

VALUTAZIONE DI UN MODELLO MATEMATICO PER LA MUFFA GRIGIA DELLA VITE

G. FEDELE¹, E. GONZÁLEZ-DOMÍNGUEZ¹, T. CAFFI¹,
D. MOSETTI², G. BIGOT², V. ROSSI¹

¹Department of Sustainable Crop Production - Facoltà di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali - Università Cattolica del Sacro Cuore
Via Emilia Parmense, 84 29122 Piacenza, Italy

²Perleuve srl - Via Isonzo 25/1, 34071 Cormons (GO) Italy
vittorio.rossi@unicatt.it

RIASSUNTO

Recentemente è stato sviluppato un modello meccanicistico basato sul ciclo vitale di *Botrytis cinerea*, il quale considera le condizioni meteorologiche, la fenologia della vite e i principali meccanismi d'infezione del patogeno. In questo studio, il modello è stato validato in nove vigneti dal 2015 al 2017, in 3 località in Italia. In nessuno dei vigneti considerati sono stati osservati sintomi di muffa grigia al momento della vendemmia, ma sono state rilevate, dopo *shelf-life*, infezioni latenti, con un massimo del 13% di gravità. Le epidemie sono state quindi classificate, sulla base della gravità d'infezione dopo *shelf-life*, come: gravi, intermedie, basse (gravità osservata). Similmente, le epidemie sono state classificate nei tre gruppi in base al modello (gravità prevista). Il modello ha valutato correttamente l'89% delle epidemie. La gravità delle epidemie dopo *shelf-life* è stata confrontata con le decisioni d'intervento prese dai viticoltori; questi ultimi hanno preso decisioni corrette solo nel 33% dei casi. L'utilizzo del modello avrebbe quindi garantito un miglioramento sensibile della strategia di difesa. Infatti, il modello è in grado di definire, giorno per giorno, il rischio d'infezione e di fornire informazioni utili per l'esecuzione dei trattamenti in corrispondenza delle quattro fasi fenologiche in cui tradizionalmente vengono applicati i prodotti antibotritici in vigneto: i. fioritura (BBCH 69); ii. pre-chiusura grappolo (BBCH 77); iii. invaiatura (BBCH 83); iv. pre-raccolta (BBCH <89).

Parole chiave *Botrytis cinerea*, epidemiologia, modelli matematici, difesa

SUMMARY

EVALUATION OF A MECHANISTIC MODEL FOR BOTRYTIS BUNCH ROT IN VINEYARDS

Recently, a mechanistic model based on the life cycle of *Botrytis cinerea* was developed. This model considers weather conditions, vine growth stages and the main infection pathways. In this study, the model was validated in nine epidemics observed from 2015 to 2017, in three locations in Italy. At maturity, no botrytis bunch rot symptoms were observed in vineyards; however, *shelf-life* assays showed the presence of latent infections in mature berries, with max 13% disease severity. The infection severity assessed after *shelf-life* assays was used to classify the epidemics as: severe, intermediate and mild (observed severity). Epidemics were classified in these three groups also based on the model output (predicted severity). The model correctly evaluated 89% of the epidemics. The severity of epidemics was also compared to the control strategies adopted by grapevine growers; it was outlined that growers took the right decision in 33% of cases only. Therefore, the model could be used as a tool supporting decision-making for Botrytis bunch rot control; it predicts the infection risk during the main susceptible vine growth stages: i. flowering (BBCH 69); ii. pre-bunch closure (BBCH 77); iii. veraison (BBCH 83); iv. pre-harvest (BBCH < 89).

Keywords *Botrytis cinerea*, epidemiology, disease model, control

INTRODUZIONE

La muffa grigia - causata da *Botrytis cinerea* Pers.: Fr. - è una delle malattie chiave della vite e richiede un attento controllo, basato sulla combinazione di misure preventive e di trattamenti fungicidi nel corso della stagione.

Nonostante i numerosi studi relativi alle misure di controllo da adottare in vigneto, permangono oggettive difficoltà legate alle peculiarità del patogeno; precisamente: i) la capacità di svilupparsi come saprofita, pertofita e parassita; ii) la produzione di un enorme numero di conidi su varie fonti d'inoculo; iii) l'esistenza di svariati pathways d'infezione (Elmer et al., 2007); iv) la capacità di svilupparsi in un ampio intervallo di condizioni ambientali, peraltro diverse per i diversi pathways d'infezione (Ciliberti et al., 2016; Ciliberti et al., 2015a; Ciliberti et al., 2015b); v) le variazioni di recettività della vite nei diversi stadi fenologici (Ciliberti et al., 2016; Ciliberti, et al., 2015b).

