UN NUOVO MODELLO PER IL *BLACK ROT* DELLA VITE

G. ONESTI[1], T. CAFFI[1], S. E. LEGLER[2], V. ROSSI[1]
[1] Istituto di Entomologia e Patologia vegetale - Università Cattolica del Sacro Cuore
Via E. Parmense 84, 29122 Piacenza
[2] Horta s.r.l. - Via Egidio Gorra 55, 29122 Piacenza
vittorio.rossi@unicatt.it

RIASSUNTO

Il *black rot* è una malattia fungina della vite che, negli ultimi anni, ha avuto una forte recrudescenza in varie aree vitate. Le conoscenze sul ciclo vitale di *Guignardia bidwellii* sono state recuperate attraverso una *systematic literature review* e utilizzate per disegnare un modello meccanicistico in grado di simulare i processi infettivi sulla base delle condizioni meteorologiche e la fenologia della vite; le stesse informazioni sono state utilizzate, attraverso una meta-analisi, per sviluppare le equazioni matematiche che descrivono il sistema sia quantitativamente sia dinamicamente. In carenza di informazioni sufficienti, sono state introdotte assunzioni derivate da sistemi analoghi. Il modello è stato quindi valutato per la sua capacità di descrivere le epidemie di black rot utilizzando tre casi rappresentativi. Il modello ha complessivamente rappresentato in modo accurato il sistema ed ha dimostrato di essere uno strumento utile per comprendere le dinamiche delle epidemie di black rot. Successive ricerche saranno necessarie per acquisire nuove conoscenze su alcuni processi biologici, per validare ulteriormente il modello e per verificarne l'impiego come strumento predittivo della malattia.
Parole chiave: black rot, epidemiologia, modelli matematici, validazione

SUMMARY

A NEW MECHANISTIC MODEL FOR BLACK ROT IN GRAPEVINE

Black rot is a fungal disease of grapevine that, in the last few years, has had a recrudescence in some areas. The knowledge on the life cycle of *Guignardia bidwellii* was retrieved through a *systematic literature review* and used to draw a mechanistic model able to simulate the fungus life cycle as influenced by weather and grapevine phenology. A meta-analysis was carried out on literature data to develop the mathematical equations describing the system both quantitatively and dynamically. Due to the lack of sufficient information, assumptions were introduced derived from similar systems. The model was then evaluated for its ability to describe the black rot epidemics in three representative cases. The model accurately represented the real system and has proven to be a useful tool for understanding the dynamics of epidemics. Further research will be necessary to acquire additional knowledge on some biological processes, to further validate the model and verify its use as a predictive tool for the disease.
Keywords: black rot, epidemiology, disease models, validation

INTRODUZIONE

Il *black rot* - malattia causata dall'ascomicete *Guignardia bidwellii* (Ellis) Viala & Ravaz (anamorfo: *Phyllosticta ampelicida* (Englem.) van der Aa) - è originaria del Nord America ma oggi è diffusa in Europa in alcune aree del Sud America, laddove si verificano condizioni di elevata umidità in primavera ed inizio estate (Ramsdell e Milholland, 1988). In Europa, il

black rot è stato documentato per la prima volta in Francia nel 1885 e poi nel 1930 in Germania (Luestner, 1935; Mueller, 1934), nelle zone viticole settentrionali, dove oggi rappresenta una delle principali malattie fungine (Harms *et al*., 2005). In Italia, la malattia è stata rilevata per la prima volta in Toscana nel 1891 e poi nel 1974 nei pressi di La Spezia e successivamente è diventata endemica in varie zone viticole, causando talora gravi epidemie. Per esempio, nel Friuli, la malattia è stata segnalata nel 1985 (Cablassi, 2000) e si è presentata con una certa frequenza nei primi anni del 1990; negli anni successivi la malattia è quasi scomparsa, ma tra il 2001-2007 essa è tornata nuovamente epidemica (Bigot, comunicazione personale). La stessa dinamica si è verificata anche in altre aree viticole (Rinaldi e Mugnai, 2012).

