

6.1.2 I MODELLI PREVISIONALI PER FUNGHI E BATTERI

Questi modelli hanno come principale obiettivo la previsione del rischio di comparsa o di sviluppo epidemico di una determinata malattia infettiva, per potere così adattare la strategia di intervento e razionalizzare la difesa di alcune colture.

Tutti i modelli previsionali messi a punto fino ad oggi fanno uso di informazioni di tipo climatico, biologico, agronomico e in funzione del tipo di costruzione e funzionamento essi si possono suddividere, secondo il tipo di approccio, in modelli globali e modelli analitici.

I modelli di tipo analitico scompongono il sistema in un insieme di singoli elementi che dovranno essere studiati separatamente (ad esempio le diverse fasi del ciclo infettivo di un patogeno fungino: infezione, incubazione, evasione, ecc.) e successivamente concatenati. Esempi di questo genere possono essere i modelli utilizzati per la ticchiolatura del melo (A-SCAB), la cercospora della bietola (CERCOPRI - CERCODEP), ruggine (RUSTPRI - RUSTDEP) e oidio (POWPRI - POWDEP) del frumento, la peronospora della cipolla (ONIMIL).

I modelli di tipo globale al contrario considerano il sistema come un'unica entità, esaminando più da vicino il problema da risolvere nella sua globalità e ricercando una relazione diretta di causa ed effetto. Il modello IPI utilizzato per la previsione della peronospora di patata e pomodoro è di questo tipo.

In generale i modelli previsionali possono simulare un determinato evento epidemico, ma contengono comunque alcuni limiti intrinseci dovuti al fatto che vi sono fattori altrettanto importanti che agiscono sull'incidenza ed evoluzione delle malattie (varietà, stadio di sviluppo, caratteristiche del terreno, ecc.) che i modelli non considerano.

Un altro limite è rappresentato dalla difficoltà di applicare i modelli previsionali in ambienti diversi da quelli nei quali sono stati messi a punto. Ciò ha portato quindi a sfruttare i modelli previsionali sviluppati in Emilia-Romagna all'interno di Servizi di avvertimento su scala zonale nei quali i modelli non hanno lo scopo di individuare il momento esatto della comparsa delle malattie in campo, ma di definire un rischio globale, una tendenza regionale o locale.

Per arrivare a fornire agli agricoltori un consiglio preciso sulla necessità o meno di effettuare interventi contro determinate malattie, i modelli vengono integrati da altre informazioni ottenute tramite rilievi periodici dello stato fitosanitario della coltura su campi spia non trattati, che quindi possano manifestare con anticipo gli eventuali sintomi della malattia, oppure quantificando la presenza di spore fungine di alcuni funghi patogeni presenti nell'ambiente.

Si può citare la possibilità di utilizzare i dati a livello aziendale in caso di presenza di stazioni meteo aziendali. In questo caso i servizi potrebbero essere garantiti da strutture private.

CERCOPRI (CERCOSpora PRimary Infection) CERCODEP (CERCOSpora Development of EPidemics)

Malattia: Cercosporiosi della barbabietola

Patogeno: *Cercospora beticola* Sacc.

DATI METEOROLOGICI UTILIZZATI

- temperatura oraria (°C)
- pioggia (mm)
- umidità relativa (%)

INPUT

Ambientale:

T = temperatura oraria o media giornaliera dell'aria

RH = umidità relativa oraria o media giornaliera

R = precipitazioni orarie o giornaliere

Colturale:

Indice di resistenza varietale alla malattia (in classi da suscettibile a resistente)

Data di comparsa dei primi sintomi della malattia

OUTPUT

Il modello previsionale utilizzato per razionalizzare i trattamenti anticercosporici è fondamentalmente composto di due parti. La prima, denominata CERCOPRI (CERCOSpora PRimary Infection), è in grado di prevedere la comparsa dei primi sintomi in campo, la seconda, CERCODEP (CERCOSpora Development of EPidemics), permette di simulare lo sviluppo attuale delle epidemie e di prevederne l'andamento futuro, in modo da posizionare razionalmente il primo trattamento fungicida anticercosporico.

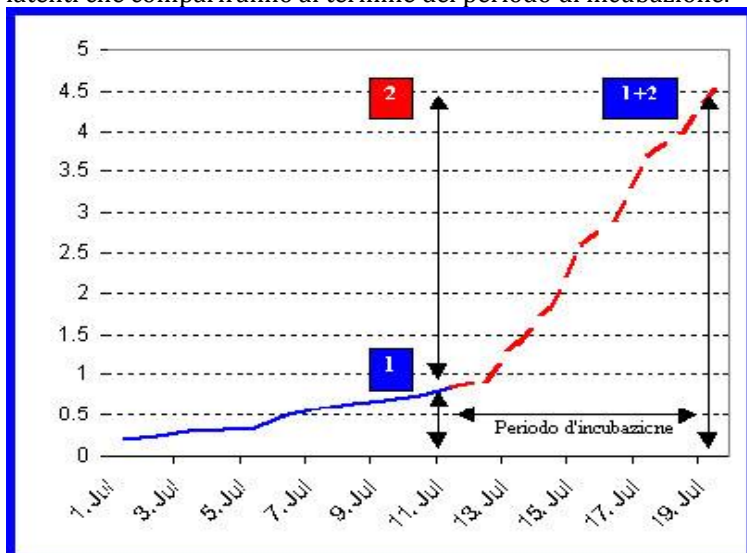
Come funziona CERCOPRI

Ad ogni stazione meteorologica vengono associati un certo numero di campi, in funzione della distanza da questa e dell'omogeneità delle condizioni epidemiologiche. Usando i dati meteorologici, il modello calcola, giorno per giorno, la percentuale di campi di bietola infetti sul totale di quelli presenti nella zona: se alla stazione meteorologica sono associati 10 campi, un indice di valore 30 indica che la malattia è probabilmente già presente in 3 dei 10 campi (ossia il 30%).

Soglia di comparsa primi sintomi

Dal punto di vista applicativo, si considera che la malattia sia sicuramente presente in una zona facente riferimento ad una stazione meteorologica quando il modello segnala una frequenza di campi infetti uguale o superiore al 30%.

Come funziona CERCODEP. Fig. 1. Area fogliare colpita simulata dal modello previsionale compreso le infezioni latenti che compariranno al termine del periodo di incubazione.



E' un modello che calcola, giornalmente a partire dal primo giorno dell'infezione, la percentuale di area fogliare ammalata sulle foglie di barbabietola da zucchero, ossia lo sviluppo nel tempo delle epidemie. Usando i dati meteorologici viene calcolato un tasso giornaliero che rappresenta il tasso di crescita della gravità di malattia, espresso come infezioni sia visibili (area necrotica) che latenti (il micelio si sviluppa nel tessuto fogliare senza che il tessuto stesso manifesti ancora sintomi di malattia)

Il modello simula l'andamento della malattia dal giorno di comparsa dei primi sintomi fino al giorno attuale (ultimo giorno per il quale sono disponibili i dati meteorologici); quindi, prevede l'andamento futuro, per un periodo di giorni pari alla durata del periodo di incubazione della malattia (circa 10 giorni).

