

ATTIVITÀ FUNGICIDA DI INDUTTORI DI RESISTENZA NEI CONFRONTI DI *PLASMOPARA VITICOLA*

O. TAIBI², V. BARDELLONI¹, F. BOVE¹, F. SCAGLIA², T. CAFFI², V. ROSSI²

¹ Horta - Spin-off Università Cattolica del Sacro Cuore, via E. Gorra, 55 - 29122 Piacenza

² Università Cattolica del Sacro Cuore - Dipartimento delle Produzioni Vegetali Sostenibili (DIPROVES), via E. Parmense 84 - 29122 Piacenza

vittorio.rossi@unicatt.it

RIASSUNTO

In questo lavoro sono presentati i risultati di una sperimentazione volta a valutare l'attività verso peronospora (*Plasmopara viticola*) di alcuni prodotti fitosanitari induttori di resistenza, che sono di grande interesse per la moderna viticoltura. I prodotti presenti sul mercato presentano strategie applicative differenti, ma tutte improntate sulla ripetizione degli interventi a intervalli regolari. La sperimentazione è stata effettuata in vigneto (cv. Barbera) nel 2020 e 2021. Le prove di strategia hanno avuto l'obiettivo di valutare l'efficacia di diversi induttori a seguito di applicazioni in combinazione con dosi minime di rame e in previsione di eventi infettivi. Le prove di caratterizzazione hanno avuto lo scopo di studiare le variazioni nel tempo dell'efficacia preventiva degli induttori; allo scopo, trascorsi 1, 3, 6, 12 e 19 giorni dal trattamento con gli induttori, sono state effettuate inoculazioni *in planta* con sporangi di *P. viticola*. Nel complesso, i risultati di questo lavoro mostrano interessanti prospettive per un uso differente e più mirato nei confronti di peronospora. Le prove hanno confermato che gli induttori di resistenza possono essere vantaggiosamente impiegati in miscela con basse dosi di rame e con applicazioni pre-infettionali in previsione dei periodi infettivi di *P. viticola*. La "prontezza" e la durata dell'efficacia, comunque, è risultata diversa da prodotto a prodotto.

Parole chiave: laminarina, cerevisane, Cos-Oga, fosfonato di potassio, *Pythium oligandrum*

SUMMARY

ACTIVITY OF RESISTANCE INDUCERS AGAINST *PLASMOPARA VITICOLA*

Resistance inducers are plant protection products of great interest in modern viticulture. The products have different application strategies. However, most of them are based on the repetition of interventions at regular intervals. In this work, field experiments were carried out in 2020 and 2021, in a vineyard cv. Barbera. A first type of experiments was aimed at evaluating the effectiveness of various commercial inducers following applications in combination with minimum doses of copper and in anticipation of infectious events. A second type of experiments was aimed at studying the variations over time of the preventive effectiveness of the inducers; for this purpose, 1, 3, 6, 12 and 19 days after the treatment with the inducers, *in planta* inoculations with *P. viticola* sporangia were carried out. Results confirmed that the resistance inducers can be advantageously used in a mixture with low doses of copper and with pre-infection applications in anticipation of the infectious periods of *P. viticola*. The "readiness" and duration of the effectiveness, however, differed from product to product.

Keywords: laminarin, cerevisane, Cos-Oga, potassium phosphonate, *Pythium oligandrum*

INTRODUZIONE

La difesa della vite (*Vitis vinifera* L.) richiede un ampio ricorso ai trattamenti con prodotti fitosanitari, essendo soggetta all'attacco di diversi importanti patogeni, tra cui *Plasmopara viticola* (Berk. M. A. Curtis) Berl. & De Toni (peronospora), oomicete responsabile di gravi perdite di resa e qualità.

Per ridurre l'impiego dei prodotti chimici di sintesi, anche in ottemperanza alle restrizioni sui prodotti fitosanitari (direttiva 2009/128/CE e Green Deal Europeo), sono stati studiati vari approcci alternativi. Fra questi, gli induttori di resistenza, un complesso di sostanze che stimolano o rafforzano i meccanismi di difesa della vite attraverso una cascata di processi che portano a sviluppare una resistenza sistemica acquisita (SAR) o indotta (ISR) (Delaunois et al., 2014).

Fra i prodotti saggianti su vite, si possono citare sostanze quali la laminarina (un betaglucano estratto dall'alga bruna *Laminaria digitata*) (Aziz et al., 2003) e i suoi derivati solfati, la chitinasi (un derivato deacetilato della chitina), il chitosano in miscela con oligo-galaturonidi (anche noto come COS-OGA) (van Aubel et al., 2014), il cerevisane (estratto da pareti cellulari di *Saccharomyces cerevisiae* LAS 117). I fosfonati hanno una doppia modalità di azione, inibiscono lo sviluppo del patogeno da un lato e suscitano le risposte di difesa dall'altro (Lim et al., 2013).

