

Gli agenti di controllo microbiologici di funghi e batteri fitopatogeni: presente e futuro della difesa delle colture

Riccardo Bugiani

Servizio Fitosanitario – Regione Emilia-Romagna

GLI AGENTI DI CONTROLLO MICROBIOLOGICI DI FUNGHI E BATTERI FITOPATOGENI

Per la gestione delle malattie delle piante, le soluzioni per il controllo biologico rappresentano davvero il futuro. A spingere il mondo agricolo in questa direzione ci sono le varie normative europee come il *Green Deal* e la strategia *Farm to Fork*, che hanno l'obiettivo di ridurre l'uso degli agrofarmaci di sintesi entro il 2030. A questo scenario politico si aggiunge la sempre maggiore sensibilità dei consumatori che pretendono prodotti agroalimentari meno impattanti per l'ambiente ed ecco spiegata la spinta verso un sempre maggiore impiego delle tecniche di controllo biologico in agricoltura.

Gli agenti di bio-controllo a basso impatto delle malattie fungine possono essere suddivisi in due gruppi: i botanicals: (principi attivi estratti da vegetali che vengono successivamente formulati in prodotti commerciali) e gli antagonisti Naturali Micro-

biologici (agrofarmaci a base di uno o più microorganismi). Entrambi vengono potenzialmente usati per contenere l'attività patogenetica di alcuni funghi fitopatogeni dannosi per le colture agrarie e forestali. Proprio su questi si focalizzerà il presente articolo.

Gli agenti microbiologici ad azione fungicida attualmente autorizzati sono 24 fra batteri, oomiceti, funghi filamentosi e lieviti. Fra questi vi sono 10 ceppi del fungo antagonista *Trichoderma*, 3 ceppi di *Bacillus amyloliquefaciens*, 2 ceppi di *Pseudomonas*, 1 ceppo di *Ampelomyces quisqualis*, *Bacillus pumilus*, *Aureobasidium pullulans*, *Bacillus subtilis*, *Coniotirium minitans*, *Met-schnikowia fructicola*, *Pythium oligandrum*, *Saccharomyces cerevisiae* e, infine, *Streptomyces* (Tabella 1).

Tabella 1
Agenti di controllo microbico autorizzati in Italia per il contenimento
di alcune avversità delle colture

Tipo di microorganismo	Agente di controllo microbico	N. formulati	Colture Autorizzate (in funzione dei diversi formulati)	Avversità Contenute (in funzione dei diversi formulati)
Funghi filamentososi	<i>Trichoderma asperellum</i> T25 + <i>Trichoderma atroviride</i> T11	1	Lattuga, Fragola, Orticole, ornamentali e floricole	Marciumi radicali: (<i>Phytophthora</i> spp., <i>Fusarium</i> spp., <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Pythium</i> spp., <i>Sclerotinia</i> spp.)
	<i>Trichoderma asperellum</i> T34	1	Floricole, cucurbitacee in serra	Marciumi radicali: (<i>Pythium</i> spp., <i>Sclerotinia</i> spp.)
	<i>Trichoderma asperellum</i> TV1	3	Orticole, ornamentali e floricole, prati e campi sportivi	Marciumi radicali (<i>Pythium</i> spp., <i>Phytophthora</i> spp., <i>Rhizoctonia</i> spp., <i>Verticillium</i> spp.)
	<i>Trichoderma atroviride</i> I-1237	2	Vite Orticole	Malattie del legno, Marciumi radicali (<i>Pythium</i> spp., <i>Sclerotinia</i> spp., <i>Rhizoctonia</i> spp., <i>Phytophthora</i> spp.)
	<i>Trichoderma atroviride</i> SC1	1	Vite, pomodoro	Malattie del legno, botrite
	<i>Trichoderma harzianum</i> Rifai T-22	2	Orticole, ornamentali e floricole, fragola, piccoli frutti	Marciumi radicali (<i>Pythium</i> spp., <i>Rhizoctonia</i> spp., <i>Fusarium</i> spp., <i>Cylindrocladium</i> spp., <i>Thielaviopsis</i> spp., <i>Myrothecium</i> spp., <i>Sclerotinia</i> spp.)
	<i>Trichoderma harzianum</i> ICC 012 + <i>Trichoderma gamsii</i> ICC 080	9	Orticole, ornamentali e floricole, fragola, piccoli frutti, Colture arboree, Vite, Actinidia	Marciumi radicali (<i>Pythium</i> spp., <i>Sclerotinia</i> spp., <i>Rhizoctonia</i> spp., <i>Armillaria mellea</i>) Cancri rameali (<i>fusicocco</i> , <i>citospora</i>) Malattie del legno <i>Botrite</i> <i>Stemphylium vesicarium</i>
	<i>Ampelomyces quisqualis</i> M-10	1	Orticole e Vite	Oidio
	<i>Coniotirium minitans</i> CON/M/91-08	1	Orticole, ornamentali e floricole	Sclerotinie
Oomiceti	<i>Pythium oligandrum</i> - ceppo M1	1	Orticole, ornamentali e floricole	<i>Fusarium</i> , <i>Verticillium</i> , <i>Botrite</i>