A partire dal giorno di comparsa (rilevato in campo o calcolato con il modello CERCOPRI) il modello genera una curva di sviluppo della malattia per le cultivar di bietola Sensibili, Medio Sensibili, Medio Resistenti e Resistenti. Il modello é in grado di fornire una previsione dello sviluppo futuro della malattia per un numero di giorni pari all'ultimo periodo di incubazione.

La previsione é spiegata nell'esempio rappresentato in figura. La malattia compare il giorno 1° luglio ed i dati meteo sono disponibili fino all'11 luglio: la linea blu rappresenta l'andamento dell'infezione fino all'11 luglio, sia come area fogliare ammalata visibile (indicata con 1) che come quantità di malattia latente all'interno del tessuto fogliare (indicata con 2). Il modello calcola la durata del periodo di incubazione (in questo caso di 8 giorni) e genera una previsione dell'aumento dell'area fogliare ammalata in base all'espressione sulla foglia dell'area fogliare latente che diventa man mano visibile (indicata con 1+2) (Fig. 1 e Tab. 1).

Tab. 1. Esempio di calcolo simulato dal modello previsionale con la previsione del giorno in cui le infezioni latenti compariranno in campo

Data	Area fogliare ammalata	Area fogliare latente	Incubazione	Giorno in cui l'area fogliare latente sarà visibile
01-luglio	0,2	0,1	8	09-luglio
02-luglio	0,25	0,3	8	10-luglio
03-luglio	0,3	0,2	10	13-luglio
04-luglio	0,32	0,3	8	12-luglioi
05-luglio	0,34	0,4	8	13-luglio
06-luglio	0,5	0,5	8	14-luglio
07-luglio	0,58	0,4	8	15-luglio
08-luglio	0,64	0,7	7	15-luglio
09-luglio	0,68	0,3	8	17-luglio
10-luglio	0,75	0,5	8	18-luglio
11-luglio	0,84	0,4	8	19-luglio
Giorni di previsione (pari all'ultimo periodo d'incubazione)	Area fogliare ammalata prevista	Aree fogliari latenti da sommare		
12-luglio	0,84	0,3	.	.
13-luglio	1,14	0,2	0,4	.
14-luglio	1,74	0,5	.	.
15-luglio	2,24	0,4	0,7	.
16-luglio	3,34	.	.	.
17-luglio	3,34	0,3	.	.
18-luglio	3,64	0,5	.	.
19-luglio	4,14	0,4	.	.

Soglie di intervento adottate

Per l'uso del modello CERCODEP sono previste due soglie per l'inizio dei trattamenti:

Δ2: il trattamento viene consigliato quando l'incremento settimanale di area fogliare ammalata é compreso nell'intervallo 1.8 - 2.2 %. (Tab. 2).

Questa soglia tiene conto del fatto che le epidemie si evolvono assai lentamente fino al momento in cui non si raggiunge tale soglia.

Tab. 2. Soglia di intervento pari al 2% di incremento settimanale di area fogliare ammalata simulato dal momento della prima comparsa

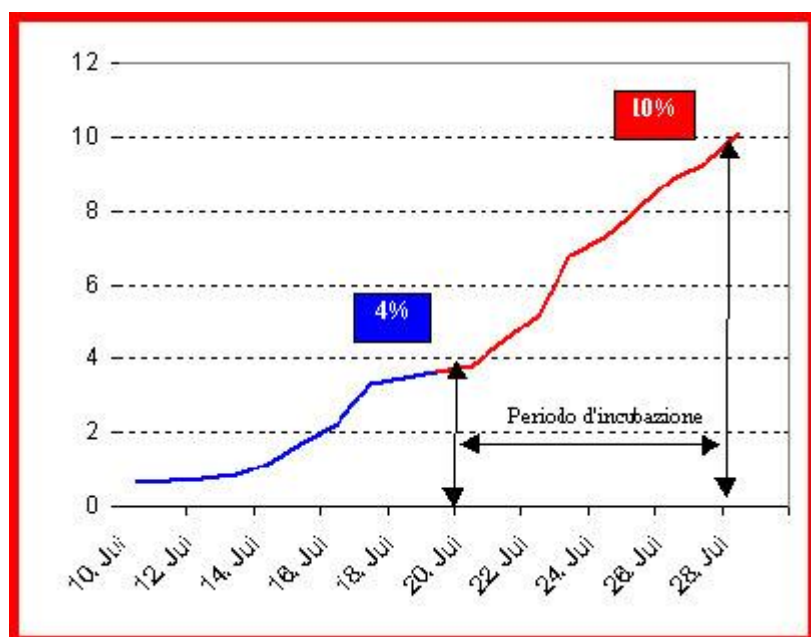
Data	AFA(1)	Data - 7	AFA(2)	AFA(1)- AFA(2)
17-luglio	0,64	10-luglio	0,2	0,44
18-luglio	0,68	11-luglio	0,25	0,43
19-luglio	0,75	12-luglio	0,3	0,45
20-luglio	0,84	13-luglio	0,32	0,52
21-luglio	1,14	14-luglio	0,34	0,8
22-luglio	1,74	15-luglio	0,5	1,24
23-luglio	2,24	16-luglio	0,58	1,66
24-luglio	3,34	17-luglio	0,64	2,7
25-luglio	3,34	18-luglio	0,68	2,66
26-luglio	3,64	19-luglio	0,75	2,89

In questo caso la soglia 1.8 - 2.2 % è oltrepassata tra il 23 ed il 24 luglio.

AFA (Area Fogliare Ammalata): il primo trattamento viene suggerito quando il valore di area fogliare ammalata è tra il 3.5 ed il 4.5%.

Questa ultima soglia si basa sul seguente criterio della soglia economica di danno. Tale soglia è pari al 10% dell'area fogliare ammalata, dato che al di sotto di tale valore i trattamenti con fungicidi non consentono incrementi produttivi. Dato che è indispensabile effettuare il trattamento prima che la soglia economica di danno sia raggiunta, si ritiene opportuno intervenire quando la gravità totale della malattia (visibile più latente) è pari al 10%; ciò corrisponde ad un valore di area ammalata visibile pari a circa il 4%. In altri termini, si tratta della percentuale di area fogliare ammalata visibile oggi che, sommate tutte le aree fogliari latenti dei giorni successivi fino al termine del periodo d'incubazione, darà un valore di area fogliare visibile pari al 10% (Fig. 3).