Le vie metaboliche e i meccanismi di difesa che seguono l'infezione da parte di *P. viticola* e/o *E. necator* in piante trattate con gli induttori di resistenza sono stati ampiamente studiati, soprattutto in condizioni di laboratorio e con inoculazioni artificiali (Aziz et al., 2003). Meno numerosi gli studi dedicati alle tattiche di applicazione in campo (Bleyer et al., 2020).

In questo lavoro sono stati condotti due studi con induttori di resistenza commerciali. Un primo studio ha avuto lo scopo di valutare l'effetto dell'inserimento di induttori di resistenza in una strategia di difesa basata su trattamenti con soli prodotti rameici, applicati secondo le tempistiche indicate dal sistema di supporto alle decisioni vite.net® (Rossi et al., 2014). Un secondo studio ha avuto l'obiettivo di valutare il grado e la durata dell'efficacia dei soli induttori di resistenza, allo scopo di acquisire maggiori informazioni sul loro posizionamento in vigneto.

MATERIALI E METODI

Nelle stagioni 2020 e 2021, sono state condotte prove in vigneto su piante di *Vitis vinifera* cv. Barbera, presso l'azienda sperimentale *Res Uvae* a Castell'Arquato (Piacenza). Il vigneto, con giacitura pianeggiante, dell'età di 15 anni nel 2020, è allevato a Guyot semplice, con filari orientati Nord-Sud e sesto di impianto di 2,4 x 1,3 m, per una densità di impianto pari a 3204 piante/ha. I valori orari di temperatura (°C), umidità relativa (%), precipitazioni (mm), bagnatura fogliare (si/no), e velocità del vento (m/s) sono stati registrati da una stazione meteo (iMetos®, Pessl Instruments) collocata nel vigneto sperimentale.

Prove di strategia

Le prove sono state realizzate con uno schema sperimentale a blocchi randomizzati con 4 ripetizioni di 4 piante ciascuna. Sono state poste a confronto: i) linea di riferimento basata sull'impiego del solo rame; ii) linea di riferimento con l'aggiunta di induttori di resistenza; iii) testimone non trattato (TNT). I sei induttori impiegati nelle prove sono illustrati in tabella 1.

I trattamenti rameici sono stati effettuati in previsione di eventi infettivi predetti dai modelli matematici di Caffi et al. (2010) per le infezioni primarie, e di Brischetto et al. (2021) per le infezioni secondarie; i trattamenti sono stati eseguiti solo se, in previsione d'infezioni, il precedente trattamento fungicida garantiva una protezione inferiore al 70%, quest'ultima calcolata usando il modello Caffi e Rossi (2018). Gli induttori di resistenza sono stati aggiunti ai prodotti rameici secondo le indicazioni delle ditte produttrici. I trattamenti sono stati effettuati con pompa a spalla, impiegando per i prodotti rameici le dosi minime indicate in etichetta e per gli induttori quelle consigliate dalle ditte (tabella 1); i volumi d'irrorazione sono variati tra 2,5 e 4 hL/ha di acqua, in rapporto alla fase fenologica del vigneto. I trattamenti effettuati nelle stagioni 2020 e 2021 sono elencati in tabella 2.

Tabella 1. Prodotti rameici e induttori di resistenza utilizzati nelle prove e dosi impiegate.

Formulato	Società	Sostanza attiva	Contenuto in s.a.	Dose/ha
Aliette	Bayer CropScience	Fosetyl-Al	80 %	2,5 kg
Century SL	Basf	Fosfonato di potassio	755 g/L	2 L
Ibisco	Gowan	COS-OGA	12,5 g/L	2 -3 L
Polyversum	Gowan	<i>Pythium oligandrum</i>	1 x10 ⁶ CFU/g	0,3 kg
Romeo	Sumitomo Chemical	Cerevisane	94,1 %	0,25 kg
Vacciplant	UPL	Laminarina	45 g/L	1,5 L
Cupravit Bioadvanced	Bayer CropScience	Solfato tribasico di rame	30 %	1,4 kg
Verdram HI Bio	Belchim Crop Protection	Ossicloruro di rame	30 %	2 kg
Poltiglia Disperss	UPL	Solfato di rame neutralizzato	20 %	2 kg

Tabella 2. Date di esecuzione dei trattamenti antiperonosporici nella linea di riferimento basata sull'impiego del solo rame e nella linea con l'aggiunta degli induttori di resistenza; l'asterisco indica le date in cui sono stati utilizzati gli induttori in combinazione con il prodotto rameico. I prodotti rameici utilizzati sono stati Cupravit Bioadvanced e Vedram HI Bio nel 2020, Poltiglia Disperss nel 2021.

