerasi (da *Thermus aquaticus*); anche la Pfu DNA polimerasi (da *Pyrococcus furiosus*) è ampiamente utilizzata a causa della sua maggiore fedeltà durante la copia del DNA. Sebbene questi enzimi siano leggermente diversi, entrambi hanno due capacità di base che li rendono utili per la PCR: 1) possono generare nuovi filamenti di DNA utilizzando un modello di DNA e prime 2) sono resistenti al calore. La resistenza al calore è necessaria perché dopo ogni ciclo di copiatura del DNA, il risultante DNA a doppio filamento (dsDNA) deve essere denaturato, intorno ai 95°C, affinché si svolga e si separi in due singoli filamenti. La reazione viene quindi raffreddata per consentire ai primer di apparsi al DNA stampo e consentire alla DNA polimerasi di iniziare l'allungamento aggiungendo i singoli nucleotidi complementari, per creare un nuovo filamento completo di DNA. Le reazioni di amplificazione non mantengono una perfetta efficienza dopo diversi cicli di amplificazione perché i reagenti all'interno della PCR vengono consumati dopo molti cicli e la reazione raggiunge un plateau. Inoltre, anche il riscaldamento del prodotto in accumulo può contribuire all'effetto plateau. Poiché la reazione è in grado di amplificare in modo efficiente il DNA solo fino a un certo punto (prima che si raggiunga il plateau), non c'è modo di desumere in modo affidabile la quantità di DNA iniziale sulla base della quantità di DNA sintetico ottenuto al termine della PCR (Valasek and Repa, 2005). Un miglioramento in tal senso è stato dato dallo sviluppo della PCR quantitativa, in grado di analizzare i prodotti in tempo reale (Heid et al., 1996). Si tratta di una modifica alla reazione a catena della polimerasi real-time PCR prende a riferimento il numero di cicli effettuati nel momento in cui viene rilevato per la prima volta il segnale di amplificazione, cioè il numero di cicli in corrispondenza del quale l'intensità di emissione di fluorescenza sale al di sopra del rumore di fondo. Quel numero di ciclo è indicato come ciclo di soglia (Ct). Il Ct è determinato nella fase esponenziale della reazione PCR ed è inversamente proporzionale al numero di copie del target. Pertanto,

maggiori è il numero di copie iniziale dell'acido nucleico target, prima si osserva un aumento significativo della fluorescenza (ad un valore Ct inferiore). I test di real-time PCR sono altamente riproducibili e possono essere utilizzati come analisi qualitativa. La diagnosi può essere ottenuta con real-time PCR utilizzando fluorofori generici non specifici che legano il DNA (ad esempio, SYBR Green), primer marcati con fluorofori (ad esempio, LUX, FRET) o sonde specifiche per sequenza (ad esempio, Scorpions, TaqMan). Lo sviluppo di saggi basati su questa reazione e sulle sue successive varianti (es. PCR real-time quantitativa, multiplex) per i parassiti del castagno, ha premesso diagnosi sensibili, specifiche, accurate e ripetibili direttamente nella matrice di interesse (pianta, suolo, acqua) senza necessità di allevarli in laboratorio (Rubio et al., 2017; Chandelier et al., 2019; PuertoLas et al., 2021; Turco et al., 2021; Silva-Campos et al., 2022). Queste tecniche, oltre ad essere usate per scopi di sorveglianza, possono essere usate anche come strumenti di ricerca per lo studio di caratteri ancora poco conosciuti dei parassiti, come, ad esempio, per studiare la struttura di una popolazione, caratterizzare i mating-types, esplorare l'efficacia o la resistenza a trattamenti (Sillo et al., 2017). Consentendo di rilevare anche quantità minime di DNA target (ad esempio il DNA di una singola spora fungina), tali metodiche si prestano validamente per distinguere tra entità subspecifiche all'interno di una singola specie. Esse vengono dunque largamente utilizzate quando è richiesta una maggiore sensibilità o un maggiore controllo sulla specificità (Williams et al., 2001; McCartney et al., 2003).