Per far fronte a questa complessità, si sono affermate strategie di controllo basate su un calendario di quattro trattamenti fungicidi in specifici stadi di sviluppo della vite, denominati A, corrispondente a fine della fioritura (BBCH 69, Lorenz et al., 1995), B, pre-chiusura grappolo (BBCH 77), C, invaiatura (BBCH 83) e D, pre-raccolta (BBCH <89) (Bulit et al. 1970; Elad et al., 2007; Baldacci et al., 1962). Alcuni di questi trattamenti possono, a seconda dei casi, essere omessi, definendo così strategie BC, BD, BCD con C fluttuante, o altre ancora. In queste strategie, i trattamenti in B e D sono sempre stati considerati interventi "chiave" (Corvi et al., 1979).

Recentemente, González-Domínguez et al., (2015) hanno sviluppato un modello meccanicistico che, in base alle condizioni ambientali e lo stadio di sviluppo della vite, definisce il rischio per i principali pathways d'infezione. In particolare, il modello considera due principali periodi d'infezione. Durante il primo periodo - che va dallo stadio fenologico di "infiorescenza ben visibile" (BBCH 53) a quello di "bacche delle dimensioni di grano di pepe" (BBCH 73) - il modello calcola il rischio per le infezioni provocate dai conidi sulle infiorescenze e sui giovani grappolini (SEV1). Durante il secondo periodo - compreso tra lo stadio "la maggior parte delle bacche si tocca" (BBCH 79) e lo stadio "maturità di raccolta" (BBCH 89) - il modello stima il rischio per le infezioni causate dai conidi sui grappoli in maturazione (SEV2) e dal micelio da bacca a bacca (SEV3).

Il modello di González-Domínguez et al. (2015) è stato validato utilizzando dati raccolti tra il 2009 e il 2014, relativi a 21 casi di epidemie in parcelle non trattate contro *B. cinerea*, in 12 vigneti sperimentali, in Italia e Francia. Allo scopo, è stata utilizzata un'analisi di funzione discriminante (DFA) per determinare se le variabili di rischio calcolate dal modello (ossia SEV1, SEV2 e SEV3) fossero in grado di stimare, nel corso della stagione, se le epidemie fossero lievi, intermedie o gravi al momento della maturazione. La DFA ha classificato correttamente l'81% delle epidemie, indicando la capacità del modello di fornire una rappresentazione sufficientemente fedele della realtà. Questi risultati hanno anche evidenziato che la variabile SEV1 ha una maggiore influenza nel determinare la gravità della malattia sui grappoli a maturità rispetto a SEV2 e SEV3. Ciò è verosimilmente dovuto al fatto che SEV1 stima, indirettamente, vari fattori in grado d'influenzare la gravità finale della malattia; precisamente: i) le infezioni latenti nei giovani grappolini, probabilmente avvenute in fioritura; ii) la quantità di residui di fioritura rappresentati da fiori infetti e giovani acini non invaiati; iii) l'incidenza di residui florali colonizzati da *B. cinerea*.

Dato il potenziale interesse del modello di González-Domínguez et al. (2015) come strumento per meglio definire la strategia di difesa contro *B. cinerea*, è stato condotto uno studio per validare il modello su un set indipendente di dati (ossia non utilizzati per lo sviluppo del modello) e per fare una prima valutazione del suo impiego fitoiatrico.

MATERIALI E METODI

Lo studio è stato condotto dal 2015 al 2017 in tre vigneti, le cui caratteristiche sono indicate in tabella 1. I vigneti sono stati gestiti come di consueto per le rispettive aree viticole e non sono stati applicati prodotti antibotritici. I dati meteorologici sono stati raccolti da stazioni meteo installate in ciascun vigneto (con sensori a 1,5 m di altezza dal terreno) per misurare, su base oraria, temperatura dell'aria, umidità relativa, durata di bagnatura fogliare e precipitazioni.