Data	Ibisco	Polyversum	Vacciplant	Romeo	Aliette	Century
17-apr-20	*			*		*
27-apr-20	*			*		*
08-mag-20	*			*	*	*
18-mag-20	*			*		*
28-mag-20	*			*	*	
03-giu-20	*	*		*	*	
10-giu-20	*	*		*	*	
01-lug-20	*	*	*	*		
16-lug-20	*	*	*	*		
23-apr-21	*	*		*		
07-mag-21	*	*		*	*	
13-mag-21	*	*		*	*	
01-giu-21	*	*	*	*	*	
17-lug-21	*	*	*	*	*	

In corrispondenza degli stadi fenologici di fioritura, invaiatura e pre-raccolta sono stati effettuati rilievi su un campione di 100 foglie e 100 grappoli scelti a caso per ogni tesi per valutare incidenza (% di organi colpiti) e gravità (% di superficie colpita) di peronospora; la gravità è stata stimata usando la scala (EPPO, 2001) per le foglie e la scala di Caffi et al. (2010) per i grappoli.

I dati di malattia rilevati nei tre periodi sono stati utilizzati per calcolare l'area sotto la curva di sviluppo della malattia (AUDPC, *Area Under Disease Progress Curve*), usando il metodo

d'integrazione trapezoidale (Madden et al., 2007). I valori di AUDPC per la gravità su foglie e i grappoli (e complessivi di foglie e grappoli) sono stati sottoposti all'analisi della varianza (ANOVA) per un disegno sperimentale a blocchi randomizzati ripetuti negli anni; per il confronto fra le medie è stato impiegato il test di Student-Newman-Keul con $\alpha=0,05$.

Prove di caratterizzazione

Nello stesso vigneto in cui sono state effettuate le prove di strategia, parcelle costituite da 12 piante ciascuna sono state trattate con i sei induttori indicati in tabella 1, con le stesse modalità applicative illustrate in precedenza; una parcella è stata trattata con sola acqua e utilizzata come testimone non trattato, per un totale di sette tesi. I trattamenti sono stati effettuati il 28 maggio e il 7 luglio 2020 (con piante in fase fenologica BBCH 71 e 79, rispettivamente), e il 9 giugno 2021 (con piante in fase fenologica BBCH 73)(Lorenz et al., 1995). A distanza di 1, 3, 6, 12 e 19 giorni dal trattamento (GDT, Giorni Dopo il Trattamento) sono state etichettate da 15 a 20 foglie per tesi da altrettanti germogli in attiva crescita, prendendo sempre la quarta foglia al di sotto dell'apice del germoglio (dalla prima foglia distesa). Queste foglie sono state inoculate distribuendo una sospensione di sporangi di *P. viticola* (5×10^4 sporangi/mL) sulla pagina inferiore con un nebulizzatore manuale. Le inoculazioni sono state effettuate nel tardo pomeriggio e le foglie inoculate sono state subito chiuse in sacchetti di plastica trasparente, inumiditi all'interno per creare una camera umida; i sacchetti sono stati tolti la mattina successiva per evitare un eccessivo riscaldamento delle foglie. Le foglie sono state osservate quotidianamente fino alla comparsa dei sintomi sulle foglie del testimone non trattato. Le foglie sono state quindi staccate e portate in laboratorio dove si è proceduto a stimare la gravità di malattia con la scala EPPO e a misurare l'area fogliare.

I dati di gravità di malattia sono stati trasformati nei rispettivi valori arcoseno e sottoposti all'analisi della covarianza (ANCOVA) per un disegno sperimentale fattoriale con i fattori "tesi" (i sei induttori più il TNT), "GDT" (1, 3, 6, 12 e 19 giorni dal trattamento) e la loro "interazione"; l'"area della foglia" è stata usata come covariante e le tre epoche d'inoculazione come fattore casuale. Le medie sono state confrontate mediante il test di Student-Newman-Keul con $\alpha=0,05$. I dati sono stati infine espressi come efficacia %, utilizzando la formula di Abbott (1925).

