

# MODELLI MATEMATICI PER LA DIFESA DALLE MALATTIE

Vittorio Rossi

In questi ultimi anni il mondo agricolo ha cominciato a prestare attenzione e a conoscere i modelli matematici per la protezione dalle avversità. La modellistica fitopatologica è, in realtà, una disciplina ultracentenaria; possiamo infatti far risalire la sua nascita alla metà del secolo scorso, più precisamente ai lavori di Mills sulla ticchiolatura del melo, in cui la combinazione di durata della bagnatura fogliare e temperatura fornivano un rischio d'infezione.

Anche la famosa regola dei tre 10 per le prime infezioni stagionali di peronospora della vite risale a questa epoca "pionieristica". A quel tempo, la modellistica era dominata dall'empirismo. Si partiva cioè dalle osservazioni di campo per trovare delle regole matematiche che potessero spiegare la comparsa o l'evoluzione della malattia in rapporto ad alcune variabili ambientali quali la temperatura dell'aria, le precipitazioni o la durata di periodi umidi. Questo approccio empirico, a dire il vero, ha continuato a essere protagonista dei modelli matematici per moltissimi anni e, ancor oggi, è predominante. Ovviamente gli strumenti di raccolta e analisi di dati di campo e i metodi di sviluppo di regole matematiche empiriche si è fortemente evoluta fino ai giorni nostri in cui si parla, con grande enfasi, di big data e intelligenza artificiale. Indipendentemente da quanto siano evoluti tali strumenti e metodi, rimane il problema di fondo dei modelli empirici. In parole semplici, questi modelli fanno una "fotografia" dei dati di campo usati per il loro sviluppo e, pertanto, hanno due grandi limiti. Il primo è legato al fatto che servono notevoli quantità di dati e che la "qualità" del modello dipende dalla rappresentatività, numerosità e precisione di questi dati; di conseguenza, occorrono svariati anni di lavoro per sviluppare un modello attendibile. Il secondo limite è rappresentato dal fatto che questi modelli perdono attendibilità quando vengono usati in condizioni diverse da quelle in cui sono stati sviluppati. Questo aspetto è particolarmente critico

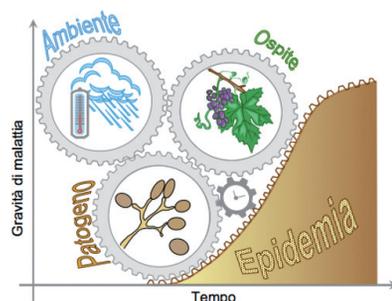
oggi: a causa del cambiamento climatico, ogni stagione è diversa dalle precedenti.

In anni più recenti è nato un nuovo approccio modellistico, completamente diverso da quello empirico, chiamato "meccanicistico" o "di processo". Questo approccio permette di superare i limiti dei modelli empirici e di sviluppare, in tempi decisamente più brevi, modelli più informativi, accurati e affidabili. Questi modelli non sono infatti basati su una elaborazione di dati di campo, ma sulla conoscenza del sistema da modellizzare (costituito dalla pianta, il patogeno e il clima) (A) e di come il sistema si modifica in rapporto alle variabili esterne (in particolare, quelle ambientali) (B).

Ciò fa sì che questi modelli forniscano risultati attendibili nelle più diverse condizioni colturali e ambientali, compreso il cambiamento climatico.

## Modelli per la viticoltura

I modelli di processo per le malattie della vite oggi disponibili sono frutto del lavoro di ricerca svolto presso l'Università Cattolica di Piacenza negli ultimi 20 anni. Si tratta di modelli per: peronospora (infezioni primarie e secondarie di *Plasmopara viticola*), oidio (infezioni ascosporiche e conidiche di *Erysiphe necator*), muffa grigia (*Botrytis cinerea*), black-rot (*Phyllosticta ampelina*) e antracnosi (*Elsinoë ampelina*). Sono in corso di sviluppo anche modelli per alcune malattie di crescente interesse e diffusione,

