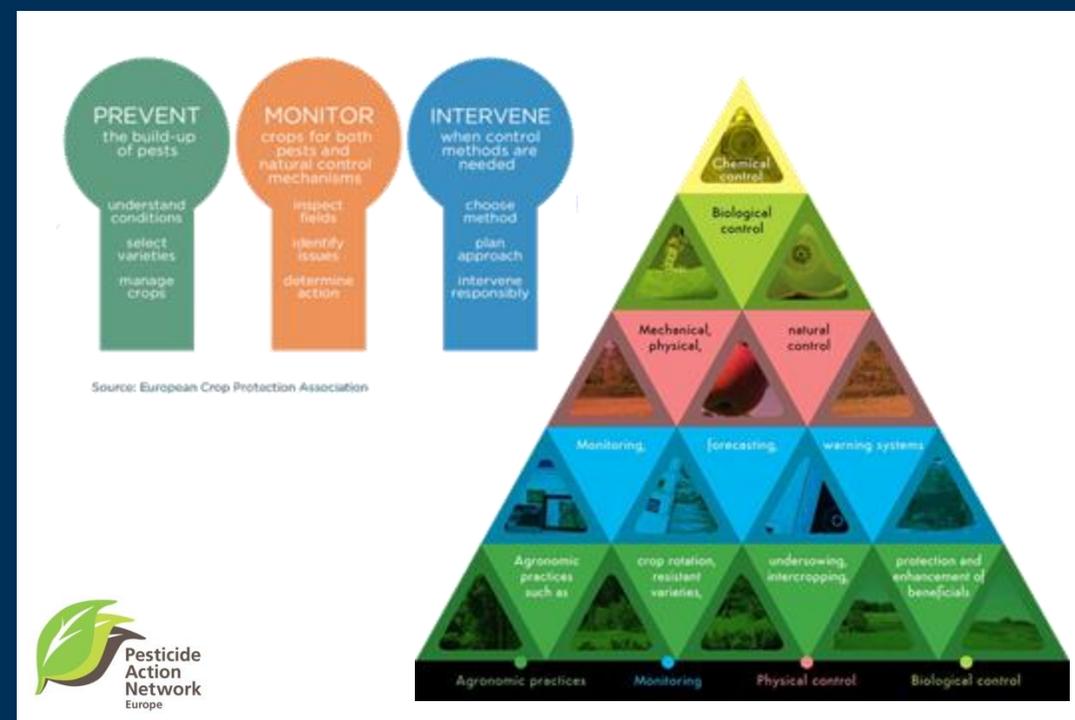
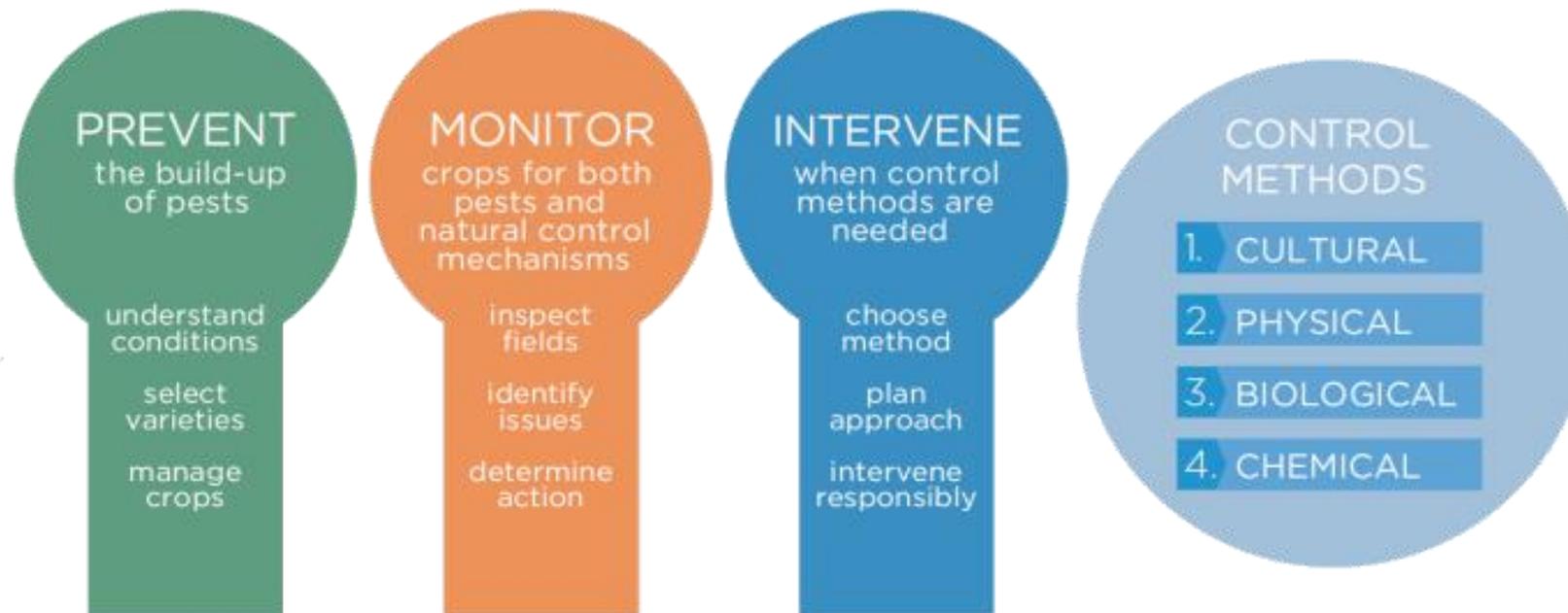


Innovazioni e prospettive per una difesa sempre più sostenibile





Source: European Crop Protection Association

Specificità sul bersaglio e effetti collaterali
 Strategie anti-resistenza
 Tecnologia delle irrorazioni e crop-adapted spray

Controllo chimico
 come ultima opzione



Biosolutions

Beneficials, BCA, prodotti naturali, induttori di resistenza, ecc.



Metodi non chimici

Mechanical, physical, natural control

Sfruttamento della biodiversità e delle funzioni ecologiche di predatori, endofiti, microbioma del suolo, diversità vegetale, ecc.

Strumenti di monitoraggio (manuale e con sensori prossimali e da remoto)

Monitoring, forecasting, warning systems

Strumenti di supporto alle decisioni (modelli, DSS, soglie d'intervento, ...)

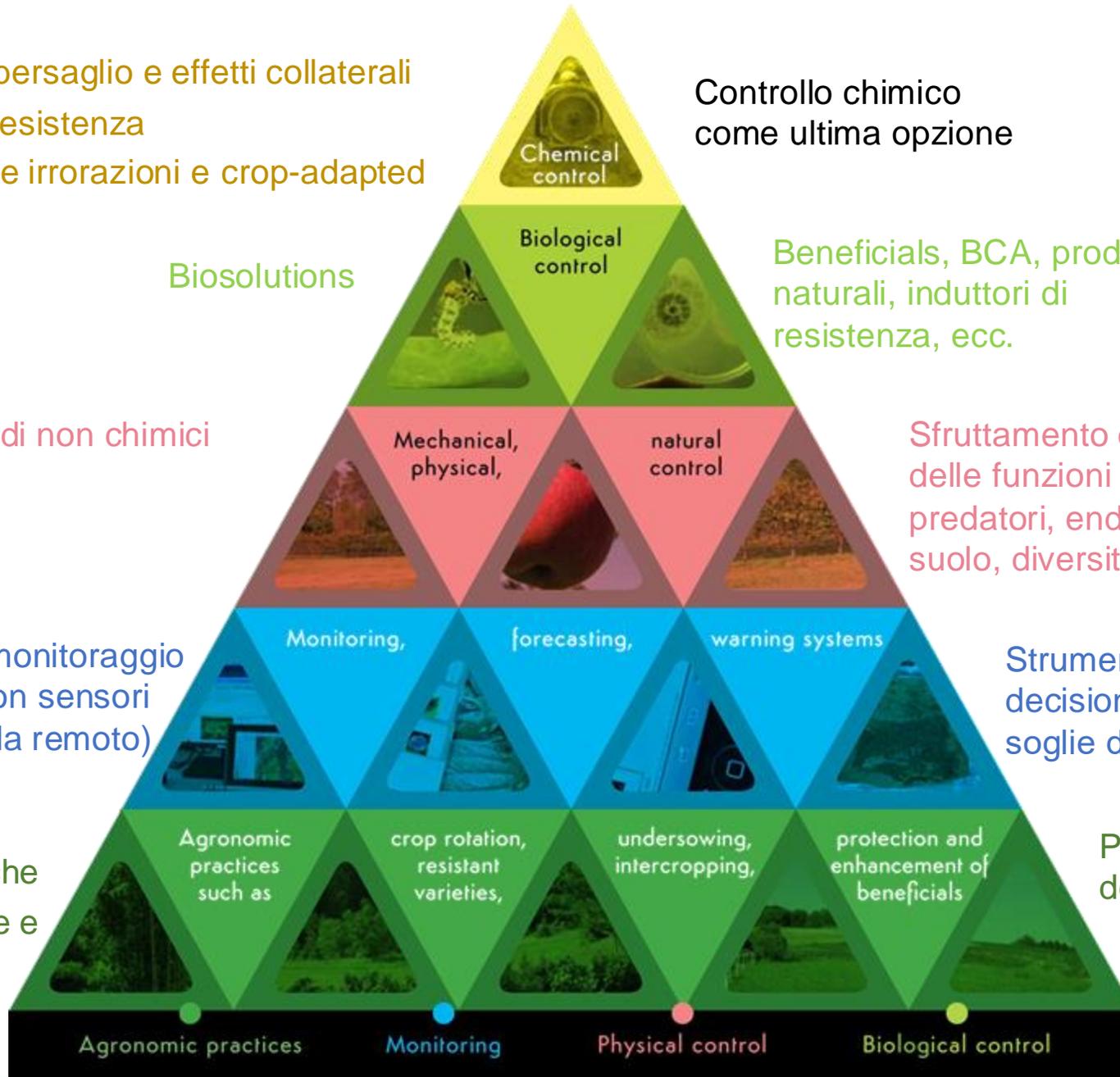
Misure agronomiche per la prevenzione e soppressione

Agronomic practices such as crop rotation, resistant varieties, undersowing, intercropping, protection and enhancement of beneficials

Potenziamento delle risorse naturali

Agroecologia

Resistenza e tolleranza delle piante



Specificità del bersaglio e effetti collaterali
 Strategie anti-resistenza
 Tecnologia delle irrorazioni, crop-adapted spray

Controllo chimico
 come ultima opzione



Biosolutions

Chemical control

Biological control

Beneficials, BCA, prodotti naturali, induttori di resistenza, ecc.

Metodi non chimici

Mechanical, physical,

natural control

Sfruttamento della biodiversità e funzioni ecologiche di predatori, endofiti, microbioma del suolo, diversità vegetale, ecc.

Strumenti di monitoraggio (manuale e con sensori prossimali e da remoto)

Monitoring,

forecasting,

warning systems

Strumenti di supporto alle decisioni (modelli, DSS, soglie d'intervento, ...)