RISULTATI

Prove di strategia

L'andamento meteo delle stagioni 2020 e 2021 è riportato nelle figure 1 e 2, rispettivamente. Nel mese di maggio 2020, le precipitazioni sono state scarse con temperature medie intorno ai 19°C, mentre nel mese di giugno è stato registrato un aumento degli eventi piovosi (85,8 mm) e una temperatura media di 21°C. In luglio sono stati registrati cinque eventi piovosi di cui uno di 10 mm di pioggia, con temperature elevate (con punta di 36°C). La fioritura ha avuto inizio nella seconda decade di maggio, mentre l'invaiaura è iniziata a fine luglio. Il 2021 è stato caratterizzato da una piovosità più scarsa rispetto al 2020 (precipitazione complessiva 268,1 mm) concentrata principalmente in aprile, maggio e settembre (quasi l'80% delle precipitazioni rispetto al totale del periodo). Nel mese di giugno vi è stato un solo evento piovoso (15,8 mm) con temperature medie di 25,7 °C, mentre a luglio vi sono stati 11 eventi piovosi (per un totale di 49,3 mm), con temperature massime sotto i 35°C. Nel mese di agosto sono state registrate minori precipitazioni (3 eventi piovosi per un totale di 11,2 mm). L'inizio della fioritura è stato osservato nella seconda decade di giugno, mentre l'invaiaura è iniziata tra la fine di luglio e l'inizio di agosto.

Figura 1. Andamento meteorologico (A: temperatura, linea; precipitazioni, barre) e output del modello per le infezioni primarie (B) e secondarie (C) di peronospora secondo il sistema di supporto alle decisioni vite.net® nel 2020. I simboli indicano la germinazione delle oospore (●), il rilascio delle spore (▲), la dispersione delle spore (▼) e l'infezione (◆). Nel grafico delle infezioni secondarie i simboli rappresentano la disponibilità di sporangi (△), la sporulazione (▽) e l'infezione (◇). Le bande grigie rappresentano i periodi di copertura a seguito ai trattamenti antiperonosporici effettuati.

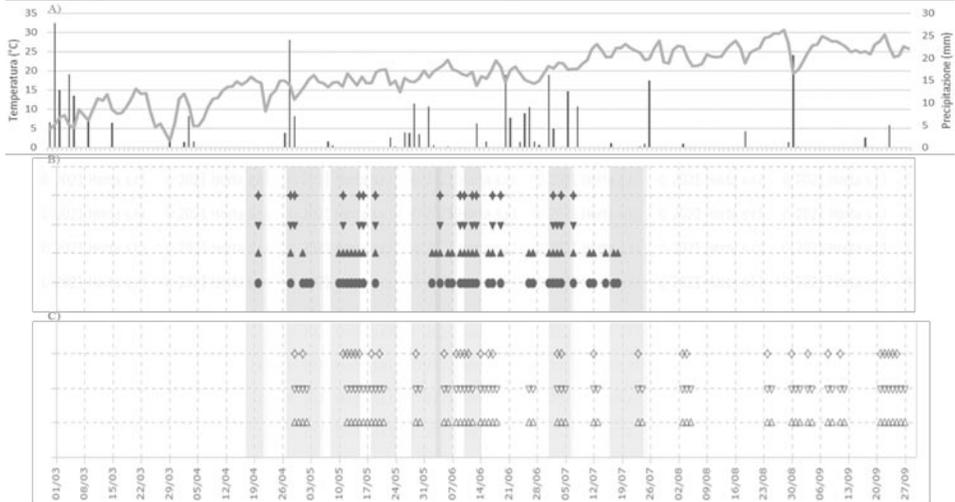
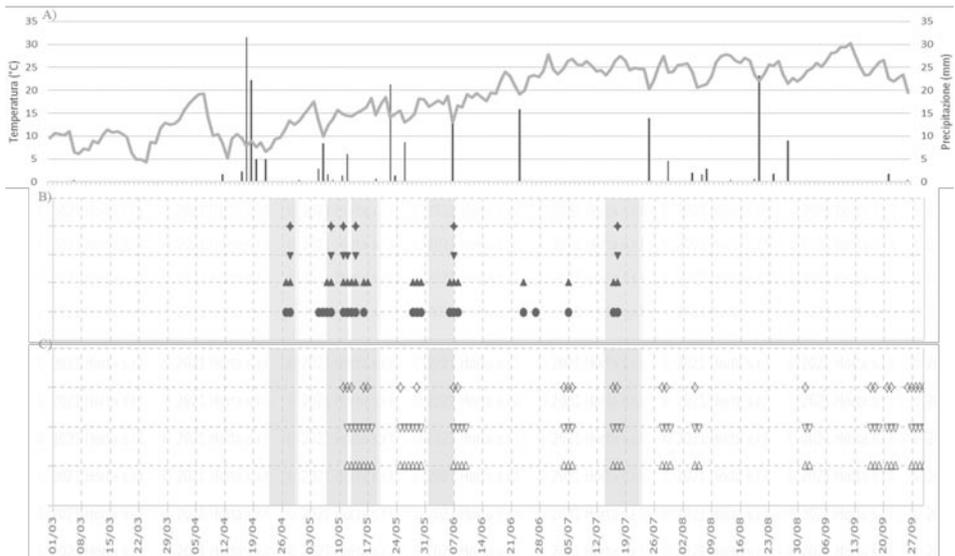
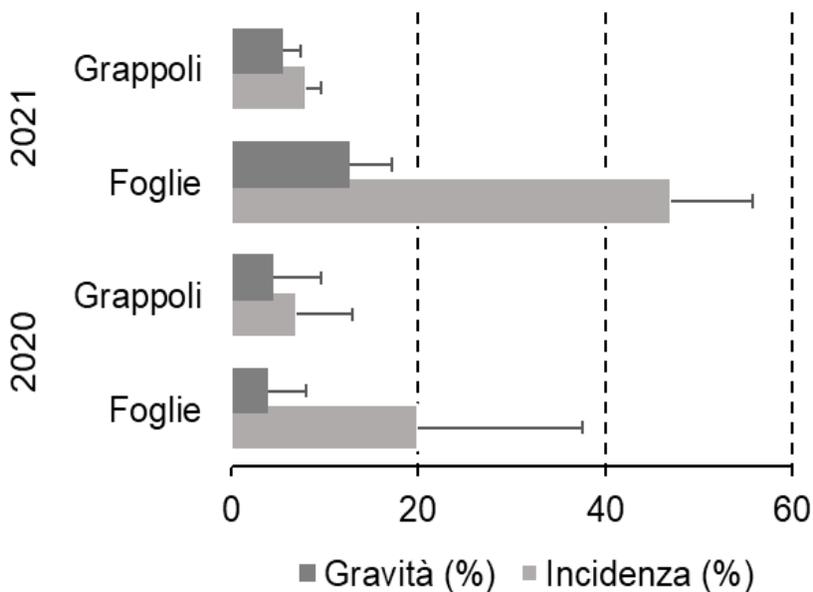