Fig. 3. Simulazione dell'area fogliare ammalata



Utilizzando il modello ed effettuando un numero statisticamente sufficiente di simulazioni, si è verificato che un'area fogliare ammalata visibile pari al 4 % oggi si tradurrà, alla fine di un periodo d'incubazione medio pari a 11 giorni, in un'area fogliare ammalata pari al 10%, corrispondente ad un potenziale danno economico per la

produzione. Cautelativamente il valore pari al 4% è stato trasformato in una forbice tra il 3.5 ed il 4.5 %, che di fatto costituisce il valore soglia adottato.

Purtroppo negli ultimi anni il valore aggiunto derivante dall'applicazione dei due modelli è stato penalizzato dal progressivo panorama delle caratteristiche delle varietà messa a disposizione dal mercato che è stato orientato verso una minore attenzione alla resistenza alla cercospora a favore di varietà più produttive e resistenti ai nematodi e alla rizoctonia.

BIBLIOGRAFIA

Rossi V., Battilani P. - Modellamento dello sviluppo epidemiologico di *Cercospora beticola* Sacc. in funzione del clima. Atti Giornate Fitopatologiche, 1986, vol. 2, 283-294.

BATTILANI P., ROSSI V. - Dinamica delle epidemie di *Cercospora beticola* Sacc. su barbabietola da zucchero.II. Un modello di sviluppo. Phytopathologia Mediterranea, 1988, 27, 69-72.

ROSSI V., BATTILANI P. - Previsione della comparsa e della evoluzione delle epidemie di *Cercospora beticola* su barbabietola da zucchero. Atti Seminario "Agrometeorologia Applicata", Piacenza, Italia, 1990. In: Quaderni dell'Amministrazione Provinciale di Piacenza, 22, 155-166.

ROSSI V., BATTILANI P. - CERCOPRI: a forecasting model for primary infections of *Cercospora* leaf spot on sugarbeet. Proc. Symposium on Practical Applications of Agrometeorology to Plant Protection, Firenze, Italy, 1990. In: Bulletin OEPP, 1991, 21, 327-531.

BATTILANI P., ROSSI V.- Verifica di un metodo climatico per la previsione delle infezioni primarie di *Cercospora beticola* Sacc. Informatore fitopatologico, 1991, 41(6), 59-63.

ROSSI V., BATTILANI P., RACCA P. - CERCODEP, a simulator for *Cercospora* leaf spot on sugarbeet. Proc. 6th International Congress of Plant Pathology, Montreal, Canada, 1993, 102 (Abstract).

BATTILANI P., ROSSI V., RACCA P. - Risk for *Cercospora* leaf spot disease on sugarbeet in Emilia Romagna. Proc. IX Symposium pesticide chemistry, Piacenza, Italia, 1993, 795 – 806.

BATTILANI P., RACCA P., ROSSI V. - Sensivity of a simulation model for cercospora leaf spot on sugarbeet to meteorological data. Proc. Workshop on Computer-based DSS on Crop Protection, Parma, Italy, 1993. In: SP report n.7, Danish Institute Plant and Soil Science, 1993, 225 – 233.

BATTILANI P., LANGUASCO L., RACCA P., ROSSI V. - Impiego di un modello di simulazione delle epidemie di *Cercospora beticola* nella difesa della barbabietola da zucchero. Atti Convegno nazionale "Protezione delle colture. Osservazioni, previsioni, decisioni", Pescara, Italia, 1993, 267-280.

ROSSI V., RACCA P., BATTILANI P. - A simulation model for *Cercospora* leaf spot on sugarbeet. Phytopathologia mediterranea, 1994, 33, 105-112.

GIOSUE' S., RACCA P., ROSSI V. - Use of stochastic processes in simulating *Cercospora* leaf spot epidemics on sugarbeet. Phytopathologia mediterranea, 1995, 34, 204-206.

ROSSI V. - Use of a simulation model "CERCODEP" in the control of *Cercospora* leaf spot on sugar beet. Proc. 58th I.I.R.B. Congress, 1995, 355-359.

ROSSI V., RACCA P., BATTILANI P., GIOSUE' S. - Un sistema di supporto al controllo della cercosporiosi sulla barbabietola da zucchero. L'Informatore Agrario, 1996, 52 (1), 61-64.

BATTILANI P., GIOSUE' S., RACCA P., ROSSI V. - A decision support system for cercospora leaf spot on sugarbeet. Proc. 4th International EFPP Symposium, Bonn, Germany, 1996, Bonn, 275-279.

IL MODELLO ONIMIL

Malattia: Peronospora della cipolla

Patogeno: *Peronospora destructor*

DATI METEOROLOGICI UTILIZZATI

- Temperatura oraria (°C)
- Pioggia (mm)
- Umidità relativa (%)

INPUT

Ambientale:

T= temperatura oraria

RH= umidità relativa oraria

R= precipitazioni orarie o giornaliere

Colturale:

Data di emergenza della coltura

Eventuale presenza di inoculo primario come infezioni sporulanti o sporangi aerodiffusi

OUTPUT

- periodo nel quale la coltura diventa suscettibile
- giorno nel quale si verificano le infezioni
- livello di rischio per le infezioni
- periodo di comparsa dei sintomi

COME FUNZIONA

Il modello ONIMIL è stato messo a punto nel 1996 dall'Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza, nell'ambito del progetto "modelli previsionali" finanziato dal CRPV. È stato validato sperimentalmente nelle diverse aree di produzione di cipolla della Regione Emilia-Romagna ed è utilizzato dal Servizio Fitosanitario per dare avvertimenti riguardo al rischio peronosporico (Battilani *et al.*, 1996, 1998).

Il modello ONIMIL, con una cadenza di 12 ore (8.00 - 20.00: giorno; 20.00 - 8.00: notte), è in grado di verificare la possibilità che si realizzino infezioni e di indicare il periodo di probabile comparsa dei sintomi di malattia, in funzione delle condizioni meteorologiche.

Il modello elabora il tasso di produzione delle spore a partire dal micelio svernante considerato sempre presente nell'ambiente in funzione di quattro fattori: fotoperiodo, temperatura, umidità relativa e pioggia. Nel caso in cui non sussistano condizioni favorevoli, il valore di PSP viene posto pari a 0; viceversa il valore PSP viene calcolato in funzione della temperatura massima e minima, quando si verificano le ulteriori seguenti condizioni:

- temperatura media del giorno precedente: ≤ 24 °C oppure >27 °C, >28 °C, >29 °C rispettivamente per meno di 8, 4 o 2 ore
- temperatura media dalle ore 20.00 alle ore 08.00 compresa tra 4 °C e 24 °C
- nessun evento piovoso dopo le ore 01.00
- l'umidità relativa $\geq 90\%$ senza interruzione dalle ore 02.00 alle 06.00

Il tasso di dispersione (DIS) delle spore primarie (PRISPO) viene posto uguale a 1 in quanto si assume che durante la primavera e l'estate le condizioni climatiche della pianura padana siano caratterizzate da ampie escursioni di umidità che permettono ampiamente il rilascio degli sporangi e il loro deposito sulla vegetazione suscettibile.