Misure agronomiche per la prevenzione e soppressione

Agronomic practices such as

crop rotation, resistant varieties,

undersowing, intercropping,

protection and enhancement of beneficials

Potenziamento delle risorse naturali

Agroecologia

Agronomic practices

Monitoring

Physical control

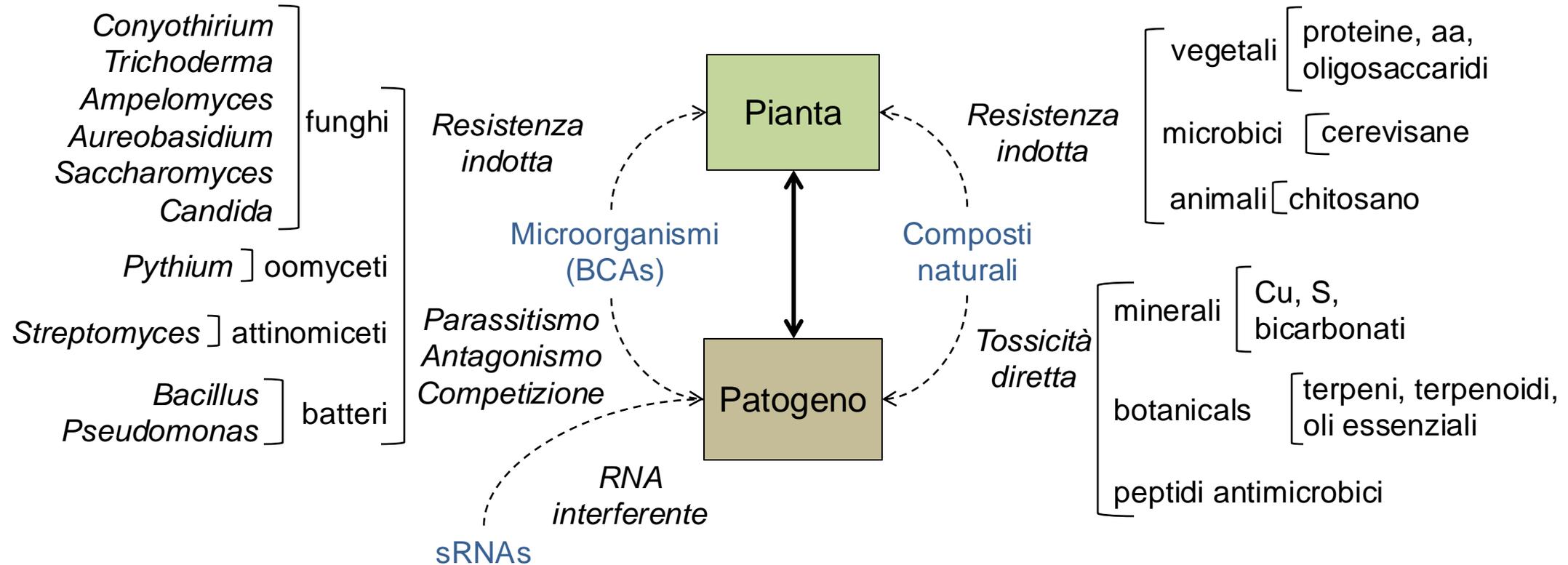
Biological control

Resistenza e tolleranza delle piante



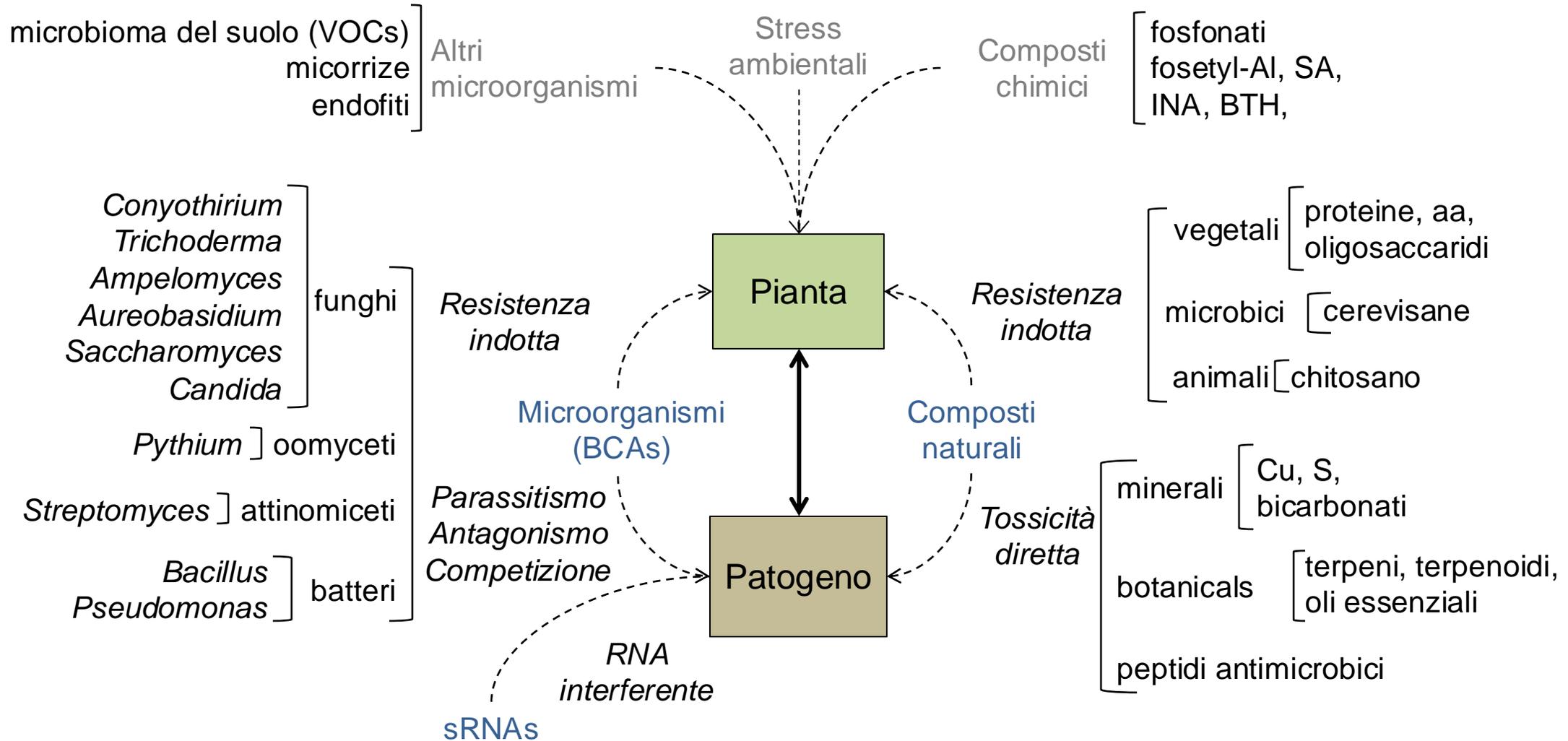


Biosolutions per il controllo delle malattie



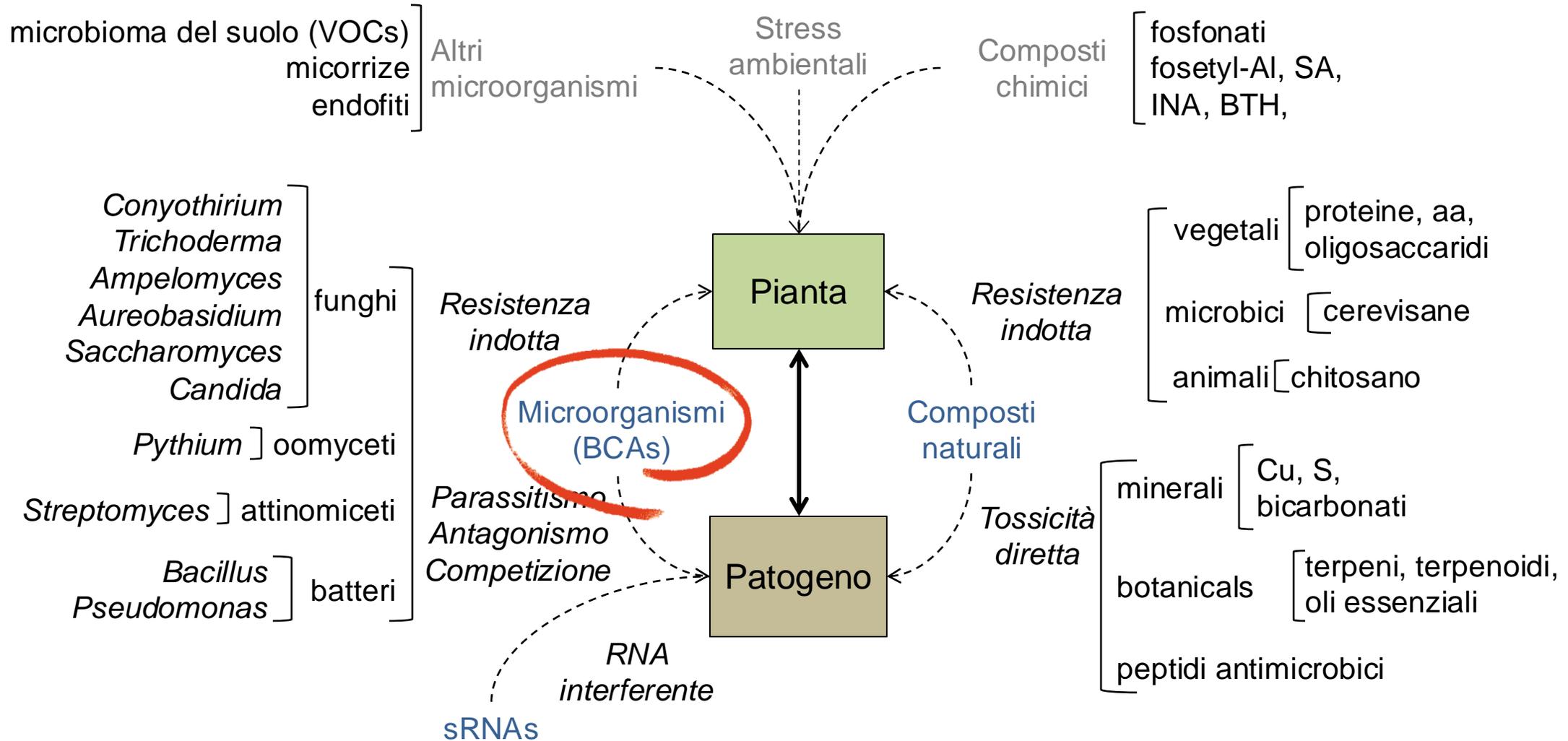


Biosolutions per il controllo delle malattie





Biosolutions per il controllo delle malattie



Ambiente colturale

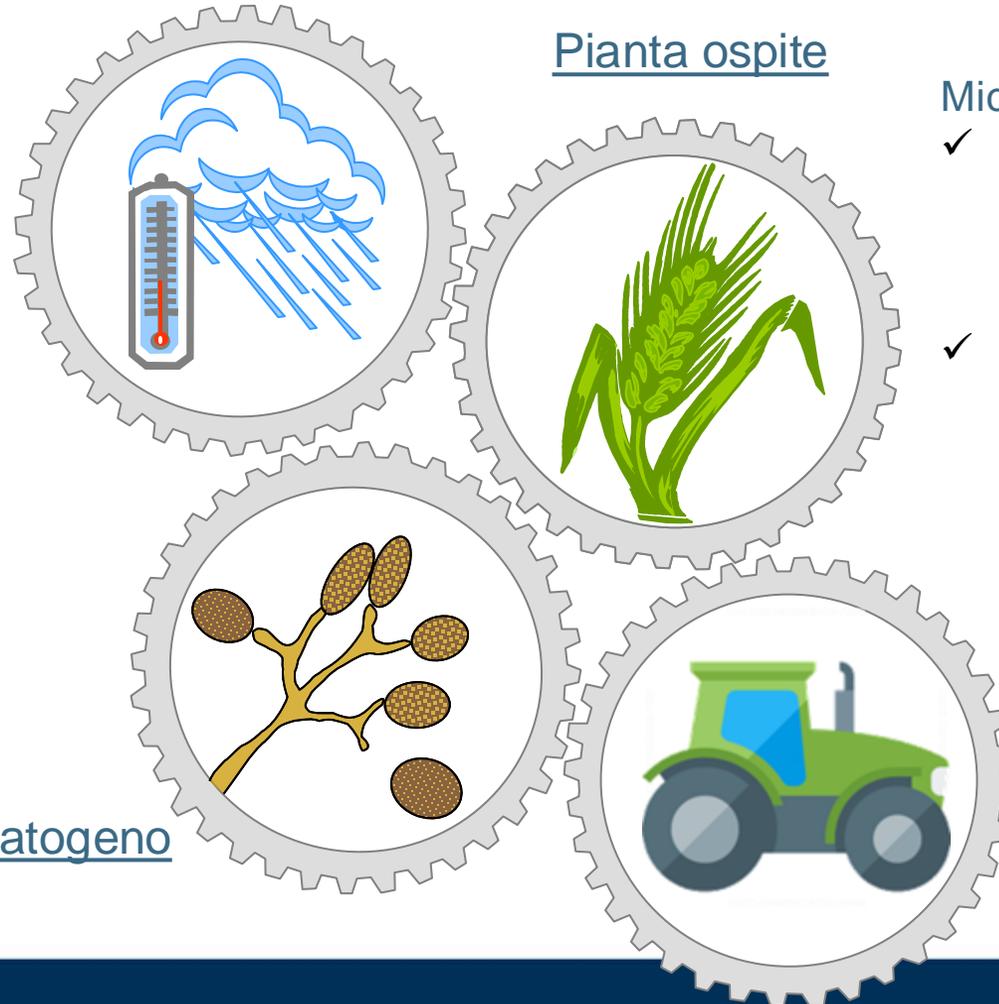
Ambiente fisico

- ✓ Fattori meteorologici: temperatura, umidità, precipitazioni, vento, radiazione luminosa
- ✓ Fattori edafici: temperatura, umidità, pH

Ambiente chimico

- ✓ Composizione chimica delle superfici vegetali e della rizosfera: nutrienti, composti antimicrobici, sostanze tossiche, pH

Pianta ospite



Patogeno

Microbioma

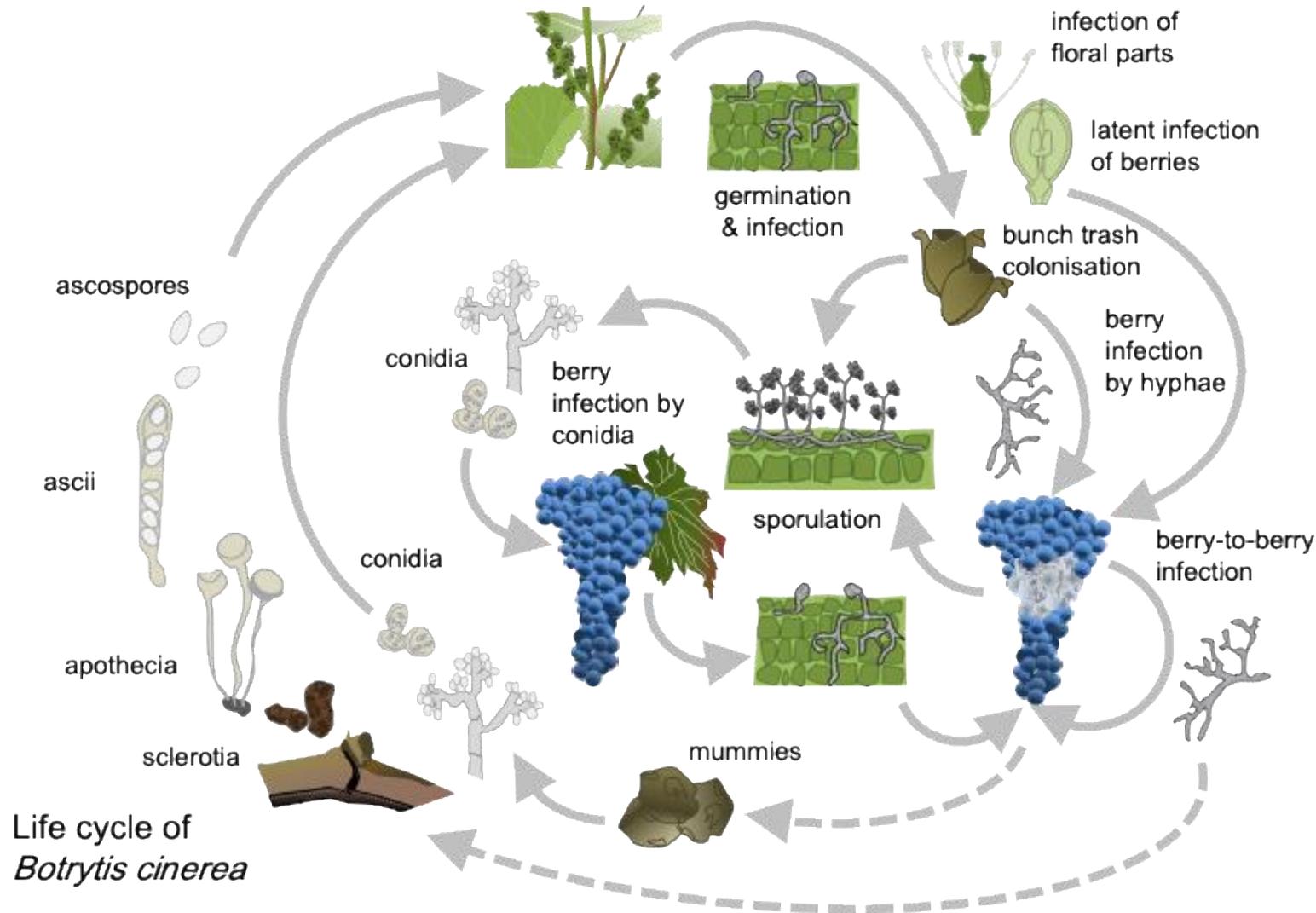
- ✓ Composizione e abbondanza del microbioma delle superfici vegetali, dei tessuti interni e della rizosfera
- ✓ Interazioni microbiche positive e negative

Un sistema
complesso e
dinamico



Interventi colturali

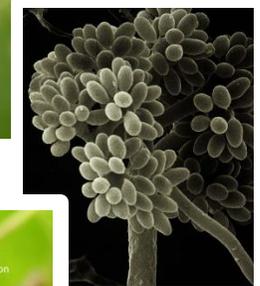
Biocontrol agents (BCAs)

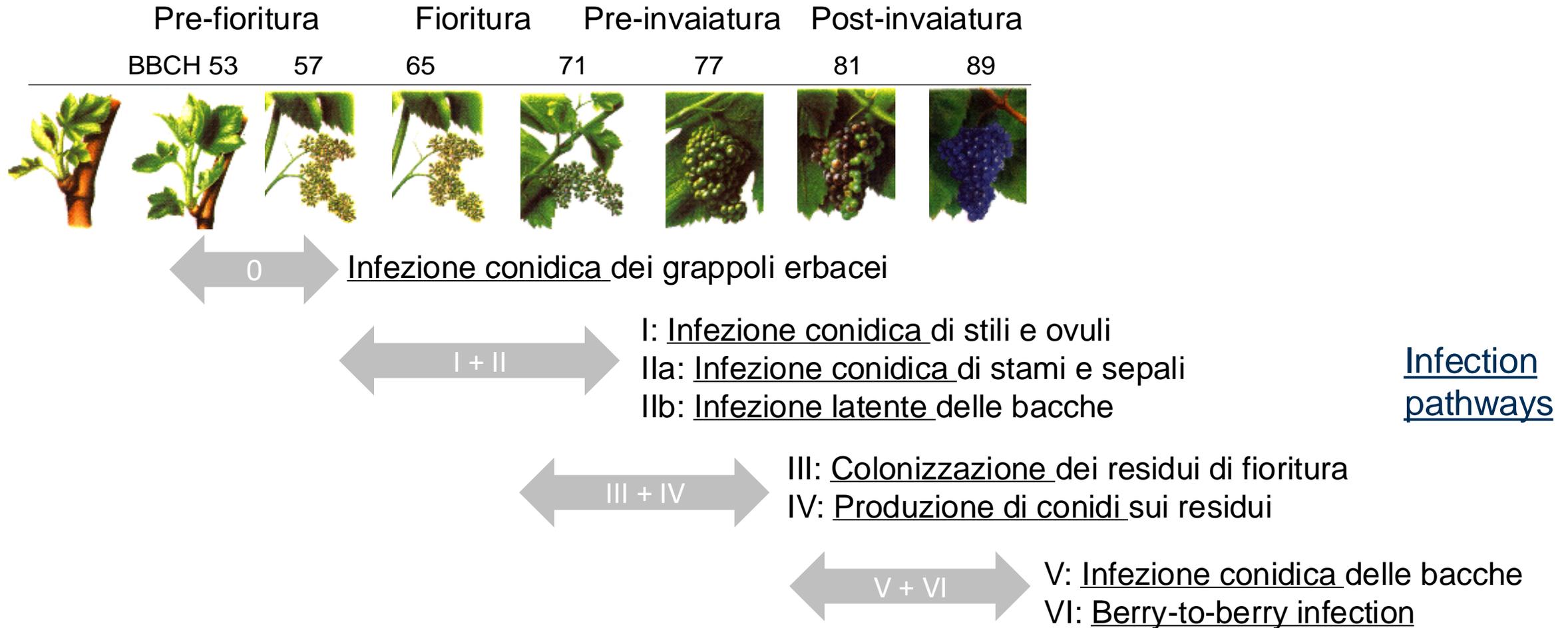


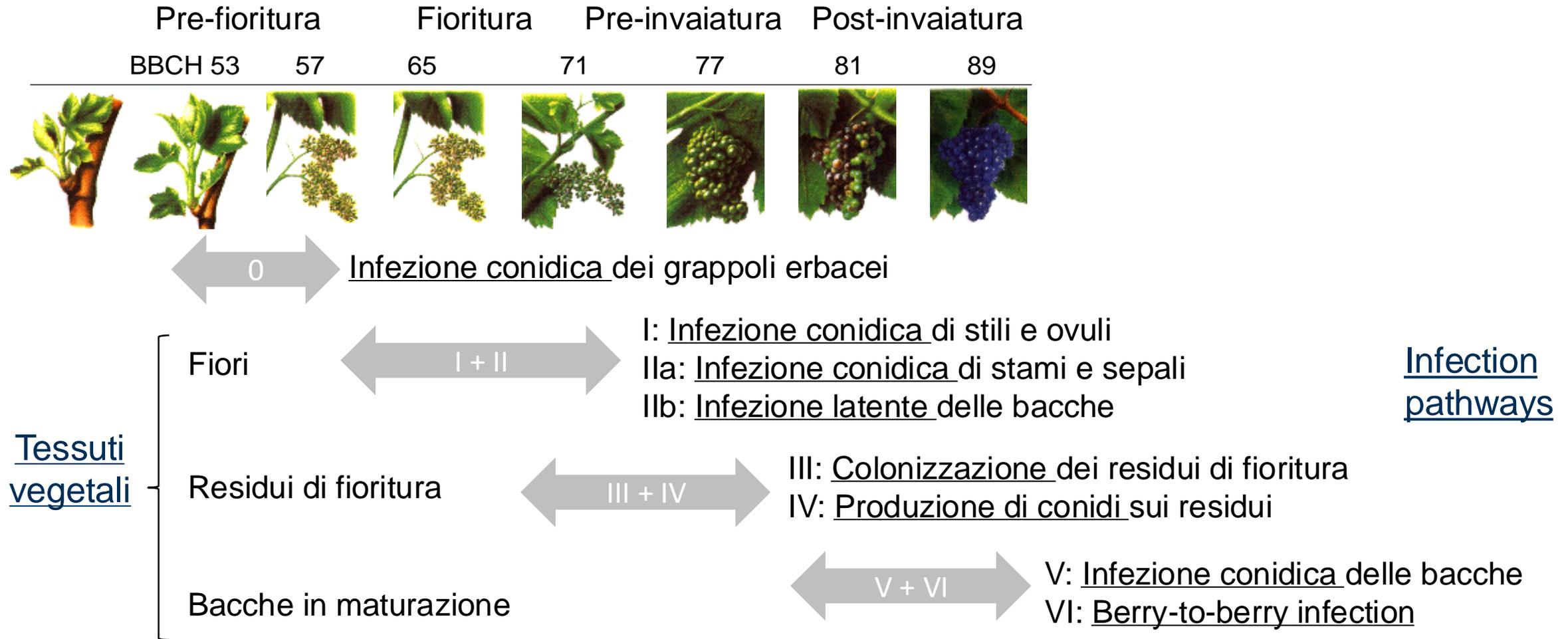
Life cycle of *Botrytis cinerea*



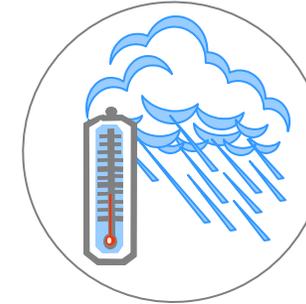
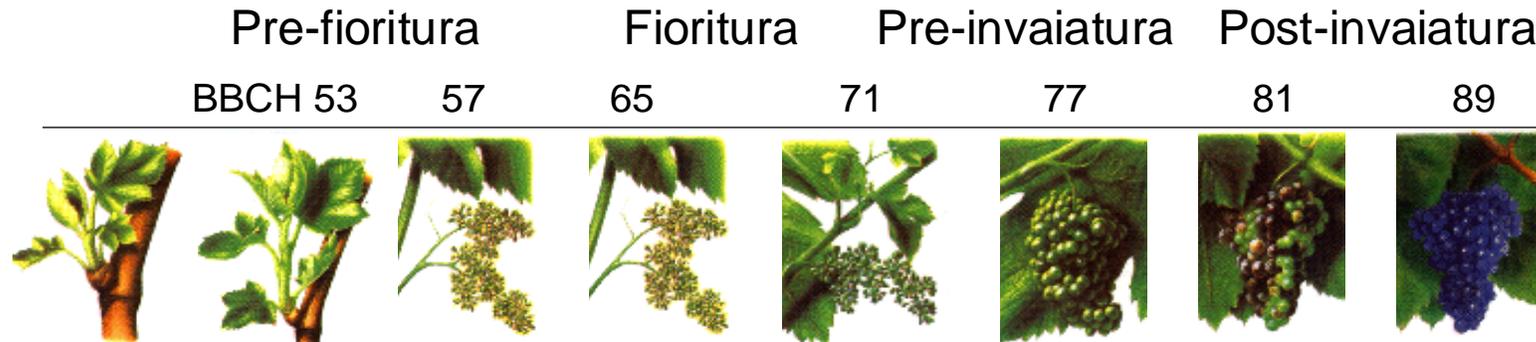
Muffa grigia della vite: un caso studio







Biocontrol agents (BCAs)



Condizioni
meteo

← 0 → Infezione conidica dei grappoli erbacei

Fiori ← I + II →
 I: Infezione conidica di stili e ovuli
 IIa: Infezione conidica di stami e sepali
 IIb: Infezione latente delle bacche

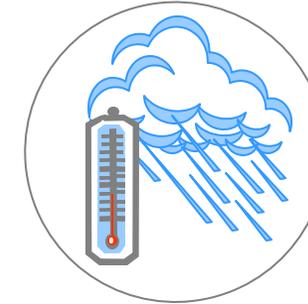
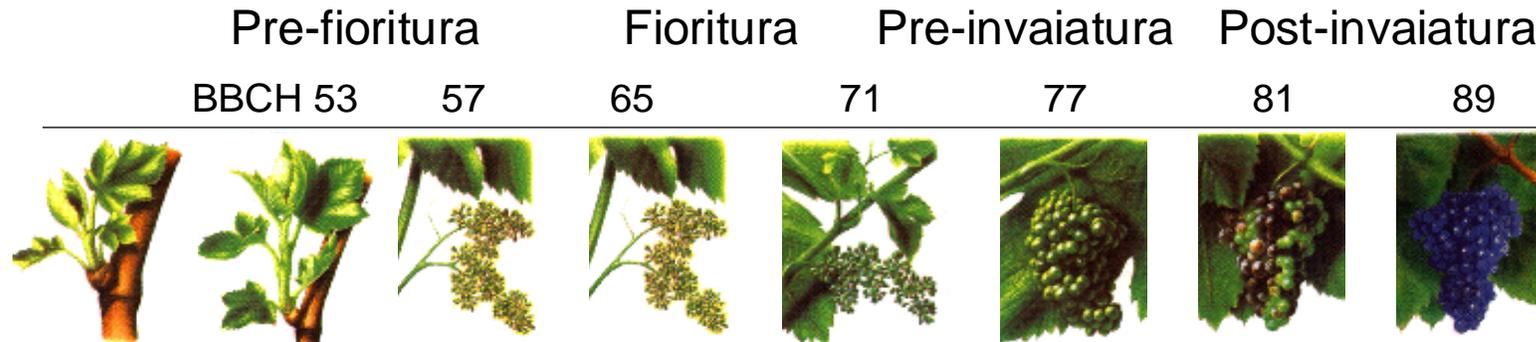
Infection
pathways

Tessuti
vegetali

Residui di fioritura ← III + IV →
 III: Colonizzazione dei residui di fioritura
 IV: Produzione di conidi sui residui

Bacche in maturazione ← V + VI →
 V: Infezione conidica delle bacche
 VI: Berry-to-berry infection

Biocontrol agents (BCAs)