Figura 2. Andamento meteorologico (A: temperatura, linea; precipitazioni, barre) e output del modello per le infezioni primarie (B) e secondarie (C) di peronospora secondo il sistema di supporto alle decisioni vite.net® nel 2021. I simboli sono come in Figura 1.



Incidenza e gravità di peronospora sulle foglie dei testimoni non trattati sono state più elevate nel 2021 rispetto al 2020, mentre il danno sui grappoli è stato simile nei due anni (figura 3). Ciò può essere dovuto al fatto che, nonostante la piovosità nel 2021 sia stata più scarsa rispetto al 2020, il 7 giugno 2021 si è verificato un evento infettivo primario (figura 1) che non è stato adeguatamente coperto dal trattamento, da cui sono potenzialmente scaturite infezioni secondarie; nel 2020, invece, tutti gli eventi infettivi primari sono stati trattati preventivamente (figura 2).

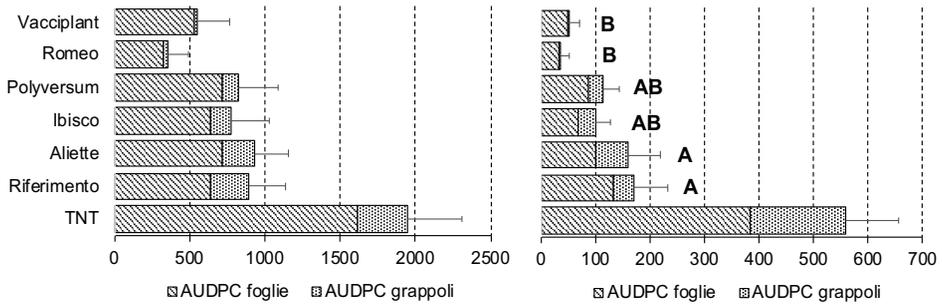
Figura 3. Valori medi di incidenza e gravità % di peronospora su foglie e grappoli dei testimoni non trattati in prossimità della raccolta dell'uva, nei due anni di sperimentazione (2020 e 2021). Le barre d'errore indicano l'errore standard



I valori di AUDPC calcolati per le diverse tesi trattate sulla base degli andamenti di incidenza e gravità di malattia (figura 4) sono stati, nel complesso dei dati rilevati su foglie e grappoli, significativamente inferiori ($P=0,006$) rispetto al testimone non trattato. Per quanto concerne le singole tesi trattate, le tesi con rame più Romeo o Vacciplant hanno registrato i valori di AUDPC significativamente ($P=0,03$) più bassi (34,4 e 50,0 rispettivamente per quanto riguarda i valori di AUDPC calcolati sui dati di gravità) rispetto ai trattamenti con solo rame, o rame più Aliette (AUDPC di 171,8 e 160,5 rispettivamente) (figura 4). I trattamenti con Polyversum e Ibisco hanno avuto un comportamento intermedio (AUDPC pari a 112,5 e 101,3 rispettivamente).