Il *black rot* rappresenta una minaccia sia per quanto riguarda la resa d'uva (le perdite possono raggiungere l'80%) sia per la qualità del vino (Ellis *et al.*, 1986; Ramsdell e Millholland, 1988; Ferrin e Ramsdell, 1977; 1978; Funt *et al*., 1990;). Il controllo del patogeno richiede applicazioni di fungicidi quando si verificano le condizioni favorevoli all'infezione, tra il germogliamento e la chiusura del grappolo (Rasmdell e Milholland, 1988; Emele *et al*., 1998; Doufor, 2006; Carisse *et al*., 2009). In questo periodo sono normalmente eseguiti trattamenti per la protezione contro peronospora ed oidio e, qualora si usino fungicidi attivi anche contro il black rot, è possibile controllare quest'ultima malattia senza applicazioni aggiuntive (Molitor e Berkelmann-Loehnertz, 2011). Tuttavia, la progressiva riduzione d'uso dei fungicidi a largo spettro d'azione, come pure la sempre maggiore diffusione dei sistemi di previsione per peronospora e oidio (con conseguente abbandono degli interventi a calendario), rischiano di esporre la vite alle infezioni di *black rot*. In questa situazione, un modello matematico per il black rot consentirebbe di definire i periodi a rischio d'infezione e suggerire l'uso di prodotti polivalenti o di applicazioni specifiche.

Lo scopo di questo studio è stato quello di sviluppare un modello meccanicistico del ciclo di vita di *G. bidwellii* ed effettuare una prima valutazione del modello stesso.

MATERIALI E METODI

Il modello è stato sviluppato tramite una meta-analisi dei dati reperiti in letteratura tramite una *systematic literature review* (Ressing *et al*., 2009) sulle banche dati dei CAB Abstracts e di AGRIS, come pure sul World Wide Web. Le informazioni dagli articoli selezionati sono state utilizzate per tracciare il diagramma relazionale del sistema (Leffelaar e Ferrari, 1989) e per sviluppare le equazioni matematiche che descrivono il sistema sia quantitativamente sia dinamicamente (Rossi *et al*., 2010). Queste equazioni mettono in relazione le variabili esterne (dati meteo, stadi di sviluppo della vite, ecc.) con: i) la maturazione delle ascospore e dei conidi nei corpi fruttiferi svernanti, ii) il rilascio delle spore e la loro sopravvivenza, iii) l'infezione da parte di ascospore e conidi, iv) la durata dell'incubazione e della latenza, v) l'insorgenza delle lesioni e vi) la produzione di picnidi e conidi.

Il modello è stato valutato per la sua capacità di rappresentare e comprendere le epidemie di *black rot*. In questo lavoro sono illustrati tre casi rappresentativi: 1) una lieve epidemia che si è verificata in un vigneto di Piacenza nel 2010; 2) una grave epidemia sia su foglie che su grappoli (con ripetute infezioni durante la stagione) avvenuta in un vigneto di Udine nel 2010; 3) un'epidemia grave con sintomi apparsi in un unico periodo e solo sulle foglie in un vigneto di Piacenza nel 2012.

L'utilizzo del modello richiede la definizione di valori iniziali per quanto riguarda la quantità d'inoculo primario nel vigneto. Il modello richiede inoltre dati meteo orari di

temperatura dell'aria, umidità relativa, bagnatura fogliare e pioggia (misurati tramite stazioni elettroniche nei vigneti) come pure le date di germogliamento e dei successivi stadi di sviluppo della vite (dati raccolti visitando i vigneti).

RISULTATI

Descrizione del modello

Il modello è suddiviso in tre comparti: 1) produzione e maturazione dell'inoculo primario; 2) infezioni (primarie e secondarie) causate da ascospore e/o conidi; 3) comparsa della malattia e produzione di inoculo secondario.

Il primo comparto del modello definisce l'evoluzione dell'inoculo primario sotto forma di: i) ascospore mature negli pseudoteci prodotti sulle mummie svernanti nel vigneto (a terra o sulla pianta), ii) conidi prodotti nei picnidi sulle mummie e iii) sui tralci.

Il secondo comparto stima le infezioni causate da ascospore e conidi. Dall'apertura delle gemme e fino all'esaurimento dell'inoculo primario, il rilascio delle ascospore e dei conidi è causato da piogge maggiori di 0,5 mm/ora; la dose totale di ascospore e conidi rilasciati dipende dalla quantità di ascospore e conidi maturi al momento del rilascio. Il modello assume che le ascospore e i conidi liberati si depositino sulla superficie dell'ospite ad un determinato tasso di deposizione e che questi rimangano vitali per un periodo di tempo la cui durata dipende dalla temperatura e dall'umidità. Il tasso d'infezione dipende poi dalle condizioni di bagnatura della vegetazione e dalla temperatura, con esigenze diverse per ascospore e conidi. Il modello inoltre considera le variazioni di suscettibilità delle foglie in base alla loro età e dei grappoli in base allo stadio di sviluppo.