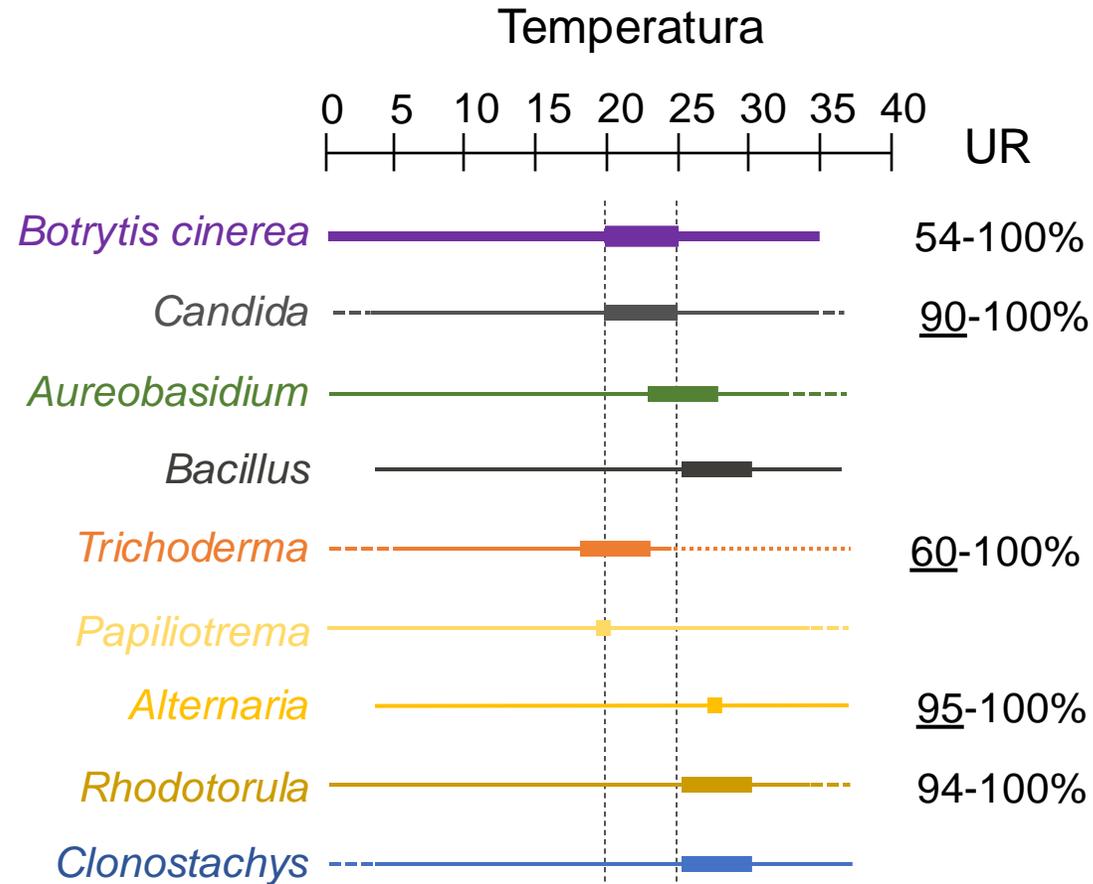


Condizioni
meteo

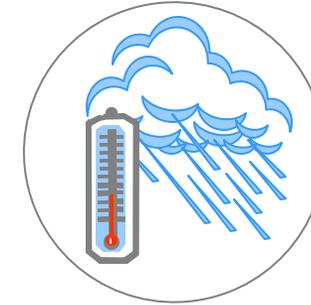
← 0 → Infezione conidica dei grappoli erbacei

Tessuti
vegetali



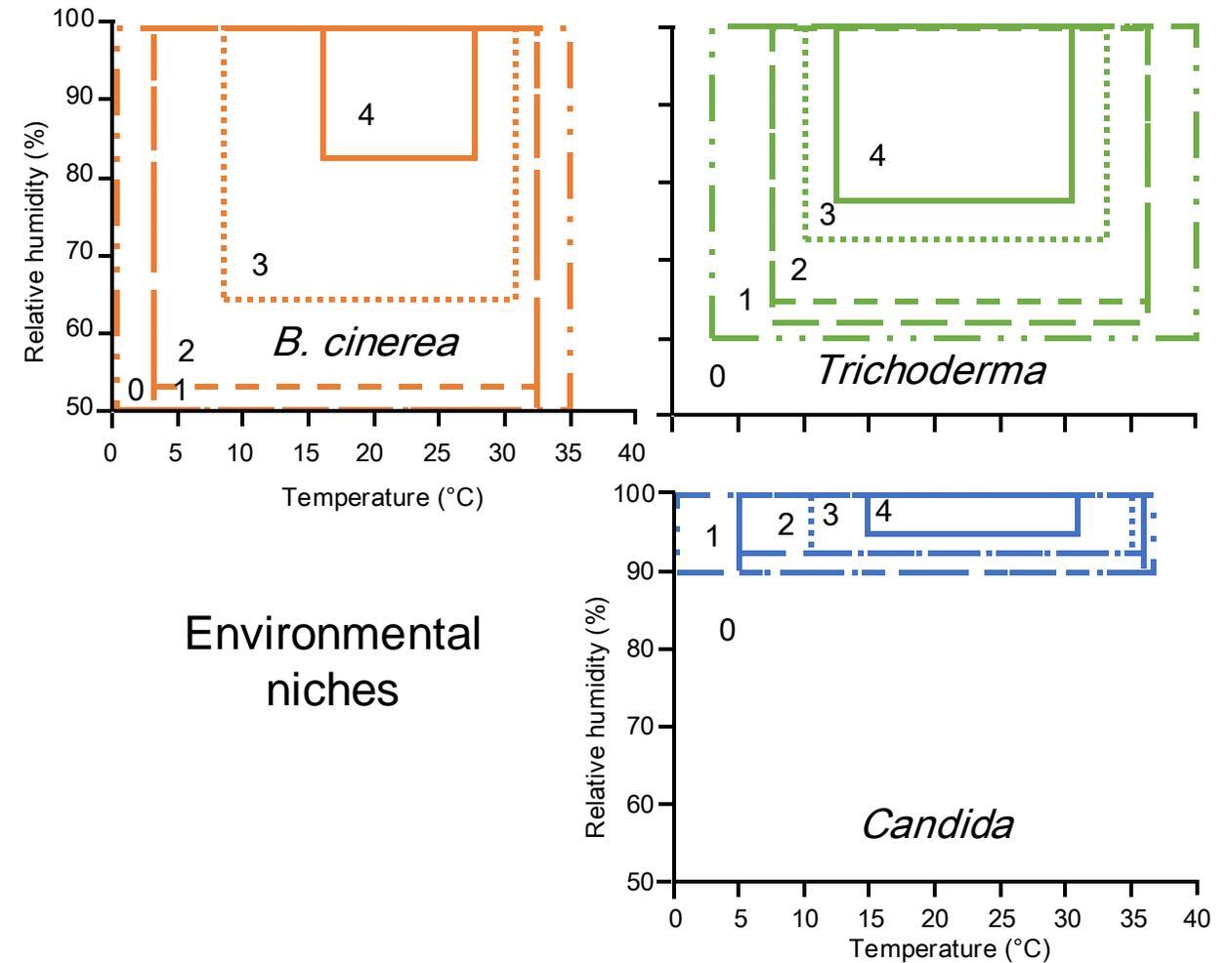
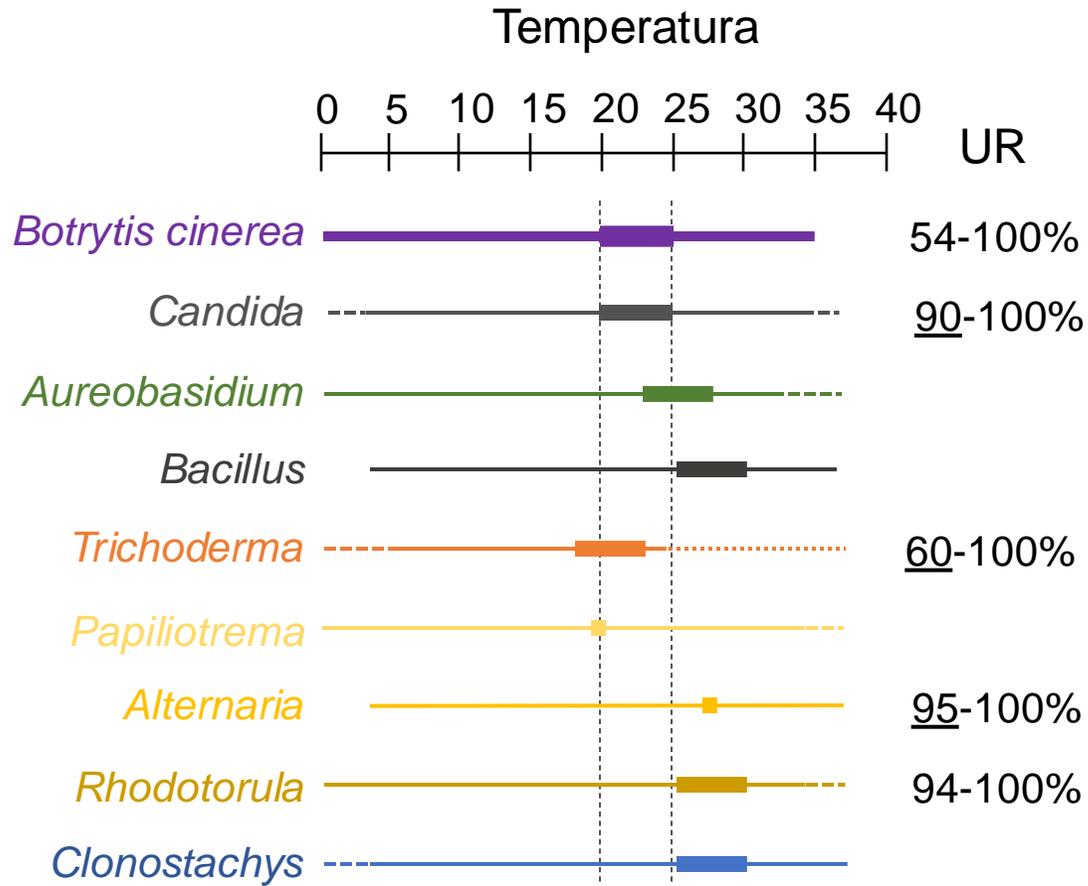


Ruolo del meteo

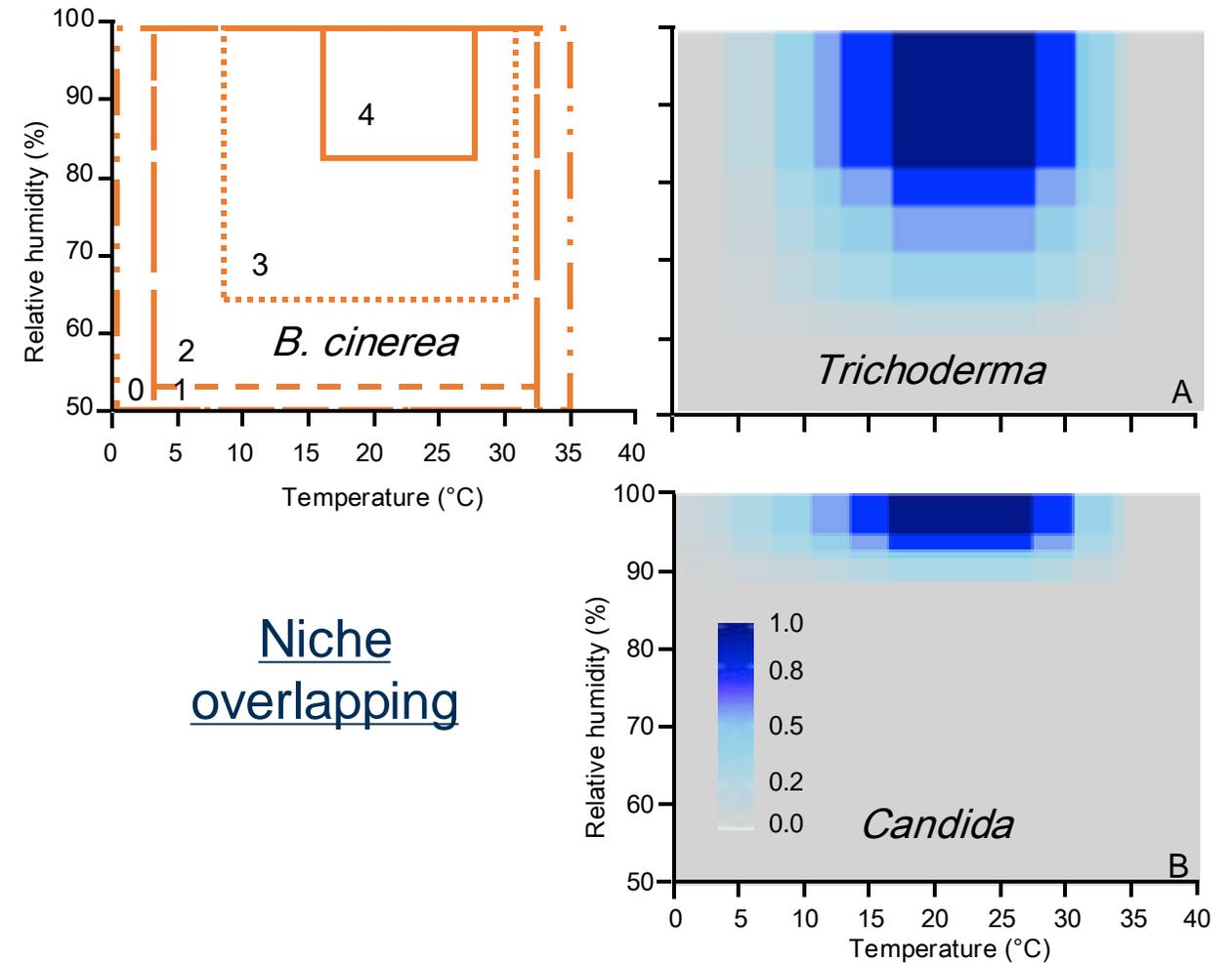
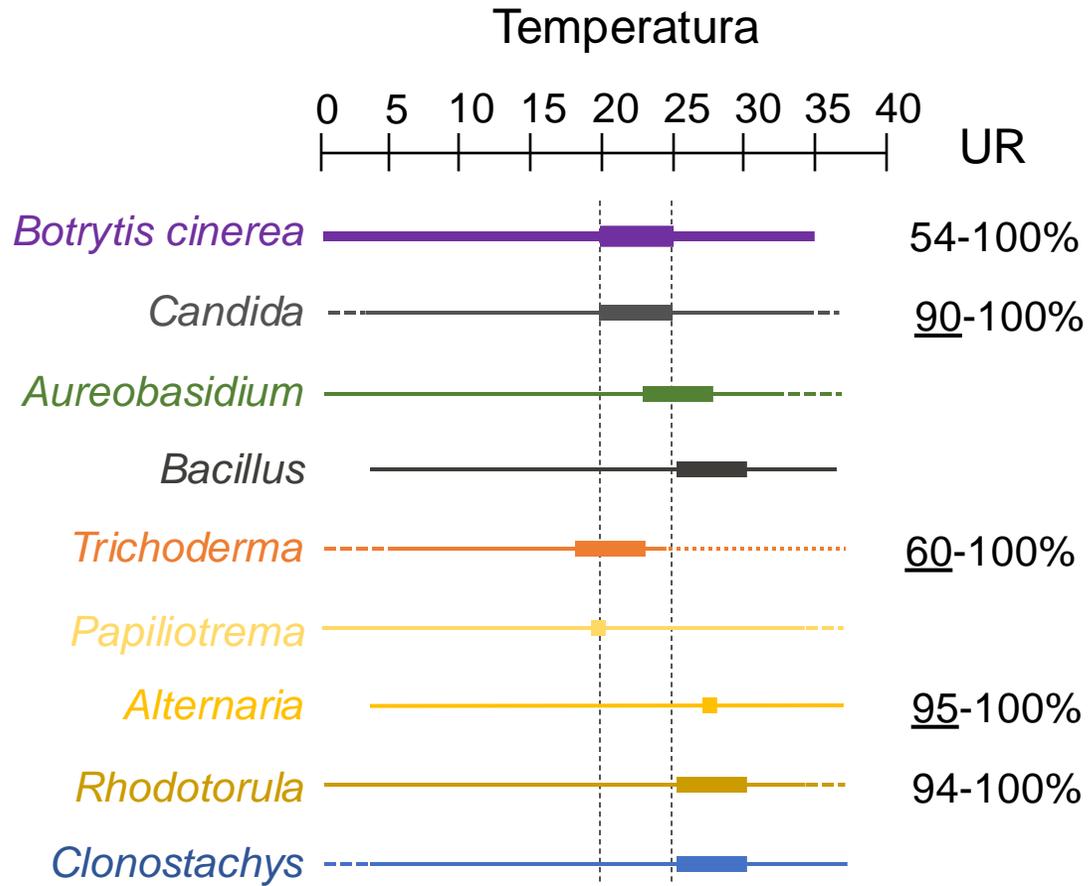


Le condizioni ambientali per la crescita e l'attività metabolica differiscono tra patogeni e BCA

Biocontrol agents (BCAs)



Biocontrol agents (BCAs)

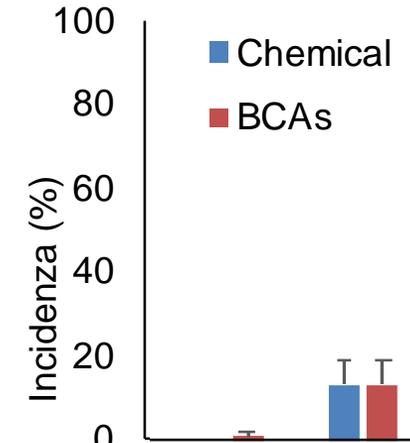


- A: fungicida o BCA1 (previene la colonizzazione dei residui fiorali e le infezioni latenti)
- B: fungicida o BCA2 (riduce la colonizzazione dei residui nei grappoli e previene la sporulazione)
- C: fungicida o BCA3 (previene la sporulazione e l'infezione delle bacche)
- D: fungicida o BCA4 (previene l'infezione delle bacche)
- ABCD
- NT

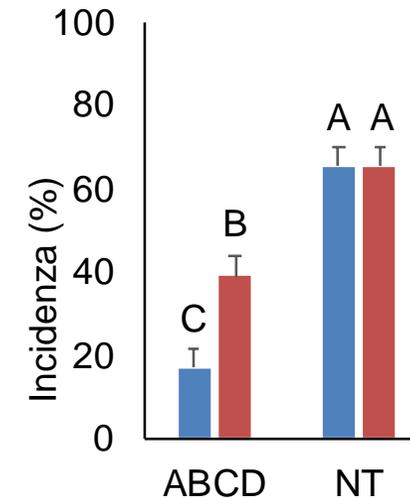
Selezione ragionata dei BCA



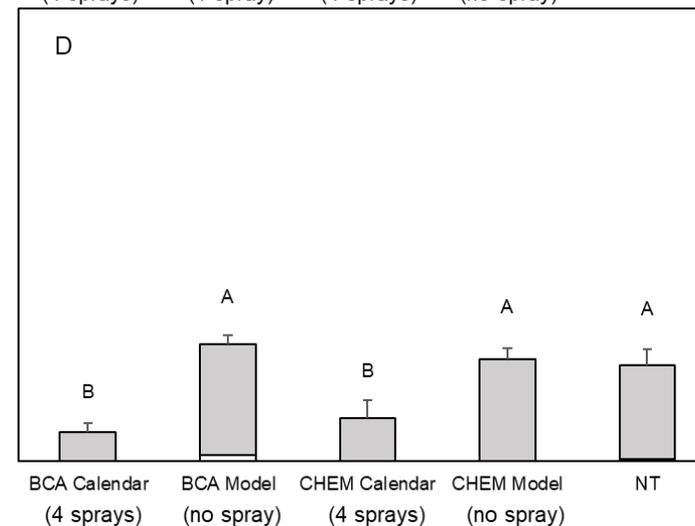
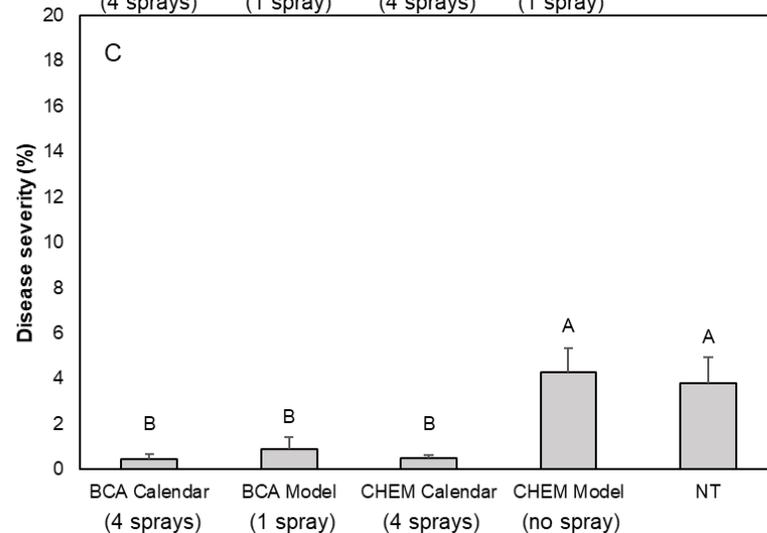
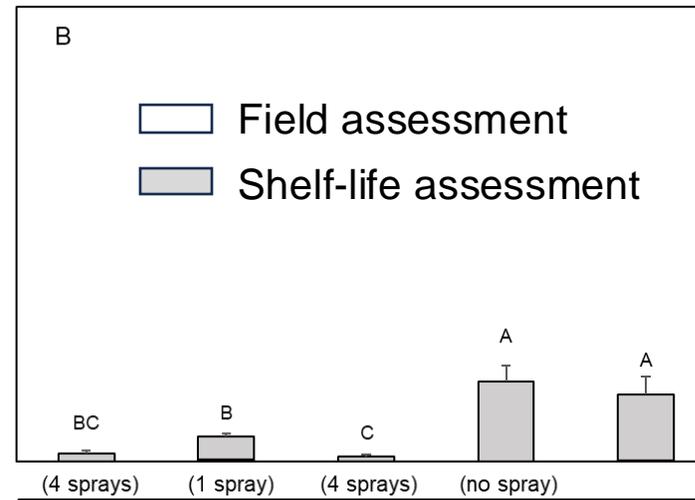
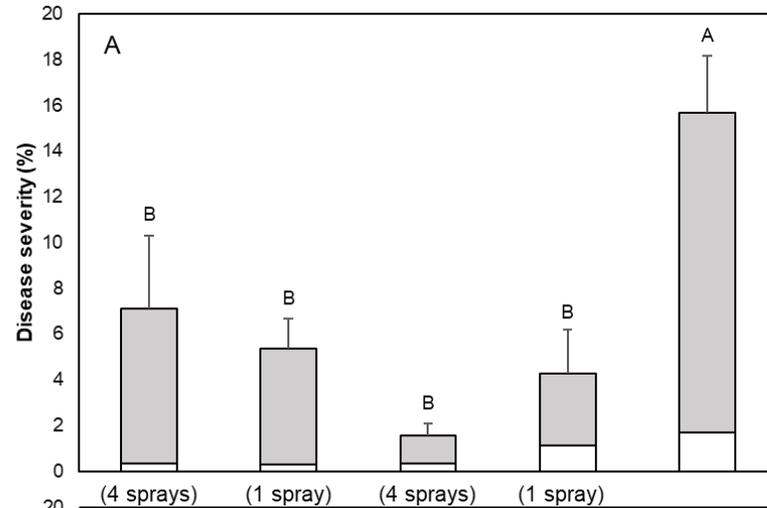
Castell'Arquato (PC)
Merlot 2017- 2018



2017 - nessuna differenza significativa tra NT e trattato.