Quando sussistono le condizioni notturne per la sporulazione, il modello verifica la situazione intercorrente tra le 08.00 e 20.00 per misurare il tasso di sopravvivenza (SUR) degli sporangi. Questo viene calcolato in funzione della temperatura e dell'umidità relativa solo in condizione di bassa radiazione solare, mentre nelle giornate soleggiate si applica un coefficiente di variazione. Se non si ha un periodo di bagnatura perdurante fino alle ore

09.00 con temperatura da 6 °C a 22 °C, o fino alle 10.00 con temperatura da 23 °C a 26 °C, si ritiene che non avvenga l'infezione (Fig. 4).

L'infezione viene considerata possibile quando la bagnatura fogliare è maggiore della bagnatura calcolata da un'apposita equazione. Il corrispondente valore di infezione (INF), rappresentato in rapporto al valore ottimale, viene calcolato sulla base della percentuale di sporangi in grado di germinare alle diverse condizioni di temperatura e bagnatura.

Una volta considerata avvenuta l'infezione, viene valutato l'accrescimento del micelio nei tessuti fogliari (INVMYV), il tasso di invasione (INV) e il grado di sporulazione (INFMYC). Il valore di INV dipende dal periodo di latenza (LP) che varia da 7 a 14 giorni.

I valori di sporulazione (PSP), sopravvivenza (SUR) e infezione (INF) consentono al modello di determinare il livello di infettività giornaliera di *P. destructor*.

La simulazione del modello risulta maggiormente precisa se a questa si abbinano le informazioni sia sulla presenza dell'inoculo primario, sia sullo stadio di crescita della coltura. In particolare quest'ultima informazione viene determinata elaborando a partire dalla data di emergenza della coltura le sommatorie termiche necessarie alla coltura per arrivare allo stadio fenologico di "5-6 foglie vere", periodo a partire dal quale questa risulta maggiormente sensibile alle infezioni peronosporiche.

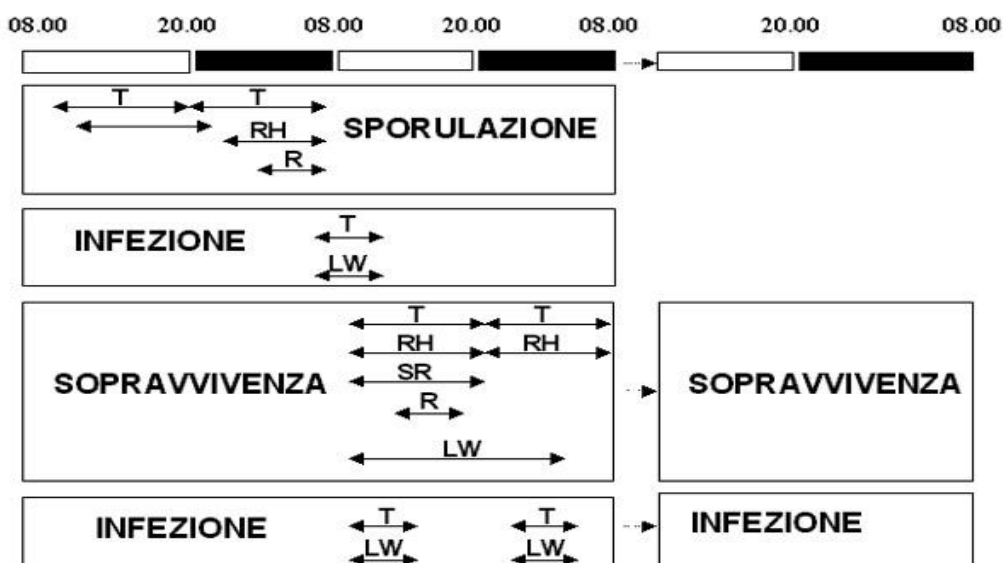
Come si utilizza

A partire dalla data di emergenza della coltura, il modello elabora i dati di temperatura per arrivare a determinare il periodo in cui la coltura si approssima alla fase suscettibile di "5-6 foglie vere" in modo tale da allertare circa il pericolo di eventuali infezioni e dare avvio ad eventuali trattamenti di tipo preventivo. A partire da tale momento il modello elabora i dati climatici e fornisce informazioni circa i momenti infettivi, la loro gravità e il periodo approssimativo di comparsa dei sintomi in campo. Queste informazioni potrebbero essere utilizzate da tecnici ed agricoltori per posizionare con maggiore efficacia i trattamenti antiperonosporici sia sistemici che di copertura prima della comparsa degli eventuali sintomi.

Il modello ONIMIL rappresenta pertanto un utile strumento per il controllo delle infezioni primarie di peronospora su cipolla primaverile. Il sistema di avvertimento in uso in Emilia-Romagna è fondato su tre parametri:

- monitoraggio dell'ospite: attraverso rilievi di campo o l'utilizzo di modelli di crescita
- inoculo primario: presenza accertata di cipolla a semina autunnale o da seme ovvero monitoraggio di sporangi di *P. destructor* mediante captaspore
- uso del modello ONIMIL per individuare le condizioni climatiche favorevoli per l'instaurarsi dell'infezione

Fig. 4. Peronospora della cipolla - Diagramma temporale delle fasi del processo patogenetico e dei parametri climatici che lo influenzano



BIBLIOGRAFIA

P.Battilani, V.Rossi, P.Racca, S.Giosuè - ONIMIL, a forecaster for primary infection of downy mildew of onion. Bulletin OEPP/EPP Bulletin 26, 567-576 (1996). P.Battilani, P.Racca, V.Rossi, S.Giosuè, R.Roberti, P.Flori - Validation of ONIMIL, a forecaster for primary infection of downy mildew on onion. Proceedings of the workshop on Decision Systems in crop protection - Munster (D) 4-8 November 1996, SP Report n°15, October 1996.

P.Battilani, R.Bottazzi, P.Racca, V.Rossi - Ruolo dello stadio fenologico della cipolla nella previsione delle infezioni primarie di *Peronospora destructor*. Atti Giornate Fitopatologiche, 637-642, (1998)

P.Battilani, V.Rossi, P.Racca, S.Giosuè - A warning system for downy mildew infection on onion. Atti del 7th International Congress of Plant Pathology, Edimburgh (UK), Abstr. 3.1.24, (1998)

IL MODELLO A-SCAB

Malattia: Ticchiolatura del melo

Patogeno: *Venturia inaequalis* (Cooke) Winter

INPUT

- temperatura oraria e giornaliera media (T°)
- bagnatura (h)
- pioggia (mm)

OUTPUT

- data di inizio rischio emissione ascospore
- percentuale di spore emesse ad ogni evento piovoso (D = differenza fra il valore di PAT (dose potenziale ascosporica) odierno e quello di PAT relativo all'emissione precedente)
- rischio di infezioni primarie
- durata incubazione della malattia
- data comparsa dei sintomi

Come funziona A-SCAB

Il modello stima il livello di rischio di infezione primaria calcolando lo sviluppo pseudotecici (Fig. 5) e l'emissione delle ascospore (Fig. 6). Successivamente, ad ogni rilascio ascosporico, viene calcolato un indice di rischio infettivo, e il necessario periodo di incubazione che deve intercorrere prima della comparsa dei sintomi.