Batteri	<i>Bacillus amylo-liquefaciens</i> - FZB24	1	Orticole	<i>Bremia lactucae</i> , Oidio
	<i>Bacillus amylo-liquefaciens</i> - MBI 600	1	Orticole, fragola, vite	<i>Botrytis cinerea</i>
	<i>Bacillus amylo-liquefaciens plantarum</i> - D747	2		Cancro batterico, oidio, botrite, sclerotinia, Bremia, marciume acido, maculatura bruna
	<i>Pseudomonas chlororaphis</i> - MA 342	1	Orzo e frumento	Concia delle sementi
	<i>Pseudomonas</i> sp. - DSMZ 13134	1	Orticole	Fusarium, Helminthosporium, Rhizoctonia
	<i>Streptomyces</i> K61	1	Semenze e terricciati	Patogeni tellurici
	<i>Bacillus pumilus</i> - QST 2808	2	Vite, Orticole	Oidio
	<i>Bacillus subtilis</i> - QST 713	5	Pomacee, drupacee, vite	Colpo di fuoco batterico, ticchialatura, botrite, monilia, batteriosi
Lieviti	<i>Metschnikowia fructicola</i> ceppo NRRL Y-27328	1	Vite, fragola e piccoli frutti	Botrite, marciume acido
	<i>Aureobasidium pullulans</i> - DSM 14940 e 14941	3	Pomacee, vite, fragola, solanacee	Colpo di fuoco batterico e malattie da conservazione, Botrite
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> LAS02	1	drupacee, fragola, vite, piccoli frutti	Monilia, Botrite
	<i>Candida oleophyla</i> Ceppo O	1	Banane, mele, agrumi	Malattie da conservazione (<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Penicillium</i> spp, <i>Colletotrichum musae</i>)

Le modalità d'azione degli agenti microbici di biocontrollo (*microbials*) sono complesse e comprendono:

- Antibiosi: inibizione della germinazione delle spore e o della crescita dell'agente patogeno
- Esclusione: competizione e compartimentazione dei funghi fitopatogeni da parte dei bio-fungicidi microbici
- Micoparassitismo: parassitizzazione dei funghi patogeni da parte dei bio-fungicidi microbici
- Induzione dei meccanismi di difesa endogeni della pianta
- Biostimolazione: stimolazione della crescita della pianta e resilienza

Molti degli agenti microbici di biocontrollo possiedono due o talvolta anche tre meccanismi di azione contemporaneamente. Molti bio-fungicidi microbici possono colonizzare e crescere agevolmente su suoli trattati o sulla fillosfera, svolgendo con svariate diverse modalità d'azione, microbiche e biochimiche, un'attività di contenimento, talvolta anche a lungo termine,

degli agenti patogeni delle colture.

Antibiosi (Azione Diretta)

Il microrganismo produce tossine e/o enzimi litici che inibiscono la crescita del patogeno. Il genere *Bacillus* comprende diversi ceppi che sono già da tempo commercialmente disponibili come bio-fungicidi. Alcuni ceppi di *Bacillus* come *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *B. licheniformis*, fra i tanti, producono metaboliti antimicrobici come alcuni lipopeptidi, che mostrano un'attività biocida o surfattante e un ampio spettro d'azione. Grazie alla loro struttura lipoproteica, i lipopeptidi sono in grado di penetrare le membrane lipidiche come quelle che circondano il citoplasma cellulare, influenzando e compromettendo la loro integrità e permeabilità.