2018 – i BCA hanno ridotto significativamente la malattia



Applicazione risk-based dei BCA

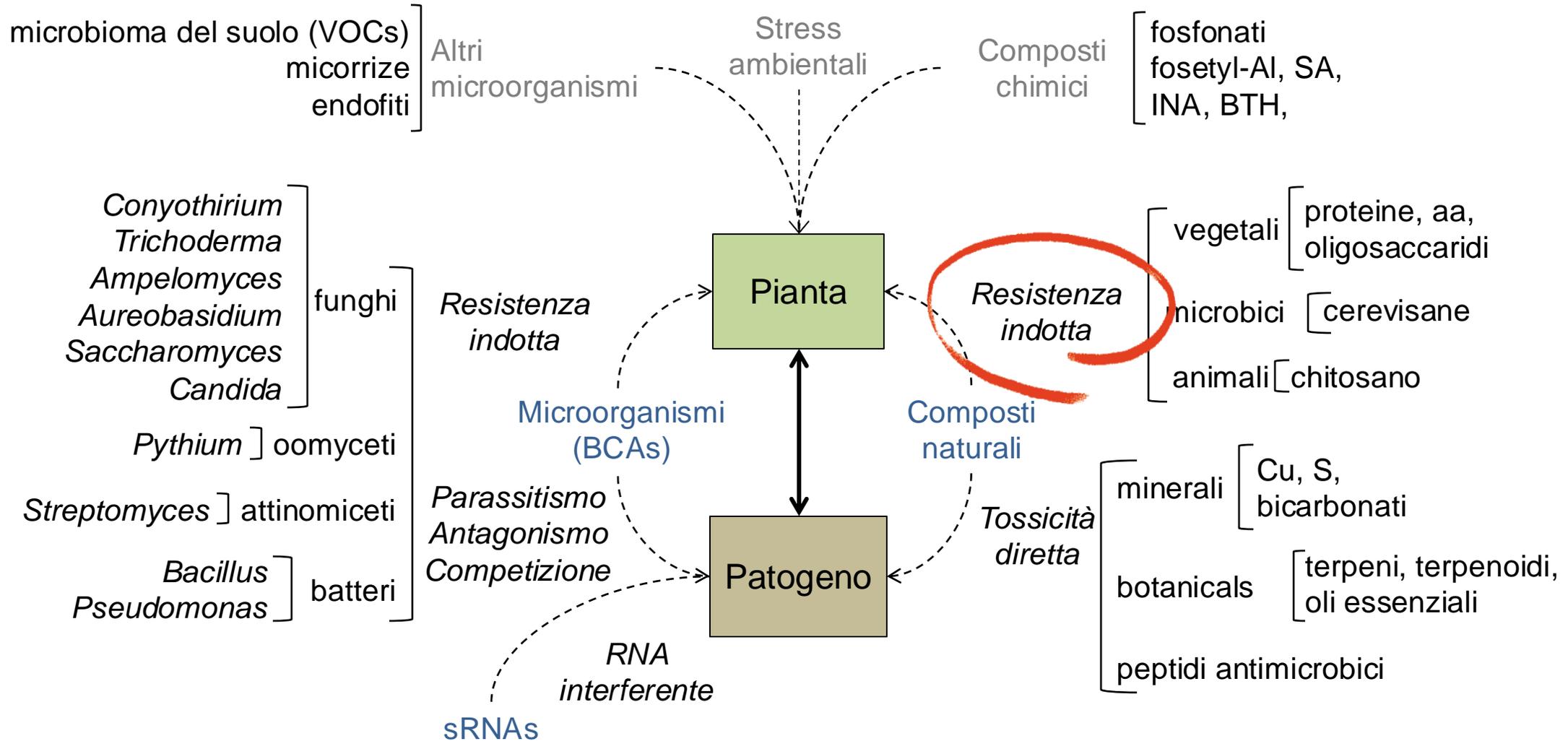
Trattamenti applicati in A, B, C e/o D in base al modello del DSS vite.net



L'applicazione dei prodotti basata sul rischio consente di ridurre il numero di trattamenti chimici e con BCA, e di applicare con successo i BCA



Biosolutions per il controllo delle malattie



Plant resistance inducers (PRIs)

Gli **induttori di resistenza delle piante (PRI, o elicitori)** includono una varietà di sostanze chimiche in grado di attivare le difese delle piante mediante un'applicazione esogena.

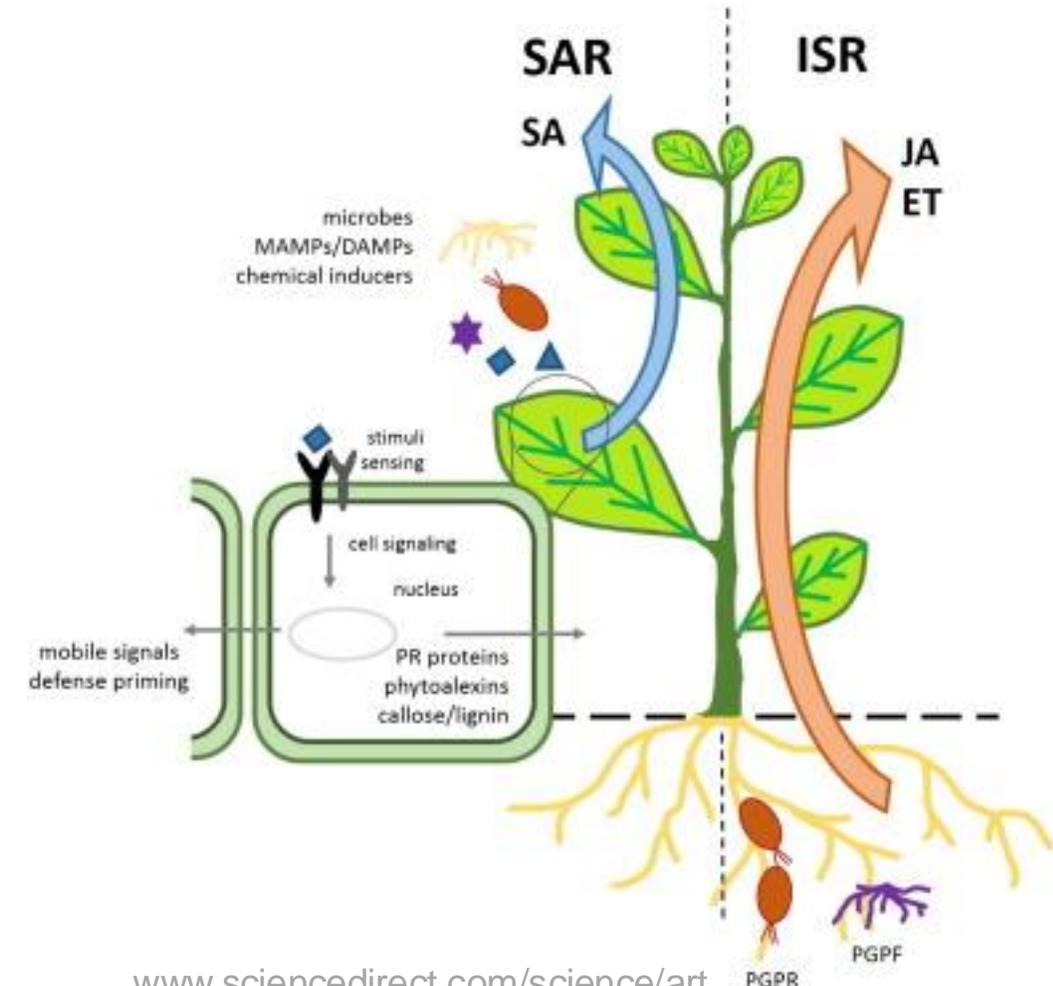
L'applicazione esogena dei PRI mira a **portare il sistema di difesa delle piante in uno stato innescato (priming)**: uno stato di difesa che si traduce in un'induzione più forte/più rapida di risposte di difesa in seguito a successivi stress biotici o abiotici.

Il **priming** è una strategia adattiva che migliora la capacità di difesa delle piante.

Defense Priming: An Adaptive Part of Induced Resistance

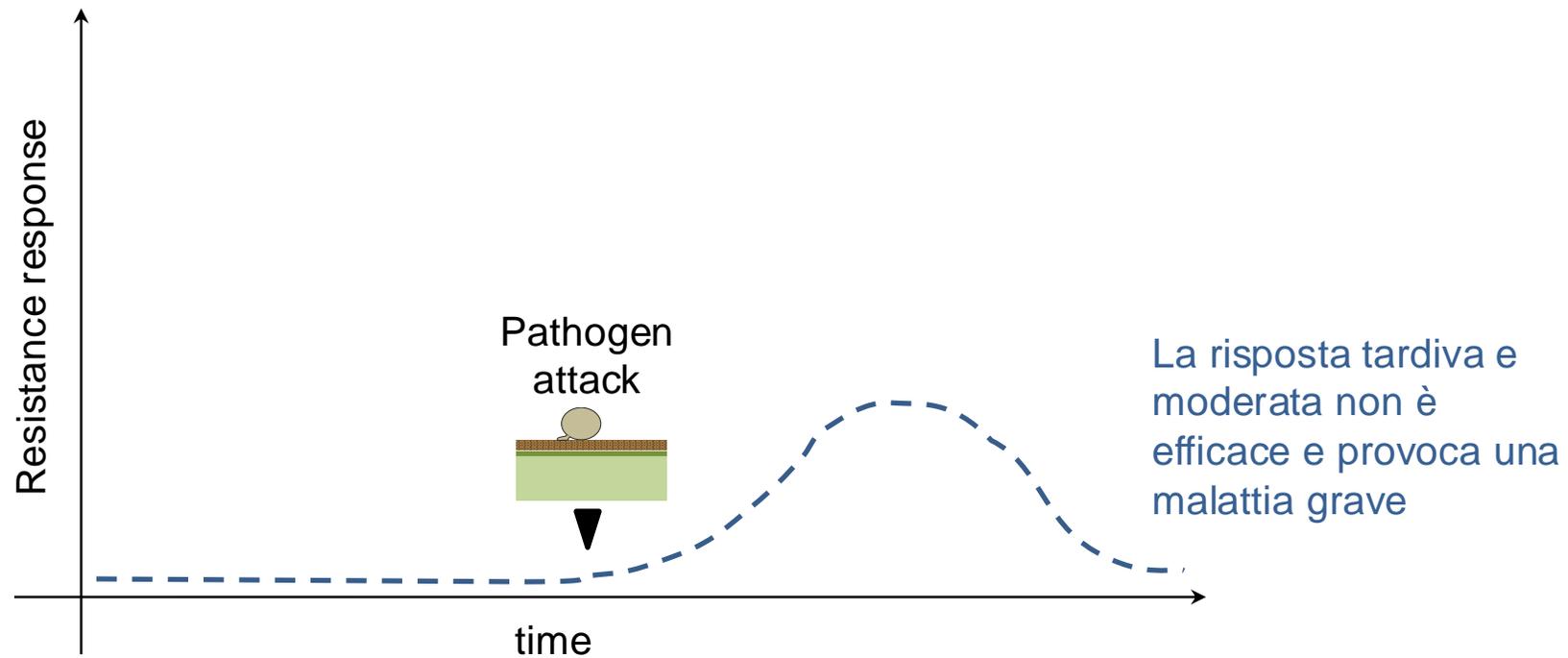
Annual Review of Plant Biology

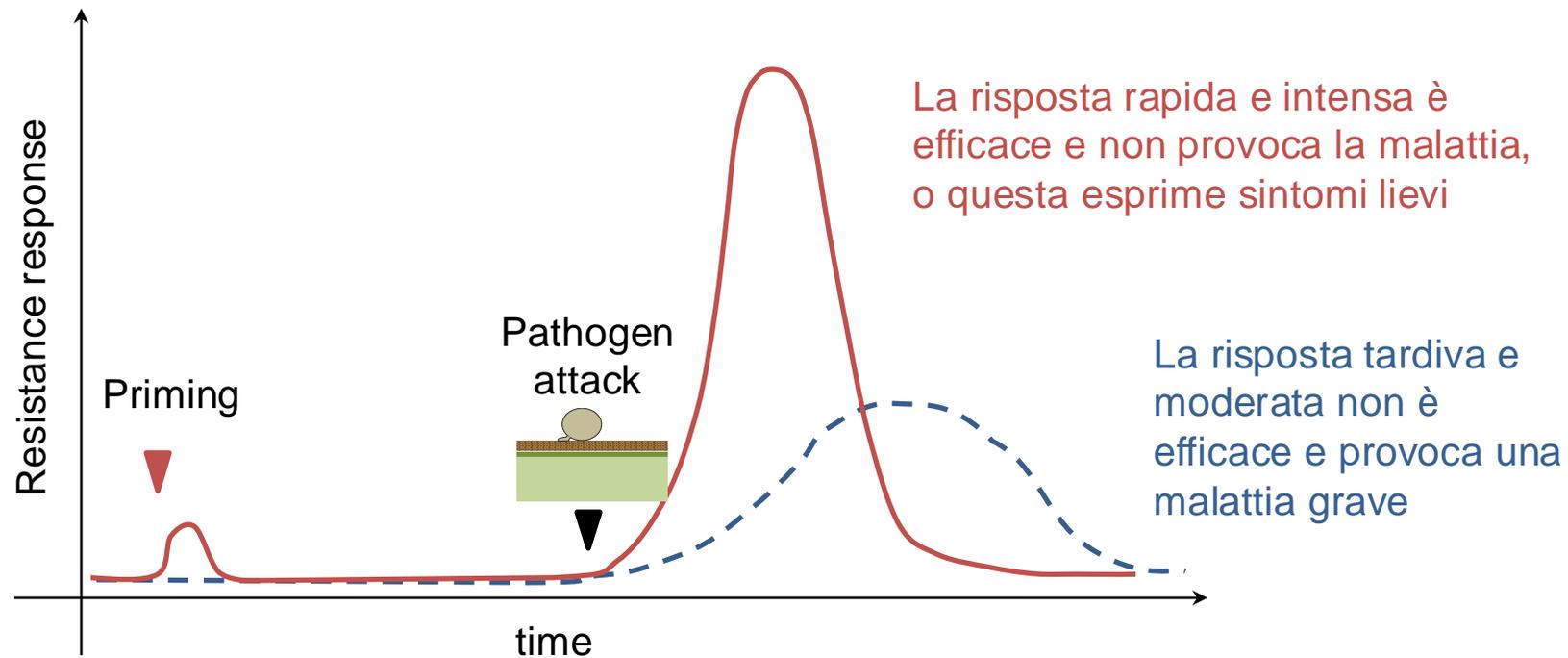
Vol. 68:485-512 (Volume publication date April 2017)

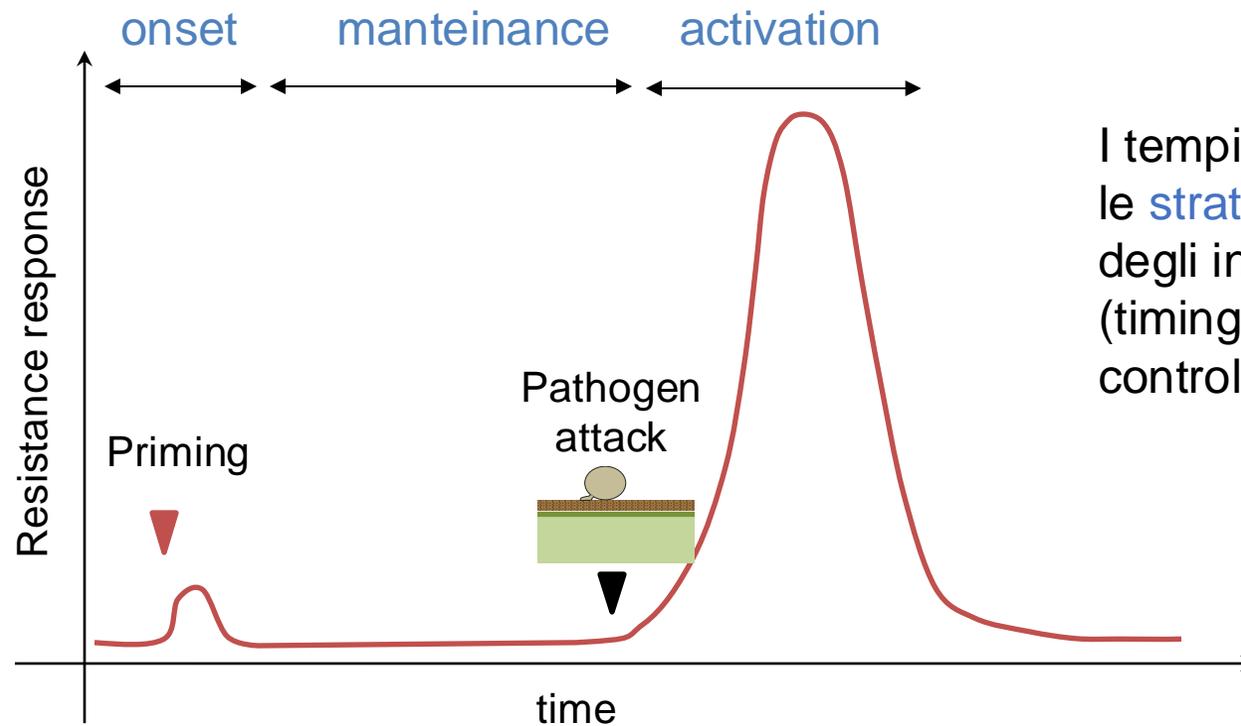


www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975015000051

Plant resistance inducers (PRIs)