FASE 1 : RISCHIO ASCOSPORICO

I livelli di rischio di emissione di ascospore stimati sono 3:

- rischio assente - le ascospore non sono ancora mature
- rischio reale - le ascospore possono essere rilasciate ogni qualvolta si verificano eventi piovosi
- rischio esaurito - le ascospore sono state tutte rilasciate

Ciascun livello di rischio viene calcolato mediante due modelli matematici basati su parametri meteorologici.

Un **primo modello**, elaborato da James e Sutton nel 1982 e successivamente modificato da Mancini nel 1984 per adattarlo alle condizioni climatiche del Nord-Italia, stima lo sviluppo degli pseudotecici svernanti e la maturazione delle ascospore. Lo sviluppo degli pseudotecici (ST) viene calcolato in funzione della temperatura media dell'aria, e dal deficit di pressione idrico (calcolato indirettamente in base a umidità relativa e temperatura). In pratica il modello descrive, a partire dal 1° febbraio, l'influenza della temperatura sullo sviluppo degli pseudotecici quando l'umidità della lettiera di foglie infette cadute a terra non limita lo sviluppo fungino e, allo stesso tempo, tiene conto dell'effetto limitante della siccità sullo sviluppo degli pseudotecici.

Il **secondo modello** stima la proporzione di ascospore mature e pronte per essere rilasciate ad ogni evento piovoso. In tale modello una curva matematica logistica descrive la relazione che esiste tra la percentuale di ascospore emesse e i GradiGiorno accumulati. Anche in questo caso le variabili climatiche sono rappresentate dalla temperatura e dalla bagnatura: le unità termiche vengono accumulate solo quando la temperatura è superiore a 0° e le foglie risultano bagnate.

Rischio Assente

Il rischio di emissione ascosporica è assente quando $PAT < 0,016$.

Rischio Reale e Presente

Il rischio diventa presente quando il valore di $PAT \geq 0,016$; le ascospore quindi sono mature e pronte per essere rilasciate. Il rischio da presente diventa reale quando le ascospore sono liberate dagli pseudotecii, quando cioè si verifica un evento piovoso anche se di pochi mm. La percentuale di ascospore rilasciate ad ogni evento viene calcolato usando il valore di PAT stimato dal modello in corrispondenza dell'evento piovoso, sottraendo la percentuale del PAT accumulata al rilascio precedente.

Rischio Esaurito

Si entra in questa fase quando il valore di $PAT \geq 0,99$; In pratica tutto il potenziale di inoculo del patogeno è stato rilasciato nel frutteto e non vi sono più ascospore mature in grado di dare origine ad infezioni primarie. In questo caso, se non vi sono infezioni di ticchiolatura in atto nel frutteto.

FASE 2: RISCHIO DI INFEZIONE PRIMARIA

Il modello previsionale A-SCAB calcola ad ogni rilascio ascosporico la probabilità di infezione tenendo conto della quantità di ascospore rilasciate, dalla infettività (cioè dalla capacità di queste di germinare e causare infezione) e dalla quantità di tessuto vegetale suscettibile disponibile (calcolato in base ad un sotto modello di accrescimento fogliare) (Fig. 7), e infine dalla temperatura e dalla durata del periodo di bagnatura (Fig. 8).

Come si utilizza A-SCAB

Il modello è in grado di determinare il PAT (Dose Potenziale Ascosporica) giornaliero e i vari livelli di rischio di rilascio ascosporico.