Le famiglie di lipopeptidi come le Iturine e le Fengicine mostrano una forte attività antifungina per uno spettro piuttosto ampio di funghi fitopatogeni, con le Fengicine che sembrano avere una propensione maggiore verso il contenimento di Oomiceti come *Pythium* e *Phytophthora*.

Un'altra famiglia di lipopeptidi, le Surfactine, possiedono invece proprietà antivirali e antibatteriche. Nonostante abbiano una bassa attività antifungina, le surfactine possono agire sinergicamente in combinazione con le Iturine. Le surfactine, infatti, agiscono anche come bio surfattante, (diminuendo la tensione superficiale delle gocce di acqua) sia come detergente, e sono coinvolte nella formazione di biofilm e nella mobilità batterica, inibendo la formazione di biofilm di batteri fitopatogeni e interferendo con la loro adesività alla pianta ospite.

I batteri del genere *Streptomyces*, gram-positivi, si trovano comunemente in natura, nei suoli e sono in grado di produrre composti antimicrobici (la Streptomina, noto antibiotico viene prodotto da questi batteri).

È tuttavia vero però che la produzione di queste sostanze antibiotiche penalizza il procedimento di autorizzazione a causa della tossicità potenziale anche nei confronti di altri microorganismi e dell'uomo. Pertanto, la maggior parte dei ceppi registrati è stato selezionato per produrre più enzimi che tossine perché per ottenere l'autorizzazione è più complicato provare la non tossicità nei confronti dell'essere umano, dell'ambiente e degli animali.

Competizione

I bio-fungicidi microbici possono competere con gli agenti patogeni per i nutrienti e i siti di infezione sulle superfici fogliari e nel suolo.

Tra i bio-fungicidi che possiedono questo meccanismo d'azione vi sono quelli a base di ceppi di specie diverse di *Trichoderma* (*T. atroviride*, *T. harzianum*, *T. asperellum*, *T. gamsii*) specie fungina fortemente imparentata col suolo, suo ambiente elettivo. Questi funghi filamentosi sono in grado anche di attaccare e sopprimere gli agenti patogeni attraverso un'azione combinata di repulsione attraverso la produzione di composti antimicrobici enzimatici, in grado perciò di degradare la parete cellulare del patogeno (azione diretta). Al di là dei formulati a base di *Trichoderma* spp. che sono ormai già diventati una realtà nel panorama fitoiatrico italiano (basti pensare al loro impiego nei confronti del mal dell'esca e di numerosi agenti patogeni tellurici). La competizione permette al *Trichoderma* di controllare *Botrytis cinerea* sull'uva colonizzando precocemente i siti di contaminazione del patogeno, escludendolo dal suo futuro potenziale sito di infezione. Possiede una buona interazione con la pianta e, dato che il suolo è il suo ambiente elettivo, è in grado di colonizzare bene le radici e produrre fitormoni che ne promuovono la crescita. Recentissime esperienze hanno dimostrato, seppure preliminarmente, che il loro impiego al terreno in prossimità dei

ceppi di vite sarebbe in grado di indurre una buona tolleranza anche agli attacchi di peronospora. Con tale meccanismo d'azione possono essere annoverati anche i lieviti come *Aureobasidium pullulans*, *Saccharomyces cerevisiae* e altri che verranno introdotti in futuro.

Aureobasidium pullulans, è un lievito saprofita e ubiquitario dotato di grande adattamento alle condizioni ambientali. Agisce come bio-fungicida nei confronti dei marciumi da conservazione e della botrite. Tuttavia, possiede anche proprietà elicitorie. *Erwinia amylovora*: la sua attività nei confronti del colpo di fuoco batterico si esplica acidificando il substrato colonizzato sulla superficie dei fiori impedendo lo sviluppo del patogeno.

Bacillus amyloliquefaciens ceppo MBI 600 e *Bacillus amyloliquefaciens plantarum* ceppo D747 sono batteri attivi nei confronti delle malattie dell'apparato radicale (*Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Sclerotinia*, *Phytophthora* e *Pythium*) e delle malattie fogliari (peronospora della vite, oidio, alternariosi e peronospora della patata, e come battericida), sulle colture orticole, in frutticoltura e sulle colture ornamentali. I batteri, comunemente presenti nel suolo e sulla vegetazione, agiscono per competizione in quanto sono in grado di produrre una amilasi, enzima in grado di liquefare o meglio degradare zuccheri complessi in zuccheri semplici. Costituiscono quindi una barriera fisica che impedisce ai patogeni di entrare in contatto con i tessuti della pianta. *Bacillus subtilis* var. *amyloliquefaciens* ceppo FZB24 svolge la sua attività bio-fungicida per competizione, antibiosi e di induzione di resistenza.