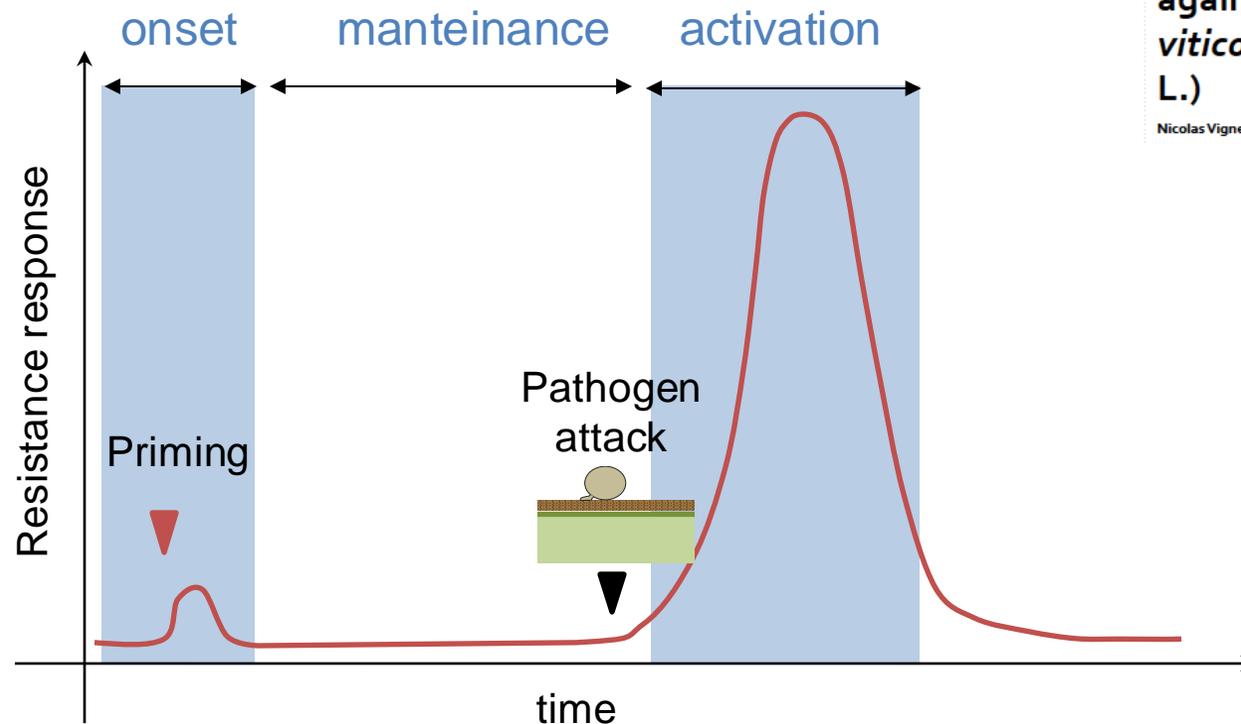






I tempi del priming influenzano le **strategie di applicazione** degli induttori di resistenza (timing) e la loro **efficacia** nel controllo della malattia

scientific reports



OPEN **Unravelling molecular mechanisms involved in resistance priming against downy mildew (*Plasmopara viticola*) in grapevine (*Vitis vinifera* L.)**

Nicolas Vigneron¹, Jérôme Grimplet^{2,3}, Eric Remolif⁴ & Markus Rienth^{1,2}

International Journal of
Molecular Sciences



Article

The Molecular Priming of Defense Responses is Differently Regulated in Grapevine Genotypes Following Elicitor Application against Powdery Mildew

Chiara Pagliarani^{1,4}, Amedeo Moine¹, Walter Chitarra^{1,2}, Giovanna Roberta Meloni^{3,4}, Simona Abbà¹, Luca Nerva^{1,2}, Massimo Pugliese^{3,4}, Maria Lodovica Gullino^{3,4} and Giorgio Gambino¹

Pest Management
Science

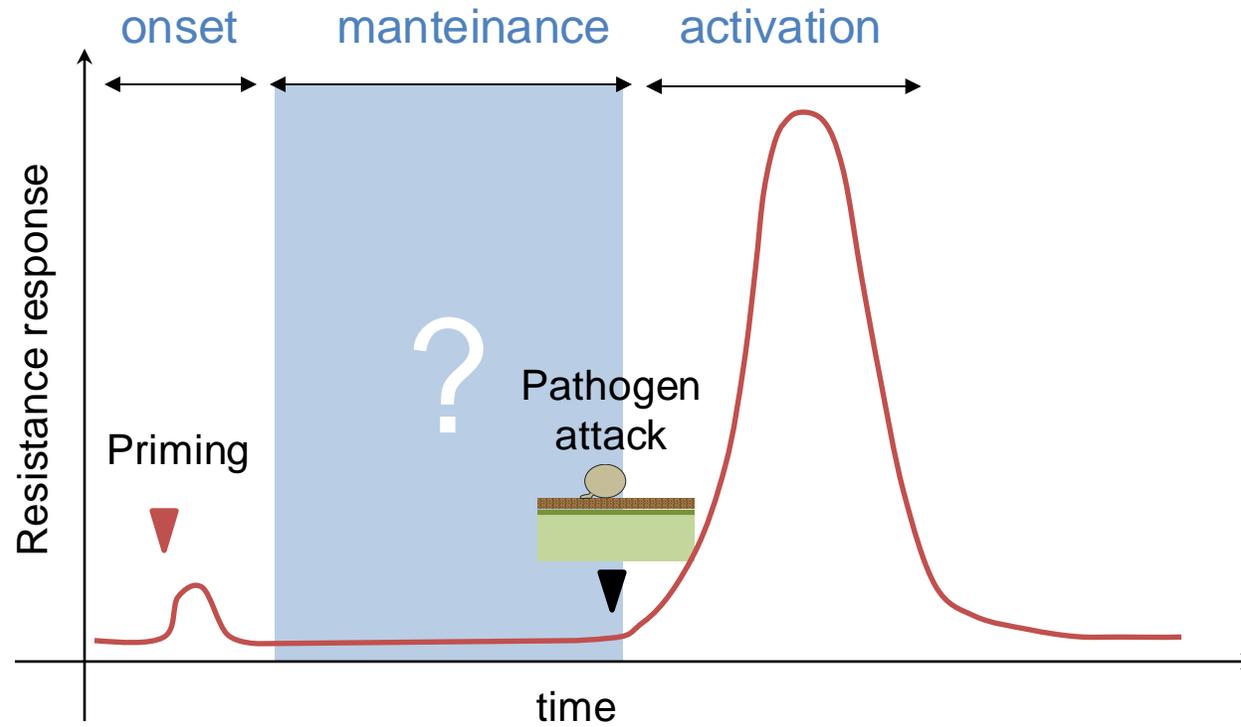


Research Article | Full Access

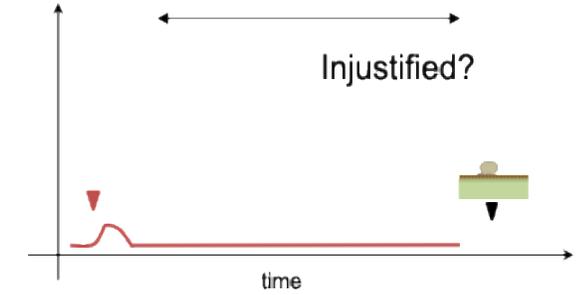
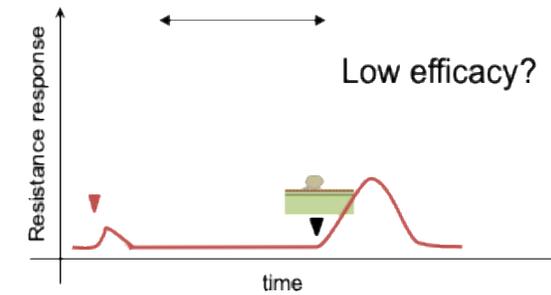
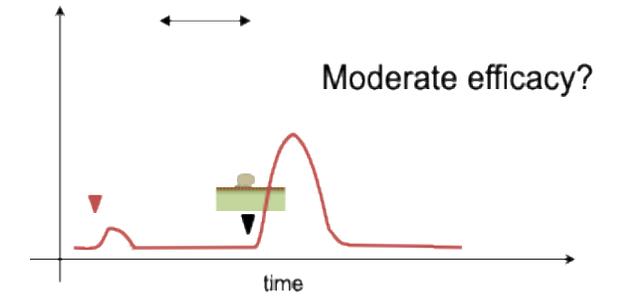
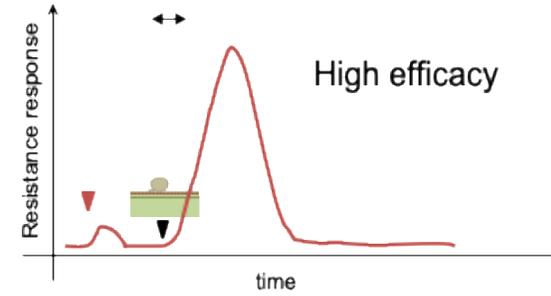
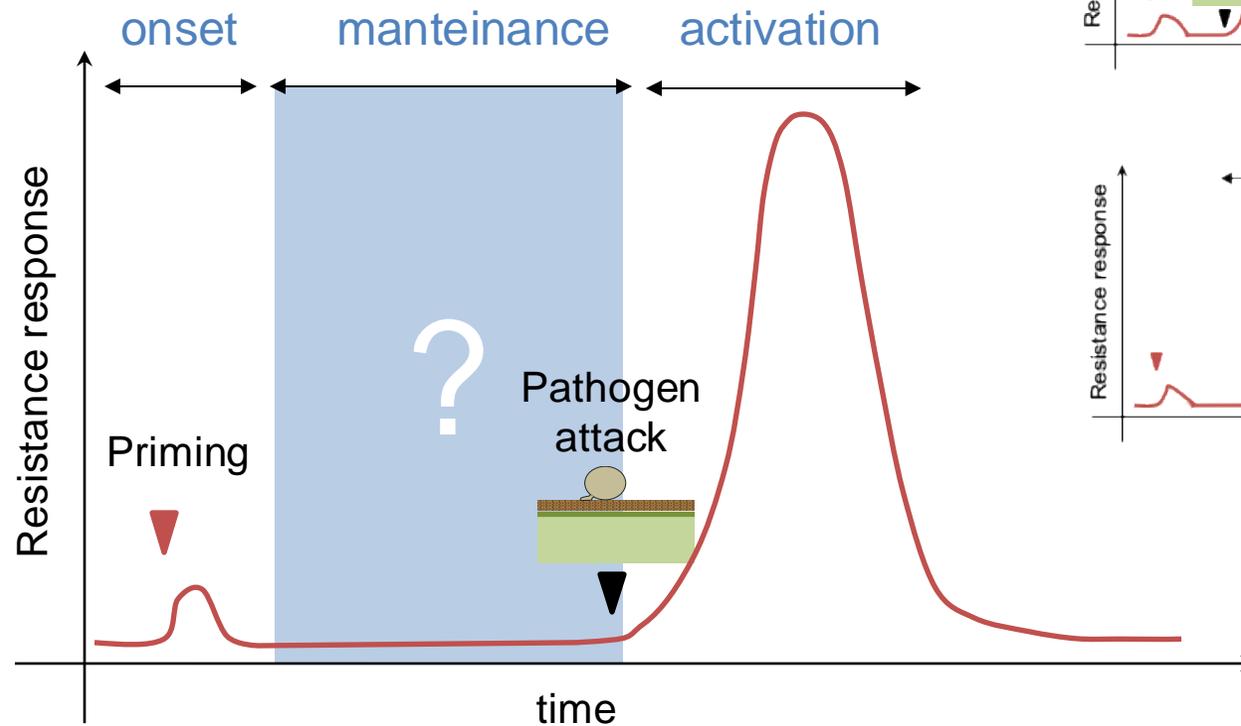
Global transcriptome analysis and differentially expressed genes in grapevine after application of the yeast-derived defense inducer cerevisane

Rita M De Miccolis Angelini, Caterina Rotolo, Donato Gerin, Domenico Abate, Stefania Pollastro, Francesco Faretra

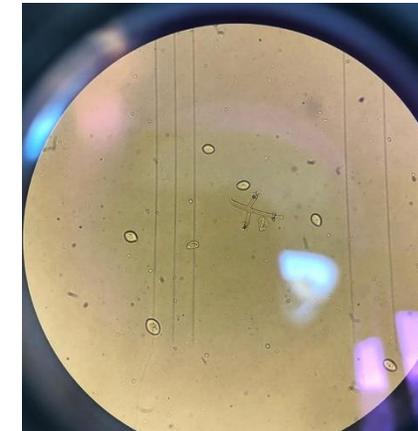
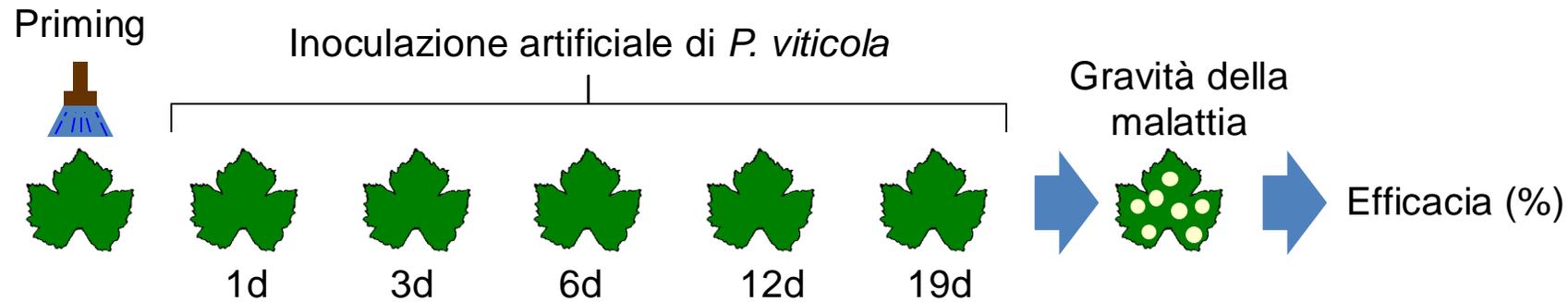
Plant resistance inducers (PRIs)



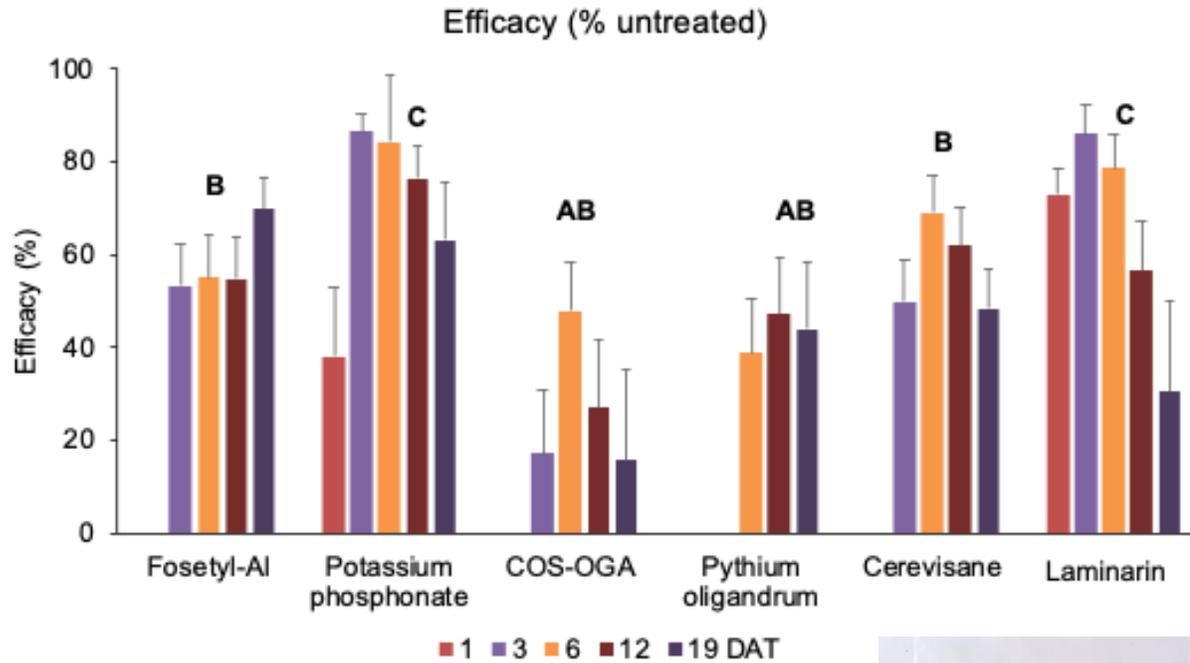
Plant resistance inducers (PRIs)



Plant resistance inducers (PRIs)

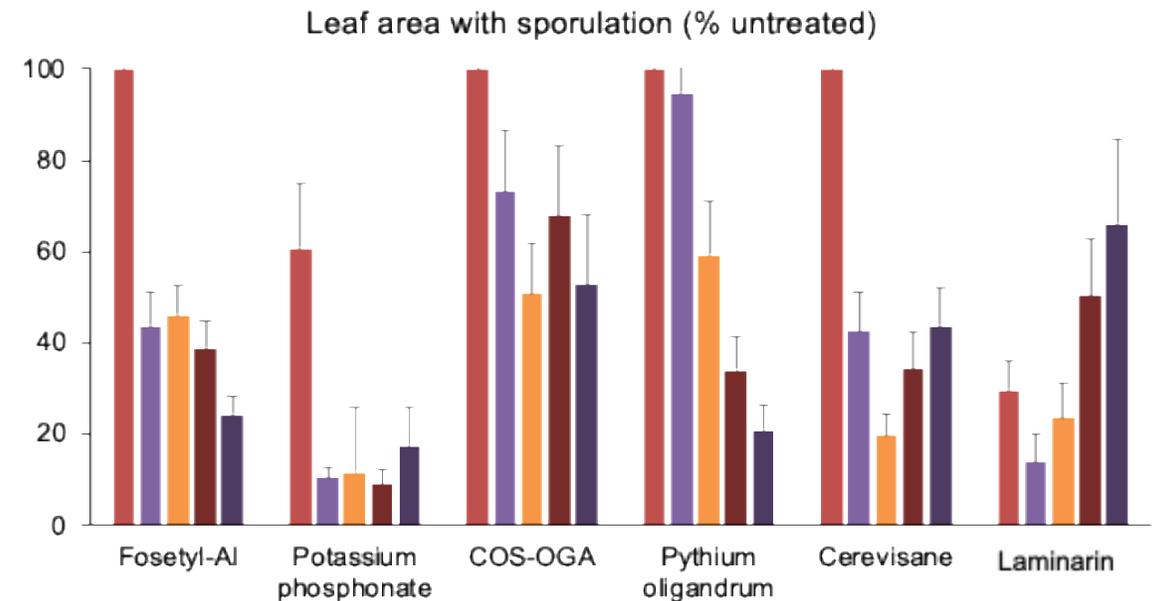


Plant resistance inducers (PRIs)



Test NT=100%
% affected area

Test NT=100%
% sporulating area



Plant resistance inducers (PRIs)



Article

Plant Resistance Inducers Affect Multiple Epidemiological Components of *Plasmopara viticola* on Grapevine Leaves

Othmane Taibi , Irene Salotti  and Vittorio Rossi *

> [Plant Dis.](#) 2024 Nov 27. doi: 10.1094/PDIS-07-24-1575-RE. Online ahead of print.

Do plant resistance inducers reduce *Plasmopara viticola* infection on grapevine berry clusters at different growth stages?