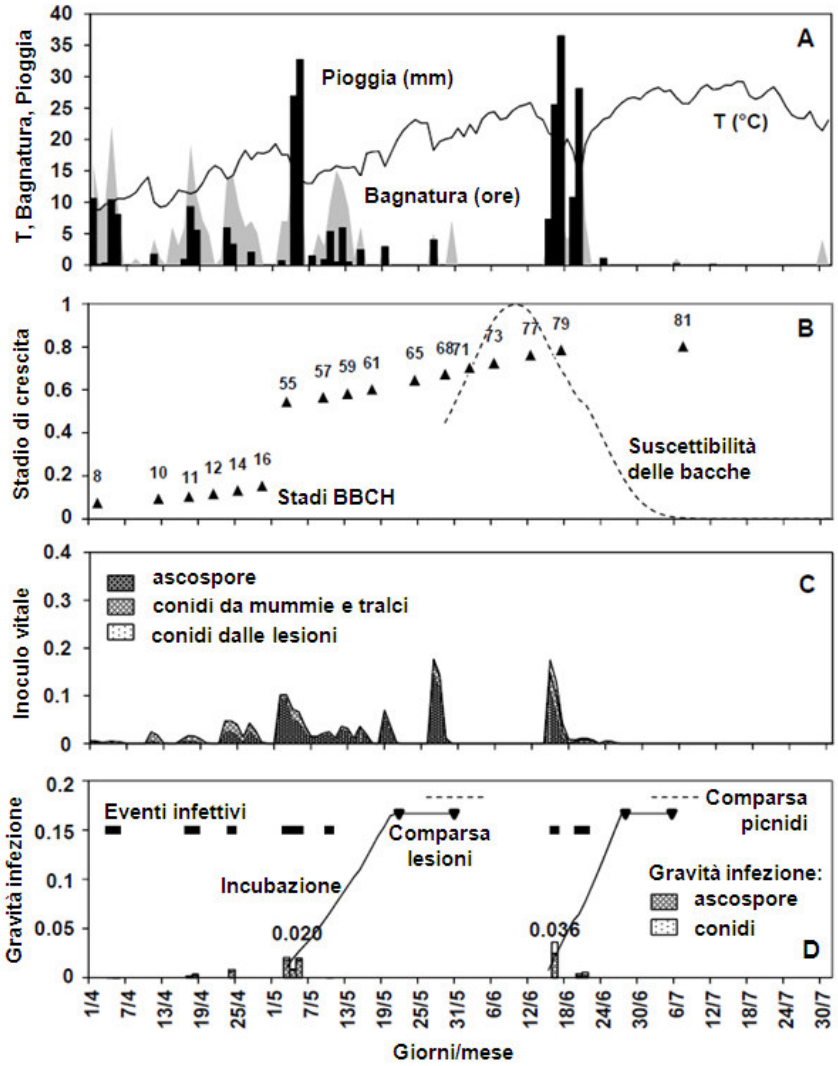
Il terzo comparto definisce la comparsa dei sintomi di malattia e la produzione d'inoculo secondario. Dopo un evento infettivo, al termine di un periodo d'incubazione, il modello simula la comparsa delle lesioni del *black rot* e, al termine del periodo di latenza, dei picnidi. Durante il periodo infettivo i picnidi su foglie e bacche producono, progressivamente, nuovi conidi (inoculo secondario), i quali possono causare ripetuti cicli d'infezione (infezioni secondarie).