Bacillus pumilus - QST 2808, analogamente agli altri bio-fungicidi precedenti, esplica la sua azione impedendo la germinazione delle spore, ostacolando la formazione della parete cellulare e cagionando la vita-

lità delle cellule fungine. Il microrganismo è inoltre in grado di stimolare i meccanismi di resistenza della pianta ai patogeni competendo anche con questi ultimi per le risorse nutritive.

Pseudomonas chlororaphis - MA 342 è un batterio con una buona efficacia nel contenimento di elmintosporiosi, carie, carboni e septoriosi di frumento e orzo. Una volta applicato al seme il batterio si moltiplica occupando lo spazio trofico e assicurando una protezione prolungata nel tempo. L'efficacia protettiva del prodotto è massima durante la fase di germinazione e si prolunga fino allo stadio di 5 foglie. Al termine della sua azione, il batterio viene integrato nella microflora del terreno, non apportando quindi alcuna alterazione ai biomi esistenti in quanto già naturalmente compreso nella microflora batterica del suolo.

Il ceppo QST 713 di *Bacillus subtilis* è stato sviluppato dalla società Agraquest e commercializzato dalla Bayer in Europa sotto il nome di Serenade ASO. Il prodotto agisce, oltre che per competizione spaziale e trofica, anche come stimolatore delle difese naturali della pianta e migliora la fisiologia della pianta stessa. Negli USA lo spettro di attività di questo batterio è stato recentemente esteso, anche ai trattamenti al suolo. In questo ambito è particolarmente attivo nei confronti della *Rhizoctonia* e la sua attività sulla scabbia comune e argentata, come anche sulla peronospora potrebbe farne un candidato ideale, per la difesa dalle malattie della patata. Le ricerche stanno procedendo per ottimizzare la formulazione per le applicazioni fogliari. Al momento il microrganismo è autorizzato in Italia su diverse colture frutticole e sulla vite per il controllo di talune avversità fungine e batteriche.

Saccharomyces cerevisiae ceppo LAS02 è un lievito selezionato per la sua capacità di sopravvivere e svilupparsi rapidamente,

colonizzando l'ambiente, sottraendo spazio vitale e nutrimento ai funghi patogeni. È attivo nei confronti della moniliosi delle drupacee, botrite delle orticole, della fragola, dei piccoli frutti e della vite.

Metschnikowia fructicola ceppo NRRL Y-27328 è un biofungicida anch'esso a base di lieviti che agisce entrando in competizione per lo spazio vitale e gli elementi nutritivi con alcuni agenti di marciume di fragola, vite e piccoli frutti. È in grado di colonizzare agevolmente le superfici e, avendo una crescita più rapida rispetto ai patogeni, ne impedisce lo sviluppo. Questo lievito antagonista produce inoltre capsule di polisaccaridi extracellulari che ne favoriscono l'adesione alla superficie della pianta e del frutto formando un biofilm che copre l'intera area trattata.

Parassitismo

Il parassitismo consiste nella crescita di un microrganismo sopra o all'interno del microrganismo patogeno. Questo viene privato delle sostanze nutritive fino alla morte. In natura tutti i parassiti per interesse ecologico non elimineranno mai il patogeno totalmente, in quanto si priverebbero della loro stessa fonte di sopravvivenza. Pertanto, questo meccanismo porta inevitabilmente solo ad una riduzione dell'inoculo, ma non alla sua eliminazione. Va da sé che per poter proliferare il microrganismo parassita deve essere distribuito in presenza di una, seppur piccola, popolazione del patogeno.