Vittorio Rossi ¹, Othmane Taibi ², Margherita Furiosi ³, Tito Caffi ⁴

Plant Pathology

An international Journal edited by the British Society for Plant Pathology



ORIGINAL ARTICLE |  Full Access

Pre-infection efficacy of resistance inducers against grapevine powdery mildew

Othmane Taibi, Giorgia Fedele, Vittorio Rossi 



agronomy



Article

Infection Risk-Based Application of Plant Resistance Inducers for the Control of Downy and Powdery Mildews in Vineyards

Othmane Taibi , Giorgia Fedele , Irene Salotti  and Vittorio Rossi *

Trattamenti preventivi basati su modelli del DSS vite.net



parcelle non trattate (NT)
rame e zolfo (CHEM)

CER = cerevisane

COS = cos-oga

FOS = fosestil-Al

LAM = laminarina

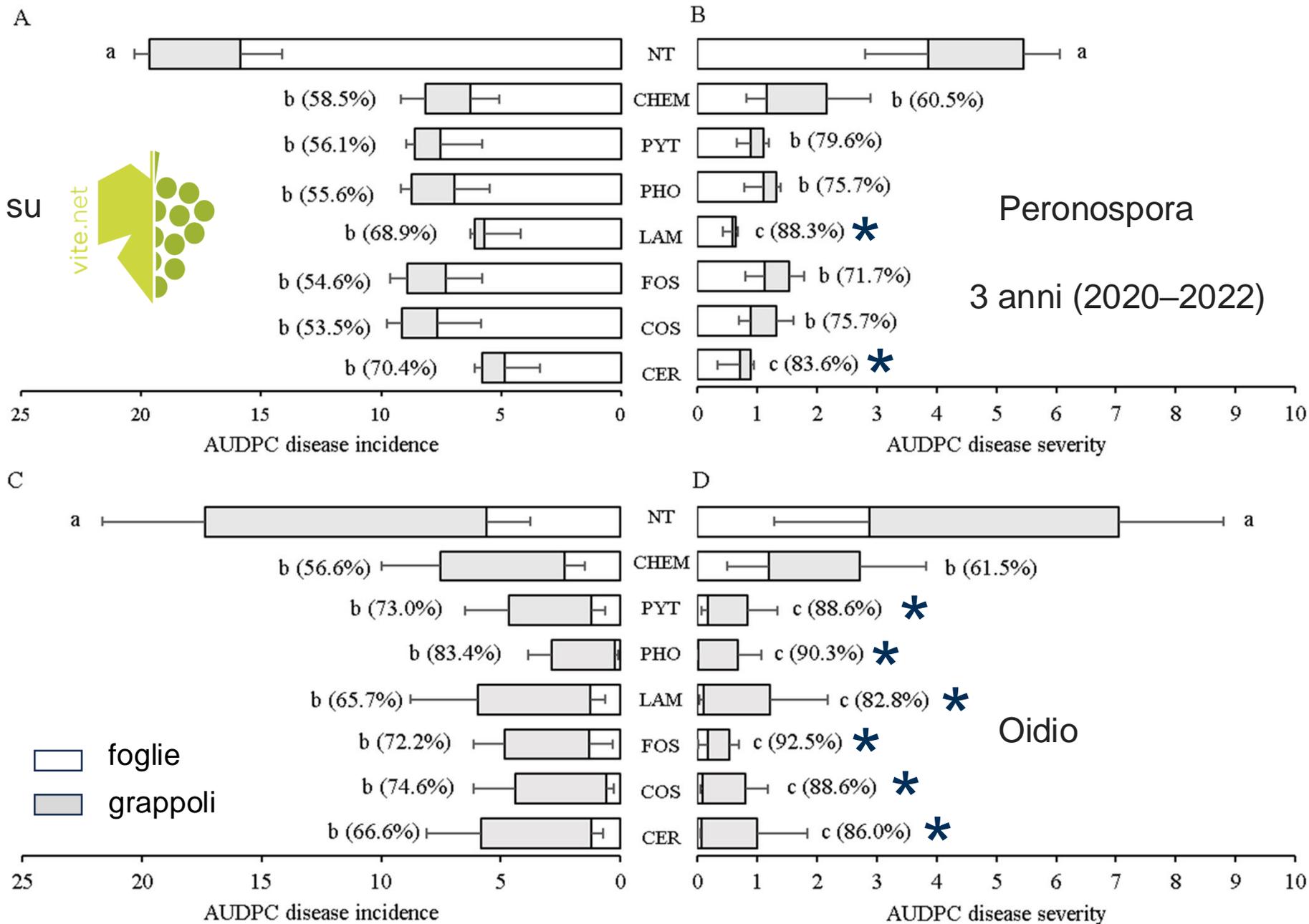
PHO = fosfonato di potassio

PYT = *Pythium oligandrum*

% tra parentesi mostra una riduzione rispetto a NT

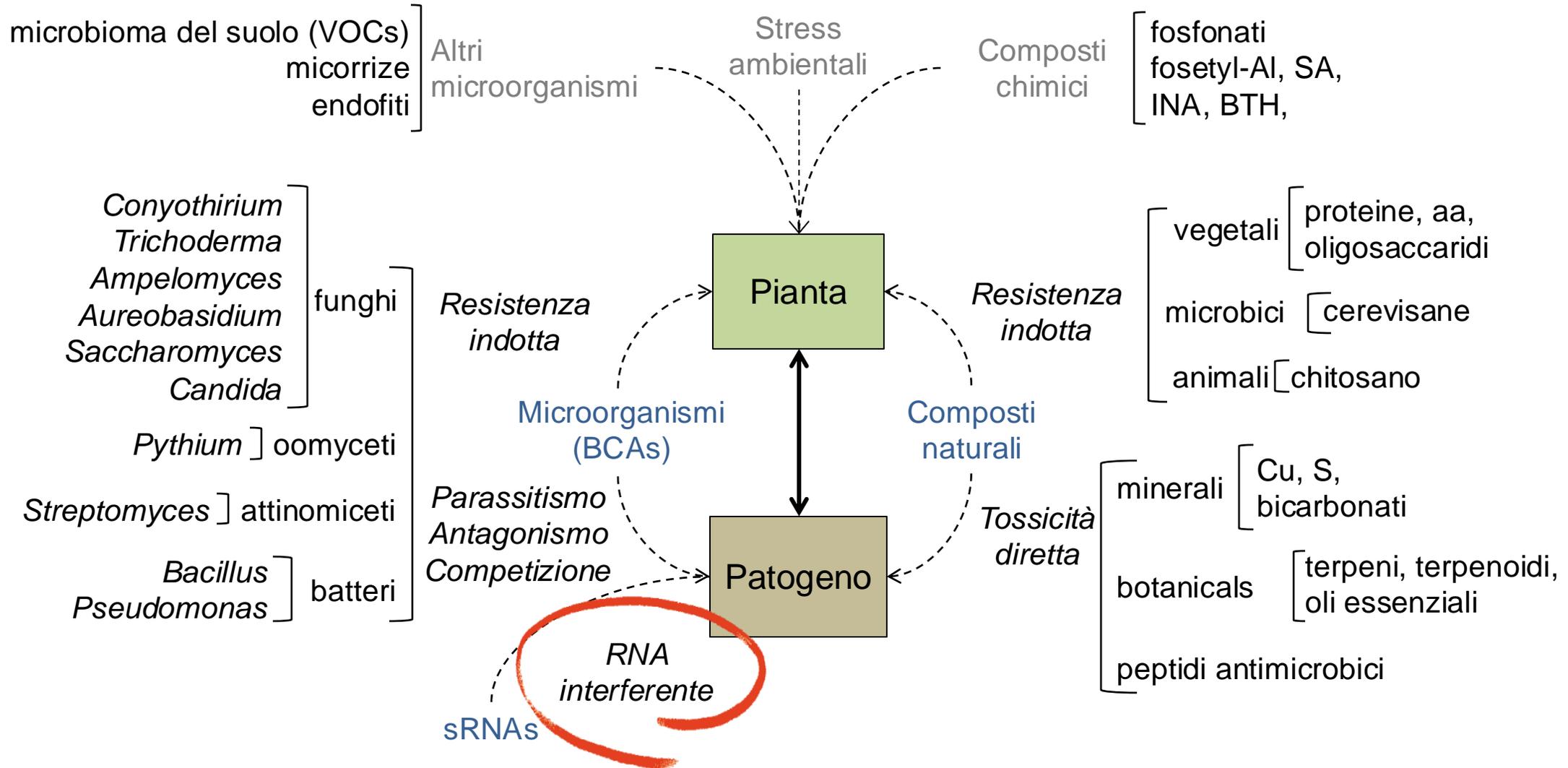
□ foglie

■ grappoli





Biosolutions per il controllo delle malattie



RNA interference (RNAi)

Small RNA-based plant protection against diseases

Özlem Bilir ¹, Deniz Göl ², Yiguo Hong ^{2,3},
John M. McDowell ⁴ and Mahmut Tör ^{2*}

Zhao et al. *Advanced Biotechnology* (2024) 2:23
<https://doi.org/10.1007/s44307-024-00031-x>



REVIEW

Open Access



Exploring the challenges of RNAi-based strategies for crop protection

Jian-Hua Zhao ^{1,2}, Qing-Yan Liu ^{1,2}, Zong-Ming Xie ³ and Hui-Shan Guo ^{1,2*}

REVIEW

OPEN ACCESS

Cross-kingdom small RNA communication between plants and fungal phytopathogens-recent updates and prospects for future agriculture

Bijayalaxmi Mahanty ^a, Rukmini Mishra ^b, and Raj Kumar Joshi ^{id} ^a

^aDepartment of Biotechnology, Rama Devi Women's University, Bhubaneswar, Odisha, India; ^bSchool of Applied Sciences, Centurion University of Technology and Management, Bhubaneswar, Odisha, India



Current Opinion in Plant Biology

Volume 76, December 2023, 102441



Improving RNA-based crop protection through nanotechnology and insights from cross-kingdom RNA trafficking

Angela Chen ¹, Lida Halilovic ¹, Jia-Hong Shay ¹, Aline Koch ², Neena Mitter ³, Hailing Jin ¹

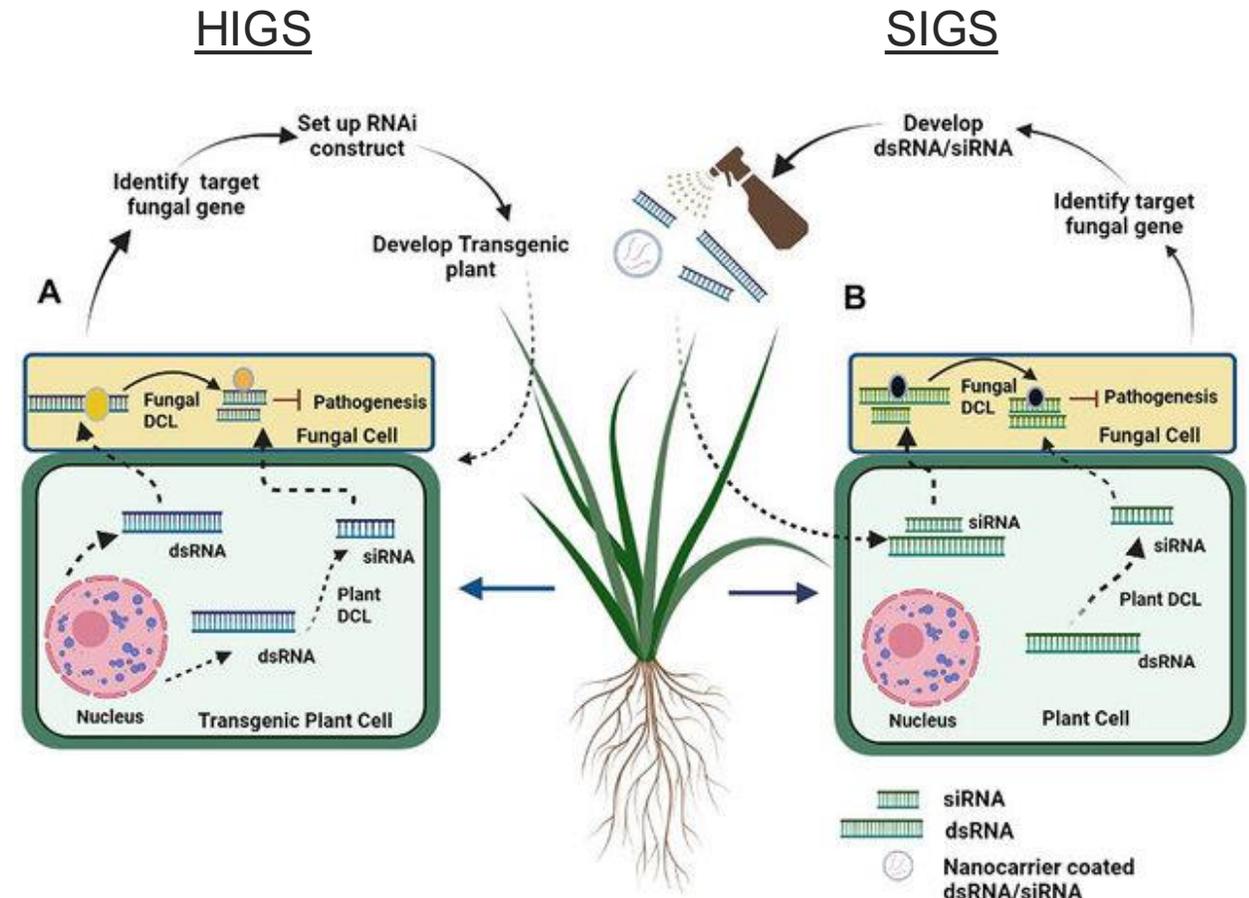
RNA interference (RNAi)

Principio:

- ✓ Gli small RNA (sRNA), inclusi microRNA (miRNA) e RNA interferenti (siRNA), sono coinvolti nella regolazione dell'espressione genica tramite il silenziamento dell'RNA sia trascrizionale che post-trascrizionale.
- ✓ Gli sRNA delle piante ospiti possono entrare nelle cellule patogene durante l'invasione e silenziare i geni di patogenesi.

Sfruttamento in campo fitosanitario:

- ✓ Silenziamento genico indotto da trattamento (SIGS): gli sRNA applicati esogenamente possono entrare nelle cellule del patogeno, direttamente o attraverso gli ospiti, e silenziarne l'mRNA di virulenza (gene bersaglio).
- ✓ Silenziamento genico indotto dall'ospite (HIGS): gli sRNA sono prodotti da transgeni delle piante.



Type of gene silencing	Pathogen	Host	RNA type	Target gene(s)	Main effect(s)	References
SIGS	<i>Fusarium graminearum</i> /Fusarium Head Blight	Barley	dsRNA	<i>CYP51A</i> <i>CYP51B</i> <i>CYP51C</i>	Inhibited the growth of the necrotrophic fungus	Koch et al., 2016
	<i>Fusarium graminearum</i> /Fusarium Head Blight	Barley	dsRNA	<i>CYP51A</i> <i>CYP51B</i> <i>CYP51C</i>	Reduced <i>F. graminearum</i> infection areas	Koch et al., 2020
	<i>Fusarium graminearum</i> /Fusarium Head Blight	Barley	dsRNA	<i>FgAGO1</i> <i>FgAGO2</i> <i>FgDCL1</i> <i>FgDCL2</i>	Reduced inhibition of fungal infection	Werner et al., 2020
	<i>Plasmopara viticola</i> /Grapevine downy mildew	Grapevine	dsRNA	<i>PvDCL1/2</i>	Reduced disease progress rate	Haile et al., 2021
	<i>Phytophthora infestans</i> /Potato late blight	Potato	dsRNA	<i>PiGPB1</i> <i>PiHmp1</i> <i>PiCut3</i> <i>PiEndo3</i>	Reduction in disease progression	Kalyandurg et al., 2021
	<i>Botrytis cinerea</i> /Gray Mold Rot	Grapevine	dsRNA	<i>BcCYP51</i> <i>Bchs1</i> <i>BcEF2</i>	Significant reduction in pathogen development	Nerva et al., 2020

Alcuni esempi

Vantaggi

- ✓ Adatto per la protezione delle piante sia pre che post-raccolta.
- ✓ Come approccio non transgenico, il SIGS è potenzialmente più accettabile per i consumatori.
- ✓ La tecnologia SIGS targhettizza geni specifici utilizzando strumenti bioinformatici: i side-effect sono ridotti e possono essere adattati in modo molto specifico al patogeno.
- ✓ Man mano che le sequenze genomiche di un maggior numero di piante e patogeni diventeranno disponibili, la progettazione di sRNA specifici per i bersagli dovrebbe diventare più semplice.

Sfide

- ✓ L'effetto della SIGS sulle piante può durare solo pochi giorni a causa della degradazione dell'RNA -> necessaria una applicazione ripetuta dell'sRNA
- ✓ L'efficienza dell'assorbimento del sRNA da parte dei microbi eucariotici e dei tipi di cellule potrebbe variare tra le specie fungine o di oomiceti
- ✓ I SIGS funzionano in modo efficiente in condizioni di laboratorio: sono state effettuate pochissime prove sul campo.
- ✓ La produzione su larga scala dovrà basarsi su formulazioni contenenti sinergizzanti o co-formulanti che stabilizzano l'sRNA nell'ambiente o migliorano il trasporto nelle cellule bersaglio.
- ✓ È necessario sviluppare un nuovo quadro normativo per le sostanze attive (sRNA).
- ✓ L'accettazione da parte del consumatore è da valutare.



- ✓ Le alternative ai fungicidi di sintesi spesso non forniscono una protezione costante e sufficiente in campo, soprattutto nelle colture ad alto valore.
 - ✓ Le ragioni non sono state sufficientemente studiate: tempistica delle applicazioni rispetto allo stadio del patogeno, effetti dell'ambiente, l'interazione con il substrato vegetale e il bioma, ecc.
 - ✓ A differenza dei pesticidi di sintesi, i BCA sono organismi viventi e la loro efficacia è influenzata dalle condizioni ambientali; è necessario comprendere le caratteristiche ecologiche degli organismi di biocontrollo.
-
- ✓ Dobbiamo informare gli agricoltori che un certo grado di variabilità nelle prestazioni è nella natura degli agenti di biocontrollo.
 - ✓ Sono necessarie azioni concertate multi-attore per la formazione di agronomi e agricoltori sull'uso di questi prodotti, che richiedono un approccio diverso rispetto all'uso consolidato di pesticidi di sintesi.

Decision Support Systems (DSSs)

D

Decision: attenzione verso attività decisionali e problemi di natura tattica o strategica

S

Support: tecnologie informatiche a supporto del decisore, non sostituendolo

S

System: integrazione tra tecnologie, macchine, metodologie di analisi e utenti

- ▶ raccolgono tutti i tipi di dati e informazioni necessari per la produzione di una coltura
- ▶ organizzano
- ▶ integrano
- ▶ analizzano i dati e le informazioni
- ▶ interpretano
- ▶ informano gli utenti e li supportano nelle decisioni agronomiche

Decision Support Systems (DSSs)

I DSS hanno acquisito interesse crescente a partire dagli anni '80 per assistere agronomi, consulenti e coltivatori nella gestione delle colture.

Sono stati scarsamente utilizzati nella pratica agricola a causa di [limitazioni tecnologiche e socio-economiche](#).