Validazione del modello

Nel vigneto di Piacenza nel 2010, la temperatura media tra germogliamento (inizio aprile) e l'inizio della maturazione (inizio luglio) è stata di 18,6°C, con un totale di 240 mm di pioggia; si è verificato un periodo secco tra il 20 maggio e il 14 giugno (Figura 1A) quando le viti erano tra la fase di inizio fioritura (BBCH63) e quella di pre-chiusura grappolo (BBCH77) (Figura 1B). L'attacco di black rot non è stato grave; alla fine di maggio sono comparsi i primi sintomi su meno del 3% delle foglie e un successivo 1% di foglie ammalate è comparso all'inizio di luglio. Non sono stati osservati sintomi sulle bacche. In particolare, il modello ha simulato otto periodi d'infezione (Figura 1D) fra il 4-5 aprile e il 20-21 giugno, ma solo quelli del 3-5 maggio e del 16 giugno sono stati di una certa gravità. Poiché al 3-5 maggio le viti erano ancora in fase di distensione delle infiorescenze (BBCH55) ed al 16 giugno le bacche erano nella fase di chiusura grappolo (BBCH79) (Figura 1B), il modello ha considerato che i grappoli non fossero suscettibili al momento in cui si sono verificate queste infezioni; il modello ha quindi simulato infezioni solo a carico delle foglie, come realmente accaduto. Nel primo periodo (3-5 maggio) era prevista una dose di inoculo elevata, in prevalenza rappresentata da ascospore (Figura 1C); la presenza di 13 ore di bagnatura con una temperatura media di 15,3°C hanno tuttavia fatto si che solo una piccola parte di queste ascospore potesse causare infezione, dando origine ad una infezione simulata di lieve gravità.

La manifestazione dei sintomi causati da questa infezione è stata prevista per gli ultimi 10 giorni di maggio, come è realmente accaduto, e la produzione di picnidi tra la fine di maggio e l'inizio di luglio (Figura 1D). Anche per l'infezione del 16 giugno era presente un'elevata dose d'inoculo, composta sia da ascospore sia da conidi che si sono accumulati nei corpi fruttiferi durante il precedente periodo secco (Figura 1C). Il verificarsi di 14 ore di bagnatura con 19,1°C ha reso possibile l'infezione, ma con bassa gravità. La comparsa delle lesioni, è stata prevista nei primi giorni di luglio (Figura 1D), così come osservato nel vigneto.

Figura 1. Output del modello per il vigneto di Piacenza 2010



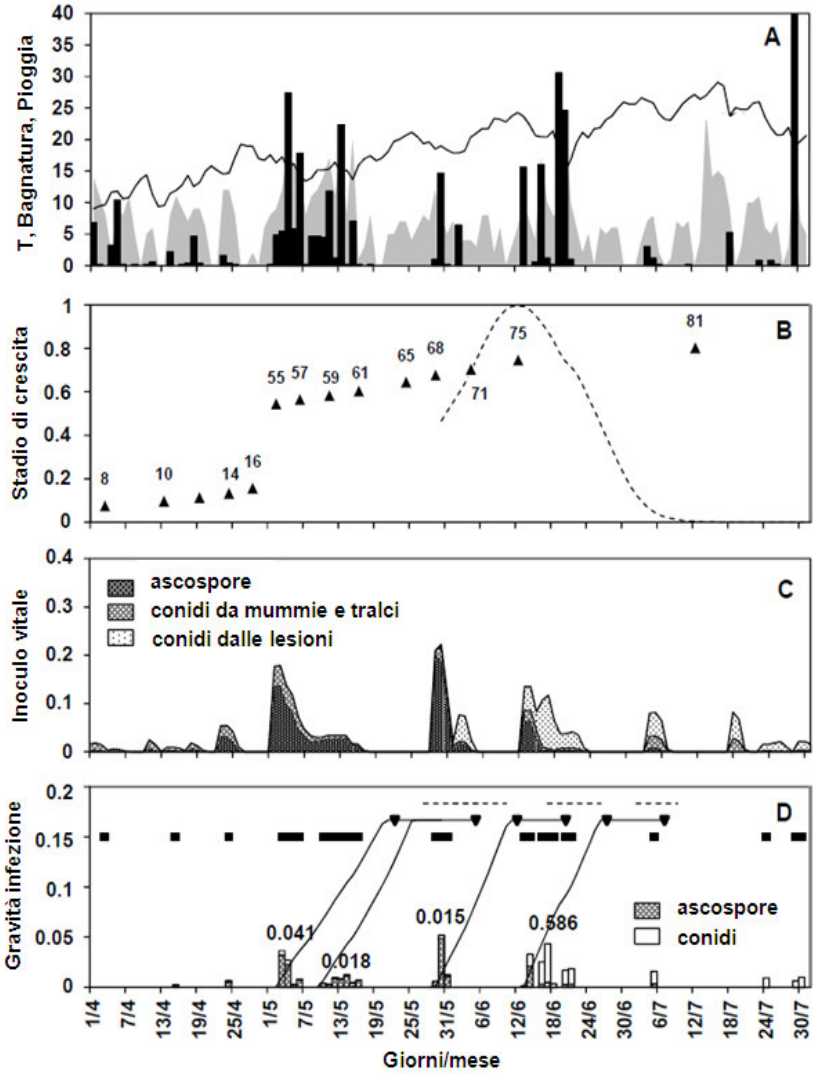
Nel vigneto di Udine nel 2010, la temperatura media è stata di 18,4°C, con un totale di 260 mm di pioggia caduti regolarmente tra aprile e luglio (Figura 2A). I sintomi del black rot sono apparsi nell'ultima decade di maggio sulle foglie e sono progrediti nel corso della stagione su foglie e grappoli, con gravi epidemie e danni pari al 60%.