Il ceppo M1 del fungo oomicete micoparassita della specie *Pythium oligandrum*, messo a punto dalla società ceca Biopreparaty, è commercializzato in Italia dalla Gowan con il nome Polyversum. Il fungo, che agisce sia per mico-parassitizzazione che stimolando le difese della pianta e la sua crescita, è in grado di parassitizzare oltre le specie del genere *Botrytis*, anche quelle di *Fusarium*, *Gaeumannomyces*, *Ophiostoma*,

Phialophora, *Phoma*, *Phytophthora*, *Pseudocercospora*, *Pythium*, *Sclerotinia* e *Verticillium*. Il formulato è autorizzato per il contenimento della muffa grigia e i marciumi del colletto per diverse colture orticole, ornamentali e la vite. *Pythium oligandrum* possiede anche proprietà elicitoria inducendo la pianta a produrre composti fenolici nella parete cellulare e a formare pectato di calcio negli spazi intercellulari e nel floema, rendendola più resistente agli eventuali attacchi dell'agente patogeno.

Il fungo *Ampelomyces quisqualis*, micoparassita di *Uncinula necator*, è un fungo polifago che colonizza rapidamente l'ambiente dove viene distribuito e agisce attaccando il micelio, le ife e i rami conidiofori. Dopo la formazione dell'appressorio penetra nell'ospite degenerando il citoplasma della cellula fungina e distruggendo le colonie di moltissime specie di *Erysiphales* compresi chasmodecteci (organi di svernamento del patogeno). Proprio questa sua caratteristica lo rende in grado di ridurre il potenziale di inoculo svernante di oidio. Deve essere tuttavia applicato in presenza di una popolazione oidica. Il ceppo AQ10 attualmente in commercio è attivo nei confronti dell'oidio su cucurbitacee, solanacee, fragola, rosa, uva da tavola e da vino. Va utilizzato in strategia con altri prodotti per almeno due applicazioni consecutive distanziate dai 7 ai 10 giorni. Non soffre le basse temperature mentre le temperature alte lo disidratano e, se questo avviene prima della penetrazione del patogeno, la sua efficacia diminuisce considerevolmente. È consigliabile, pertanto, nei mesi estivi applicarlo durante le ore serali o al mattino presto.

Induzione localizzata o sistemica dei meccanismi di difesa delle piante

Le piante sono in grado di rilevare attacchi dovuti all'azione di agenti patogeni invasivi e di indurre la produzione di meccanismi endogeni di difesa per contrastarli, quali la

produzione di sostanze chimiche tossiche in grado di distruggere le cellule fungine o batteriche. L'induzione di resistenza permette alla pianta, quando opportunamente stimolata, di acquisire una sorta d'immunità nei confronti dei patogeni virulenti. La stimolazione della resistenza avviene attraverso la produzione di cosiddetti "elicitori", segnali molecolari prodotti direttamente o indirettamente dal patogeno nel momento in cui questo si relaziona con la pianta stessa. L'interazione di questi elicitori con alcuni specifici recettori delle cellule della pianta dà avvio ad una serie di segnali molecolari in grado di attivare, a livello nucleare, la trascrizione dei geni preposti alla difesa. Sostanze elicitori possono essere rappresentate da frammenti di parete cellulare (chitina e chitosano costituenti della parete cellulare di funghi e dell'esoscheletro dell'insetto), proteine e glicopeptidi, acidi nucleici, acidi grassi etc.

Ci possono essere due tipi di resistenza: una resistenza sistemica acquisita (SAR) e una resistenza sistemica indotta (Isr). La Sar si manifesta verso un ampio spettro di patogeni dopo uno, due o più giorni e soprattutto anche in organi distanti rispetto a quelli dove è avvenuto il contatto con l'induttore. L'acquisizione di resistenza è associata all'espressione dei geni che codificano per le proteine di patogenesi (Pr) ed è fundamentalmente mediata dall'acido salicilico. Le Pr poi permettono di produrre enzimi litici e sostanze che irrobustiscono la parete cellulare delle cellule vegetali per conferire alla pianta la resistenza all'infezione.

La resistenza sistemica indotta (Isr) stimola l'attivazione dei meccanismi di difesa latenti che si esprimono in seguito ad un successivo attacco di microrganismi patogeni. Tale attivazione nelle piante avviene più velocemente e intensamente anche a livelli elicitori molto bassi, viene mediata principalmente dall'acido jasmonico e porta alla

produzione di sostanze come la chitinasi e la perossidasi, in grado di degradare le pareti cellulari fungine e altri composti fitochimici antifungini come fenoli, terpeni e alcaloidi.