Figura 4. Valori medi dell’AUDPC (Area Under Disease Progress Curve) calcolata sui valori di incidenza (grafico a sinistra) e gravità (grafico a destra) delle foglie e dei grappoli delle tesi oggetto delle prove

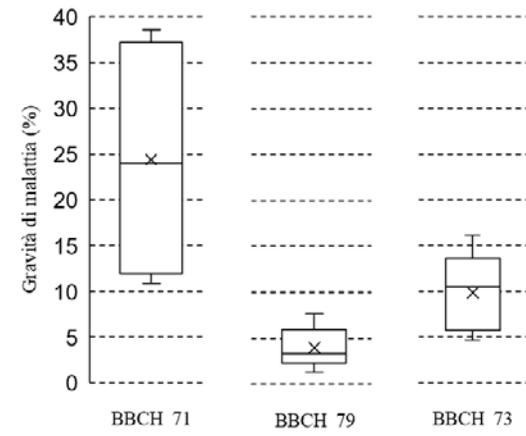
Le barre d’errore indicano l’errore standard. Le lettere nel grafico di destra indicano la significatività delle differenze fra le tesi trattate al test di Student-Newman-Keul con $\alpha=0,05$; tutte le tesi trattate sono risultate significativamente diverse dal test non trattato (TNT)



Prove di caratterizzazione

Le inoculazioni artificiali di *P. viticola* sulle foglie dei testimoni non trattati hanno dato origine, nelle tre fasi fenologiche in cui in cui è stato condotto l’esperimento, a un ampio intervallo di gravità di malattia (figura 5). Questo ha permesso di studiare l’efficacia dei prodotti in diverse condizioni di malattia in campo.

Figura 5. Gravità media (%) di peronospora sulle foglie dei testimoni nel 2020 (BBCH 71 e 79) e nel 2021 (BBCH 73), indicate dai rispettivi box-plot, da sinistra a destra. I baffi rappresentano il valore massimo e il valore minimo, “x” la media e la linea il valore mediano; i box racchiudono il 50% dei valori osservati (dal 15° al 75° percentile)



I fattori tesi, GDT, e la loro interazione sono risultati significativi all’ANCOVA ($P<0,001$). La significatività dell’interazione (che spiega il 28% della varianza dell’esperimento) tra tesi e GDT ha mostrato come l’effetto degli induttori sulla gravità sia variata in funzione del tempo

dal trattamento, ovvero che l'efficacia dei vari prodotti ha avuto una differente dinamica temporale (figura 6). L'area della foglia, utilizzata come covariante, è risultata significativa ($P < 0,001$), indicando che, sebbene le foglie avessero tutte la stessa posizione sul germoglio, la risposta all'infezione è risultata influenzata dalla dimensione della foglia; in particolare, le foglie più piccole sono risultate più colpite rispetto a quelle di dimensioni maggiori.

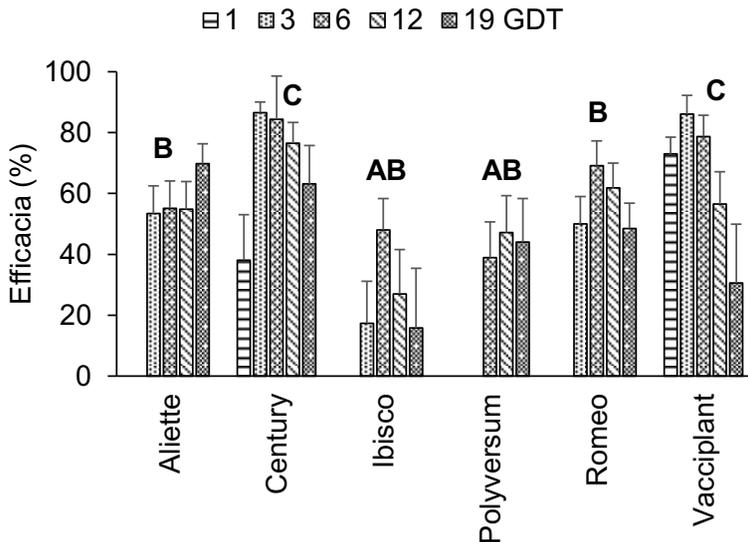
I prodotti più efficaci nel prevenire l'infezione sono stati Century e Vacciplant; questi prodotti sono stati gli unici a mostrare una certa efficacia anche quando *P. viticola* è stata inoculata il giorno successivo al trattamento (GDT 1) (figura 6). Century, prodotto a base di fosfonato di potassio, ha mostrato un'efficacia di circa il 40% già a GDT 1; da GDT 3 a GDT 12, l'efficacia si è mantenuta su livelli prossimi all'80%, per poi scendere al 60% a GDT 19. Vacciplant, prodotto a base di laminarina, ha mostrato la più alta efficacia a GDT 1, pari al 73%; l'efficacia è poi salita a circa l'80% a GDT 3 e 6, per poi decrescere al 57% a GDT 12 e al 30% a GDT 19.