Nel corso della stagione sono stati effettuati rilievi periodici allo scopo di rilevare gli stadi fenologici della vite (secondo la scala BBCH; (Lorenz et al., 1995)) e la comparsa dei tipici sintomi di muffa grigia. A maturazione (BBCH 89), la gravità della malattia è stata stimata come la percentuale di superficie dei grappoli con sintomi di *B. cinerea*, su 100 grappoli per parcella (minimo 20 piante per parcella, 4 parcelle per vigneto).

Per la valutazione delle infezioni latenti sono state svolte prove di *shelf-life*. A BBCH 89, sono state raccolte, a caso, 25 bacche con pedicello, per replica. Le bacche sono state portate in laboratorio in contenitori refrigerati e disinfettate superficialmente attraverso lavaggio per 3 minuti in acqua distillata e, quindi, per 3 minuti in 2/3 di acqua distillata e 1/3 di ipoclorito di sodio. Le bacche sono state, infine, risciacquate con acqua sterile e poste su griglie metalliche all'interno di contenitori di alluminio il cui fondo è stato ricoperto da carta filtro bagnata con acqua sterile. I contenitori sono stati chiusi in sacchetti di plastica per mantenere alta l'umidità e posti a incubare per 10 giorni a 25°C in condizioni di luce naturale. La gravità delle infezioni latenti è stata stimata come percentuale di superficie infetta delle bacche.

Le epidemie di *B. cinerea* sono state quindi classificate in tre gruppi in base alla gravità della malattia in campo e dopo *shelf-life*: grave, gravità $\geq 15\%$; intermedia, gravità >5 e $\leq 15\%$; bassa, gravità $\leq 5\%$ (gravità osservata). Similmente, le epidemie sono state classificate nei tre gruppi in base al modello (gravità prevista) (González-Domínguez et al., 2015). Gravità osservate e previste sono state quindi confrontate fra loro attraverso tavole di contingenza 2x2, in cui i gruppi "intermedio" e "grave" sono stati considerati come un unico gruppo (i.e., gravità $>5\%$), essendo che entrambi richiedono l'esecuzione di trattamenti fungicidi per ridurre la gravità della malattia. Le tabelle 2x2 per i dati di *shelf-life* sono state utilizzate per un'analisi bayesiana (Madden et al., 2006). In particolare, sono stati valutati il grado complessivo di accuratezza e le seguenti probabilità a posteriori: i) probabilità che la gravità reale sia intermedia/grave quando il modello aveva predetto intermedia/grave $P(P+|O+)$; ii) probabilità che la gravità reale sia lieve quando il modello aveva predetto lieve $P(P-|O-)$; iii) probabilità che la gravità sia lieve quando il modello aveva predetto intermedia/grave $P(P-|O+)$; e iv) la probabilità che la gravità sia intermedia/grave quando il modello aveva predetto lieve $P(P+|O-)$.

Per valutare il possibile impiego del modello come strumento decisionale nel corso della stagione, i valori di rischio SEV1, SEV2 e SEV3 sono stati calcolati giornalmente da BBCH53 in avanti, e quindi inseriti nella funzione discriminante in modo da ottenere, giorno per giorno, una previsione della gravità delle epidemie in maturazione.

La gravità delle epidemie dopo *shelf-life* è stata confrontata con le decisioni d'intervento prese dai viticoltori, attraverso una tavola di contingenza 2x2. Nella classificazione i gruppi "intermedio" e "grave" sono stati considerati come un unico gruppo (i.e., gravità $>5\%$), mentre l'intervento dei viticoltori è stato raggruppato come "SI" (esecuzione di trattamenti) o "NO" (nessun trattamento). Le scelte dei viticoltori sono state quindi confrontate con i periodi di rischio indicati dal modello.

RISULTATI

In nessuno dei vigneti considerati (tabella 1) è stata osservata la presenza di sintomi di muffa grigia. Pertanto, le nove epidemie sono state classificate tutte di lieve gravità. I dati meteorologici di temperatura, precipitazioni e bagnatura fogliare, raccolti nelle diverse località durante i due principali periodi d'infezione sono riassunti in tabella 2.

Tabella 1. Caratteristiche dei vigneti sperimentali e gravità delle infezioni latenti osservate sulle bacche dopo *shelf-life*.