facilmente interpretabili e consentendo di processare campioni non purificati su strumenti portatili, resistenti e di facile utilizzo (Hariharan e Prasannath, 2021). La LAMP è dunque una reazione messa a punto di recente che può amplificare poche copie di DNA (fino a  $10^{19}$ ) in meno di un'ora in condizioni isotermiche (Notomi et al., 2000). Essa si basa sulla sintesi del DNA con spostamento del filamento a ciclo automatico, eseguita da una DNA polimerasi dotata di un'elevata attività di spostamento del filamento. Di solito, il metodo utilizza il frammento più grande della Bst DNA polimerasi ottenuto da *Geobacillus stearothermophilus* che è fuso con la proteina legante il maltosio (MBP) di *E. coli* (Niessen et al., 2015). L'MBP viene utilizzato per la purificazione e rimosso mediante scissione delle proteine fuse mentre il frammento più grande della DNA polimerasi Bst, contenente l'attività polimerasica 5'  $\rightarrow$  3' ma privo dell'attività esonucleasica 5'  $\rightarrow$  3', viene utilizzato nella reazione per amplificare e spiazzare il DNA. Un set di due primer interni e due esterni appositamente progettati, in grado di ibridare sei diverse regioni del DNA bersaglio, è strettamente necessario per la reazione LAMP. Le sei regioni in cui i primer si appaiano sono denominate come segue: le sequenze all'interno di entrambe le estremità della regione target sono designate F2c e B2; due sequenze interne a 40nt dalle estremità di F2c e B2 sono designate F1c e B1; e due sequenze all'esterno delle estremità di F2c e B2 sono designate F3c e B3. I primer interni sono chiamati rispettivamente primer interno in forward (FIP) e primer interno in backward (BIP), e ciascuno contiene due sequenze distinte corrispondenti alle sequenze senso e antisenso del DNA bersaglio, una per l'innesco nel primo studio e l'altra per il self-priming nelle fasi successive. FIP è infatti composto da F1c e dalla sequenza (F2) complementare a F2c mentre BIP contiene la sequenza (B1c) complementare a B1 e B2. I due primer esterni sono costituiti rispettivamente da B3 e dalla sequenza (F3) complementare a F3c. Pertanto, nella reazione LAMP la sequenza target viene amplificata 3 volte ogni mezzo ciclo. L'incessante reazione ciclica accumula prodotti con sequenze ripetute di DNA bersaglio di diverse dimensioni. Per accelerare ulteriormente la reazione, è possibile aggiungere facultativamente alla reazione una terza coppia di primer (loop primer), che andranno a ibridarsi agli stem-loop, ad eccezione dei loop che erano stati ibridati dai primer interni (Nagamine et al., 2002). La tecnica è stata sviluppata e applicata per molti patogeni vegetali, inclusive alcune specie di *Phytophthora* e *Gnomoniopsis smithoglycyi*, che attaccano il castagno (Li et al., 2019; Vetraino et al., 2021). Successive implementazioni della diagnosi molecolare specie-specifica hanno preso a riferimento l'uso di microchip e di biosensori (Ray et al., 2017). Sebbene lo sviluppo di protocolli specie-specifici basati su riconoscimento di DNA e RNA abbia portato numerosi vantaggi per il monitoraggio e la sorveglianza di specie già note, queste tecniche possono portare inconvenienti quando gli agenti di danno sono nuovi o appena identificati, principalmente a causa della mancanza di sufficienti dati sul loro genoma (Chandelier et al., 2021). Approcci di bioinformatica, come il metabarcoding, la metagenomica ed sequenziamento anche sul luogo di interesse (e.g. MiION), sono promettenti per la diagnosi di nuovi parassiti ma richiedono competenze e strumentazioni specializzate, spesso con elevati costi (Piombo et al., 2021). Per quanto riguarda le avversità parassitarie del castagno, approcci basati su queste tecniche sono stati usati per l'analisi e l'identificazione degli organismi presenti come endofitti nelle galle di *Dryocosmus kuriphilus* o nei tessuti interni dell'ospite (Fernandez-Conradi et al., 2019), ma anche per caratterizzare le comunità fungine presenti nei suoli castanicoli (Baptista et al., 2015) e per analizzare la biodiversità di *Phytophthora* spp. (Vannini et al., 2013).