Aliette (prodotto contenente fosetil-AI) e Romeo (a base di cerevisiane) hanno mostrato un'efficacia mediamente inferiore rispetto a Century e Vacciplant, ma superiore rispetto al testimone non trattato; i valori di efficacia sono variati fra il 50% al 70% per le inoculazioni effettuate fra 3 a 19 giorni dal trattamento (figura 6). Entrambi questi prodotti, però, non sono risultati efficaci nei confronti delle inoculazioni effettuate il giorno successivo al trattamento (GDT 1; figura 6).

Ibisco (prodotto contenente COS-OGA) e Polyversum (a base di *P. oligandrum*) hanno mostrato valori di efficacia intermedi rispetto a Aliette e Romeo e, nella media, sono risultati non significativamente diversi dal testimone non trattato soprattutto nei primi giorni dopo il trattamento (figura 6).

Figura 6. Efficacia (%) di prodotti nel contenere la gravità della peronospora sulle foglie di vite (cv. Barbera) a seguito di inoculazioni artificiali effettuate dopo 1, 3, 6, 12 e 19 giorni dal trattamento (GDT). Le barre d'errore indicano standard.

Le lettere indicano la significatività delle differenze fra gli induttori al test di Student-Newman-Keul con $\alpha=0,05$, calcolate sui valori arcoseno della gravità media di malattia.



DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Negli ultimi anni, sono stati condotti numerosi studi volti ad aumentare la conoscenza su prodotti in grado di indurre resistenza in diversi patosistemi e valutarne l'efficacia in applicazioni in ambiente controllato e in condizioni in campo. Esperimenti in campo hanno dimostrato che le piante in condizioni naturali sono già indotte da vari fattori biotici e abiotici; questo può incidere sull'attività di induzione di alcuni prodotti rispetto agli esperimenti condotti in laboratorio (Delaunoy et al., 2014).

Le prove di strategia hanno confermato che gli induttori di resistenza possono essere vantaggiosamente impiegati in miscela con basse dosi di rame e con applicazioni preventive in previsione dei periodi infettivi di *P. viticola* (Bleyer et al., 2020). I trattamenti con cerevisane e laminarina in aggiunta al rame hanno fatto registrare la migliore efficacia, a conferma di lavori precedenti (Romanazzi et al., 2016).

Le prove di caratterizzazione hanno confermato l'efficacia preventiva degli induttori di resistenza. Questa efficacia, tuttavia, è risultata diversa in rapporto al momento in cui si è verificata l'infezione di peronospora rispetto alla data del trattamento, come preliminarmente indicato da alcuni autori (Aziz et al., 2003). In linea di massima, l'efficacia è cresciuta per le infezioni che si verificano fino al terzo/sesto giorno dal trattamento, per poi decrescere nei giorni successivi, fino al dodicesimo e, in certi casi, al diciannovesimo giorno. Laminarina e fosfonato di potassio hanno avuto efficacia più elevata e immediata, poiché, a differenza di tutti gli altri prodotti, hanno avuto un effetto antiperonosporico già a distanza di 24 ore dal trattamento. Altri studi sulla laminarina avevano già evidenziato una reazione rapida (alcune ore) nella pianta dopo il trattamento (Aziz et al., 2003), mentre il fosfonato di potassio presenta, oltre all'induzione di resistenza, un'azione diretta sul patogeno. Fosetil-Al e cerevisane hanno pure mostrato una buona efficacia, meno "pronta" ma prolungata nel tempo, essendo superiore al 50% a 19 giorni dal trattamento (così come il fosfonato). Queste osservazioni sono, nel complesso, coerenti con quanto precedentemente documentato circa la capacità di questi principi attivi di indurre resistenza nei confronti della peronospora (Lim et al., 2013). I prodotti a base di COS-OGA e *Pythium oligandrum* hanno mostrato un effetto antiperonosporico inferiore e di minore durata. Da notare che il prodotto Romeo (a base di cerevisane) è registrato per peronospora, oidio e botrite; Vacciplant (laminarina) è registrato sia per peronospora che per oidio; Ibisco (COS-OGA) è registrato per il controllo dell'oidio; mentre Polyversum (*P. oligandrum*) è un agente di biocontrollo per *Botrytis cinerea* che, fra i meccanismi d'azione, include anche l'induzione di resistenza. L'azione di questi prodotti nei confronti di altri patogeni li rende interessanti in un'ottica di difesa integrata.