Codice	Anno	Località	Varietà	Età	Sistema d'allevamento	Gravità infezioni latenti (%) ^a
PC15	2015	Castell'Arquato	Merlot	8	Guyot	2,4
CO15	2015	Cormons	Merlot	6	Guyot	7,1
RA15	2015	Mandriole	Trebbiano ^b	11	Casarsa	6,9
PC16	2016	Castell'Arquato	Merlot	9	Guyot	2,4
CO16	2016	Cormons	Merlot	7	Guyot	12,7
RA16	2016	Mandriole	Trebbiano ^b	12	Casarsa	3,9
PC17	2017	Castell'Arquato	Merlot	10	Guyot	0,8
CO17	2017	Cormons	Merlot	8	Guyot	7,0
RA17	2017	Mandriole	Trebbiano ^b	13	Casarsa	1,4

^a La gravità è espressa come percentuale della superficie infetta delle bacche

^b Trebbiano romagnolo

Tabella 2. Dati meteorologici raccolti durante le due finestre d'infezione nelle diverse località durante il triennio 2015-2017. La prima finestra d'infezione considera il periodo che intercorre tra lo stadio fenologico di "infiorescenza ben visibile" (BBCH 53) e quello di "bacche delle dimensioni di grano di pepe" (BBCH 73). La seconda finestra considera il periodo compreso tra lo stadio "la maggior parte delle bacche si tocca" (BBCH 79) e lo stadio "maturità di raccolta" (BBCH 89).

Codice	1° periodo d'infezione				2° periodo d'infezione			
	Durata (gg) ^a	T (°C) ^b	Pioggia (mm) ^c	WD (h) ^d	Durata (gg)	T (°C)	Pioggia (mm)	WD (h)
PC15	44	18,8	103	206	50	26,5	49	57
CO15	44	18,9	178	255	55	25,8	223	182
RA15	43	19,9	110	338	48	25,4	51	269
PC16	54	16,8	273	178	43	24,3	80	55
CO16	57	16,5	275	614	52	24,2	107	160
RA16	55	17,1	184	446	48	23,7	46	407
PC17	55	17,4	120	300	49	25,9	43	87
CO17	57	16,9	155	430	56	25,0	109	410
RA17	53	17,8	81	115	50	24,4	58	154

^a Durata del periodo di rischio d'infezione espressa in giorni

^b Temperatura media registrata durante il periodo di rischio d'infezione espressa in °C

^c Precipitazioni totali registrate durante il periodo di rischio d'infezione espresse in mm di pioggia

^d Ore totali di bagnatura fogliare registrate durante il periodo d'infezione, WD = wetness duration

In base alla gravità di malattia in campo, il modello ha classificato correttamente solo quattro epidemie (pari al 44%) (tabella 3), avendo considerato 3 epidemie come intermedie e 2 come gravi.

Tabella 3. Raggruppamento delle nove epidemie di *Botrytis cinerea* in base alla gravità osservata in campo e predetta dal modello; le classi di gravità Intermedia e Grave sono state raggruppate in un'unica classe.

Gravità delle epidemie		Prevista	
Osservata	Lieve	Lieve	Intermedia/Grave
	Intermedia/Grave		
	Lieve	4	5
	Intermedia/Grave	0	0

Dopo *shelf-life*, la gravità delle infezioni è oscillata fra < 1 e 12,7% (tabella 1), a indicare la presenza d'infezioni latenti delle bacche al momento della raccolta. Classificando le epidemie in base alla gravità delle infezioni latenti, cinque epidemie sono state confermate come lievi (PC15, PC16, PC17, RA16, RA17) e quattro sono state classificate come intermedie (CO15, CO16, CO17, RA15). In base a questa classificazione, il modello ha valutato correttamente l'89% delle epidemie (tabella 4). In un caso solo, la gravità reale della malattia è stata inferiore rispetto a quella predetta, mentre non si sono verificate sottostime. L'analisi bayesiana ha mostrato come il modello abbia una probabilità superiore al 99% di predire, in modo corretto, il verificarsi di epidemie di lieve gravità, e di conseguenza una probabilità tendente a zero di non segnalare un'epidemia intermedia/grave. La probabilità che il modello individui correttamente un'epidemia intermedia/grave è dell'80%; pertanto, esiste un 20% di probabilità di sovrastimare la gravità delle epidemie.