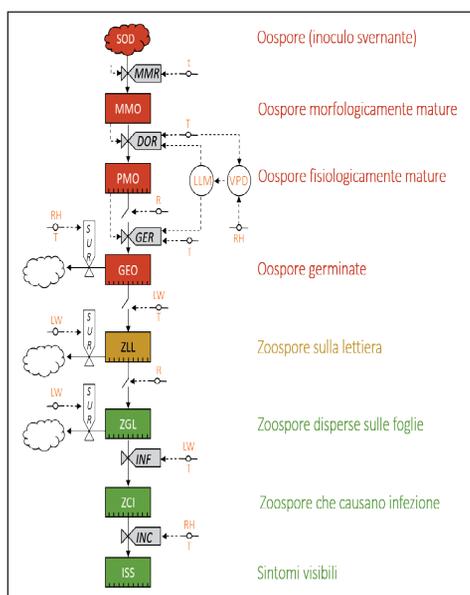


(A) - Triangolo della malattia: perché una malattia possa comparire è necessaria la presenza di un certo patogeno che interagisce con uno specifico ospite in un determinato ambiente. Il tempo è il motore che aziona questo sistema e, dopo la comparsa della malattia, regola l'evoluzione dell'epidemia. Un modello può aiutare a capire quando vi sono le condizioni per la comparsa ed evoluzione di una malattia.

come l'escoriosi (*Diaporthes ampelina*), la carie bianca (*Coniella diplodiella*) e il marciume acido (causato da vari agenti microbici).

Questi modelli racchiudono tutte le più recenti conoscenze sulla biologia ed epidemiologia degli agenti patogeni, e forniscono informazioni di dettaglio sulle loro dinamiche: dall'evoluzione e disponibilità dell'inoculo,

al possibile verificarsi delle infezioni, alla dinamica dell'incubazione fino alla comparsa dei sintomi. Queste conoscenze hanno permesso di rivedere alcuni paradigmi del passato circa le dinamiche fitopatologiche e d'impostare, quindi, strategie di difesa più razionali. Il ruolo centrale delle infezioni oosporeiche nello sviluppo della peronospora,



(B) - Diagramma relazionale delle infezioni primarie di peronospora della vite: per poter modellizzare un processo bisogna prima identificare gli stadi chiave (rettangoli) dello stesso e poi determinare le variabili guida (caratteri arancioni) che regolano il passaggio da uno stadio all'altro attraverso specifici tassi (forme con sfondo grigio).

l'attenzione alle infezioni ascosporighe dell'oidio e l'importanza del loro controllo, la rivalutazione del periodo a cavallo della fioritura per il controllo della muffa grigia sono tutti aspetti innovativi che, dopo le prime "resistenze" da parte del mondo operativo (legate a un approccio tradizionale), sono entrate nel patrimonio dei tecnici più preparati e nella pratica delle aziende agricole d'avanguardia.

Questi modelli sono stati ampiamente collaudati sia per la capacità di simulare in modo corretto la biologia dei patogeni sia per l'utilità nel migliorare le strategie di difesa. Infatti, fornendo informazioni di dettaglio sullo stato del patogeno nel vigneto, anticipano i momenti critici per il controllo della malattia (per esempio, i periodi infettivi) e i periodi di probabile comparsa dei sintomi di malattia. Essi possono, pertanto, essere usati per ottimizzare le attività di monitoraggio in campo e per programmare gli interventi di difesa, sia come tempistica che come tipologia di prodotti da utilizzare per lo specifico intervento. Ciò si traduce in un miglioramento dell'efficacia della difesa e in una riduzione del numero di trattamenti fungicidi che, nelle medie pluriennali, oscilla fra il 30 e il 50% (C).