I risultati ottenuti aprono prospettive nuove per l'utilizzo di prodotti a base di induttori di resistenza in un programma di difesa contro peronospora basato su interventi preventivi eseguiti da uno a tre giorni prima delle infezioni (quindi, interventi pre-infezionali) previste da sistemi di supporto alle decisioni e dai loro modelli matematici. Questo permette di superare le attuali strategie d'impiego degli induttori di resistenza, che vedono approcci più basati sul calendario (ossia interventi a turno) piuttosto che in base all'effettivo rischio di malattia. Passare a un impiego pre-infezionale di queste sostanze permette anche di ridurre il costo metabolico per la pianta, costo dovuto all'allocazione di energia e metaboliti associati al *priming* (Nogueira Júnior et al., 2020) e che non trova giustificazione in assenza di rischio infettivo.

LAVORI CITATI

- Abbott W. S., 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. econ. Entomol.*, 18, 2, 265-267
- Aziz A., Poinssot B., Daire X., Adrian M., Bézier A., Lambert B., Joubert J.-M. and Pugin A. (2003). Laminarin elicits defense responses in grapevine and induces protection against *Botrytis cinerea* and *Plasmopara viticola*. *Molecular plant-microbe interactions*, 16, 12, 1118-1128
- Bleyer G., Lösch F., Schumacher S. and Fuchs R. (2020). Together for the better: improvement of a model based strategy for grapevine downy mildew control by addition of potassium phosphonates. *Plants*, 9, 6, 710
- Brischetto C., Bove F., Fedele G. and Rossi V. (2021). A weather-driven model for predicting infections of grapevines by sporangia of *Plasmopara viticola*. *Frontiers in plant science*, 12: 317
- Caffi T., Rossi V. and Bugiani R. (2010). Evaluation of a warning system for controlling primary infections of grapevine downy mildew. *Plant disease*, 94, 6, 709-716
- Delaunois B., Farace G., Jeandet P., Clément C., Baillieux F., Dorey S. and Cordelier S. (2014). Elicitors as alternative strategy to pesticides in grapevine? Current knowledge on their mode of action from controlled conditions to vineyard. *Environmental Science and Pollution Research*, 21, 7, 4837-4846
- EPPO (2001). European and mediterranean plant protection organization. guidelines for the efficacy evaluation of fungicides: *Plasmopara viticola*. *EPPO Bull.*, 31, 313-317
- Lim S., Borza T., Peters R. D., Coffin R. H., Al-Mughrabi K. I., Pinto D. M. and Wang-Pruski G. (2013). Proteomics analysis suggests broad functional changes in potato leaves triggered by phosphites and a complex indirect mode of action against *Phytophthora infestans*. *Journal of proteomics*, 93, 207-223
- Lorenz D., Eichhorn K., Bleiholder H., Klose R., Meier U. and Weber E. (1995). Growth stages of the grapevine: Phenological growth stages of the grapevine (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*)—Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1, 2, 100-103
- Madden L., Hughes G. and Bosch F. (2007). Van den, B. The study of plant disease epidemics: APS Press: Minnesota, MN, USA
- Nogueira Júnior A. F., Tränkner M., Ribeiro R. V., Von Tiedemann A. and Amorim L. (2020). Photosynthetic cost associated with induced defense to *Plasmopara viticola* in grapevine. *Frontiers in plant science*, 11, 235
- Romanazzi G., Mancini V., Feliziani E., Servili A., Endeshaw S. and Neri D. (2016). Impact of alternative fungicides on grape downy mildew control and vine growth and development. *Plant disease*, 100, 4, 739-748
- Rossi V., Salinari F., Poni S., Caffi T. and Bettati T. (2014). Addressing the implementation problem in agricultural decision support systems: the example of vite. net®. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100, 88-99
- van Aubel G., Buonatesta R., Van Cutsem P. (2014). COS-OGA: a novel oligosaccharidic elicitor that protects grapes and cucumbers against powdery mildew. *Crop Protection*, 65, 129-137