### 7.3 La diagnosi molecolare *in situ*: la tecnica LAMP e le nuove metodiche

Gli sforzi della ricerca, oltre a ricercare un miglioramento della rapidità, semplicità ed economicità dell'identificazione molecolare, si sono da alcuni anni indirizzati verso l'applicazione della diagnosi direttamente *in situ* (Baldi e La Porta, 2020). Il trasferimento della diagnosi direttamente in campo si pone come una sfida importante per controllare e limitare la diffusione di agenti patogeni, consentendo risposte più rapide alle minacce portate dai parassiti. La diagnosi molecolare *in situ* non è utile solo ai servizi di ispezione, che possono trarre vantaggio da queste tecniche, ma può essere sfruttata anche dagli agricoltori, dai produttori di semi, i trasformatori, centri di confezionamento, quindi nelle varie filiere agroalimentari per limitare le perdite causate dagli agenti patogeni (Boonham, 2014). Sebbene i protocolli basati su PCR standard siano stati già applicati in campo, il loro utilizzo richiede competenze avanzate, necessità di impiegare numerosi reagenti e elevata purezza del campione (Hamelin and Roe, 2020). Queste difficoltà, unitamente al costo elevato di tale tipo di diagnosi, alle lunghe tempistiche della stessa, come pure al fatto che i termociclatori classici sono strumenti ingombranti e poco maneggevoli, hanno portato allo sviluppo di tecniche dell'amplificazione di DNA e RNA basate su reazioni isotermiche (Ivanov et al., 2021). Tra queste, la reazione isotermica maggiormente implementata ed applicata per la diagnosi di patogeni vegetali, inclusi quelli del Castagno, è la Loop mediated isothermal AMPification (LAMP), che offre vantaggi per l'applicazione *in situ*, restituendo in pochi minuti risultati

cruciale nella diagnosi di problemi fitosanitari e possono essere sfruttati dai ricercatori e operatori del settore (ad es., il personale dei servizi fitosanitari) applicando principi di citizen science (Brown et al., 2020). Modelli basati su questo approccio sono stati implementati per il monitoraggio di piante urbane e di specie esotiche ma anche per stimare la presenza di piante resistenti all'attacco dell'agente di cancro del castagno *Cryphonecuria parasitica* (Crocker et al., 2020; Norman-Burgdorf et al., 2021; Westbrook et al., 2020).