Review
Critical Success Factors for the Adoption of Decision Tools in IPM

Vittorio Rossi ¹, Giorgio Sperandio ^{2,3}, Tito Caffi ¹, Anna Simonetto ^{2,3} and Gianni Gilioli ^{2,*}



Computers and Electronics in Agriculture
Volume 100, January 2014, Pages 88-99



Addressing the implementation problem in agricultural decision support systems: the example of vite.net[®]

Vittorio Rossi ^{a, b}, Francesca Salinari ^b, Stefano Poni ^c, Tito Caffi ^a, Tiziano Bettati ^d

Una nuova generazione di DSS

Decision Support Systems:
Quenching the Thirst; Magarey et al.,
Plant Disease, Vol. 86, 2002

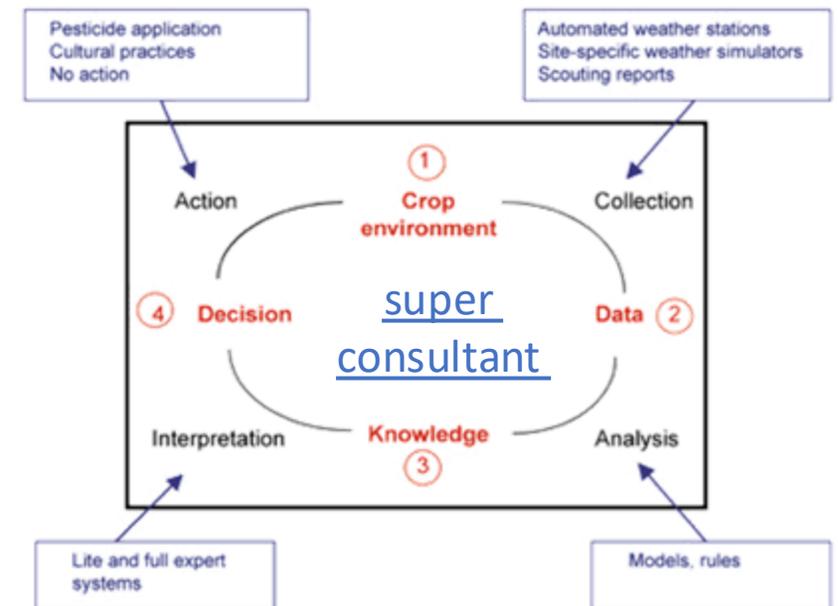
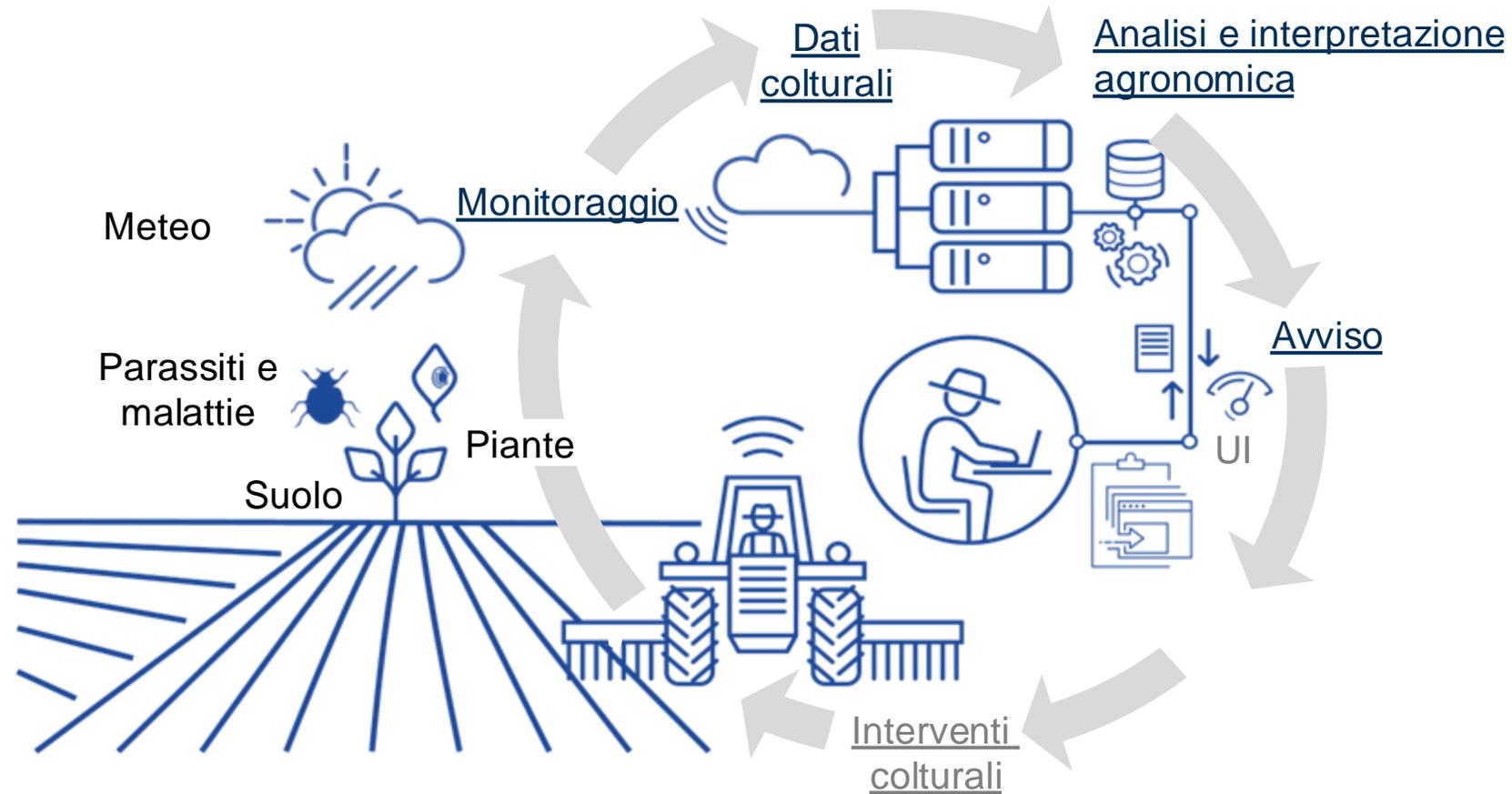
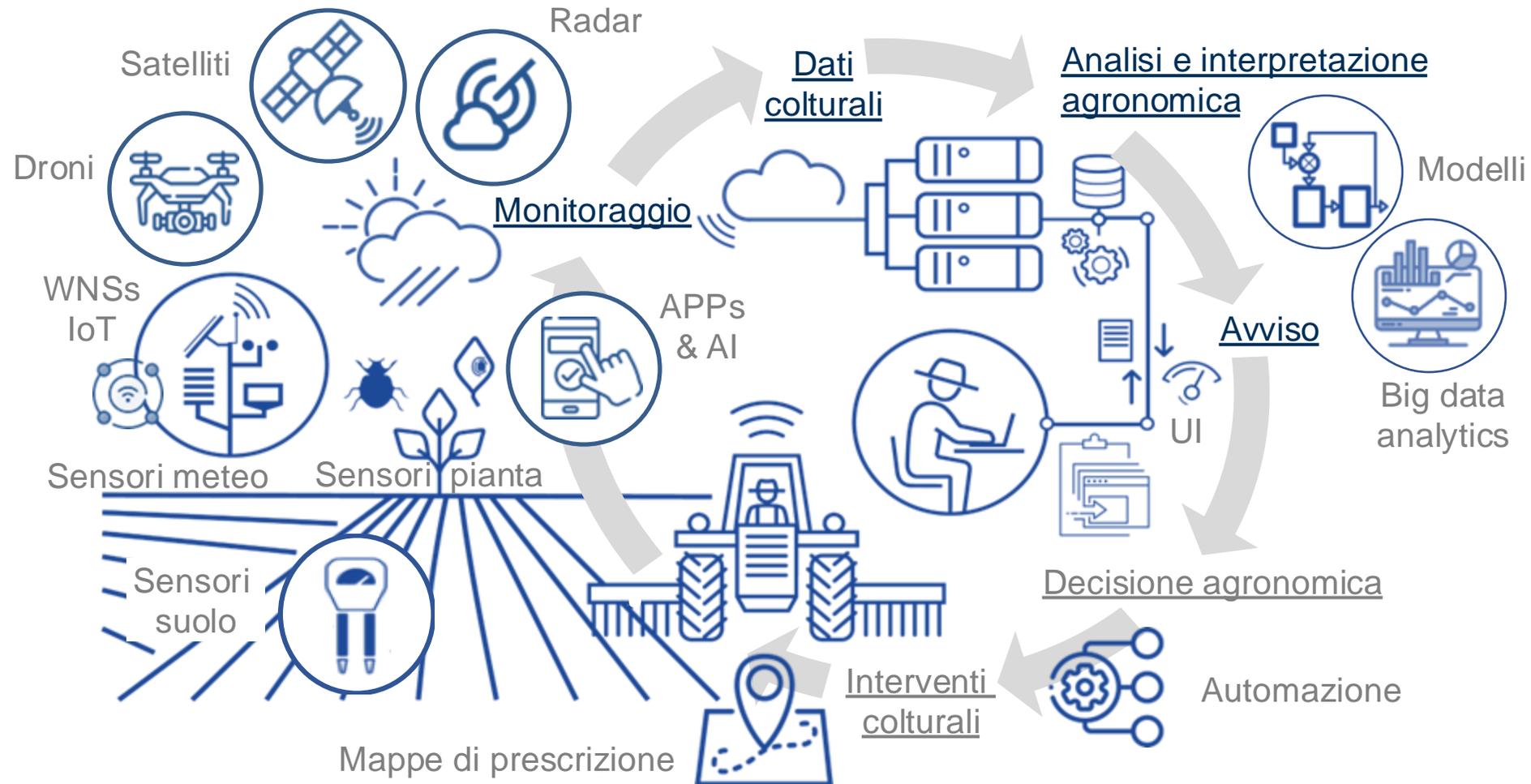


Fig. 1. An idealized Decision Support System for plant disease management showing components (red font), methodology (black font), and tools (blue font). Modified from Petersen et al. 1993 (19).

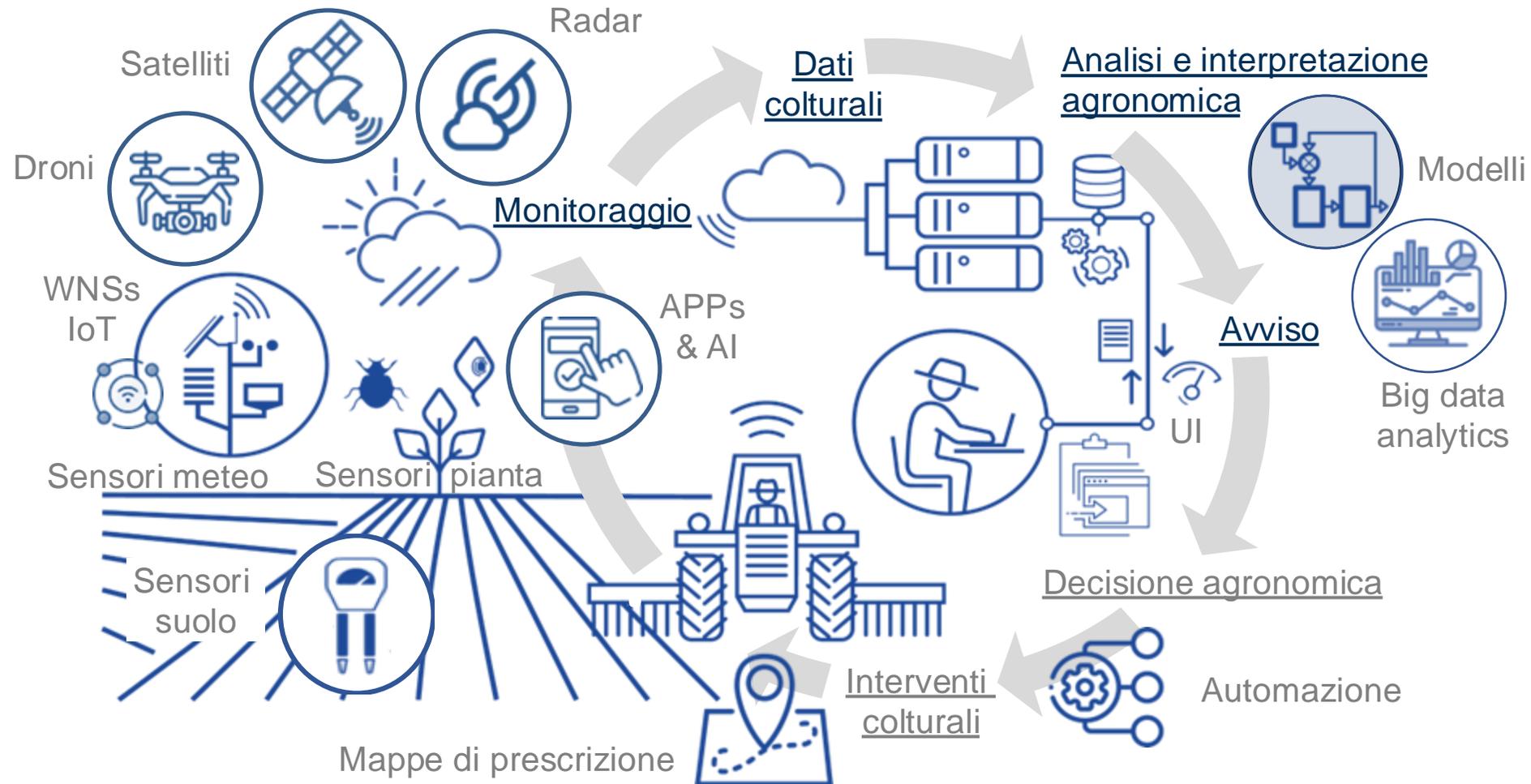
Decision Support Systems (DSSs)

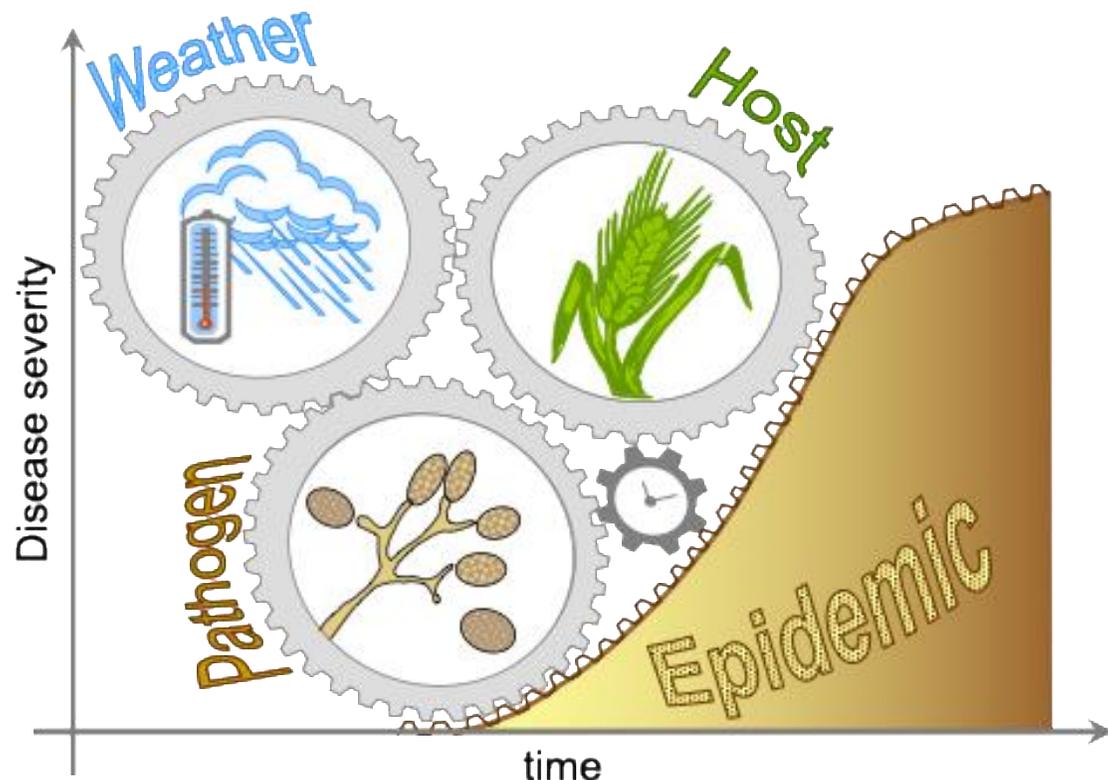


Decision Support Systems (DSSs)



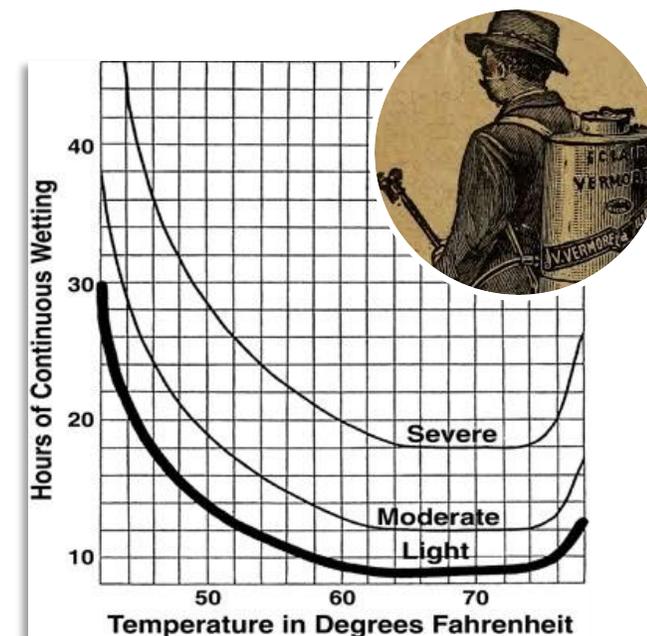
Decision Support Systems (DSSs)





Un modello è una rappresentazione semplificata delle relazioni tra un agente patogeno, una pianta ospite e l'ambiente, che determinano se e come le epidemie si sviluppano nel tempo e/o nello spazio.

A partire dalla metà del secolo scorso, sono stati sviluppati modelli di malattie delle piante per un migliore controllo della malattia