Fig. 5. Ticchiolatura del melo – maturazione ascospore

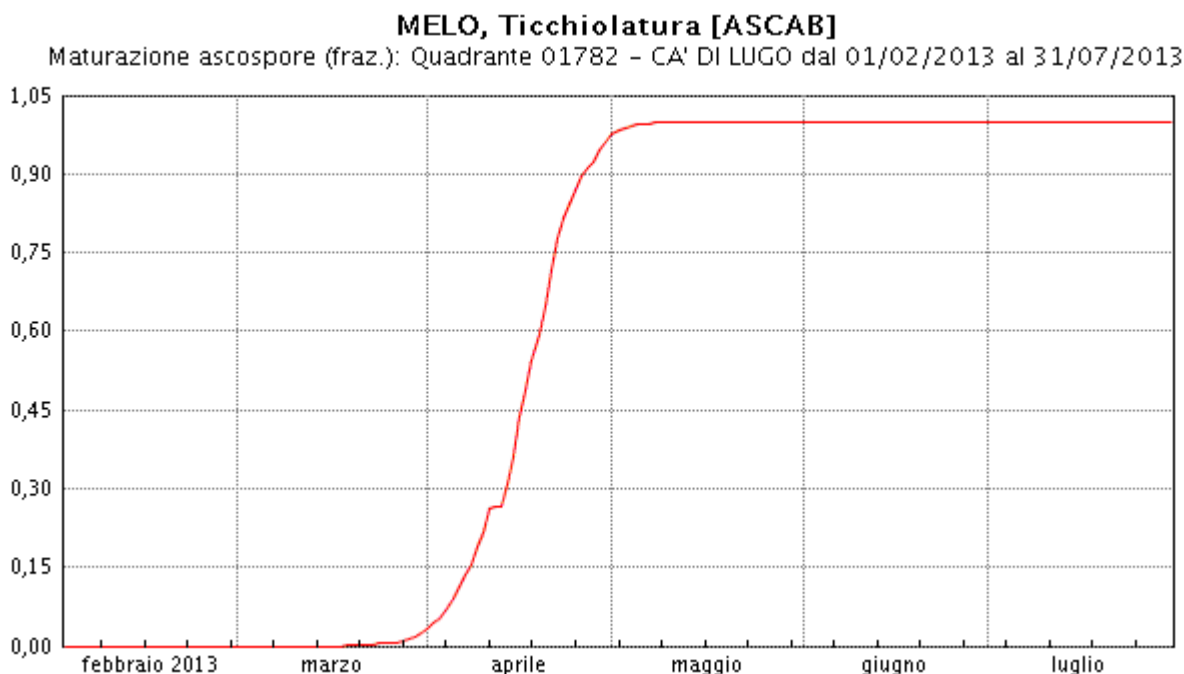


Fig. 6. Ticchiolatura del melo - Rilascio ascospore

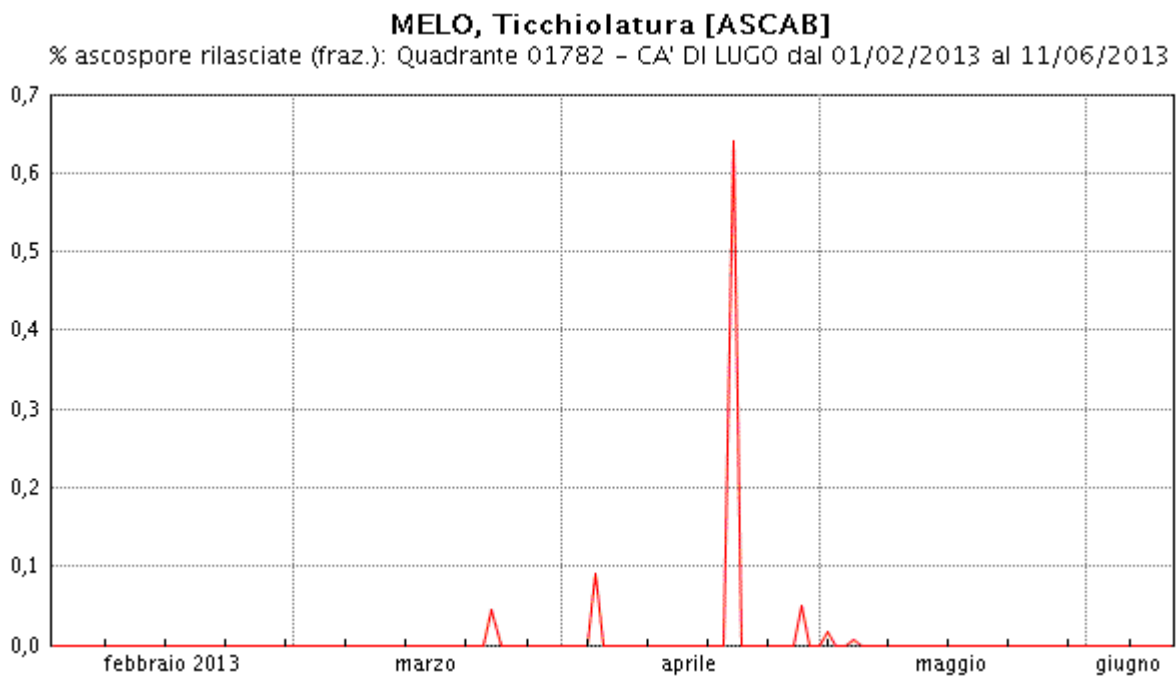


Fig. 7. Ticchiolatura del melo - Indice Risk (rischio infettivo)

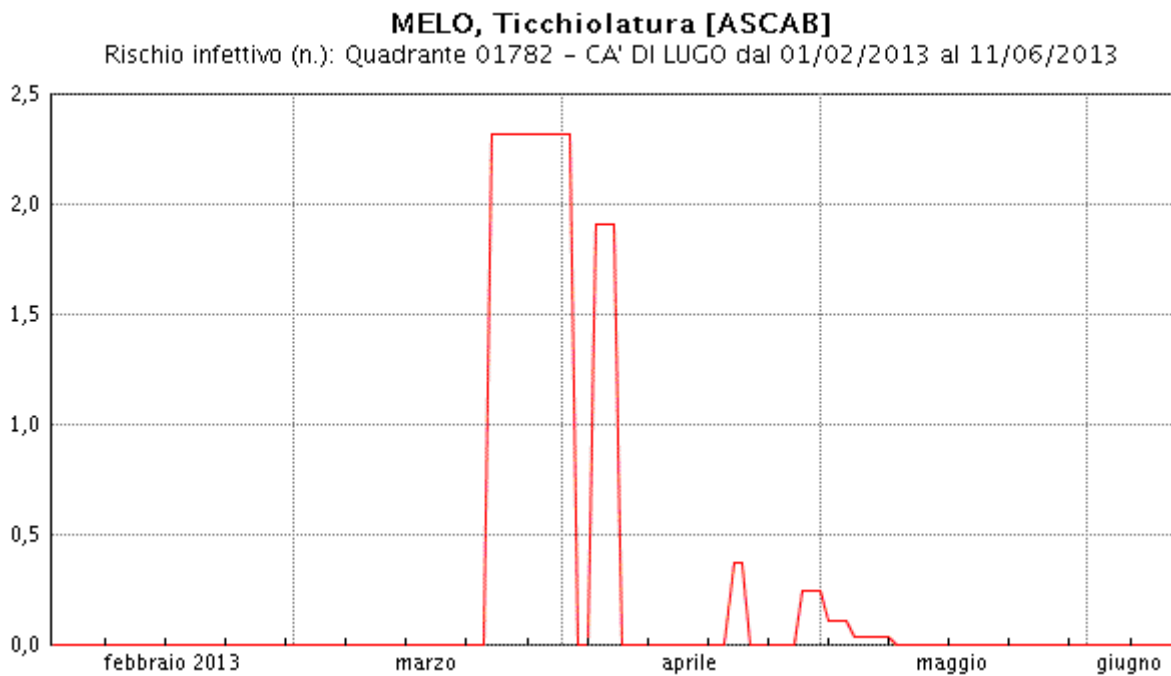
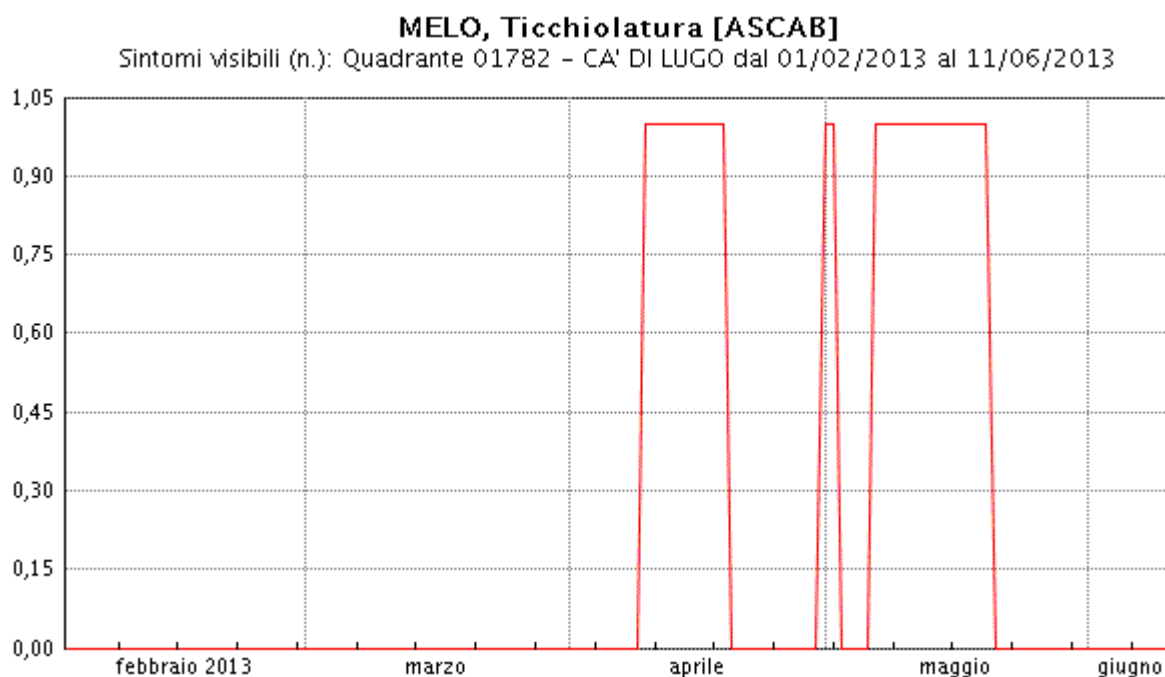


Fig. 8. Ticchiolatura del melo - Periodo di comparsa dei sintomi



BIBLIOGRAFIA

W.D. Mills - Efficient use of sulfur dusts and sprays during rain to control apple scab. Cornell Extension Bulletin 630, 1-4 (1944).