## 7.4 Metodi di diagnosi innovativi: le metodiche indirette più comumente applicate

Oltre ai metodi sopra descritti, la diagnosi dei parassiti del castagno può basarsi su approcci indiretti, che non si concentrano sull'identificazione del parassita di interesse nel tessuto analizzato ma sull'analisi della risposta fisiologica della pianta in seguito all'attacco di funghi o insetti (Ray et al., 2017). Fra questi, sono stati sviluppati metodi basati su analisi spettroscopiche e di immagine per la valutazione dello stato fitosanitario delle piante, tramite la raccolta di informazioni riguardanti caratteristiche fisico-chimiche del campione (Marques et al., 2019). Ad esempio, Di Girolamo et al. (2021) hanno sviluppato un saggio diagnostico per rilevare le infezioni fungine all'interno delle castagne basato sull'utilizzo di sistemi portatili in grado di analizzare l'immagine interna della castagna tramite segnali restituiti da radiazioni emesse ad alte frequenze (100 GHz-10 THz). Il metodo, che non necessita la distruzione del campione, è stato principalmente messo a punto su infezioni causate da *Gnomoniopsis smithogilyi* ma i risultati preliminari suggeriscono che potrebbe essere validamente utilizzato anche per altri funghi che causano danni ai tessuti interni delle castagne (es. *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Phomopsis castanea* e *Sclerotinia pseudoubberosa*). Dati ottenuti da analisi multispettrali possono essere anche affiancati da analisi geostatistiche o matematiche in modo da analizzare le differenti tipologie di sintomi e imputarle all'attacco di specifici parassiti. Ad esempio, Pádua et al. (2020), hanno implementato un metodo basato su immagini raccolte da droni e sistemi di “machine learning” capace di discriminare le diverse problematiche del Castagno con tassi di precisione dall' 80% all' 85%. Inoltre, analisi di immagini affiancate a modelli matematici possono essere anche utilizzate come modelli predittivi in grado di analizzare caratteristiche di insetti e patogeni che possono essere utilizzate per prevederne la diffusione e l'insediamento, nonché per stimare l'efficacia dei trattamenti di controllo (Gilioli et al., 2013; Lione et al., 2015; Balsa et al., 2021). Ad esempio, Lione et al. (2015) hanno investigato l'influenza di differenti caratteristiche climatiche sulla diffusione e l'incidenza di *G. smithogilyi*, ipotizzando le principali aree a rischio e i periodi maggiormente favorevoli alla sua diffusione. Allo stesso modo, Gilioli et al. (2013) hanno sviluppato un modello predittivo per analizzare le probabilità di diffusione e le dinamiche di popolazione di *Dryocosmus kuriphilus* in Europa. La possibilità di fare affidamento su queste metodiche potrebbe favorire diagnosi più accurate e implementare le reti di monitoraggio e sorveglianza, offrendo la possibilità di acquisire e usare precisi dati fitosanitari riguardanti caratteristiche e distribuzione di determinate specie di insetti e patogeni così come lo stato fitosanitario generale di specie vegetali (Silva et al., 2021). Sebbene l'insieme degli strumenti di diagnosi e allerta precoci sia riconosciuto come una delle principali vie di successo per programmi di controllo e gestione delle avversità parassitarie, soprattutto per quanto concerne le specie invasive, le risorse messe a disposizione per l'applicazione di monitoraggio sorveglianza sono spesso limitate, non permettendo a ricercatori e organici competenti di raccogliere dati sufficientemente accurati per implementare soluzioni gestionali di lungo termine (Pocock et al., 2020). I sistemi di sorveglianza passiva (ad es., le segnalazioni di stakeholders o volontari) giocano un ruolo

## 7.5 Conclusioni

Molte rimangono le sfide e le problematicità nell'ambito della fitodagnostica, come ad esempio la qualità dei dati raccolti da persone non specializzate (Pocock et al., 2020). La possibilità di ottenere metodiche di allerta e gestione efficaci è, infatti, strettamente legata alla possibilità di implementare collaborazioni tra enti e ricercatori che si occupano di sviluppare metodi di diagnostica ed utenti finali, in modo da garantire una accurata analisi da parte dei decision-makers delle allerte generate (Rainford et al., 2020). Infatti, sebbene tutte le tecnologie discuse possano portare vantaggi per il miglioramento della diagnosi, migliorando l'implementazione di sorveglianza e biosicurezza, nessuna tecnologia da sola può ritenersi valida per tutti gli scenari. Reali vantaggi si possono conseguire solo in presenza di approcci interdisciplinari che prendano a riferimento gli obiettivi di tutte le parti interessate, riflettendo le migliori pratiche di gestione, la comprensione scientifica e l'ambiente di lavoro che devono affrontare gli attori coinvolti in prima linea nei processi di monitoraggio e sorveglianza (Silva et al., 2021).