Il modello ha simulato 20 infezioni, la maggior parte delle quali raggruppate in quattro periodi (Figura 2D). Durante il primo periodo - tra il 2 e il 6 maggio con infiorescenze in corso di sviluppo (BBCH55-57) (Figura 2B) - sono caduti complessivamente 61 millimetri di pioggia e si sono verificate quattro infezioni. Le infezioni più gravi sono state il 4 (con una temperatura media di 15,6°C e 14 ore di bagnatura) ed il 5 maggio (con una temperatura media di 13,8°C e 15 ore di bagnatura). In base al modello, la disponibilità d'inoculo in questo periodo doveva essere alta: circa il 30% della dose stagionale di ascospore e il 10% dei conidi (Figura 2C). Nel secondo periodo d'infezione, caratterizzato da un totale di 33 ore di bagnatura e una temperatura media di 13.8°C, il modello ha previsto altre quattro infezioni tra il 9 e 15 maggio. Per entrambi questi periodi d'infezione è stata prevista la comparsa dei sintomi tra il 21 maggio e 5 giugno e dei picnidi tra il 27 maggio e 10 giugno (Figura 2D), come è in realtà accaduto. Il terzo evento infettivo è stato simulato tra il 29 e 31 maggio con viti alla fine della fioritura (BBCH68) (Figura 2B) e con presenza di inoculo sia primario che secondario; due infezioni hanno determinato gravi conseguenze: una con 14 ore di bagnatura e temperatura media di 16,1°C; l'altra con 10 ore di bagnatura e temperatura media di 16,7°C. Questi eventi sono stati ritenuti responsabili dell'infezione a carico dei grappoli, con sintomi previsti tra 11 e 20 giugno (Figura 2D). Il verificarsi dell'ultimo evento infettivo - tra il 13 e 21 giugno - ha pure causato la comparsa di gravi sintomi su grappoli a inizio luglio.

Nel vigneto di Piacenza nel 2012, la temperatura media del periodo considerato è stata di 19,3°C e sono caduti 317 mm di pioggia (Figura 3A), soprattutto in aprile e tra metà maggio e metà giugno.

Il modello ha previsto la comparsa dei sintomi su foglia in un unico periodo, la prima settimana di giugno; ha infatti simulato dieci periodi di infezione (Figura 3D), ma solo uno di questi – tra il 20 e 21 maggio – ha provocato danni. A causa di un precedente periodo senza pioggia che aveva favorito l'accumulo di circa il 30% della dose stagionale di ascospore e il 5% dei conidi (Figura 3C), la dose d'inoculo era considerata elevata; 27 ore di bagnatura con una temperatura media di 12.9°C e precipitazioni ripetute con le viti in pre-fioritura (Figura 3B) hanno favorito l'infezione. I sintomi della malattia sono stati previsti dal modello tra il 2 e 11 giugno (Figura 3D), come realmente è avvenuto nel vigneto. Non è stata prevista nessuna successiva infezione fino a fine luglio e, nel vigneto, non sono stati osservati altri sintomi di black rot su foglie o bacche fino a fine stagione. La mancanza d'infezioni è imputabile a bagnature fogliari di breve durata, dato che inoculo primario e secondario erano presenti (Figura 3C) e si erano verificati ripetuti eventi piovosi in grado di diffondere l'inoculo (Figura 3A).