G. Mancini, A. Cotroneo, A. Galliano - Evaluation of two models for predicting ascospore maturation of *Venturia inaequalis* in Piedmont (NW Italy) Rivista di Patologia Vegetale 20,25-37 (1984).

W.E. MacHardy, D.M. Gadoury - A revision of Mill's criteria for predicting apple scab infection period. Phytopathology 79, 304-310 (1989).

V. Rossi, I. Ponti, M. Marinelli, S. Giosuè, R. Bugiani - Field evaluation of some models estimating the seasonal pattern of air-borne ascospores of the *Venturia inaequalis*. Journal of Phytopathology 147, 567-575 (1999).

S. Giosuè, V. Rossi, I. Ponti, R. Bugiani - Estimating the dynamic of air-borne ascospores of the apple scab pathogen *Venturia inaequalis*. OEPP/EPPPO Bulletin 30, p. 137-142 (2000).

V. Rossi, I. Ponti, M. Marinelli, S. Giosuè, R. Bugiani - A new model estimating the seasonal pattern of air-borne ascospores of the *Venturia inaequalis* (Cooke) Wint. In relation to weather condition. Journal of Plant Pathology, 82 (2), 111-118 (2000).

V. Rossi, I. Ponti, M. Marinelli, S. Giosuè, R. Bugiani - Environmental factors influencing the dispersal of *Venturia inaequalis* ascospores in the orchard air. Journal of Phytopathology 149, 11-19 (2001).

V. Rossi, S. Giosuè, I. Ponti, R. Bugiani - Accuracy of a model simulating the dynamic of apple scab primary inoculum in the orchard. Integrated Fruit Production IOBC /wprs Bulletin Vol. 24 (5), 283-288 (2001).

Modelli POWPRI

Malattia: oidio del frumento

Patogeno: *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici*

INPUT

- temperatura oraria (°C)
- umidità relativa oraria (%)
- precipitazione oraria (mm)
- bagnatura fogliare oraria (min)

OUTPUT

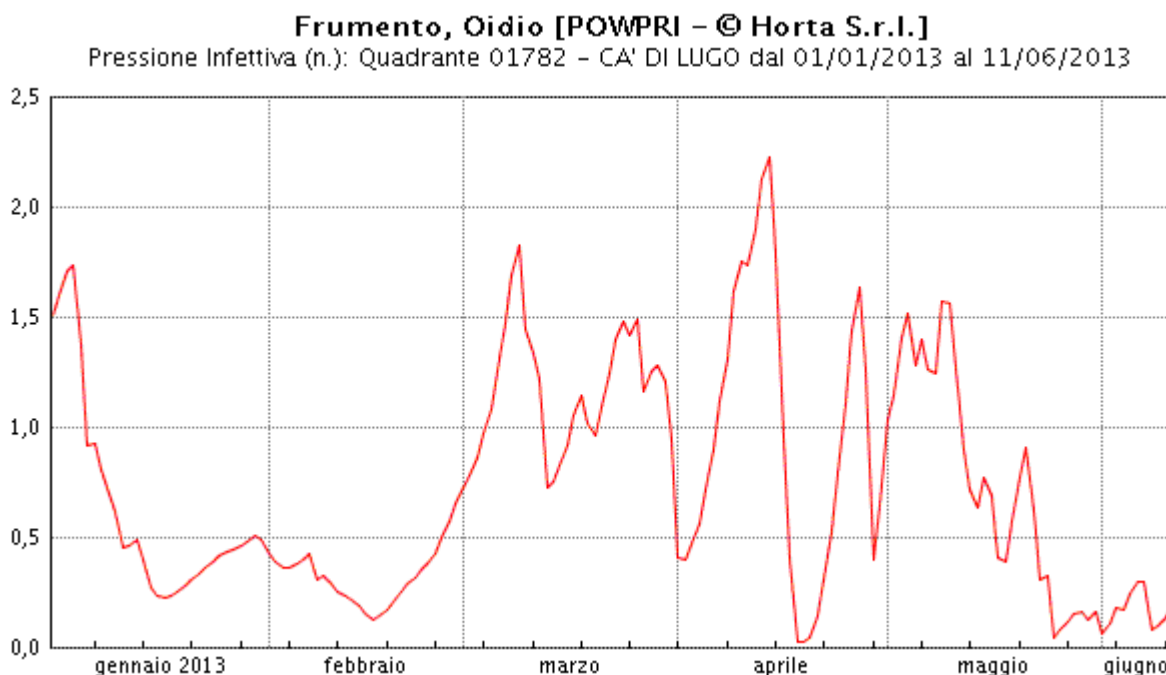
Determina la pressione infettiva del patogeno nel corso dell'annata.

COME FUNZIONA

E' composto da sottomodelli che simulano le diverse fasi del ciclo biologico di *Erysiphe graminis* f.sp. *tritici* i cui elementi considerati nell'insieme arrivano a simulare la pressione infettiva del patogeno e il suo rischio infettivo (Fig. 9):

- sporulazione
- infezione
- tasso di crescita delle pustole
- incubazione e latenza
- infettività

Fig. 9. Oidio del frumento - Pressione infettiva



BIBLIOGRAFIA

V. Rossi, S. Giosuè, P. Racca - "Modelling the effect of weather on wheat powdery mildew". Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica 35 (1-4), 323-332 (2000).

V. Rossi, S. Giosuè, P. Racca - "Relationships between epidemiological parameters of *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici* under fluctuating weather conditions". Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica 35 (1-4), 333-341 (2000).