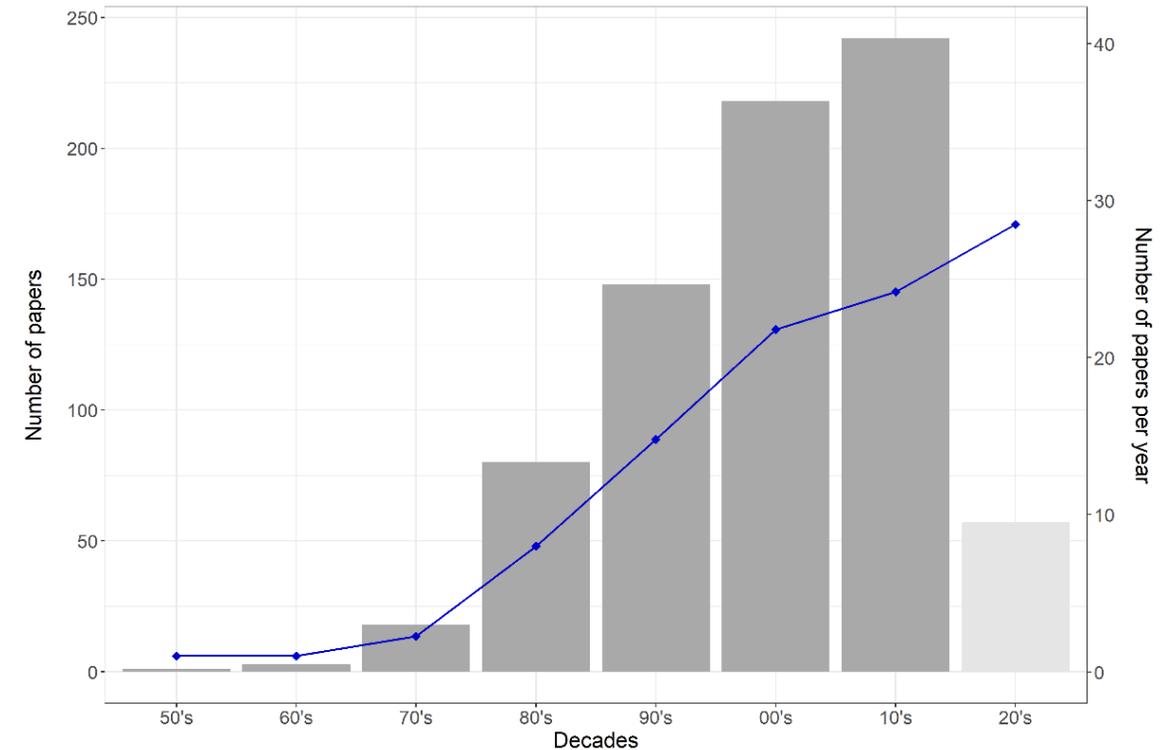


Review

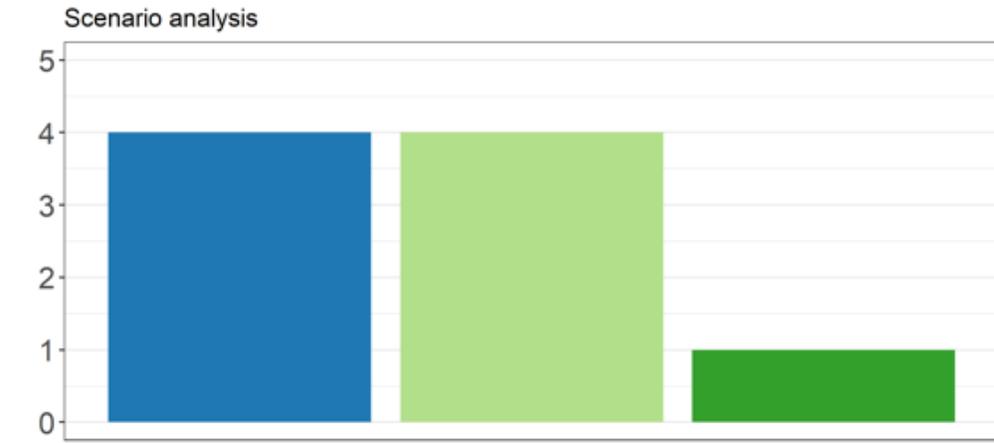
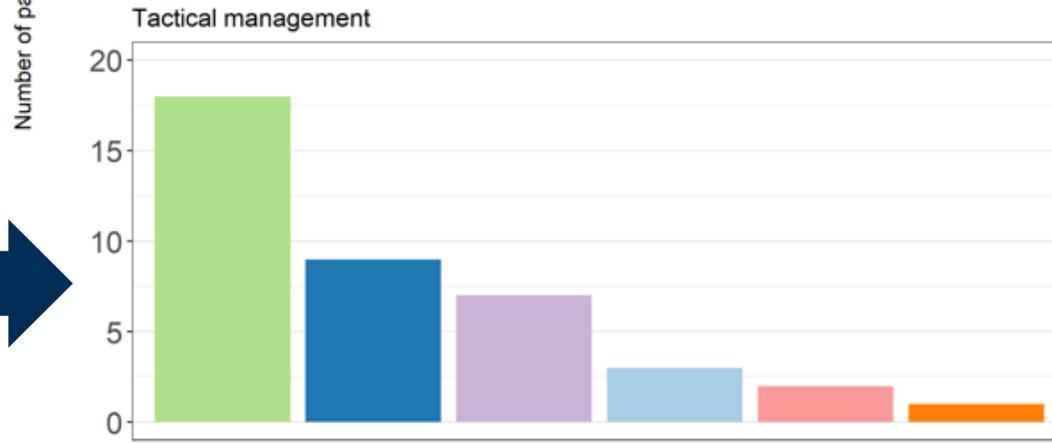
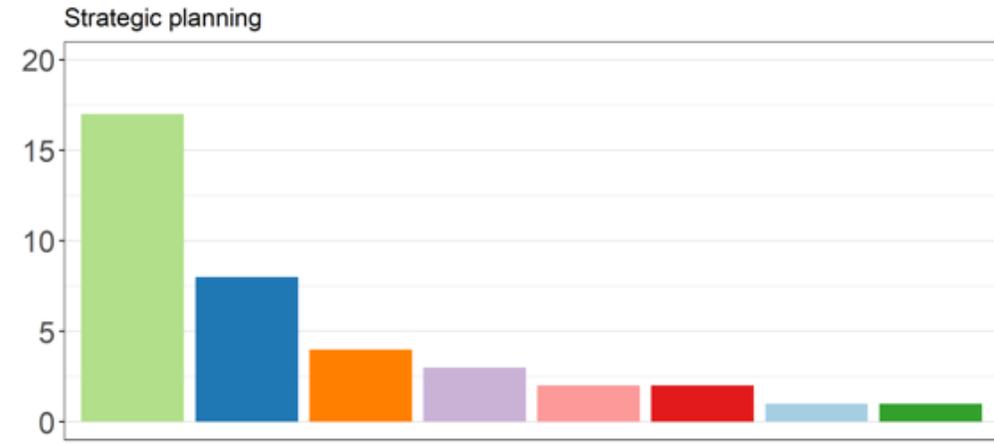
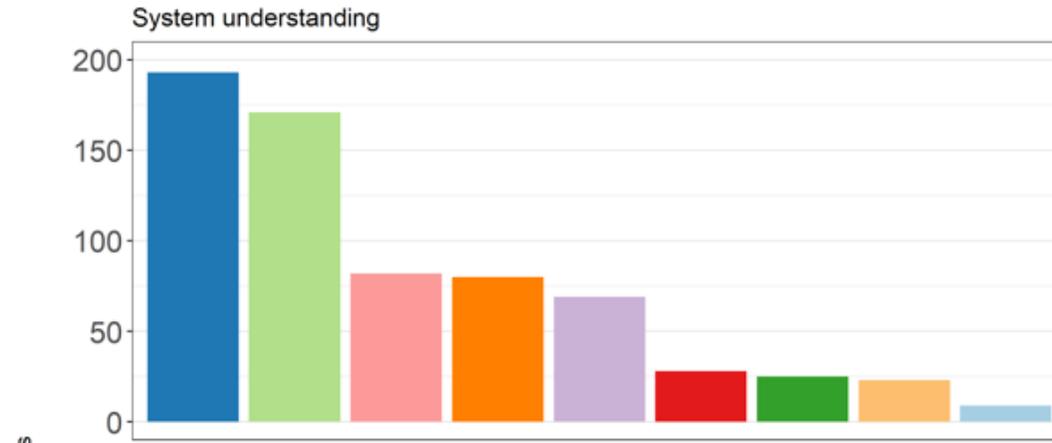
A Systematic Map of the Research on Disease Modelling for Agricultural Crops Worldwide

Giorgia Fedele ¹, Chiara Brischetto ¹, Vittorio Rossi ^{1,*} and Elisa Gonzalez-Dominguez ²

Thematic block	Search strings
Modeling	model* OR simulat* OR predict* OR forecast* OR prognos*
Plant disease	disease* OR pathog* OR epidem* OR infect*

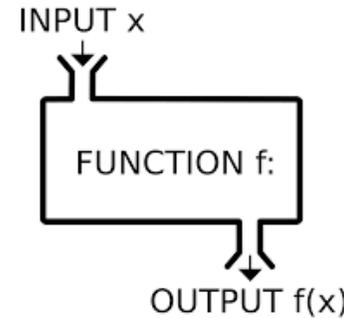


Plant disease models



Data-based (empirical) models

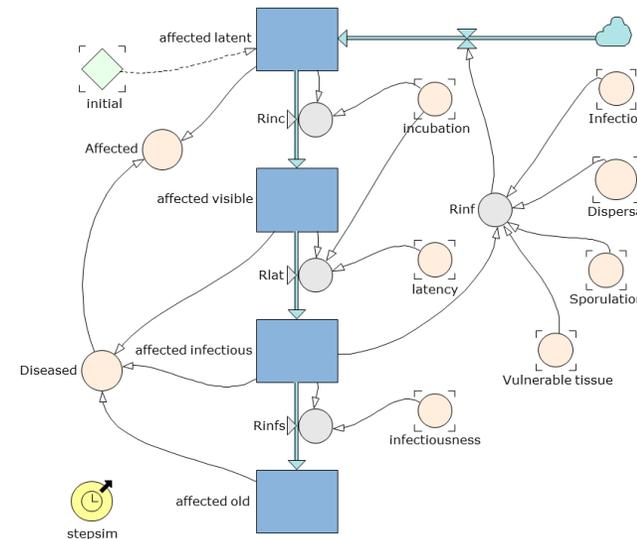
Descrivono matematicamente il comportamento del patosistema sulla base di osservazioni sul campo; non spiegano nulla dei processi biologici sottostanti.



- Regole empiriche
- Analisi di regressione
- Analisi non parametrica
- Modelli stocastici
- Reti neurali e Intelligenza Artificiale

Process-based (mechanistic) models

Spiegano il comportamento del patosistema in base a come il sistema funziona in relazione alle variabili che lo influenzano (per esempio il meteo, la pianta ospite).



- Analisi dei sistemi (Systems analysis)

Review

Critical Success Factors for the Adoption of Decision Tools in IPM

Vittorio Rossi ¹, Giorgio Sperandio ^{2,3}, Tito Caffi ¹, Anna Simonetto ^{2,3} and Gianni Gilioli ^{2,*}

Table 1. Main characteristics of empiric and mechanistic models.

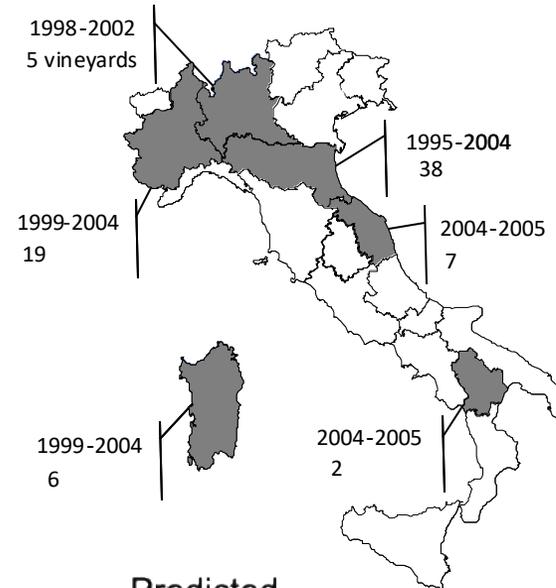
Characteristic	Mechanistic Models	Empiric Models
Data requirements	Data on biological response to external drivers are needed	Wide and representative field data are required for developing the model
Knowledge on the organism to be modelled	Detailed knowledge on biological processes is required	A specific knowledge on the pest is not needed
Explanatory ability	Seek for a mechanistic exploration of biological processes	Do not provide an explanation of the biological mechanisms underlying a process
Predictive ability	Prediction is possible in a wide range of agricultural contexts	No prediction is possible outside the range of input data (extrapolation) and under different agricultural contexts

Performances of process-based models



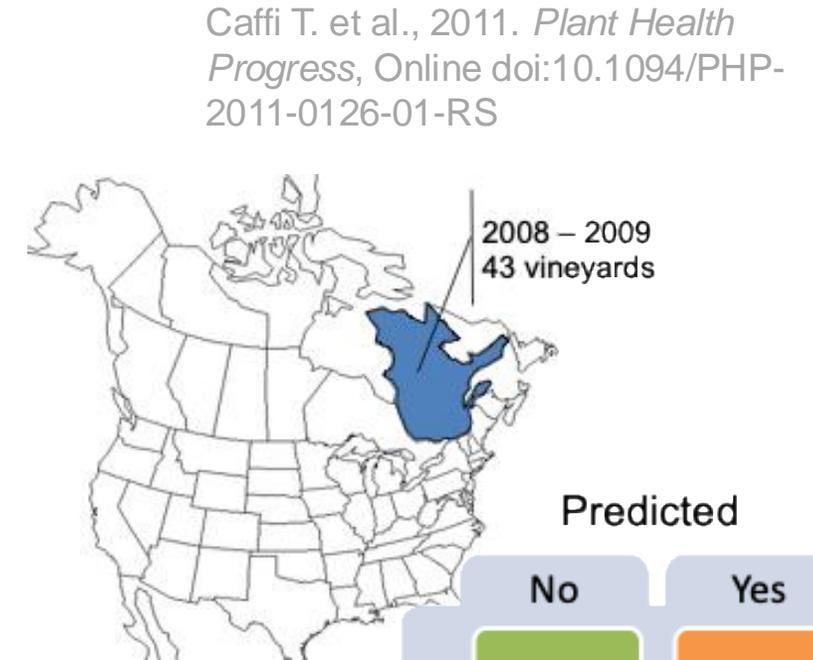
A mechanistic model simulating primary infections of downy mildew in grapevine

Vittorio Rossi ^a, Tito Caffi ^a, Simona Giosuè ^a, Riccardo Bugiani ^b



		Predicted	
		No	Yes
Observed	No	74%	10%
	Yes	0%	16%

Caffi T. et al., 2009. *Journal of Plant Pathology*, 91, 535-548



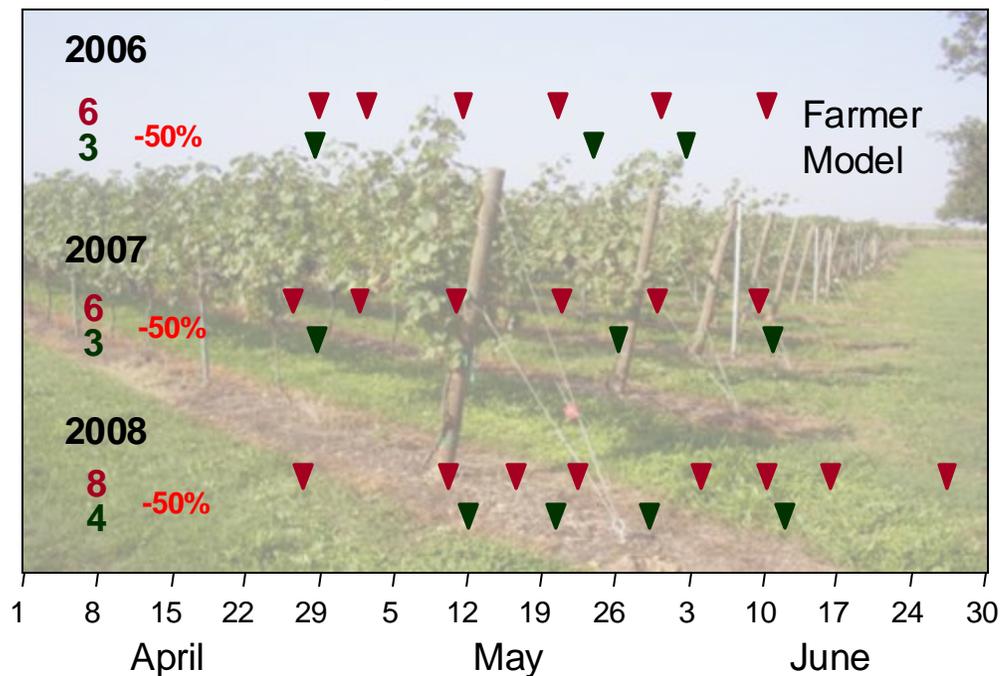
		Predicted	
		No	Yes
Observed	No	52%	5%
	Yes	0.001%	43%



Models and disease control

Caffi T. et al., 2010 - *Plant Disease* 94: 709-716

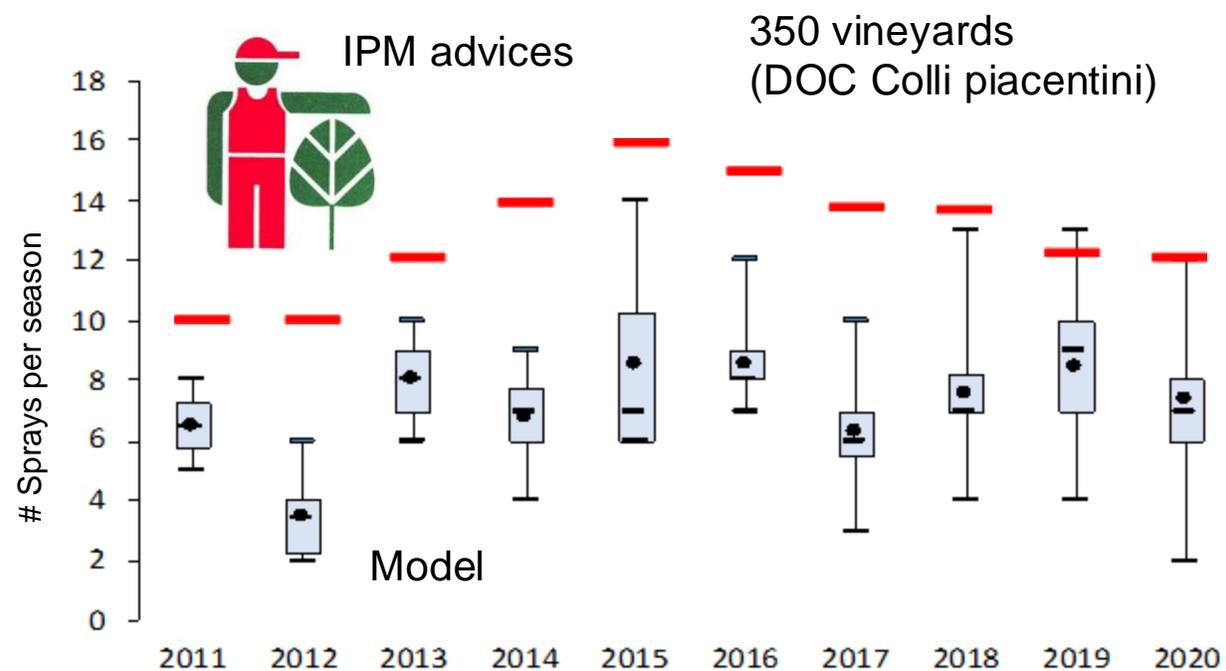
DM severity on clusters



0.0%
 0.1%
0.9%

0.0%
 0.0%
0.0%

0.0%
 0.2%
72.2%

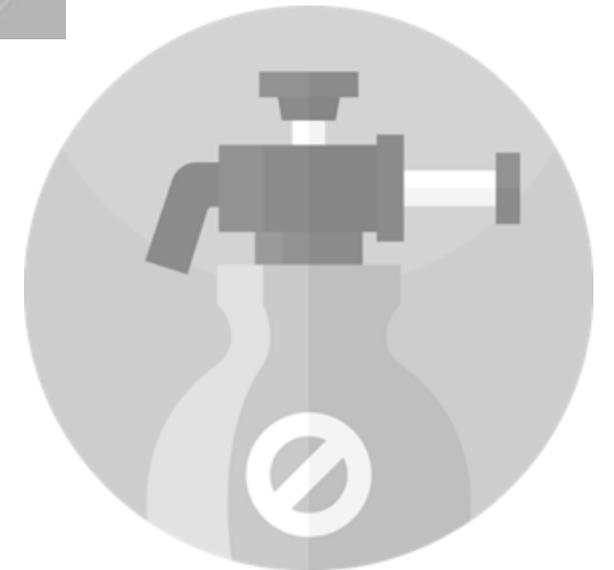
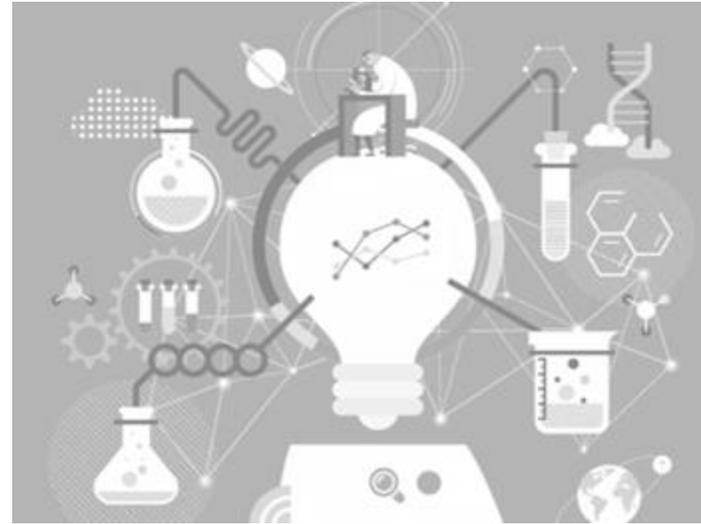




- ✓ Il monitoraggio delle colture è un pilastro dell'IPM e consente un processo decisionale informato. Il monitoraggio manuale, tuttavia, richiede tempo e denaro, e gli agricoltori non riescono a monitorare le colture con la frequenza e l'intensità necessarie.
- ✓ Le nuove tecnologie basate su sensori prossimali e remoti sono in grado di raccogliere dati in tempo reale sullo stato e la salute delle piante, nonché sulle condizioni meteorologiche e del suolo. Tuttavia, è necessario trasformare i dati dei sensori in informazioni agronomiche, utilizzabili dagli agricoltori, attraverso l'impiego dei modelli matematici.
- ✓ Lo sviluppo di sistemi di supporto alle decisioni (DSS) che incorporano l'analisi dei big data e la modellizzazione avanzata sono strumenti efficaci, ma i problemi relativi alla scarsa adozione da parte degli agricoltori devono essere affrontati e risolti.

Conclusioni

- ✓ Negli ultimi decenni sono state condotte molte ricerche volte a ridurre l'uso dei pesticidi di sintesi.
- ✓ I risultati hanno dimostrato che è **realmente possibile** ridurre l'uso dei pesticidi, pur controllando efficacemente i patogeni e preservando la resa e la qualità delle colture.
- ✓ Questi risultati, tuttavia, non hanno avuto l'atteso **impatto sull'adozione dell'IPM** su vasta scala.
- ✓ **Quali le ragioni?** La ricerca non è adeguata? O il tasso di trasferimento e/o adozione dell'innovazione da parte degli utilizzatori è troppo basso? ...?



Ricerca

Progetti di ricerca (a breve termine) vs programmi (a lungo termine)

Aspetti ecologici della difesa integrata

Nuove frontiere: epigenetica, endofiti, comunità microbiche, VOC, sRNA, ecc.

Extension

Testare le soluzioni su scala aziendale

Aziende dimostrative



Trasferimento dell'innovazione

Approccio multi-actor

Istruzione e formazione di tutti gli attori: sviluppatori, agricoltori, consulenti, industrie alimentari, rivenditori, consumatori, responsabili politici

Consulenti IPM: pubblico vs privato

Politiche: adozione vs performance;
Sovvenzioni vs capacità



Vittorio Rossi

Centro di ricerca
Plant Health Modelling

Tel 0523 599253
vittorio.rossi@unicatt.it



UNIVERSITÀ
CATTOLICA
del Sacro Cuore

Grazie per l'attenzione