Esistono anche altri modelli matematici che possono contribuire a migliorare le strategie di difesa in vigneto. Si tratta dei modelli per lo sviluppo e la crescita delle piante, che possono essere utili per cogliere in anticipo i periodi di maggiore suscettibilità delle piante alle varie malattie, e i modelli di attività dei fungicidi. Questi ultimi, sempre sviluppati in Università Cattolica, permettono di conoscere la dinamica della protezione fornita da un trattamento fun-

gicida in rapporto alle caratteristiche del fungicida stesso, la dose d'impiego, la crescita della pianta e le condizioni meteo. Questi ultimi modelli possono dare risposta alla domanda: ho effettuato il trattamento con un certo fungicida alcuni giorni orsono ed è previsto un imminente periodo infettivo, la vegetazione è sufficientemente protetta oppure è necessario intervenire nuovamente? Si tratta di modelli che prendono in considerazione il PMoA (Physical Mode of Action) dei fungicidi, in particolare il tipo di attività (preventiva, curativa ed eradicante) e la sua durata nel tempo, la cosiddetta rainfastness (ossia il tempo che deve intercorrere fra il trattamento

e la pioggia affinché il prodotto sia efficace), la tenacità (o resistenza al dilavamento) e la diluizione del prodotto con la crescita della pianta (D).

Una frontiera del tutto nuova per la modellistica fitopatologica è quella dei modelli per il biocontrollo. Si tratta di modelli che tengono conto delle esigenze ecologiche dei microrganismi di biocontrollo (in termini di temperatura e umidità) e delle loro interazioni con

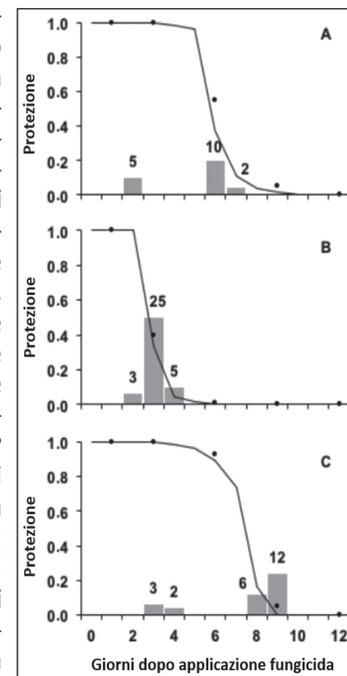
contro *B. cinerea*, i modelli consentono di scegliere il prodotto microbico con maggiori probabilità di successo

in funzione della fase fenologica della vite e, quindi, dall'organo bersaglio (infiorescenze per la prevenzione delle infezioni latenti, residui di fioritura per contenere la colonizzazione fungina e la produzione d'inoculo, bacche in corso di maturazione) e delle condizioni ambientali al momento del trattamento e nei giorni successivi. Nel secondo caso, il modello consente di definire il momento ottimale per le applicazioni di *A. quisqualis* con l'obiettivo di ridurre la produzione di inoculo svernante dell'oidio. Queste applicazioni "estintive" sono efficaci quando effettuate durante le prime fasi di sviluppo degli organi svernanti del patogeno (i cleistotecii o, meglio, casmotecii); in questo momento, infatti, le condizioni ambientali sono più favorevoli ad *A. quisqualis* e il controllo del patogeno (attraverso la parassitizzazione dei casmotecii) è più efficace.

### Come utilizzare i modelli

I modelli matematici descritti in questa nota sono oggi utilizzati, in parte, da servizi di avvertimento per formulare avvisi e bollettini, come pure nelle APP "Protetto" della Regione Lombardia e "BoDi" del CoDiTV, e in altri servizi informatici. Questi modelli sono tutti implementati nel sistema di supporto alle decisioni (DSS) "vite.net®" di Horta Srl, spin-off di Università Cattolica.

L'ampia diffusione di questi strumenti, di cui usufruiscono centinaia di viticoltori sia in Italia che all'estero, è la migliore dimostrazione dell'affidabilità e utilità dei modelli matematici per la protezione della vite.



(D) - Output del modello di previsione della dinamica di protezione garantita da un trattamento fungicida. Lo stesso prodotto garantisce una protezione differente (A, B e C) in base alle diverse condizioni ambientali (fra cui la pioggia, istogrammi grigi nei grafici) che si verificano dopo la sua applicazione in campo. Le linee indicano l'output del modello, i punti i dati reali.



(C) - A volte bastano uno-due errori nel piano dei trattamenti per avere un danno simile a quello di un testimone mai trattato come in figura.

Nel primo caso, una volta definita la necessità di un trattamento