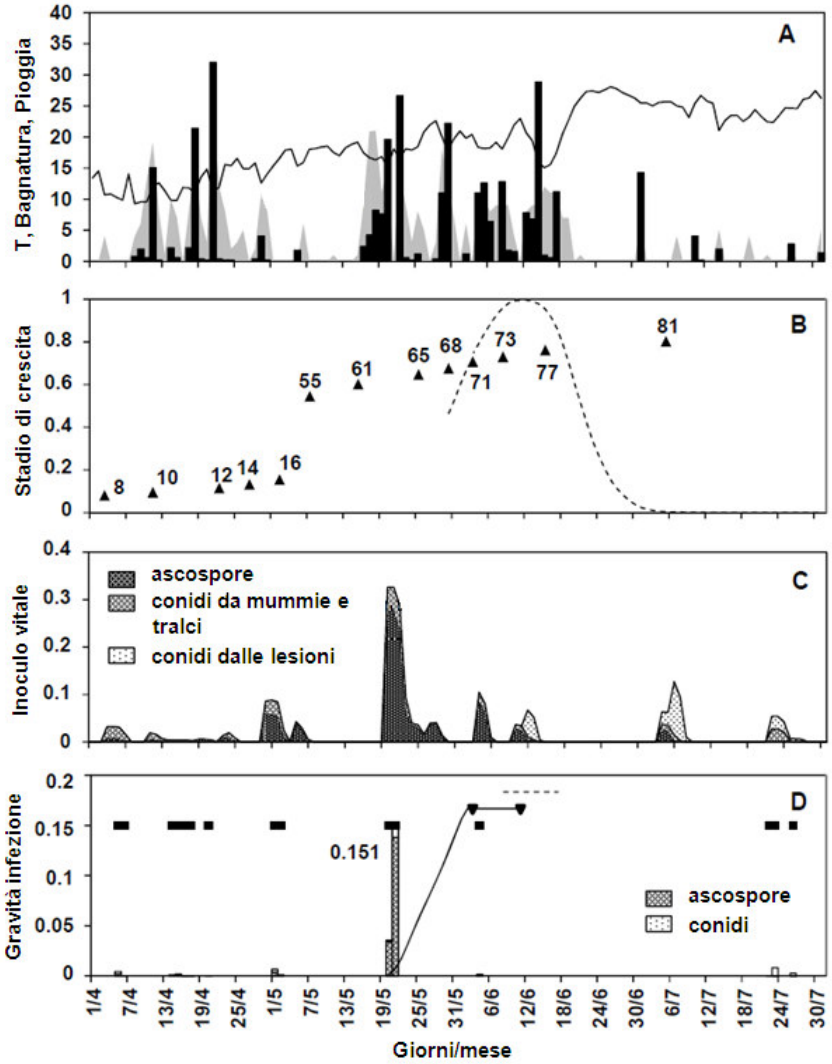
Figura 2. Output del modello per il vigneto di Udine 2010 (vedi Figura 1 per la spiegazione della simbologia)



DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Il modello sviluppato in questo lavoro fornisce informazioni dettagliate sul ciclo di vita di *G. bidwellii*. Il modello è di tipo meccanicistico dato che considera tutte le fasi del ciclo di vita del patogeno, come pure le interazioni tra le variabili all'interno del pato-sistema (Rossi *et al*., 2010). La meta-analisi dei dati pubblicati ha reso possibile lo sviluppo di equazioni che collegano variabili esterne (condizioni meteorologiche e pianta ospite) allo sviluppo del patogeno, e quindi il modello può essere considerato dinamico. La mancanza di conoscenze circa alcuni aspetti biologici è stata superata con la formulazione di assunzioni esplicite (Rossi *et al*., 2010).

Figura 3. Output del modello per il vigneto di Piacenza 2012 (vedi Figura 1 per la spiegazione della simbologia)



Sulla base dei risultati ottenuti confrontando i risultati forniti dal modello con tre epidemie rappresentative di *black rot* si può affermare che la struttura del modello e la sua formulazione matematica forniscono una simulazione sufficientemente accurata della biologia ed epidemiologia di *G. bidwellii*.