Oltre alla strategia antifungina diretta, le piante possono inoltre attivare una risposta di ipersensibilità (HR), chiamata anche di "morte cellulare programmata", che limita l'accesso ai biotrofi (gli agenti patogeni che non possono sopravvivere in un ospite morto e che si nutrono di tessuti viventi) ad acqua e nutrienti. La risposta di ipersensibilità è un meccanismo usato dalla pianta per contenere al minimo lo sviluppo del patogeno, mediante l'induzione della morte cellulare rapida e localizzata nella regione immediatamente contigua al punto di infezione. In seguito al riconoscimento del patogeno, l'attivazione dei geni preposti alla resistenza innesca un meccanismo ossidativo legato delle specie di ossigeno reattive (ROS). Queste sono in grado di attirare elettroni dalle membrane dei tilacoidi dei cloroplasti (perossidazione dei lipidi), portando alla perdita di clorofilla e a lesioni clorotiche associate.

La produzione e il mantenimento di questi meccanismi di difesa risultano molto dispendiosi per la pianta in termini energetici per cui non vengono attivati fino a che gli agenti patogeni non sono rilevati dalla pianta. Le strategie di impiego dei bio-fungicidi devono essere in grado di attivare la risposta di induzione alla difesa prima dell'attacco dell'agente patogeno e pertanto devono essere distribuiti preventivamente sulla coltura da proteggere.

Vantaggi

L'utilizzo dei Bio-fungicidi nelle strategie di difesa, ad esempio, può presentare diversi vantaggi tecnici per l'agricoltore sia dal punto di vista della maggiore sicurezza ambientale che della produzione, grazie a:

- un migliore profilo tossicologico;

- riduzione dei residui sulle derrate;
- tempi di carenza o di rientro inferiori;
- assenza di fitotossicità;
- assenza di interferenza con la fermentazione.

Inoltre, alternando l'utilizzo di Bio fungicidi ai prodotti chimici tradizionali con diverso meccanismo d'azione, si possono mettere in atto delle efficaci strategie anti-resistenza riducendo il rischio di comparsa di popolazioni resistenti ai prodotti chimici.

Svantaggi

Fra gli svantaggi, il primo in assoluto è il livello di efficacia che non è quello che si può raggiungere applicando prodotti chimici di sintesi. Pertanto, il primo errore da evitare è aspettarsi una efficacia paragonabile al prodotto fitosanitario chimico. Questo non vuol dire che l'efficacia non possa essere incrementata attraverso idonee strategie di impiego con altri prodotti e soprattutto con adeguate pratiche agronomiche. Anche se le conoscenze e la tecnologia in possesso ci permettono di conservarli adeguatamente, il loro mantenimento nel tempo può non essere ottimale e trascurare questo dettaglio potrebbe inficiare la loro efficacia potenziale. L'impiego di bio-fungicidi deve inoltre tenere conto della compatibilità con applicazioni ravvicinate di Sali di rame e zolfo, solo per citare due tra i fungicidi inorganici ad azione di contatto ammessi in agricoltura biologica. Molto è stato fatto in termini di comprensione dei meccanismi biologici di competizione di questi microorganismi. Ma bisogna riconoscere che siamo all'inizio di un percorso e molto si dovrà studiare per comprendere il momento migliore per il loro impiego durante la stagione. Sono microorganismi vivi che devono interagire con il patogeno in un contesto di nicchia ecologica complessa e ancora non pienamente esplorata. Per esempio, se il microorganismo antago-

nista compete con l'agente patogeno producendo enzimi e sostanze antibiotiche, lo fa quando si trova nelle condizioni microambientali ottimali oppure, al contrario, vengono prodotti quando questo si trova in condizioni di stress ambientale? Come vediamo è necessaria ancora molta ricerca, anche di base, per ottimizzare il loro impiego e sfruttarne appieno le loro proprietà. Inoltre, oltre alla ricerca di base in laboratorio, è successivamente necessaria molta sperimentazione in campo perché è poi quello il luogo in cui si potrà misurare la loro piena efficacia. Sono molti, infatti, gli esempi di potenziali microorganismi che potenzialmente dimostrano di avere una buona efficacia competitiva in ambiente controllato e poi in campo non si dimostrano sufficientemente efficaci. Il successo fitoiatrico di questi microorganismi dipenderà molto da tutti questi fattori e l'assistenza tecnica adeguata, in grado di veicolare le giuste informazioni per il loro impiego efficace, giocherà un ruolo determinante.