Tabella 4. Raggruppamento delle nove epidemie di *Botrytis cinerea* in base alla gravità osservata dopo *shelf-life* e predetta dal modello; le classi di gravità Intermedia e Grave sono state raggruppate in un'unica classe.

Gravità delle epidemie		Predetta	
Osservata	Lieve	Lieve	Intermedia/Grave
	Intermedia/Grave		
	Lieve	4	1
	Intermedia/Grave	0	4

La figura 1 mostra la dinamica giornaliera dell'output del modello per i nove campi sperimentali. In quattro casi (PC15, PC16, PC17, RA17), le epidemie sono state correttamente stimate come "lievi" per tutta la stagione; in questo caso il modello avrebbe giustamente suggerito di non fare trattamenti, poiché le infezioni latenti sono state inferiori al 2,5% (tabella 1).

In quattro casi (RA15, CO16, RA16; CO17), le epidemie sono state classificate come intermedie, in un periodo compreso fra la prima e l'ultima settimana di maggio; in tutti questi casi, il modello avrebbe consigliato, con un anticipo fra i 6 e i 21 giorni, un trattamento in A, ossia in corrispondenza dello stadio fenologico di "fine fioritura" (BBCH 69). In uno di questi casi (CO16), il modello ha poi previsto che l'epidemia si sarebbe ulteriormente aggravata subito dopo, così che sarebbe stato consigliato un secondo trattamento in C; in questo vigneto la gravità delle infezioni latenti è stata del 12,7%. Negli altri vigneti di questo gruppo, la gravità delle infezioni latenti è oscillata fra il 4 e il 7% (tabella 1); anche in questi casi, i suggerimenti del modello sono risultati corretti.

Nel vigneto CO15, l'epidemia è stata stimata lieve per gran parte della stagione, per poi passare a grave dopo l'invasiatura (BBCH 83), esattamente 26 giorni prima della maturità di raccolta (BBCH 89). Il modello avrebbe consigliato un solo trattamento fra C e D; le infezioni latenti sono poi state pari al 7,1% di gravità.

Figura 1. Dinamica delle previsioni del modello concernenti la gravità delle epidemie di *Botrytis cinerea* di cui alla Tabella 1. Le barre iniziano con lo stadio d’infiorescenza ben visibile (BBCH 53) e terminano con quello di maturità di raccolta (BBCH 89); le barre sono bianche quando il modello prevede epidemie lievi (gravità $\leq 5\%$), grigie per epidemie intermedie (gravità > 5 e $\leq 15\%$) e nere per epidemie gravi (gravità $> 15\%$). I numeri sulle barre indicano gli stadi fenologici di fine fioritura (BBCH 69), chiusura grappolo (BBCH 77) e inizio invaiatura (BBCH 83). La percentuale alla destra di ciascuna barra indica la gravità delle infezioni latenti (%) valutate nella prova *shelf-life*.

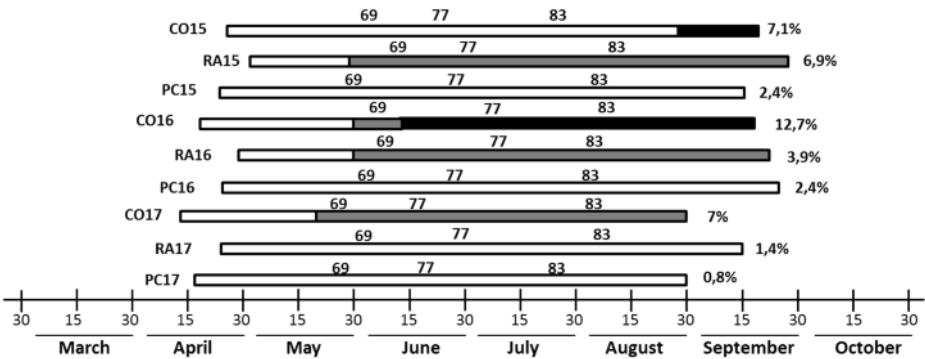


Tabella 5. Raggruppamento delle nove epidemie di *Botrytis cinerea* in base alla gravità osservata dopo *shelf-life* e le decisioni d’intervento prese dai viticoltori durante il triennio 2015-2017; le classi di gravità Intermedia e Grave sono state raggruppate in un’unica classe.