Allo stato attuale, il modello può essere utilizzato per aiutare la comprensione delle epidemie di *black rot* nei vigneti. Grazie alla sua struttura meccanicistica e la sua dipendenza dalle condizioni meteo e di crescita della vite, il modello potrebbe essere utilizzato in futuro come strumento predittivo per la gestione della malattia. Ciò richiederà successive validazioni del modello in vari vigneti e in più anni. Una volta validato, il modello sarà integrato nella piattaforma vite.net (Rossi *et al.,* 2014).

Ringraziamenti
Parte di questo lavoro è stato svolto nell'ambito del progetto finanziato dall'UE "Modem_IVM" (www.modem-ivm.eu) FP7-SME-2010-1, concessione n. 262.059. G. Onesti ha eseguito questi lavori all'interno della Scuola di Dottorato Agrisystem dell'Università Cattolica del Sacro Cuore.

LAVORI CITATI

Cablassi, I. 2000. Black rot, Nuova ampelopatia in Friuli Venezia Giulia. Pages 58-60 in: Vitenda 2000. L'agenda del vitivinicultore. Vit. En. Calosso (At), Italy.

Carisse, O., Bacon, R. M., Lasnier, J., Lefebvre, Levasseur, A., Rolland, D., and Jobin, T. 2009. Grape disease management in Quebec. Agriculture and Agri-Food Canada 10372:36-39.

Doufor, R. 2006. Grapes: Organic production. Online Publication/ATTRA IP031.

Ellis, M. A., Madden, L. V., and Wilson, L. L. 1986. Electronic grape black rot predictor for scheduling fungicides with curative activity. *Plant Dis*., 70:938-940.

Emele, L. R., Wilcox, W. F., Gadoury, D. M., and Seem, R. C. 1998. Critical period for control of black rot of grape. *Phytopathology*, 88:S25.

Ferrin, D. M., and Ramsdell, D. C. 1977. Ascospore dispersal and infection of grapes by *Guignardia bidwellii*, the causal agent of grape black rot disease. *Phytopathology*, 67:1501-1505.

Ferrin, D. M., and Ramsdell, D. C. 1978. Influence of conidia dispersal and environment on infection of grape by *Guignardia bidwellii*. *Phytopathology*, 68:892-895.

Funt, R. C., Ellis, M. A., and Madden, L. V. 1990. Economic analysis of protectant and disease-forecast-based fungicide spray programs for control of apple scab and grape black rot in Ohio. *Plant Dis.,* 74:638-642.

Harms, M., Holz, B., Hoffmann, C., Lipps, H. P., and Silvanus, W. 2005. Occurrence of *Guignardia bidwellii*, the causal agent of Black Rot on grapevine, in the vine growing areas of Rhineland-Palatinate, Germany. In: Proc. Int. Symposium on Introduction and Spread of Invasive Species, Berlin, Germany.

Leffelaar, P. A., and Ferrari, T.J. 1989. Some elements of dynamic simulations. Pages 19-45 in: Simulation and systems management in crop protection. Simulation monograph, Pudoc, Wageningen.

Luestner, G., 1935. Auftreten der Schwarzfäule (Black Rot) der Rebe in Deutschland. *Nachr. Dtsch. Pflanzenschutzd,* 15:27.

Molitor, D., and Berkelmann-Loehnertz, B. 2011. Simulating the susceptibility of clusters to grape black rot infections depending on their phenological development. Crop Prot. 30:1649-1654.

Mueller, K. 1934. Jahresbericht des BadischenWeinbauinstitutes in Freiburg i. B. für das Jahr, vol. 13.

Ramsdell, D. C., and Milholland, R. D. 1988. Black Rot. Pages 15-17 in: Compendium of Grape Diseases. APS press, St. Paul.

Ressing, M., Blettner M., and Klug S. J. 2009. Systematic Literature Reviews and Meta-Analyses. Dtsch. Arztebl. Int. 106:456-63.

Rinaldi, P. A., and Mugnai, L. 2012. Black rot degli acini, potenziale pericolo in viticoltura. *L'Informatore Agrario,* 68:68-70.

Rossi, V., Giosuè, S., and Caffi, T. 2010. Modelling Plant diseases for decision making in crop protection. Pages 241-258 in: Precision Crop Protection - The Challenge and Use of Heterogeneity. Springer Science, Dordrecht.

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.