		Gravità delle epidemie	
		Lieve	Intermedia/Grave
Trattamento	NO	2	3
	SI	3	1

Considerando la gravità delle epidemie dopo *shelf-life*, i viticoltori nel triennio 2015-2017 hanno preso decisioni corrette circa i trattamenti contro *B. cinerea* solo nel 33% dei casi (tabella 5). In due casi (PC16, PC17) non sono stati effettuati trattamenti e la gravità delle infezioni è risultata molto bassa. Nei vigneti PC15, RA16 e RA17 sono stati eseguiti trattamenti in A, BC e BC, rispettivamente, ma le epidemie sono risultate di gravità lieve; questi trattamenti potevano quindi essere omessi. A RA15, i vigneti sono stati trattati in BC e la gravità è risultata intermedia; il modello ha indicato un solo trattamento in A che, verosimilmente, poteva essere sufficiente. Nei vigneti CO15, CO16, CO17 non sono stati trattati contro la muffa grigia, ma la malattia è poi risultata superiore al 5% di gravità.

DISCUSSIONE

In questo studio è stato valutato l’impiego del modello meccanicistico di González-Domínguez et al. (2015) come strumento fitoiatrico, ossia come strumento per determinare il rischio d’infezione e, di conseguenza, l’opportunità di eseguire trattamenti fungicidi in A, B, C e/o D per il controllo di *B. cinerea*.

Sebbene non siano stati osservati sintomi di muffa grigia in campo al momento della vendemmia, la presenza d’infezioni a carico delle bacche mature dopo *shelf-life* ha dimostrato che, nel periodo della fioritura/allegagione, si sono verificate infezioni latenti che, in alcuni casi, hanno avuto una gravità $> 5\%$. L’esistenza d’infezioni latenti, come pure il ruolo che esse

esercitano rispetto alla gravità complessiva della malattia in vigneto, è stata chiarita in vari studi (Holz et al., 2003; Keller et al., 2003; McClellan et al., 1973; Nair et al., 1995; Pezet et al., 2003). In particolare è stato evidenziato come la gravità delle infezioni latenti possa contribuire alla gravità finale della malattia in proporzioni variabili fra il 5 e il 100%. Con il progredire della maturazione, le infezioni da latenti divengono infatti palesi e contribuiscono, peraltro, al propagarsi dell'infezione nel grappolo tramite il contatto fra le bacche (Elmer et al., 2007).

Nei vigneti oggetto del presente studio, le infezioni latenti non hanno dato origine a sintomi di malattia durante la maturazione delle bacche, verosimilmente a causa dell'andamento meteorologico caldo e asciutto; le precipitazioni, in particolare, sono state molto scarse, ad eccezione del vigneto CO15.

Un uso fitoiatrico del modello avrebbe condotto a non eseguire trattamenti in quattro vigneti (PC15, PC16, PC17, RA17), che hanno poi manifestato livelli d'infezioni latenti inferiori al 2,5%. Il modello avrebbe poi suggerito interventi in A in quattro vigneti (RA15, CO16, RA16 e CO17), tutti caratterizzati da bagnature molto prolungate (superiori alle 300 ore complessive, Tabella 2). Nel vigneto CO16, che ha manifestato la maggiore gravità d'infezioni latenti (12,7%), il modello avrebbe poi suggerito un secondo trattamento in C. Nel vigneto CO15, infine, il modello avrebbe suggerito un intervento in D.

Il modello ha, nel complesso, stimato correttamente il rischio per le infezioni precoci, che avrebbero portato a interventi in A. Le prove condotte negli anni '70 (Agulhon et al., 1969; Lafon et al., 1972; Bisiach et al., 1978a, 1978b; Gartel et al., 1977; Bolay et al., 1975) avevano portato a considerare il trattamento in A non rilevante, dando maggior rilievo al trattamento in B (Corvi et al., 1979; Di Giusto et al., 1980). Recentemente, uno studio condotto in Spagna ha dimostrato l'importanza del trattamento eseguito in fioritura (Calvo-Garrido et al., 2014) e una meta-analisi condotta da González-Domínguez et al. (2018) su 116 prove ha portato a una rivalutazione del trattamento in A, sia per la sua efficacia sia per la maggiore flessibilità nella scelta delle successive strategie d'intervento rispetto al trattamento in B.

Il fatto che le infezioni siano rimaste latenti nei vigneti di questo studio non implica che i trattamenti indicati in A dal modello fossero ingiustificati. Infatti, qualora si fossero verificate condizioni favorevoli nel corso della maturazione delle bacche, le infezioni latenti avrebbero determinato l'insorgere dei sintomi di muffa grigia. Peraltro, su Trebbiano romagnolo, è stato riscontrato che, in uve con infezioni latenti sono presenti quantitativi di glicerolo e acido gluconico pari a 3,9 g/L e 1,3 g/L, rispettivamente. Uve sane contengono mediamente 0,16 g/L di acido gluconico e 0,23 g/L di glicerina; uve colpite da *B. cinerea* possono contenere acido gluconico fino a 6,5 g/L e glicerolo fino a 32,0 g/L (Nigro e Versari, 2008). Considerando che anche la presenza d'infezioni latenti modifica il profilo qualitativo delle uve, i trattamenti fungicidi finalizzati a ridurre la gravità risultano quindi giustificati.

Peraltro, i viticoltori che hanno ospitato le prove hanno eseguito, a livello aziendale, trattamenti contro *B. cinerea* secondo la pratica. Il confronto fra le loro decisioni fitoiatriche, le reali necessità e quanto indicato dal modello dimostra che il modello stesso avrebbe garantito un miglioramento dei processi decisionali, portando le decisioni corrette dal 33% all'89%.

In conclusione, il modello meccanicistico valutato in questo lavoro (González-Domínguez et al., 2015), attualmente inserito all'interno di un sistema del supporto alle decisioni vite.net (Caffi et al., 2017), ha dimostrato di essere uno strumento utile per l'impostazione della strategia di difesa contro *B. cinerea* in vigneto. Il modello, infatti, garantisce una pianificazione mirata dei trattamenti, basata sul reale rischio d'infezione, in funzione delle condizioni ambientali e degli stadi di sviluppo della vite.

Ringraziamenti

Il presente contributo è stato realizzato nell'ambito della Scuola di Dottorato per il Sistema Agroalimentare (Agrisystem) dell'Università Cattolica del Sacro Cuore

LAVORI CITATI

- Agulhon R., 1969. La pourriture grise des raisins. *Le maladies des plantes, ACTA*, 405–430.
- Baldacci E., Belli G., Fogliani G., 1962. Osservazioni sul ciclo vitale della *Botrytis cinerea* Pers. nella vite. *Mal delle piante*, (62), 29-43.
- Bisiach M., Minervini F., Zerbetto G., 1978a. L'epidemia di *Botrytis cinerea* in due località dell'Italia settentrionale e la possibilità di interventi fitoiatrici. *Informatore Agrario*, (24), 2283-2286.
- Bisiach M., Zerbetto G., Minervini F. 1978b. Possibilità di lotta secondo il metodo fenologico e climatico. *Informatore Agrario*, (24), 2287-2290.
- Bolay A., Rochaix M., 1975. Heurs et malheurs des fongicides systémiques dans la lutte contre la pourriture grise des raisins. *Revue Suisse de Viticulture Arboriculture Horticulture*, (7), 137-147.
- Bulit J., Lafon R., Guillier G., 1970. Périodes favorables à l'application de traitements pour lutter contre la pourriture grise de la vigne. *Phytiatrie-Phytopharmacie*, 159-165.
- Caffi T., Rossi V., 2017. Ruolo dei modelli previsionali nelle strategie antiresistenza. *L'Informatore Agrario*, 13-19.
- Calvo-Garrido C., Usall J., Viñas I., Elmer P. A., Cases E., Teixido N., 2014. Potential secondary inoculum sources of *Botrytis cinerea* and their influence on bunch rot development in dry Mediterranean climate vineyards. *Pest Management Science*, 70(6), 922–930. <https://doi.org/10.1002/ps.3629>
- Ciliberti N., Fermaud M., Languasco L., Rossi V., 2015a. Influence of fungal strain , temperature , and wetness duration on infection of grapevine inflorescences and young berry clusters by *Botrytis cinerea*. *Phytopathology*, 105(3), 325–333. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-14-0152-R>
- Ciliberti N., Fermaud M., Roudet J., Rossi V., 2015b. Environmental conditions affect *Botrytis cinerea* infection of mature grape berries more than the strain or transposon genotype. *Phytopathology*, 105, 1090–1096. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-10-14-0264-R>
- Ciliberti N., Fermaud M., Roudet J., Languasco L., Rossi V., 2016. Environmental effects on the production of *Botrytis cinerea* conidia on different media, grape bunch trash, and mature berries. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 22(2), 262–270. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12217>
- Corvi F., Tullio V., 1979. Un biennio di prove di lotta contro la muffa grigia dell'uva (*Botrytis cinerea* Pers.) nelle Marche (II contributo). *Giornate Fitopatologiche*, (2), 553-560.
- Di Giusto R., Avonda S., Ferrari G., Molinari V., Salgarollo V., Tesi D., 1980. Tre anni di prove sperimentali con Ronilan per la lotta contro la *Botrytis cinerea* della vite. *Giornate Fitopatologiche*, (2), 529–536.
- Elad Y., Williamson B., Tudzynski P., Delen N., 2007. *Botrytis* spp. and diseases they cause in agricultural in agricultural systems-an introduction. In: *Botrytis: Biology, Pathology and Control* (Elad Y., Williamson B., Tudzynski P., Delen N., editors). Springer Netherlands; 1-6.
- Elmer P. A. G., Michailides T. J., 2007. Epidemiology of *Botrytis cinerea* in orchard and vine crops. In: *Botrytis: Biology, Pathology and Control* (Elad Y., Williamson B., Tudzynski P., Delen N., editors). Springer Netherlands; 243-272.

- Gartel W., 1977. Les problèmes posés par la pourriture grise sur la vigne, comment les résoudre. *Vigne vins*, 260-15.
- González-Domínguez E., Caffi T., Ciliberti N., Rossi V., 2015. A mechanistic model of *Botrytis cinerea* on grapevine that includes weather, vine growth stage, and the main infection pathways. *PLOS One* 10(10): e0140444.
- González-Domínguez E., Fedele G., Delière L., Sauris P., Díez-Navajas A. M., Díaz-Losada E., Sáez De Ojer J. L. R., Gramaje D., Rossi V., 2018. A network meta-analysis provides new standpoints on fungicide scheduling for the control of *Botrytis cinerea* in vineyards. *Pest Management Science*. *In press*.
- Holz G., Gütschow M., Coertze S., Calitz F. J., 2003. Occurrence of *Botrytis cinerea* and Subsequent Disease Expression at Different Positions on Leaves and Bunches of Grape. *Plant Disease*, 87(4), 351–358. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.4.351>
- Keller M., Viret O., Cole F. M., 2003. *Botrytis cinerea* Infection in Grape Flowers: Defense Reaction, Latency, and Disease Expression. *Phytopathology*, 93(3), 316–322. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2003.93.3.316>
- Lafon R., Verdu D., Bulit J., 1972. Mise au point sur le traitement de la pourriture grise dans le vignoble. *Rev. Zool. Agric. et Path. Vég.*, (1), 31-43.
- Lorenz D. H., Eichhorn K. W., Bleiholder H., Klose R., Meier U., Weber E., 1995. 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, 100–103. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.1995.tb00085.x>
- Madden L., 2006. Botanical epidemiology: Some key advances and its continuing role in disease management. *European Journal of Plant Pathology*, 115:3-23.
- McClellan W. D., 1973. Early Botrytis Rot of Grapes: Time of Infection and Latency of *Botrytis cinerea* Pers. in *Vitis vinifera* L. *Phytopathology*, 63, 1151. <https://doi.org/10.1094/Phyto-63-1151>
- Nair N. G., Guilbaud-Oultorfi S., Barchia I., Emmett R. 1995. Significance of carry over inoculum, flower infection and latency on the incidence of *Botrytis cinerea* in berries of grapevines at harvest in new south wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 35(8), 1177–1180. <https://doi.org/10.1071/EA9951177>
- Nigro G, Versari A., 2008. Metodi rapidi di analisi della qualità dell'uva. *Terra e Vita*, 20/2008.
- Pezet R., Viret O., Perret C., Tabacchi R., 2003. Latency of *Botrytis cinerea* Pers.: Fr. and Biochemical Studies During Growth and Ripening of Two Grape Berry Cultivars, Respectively Susceptible and Resistant to Grey Mould. *Journal of Phytopathology*, 151(4), 208–214. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0434.2003.00707.x>