IL MODELLO RUSTPRI

Malattia: ruggine bruna del frumento

Patogeno: *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*

INPUT

- temperatura oraria (°C)
- umidità relativa oraria (%)
- precipitazione oraria (mm)
- bagnatura fogliare oraria (h)

OUTPUT

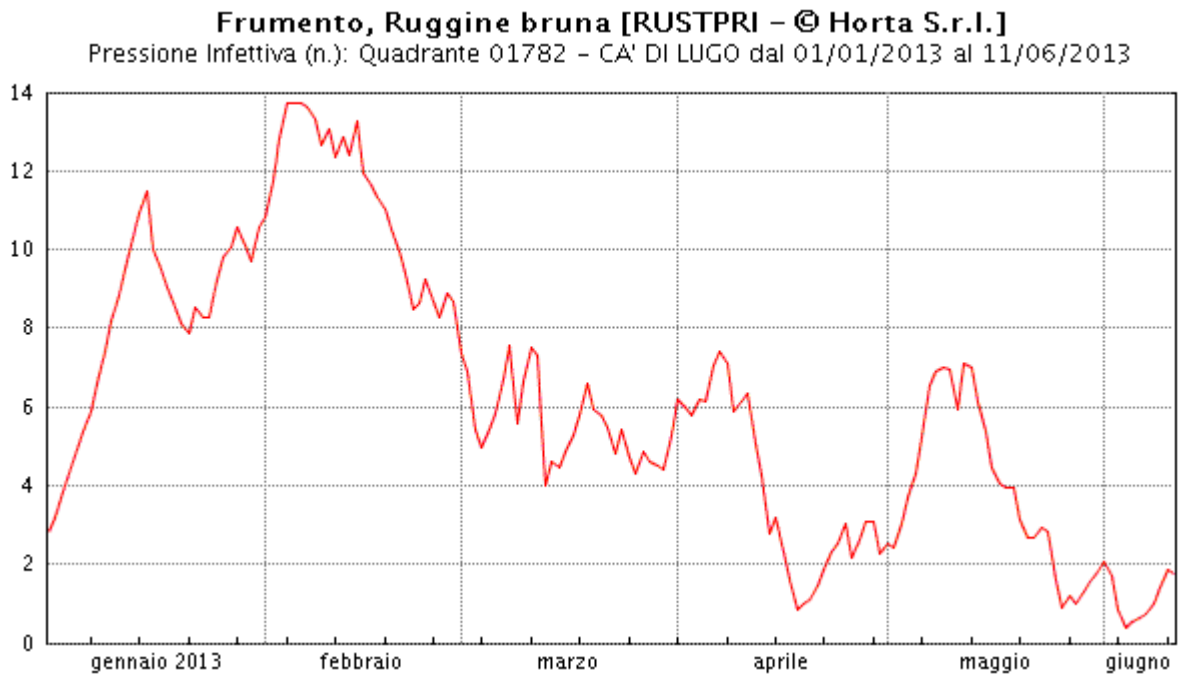
Pressione infettiva del patogeno

COME FUNZIONA

Il modello simula in modo soddisfacente il verificarsi delle infezioni primarie di ruggine.

Consente di determinare la pressione infettiva in funzione della percentuale di uredospore che può infettare le foglie (Fig. 10)

Fig. 10. Ruggine bruna del frumento - Pressione infettiva



IL

BIBLIOGRAFIA

V. Rossi, P. Racca, D. Pancaldi, I. Alberti - "Appearance of *Puccinia recondita* f.sp. *tritici* on winter wheat: a simulation model". Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 26, 555-566 (1996)

V. Rossi, P. Racca, S. Giosuè, D. Pancaldi, I. Alberti - "A simulation model for the development of brown rust epidemics in winter wheat". European Journal of Plant Pathology 103, 453-465 (1997)

IL MODELLO YELDEP

Malattia: ruggine gialla del frumento

Patogeno: *Puccinia striiformis f. sp. tritici*

INPUT

- temperatura oraria (°C)
- umidità relativa oraria (%)
- precipitazione oraria (mm)
- bagnatura fogliare oraria (h)

OUTPUT

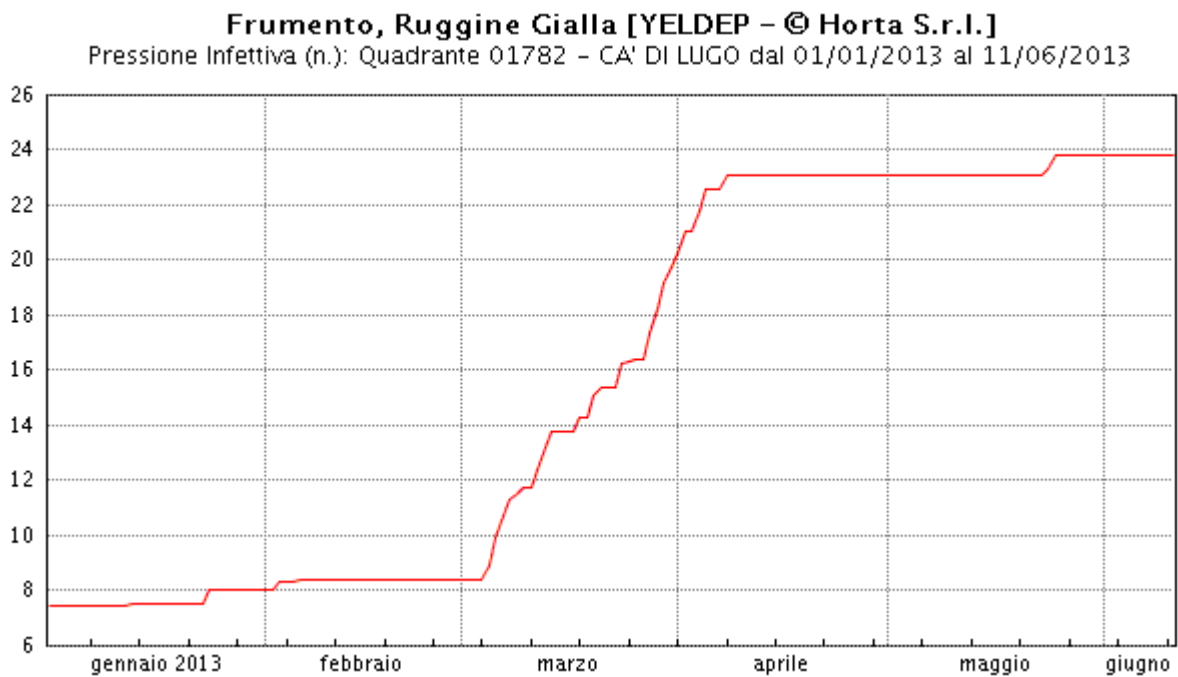
Pressione infettiva del patogeno

COME FUNZIONA

Il modello simula in modo soddisfacente il verificarsi delle infezioni primarie di ruggine gialla.

Consente di determinare la pressione infettiva (Fig. 11) in funzione della percentuale di uredospore che può infettare le foglie.

Fig. 11. Ruggine gialla del frumento - Pressione infettiva



IL MODELLO FHB-WHEAT

Malattia: fusariosi della spiga

Patogeno: *Fusarium* spp.

INPUT

- temperatura oraria (°C)
- umidità relativa oraria (%)
- precipitazione oraria (mm)
- bagnatura fogliare oraria (h)

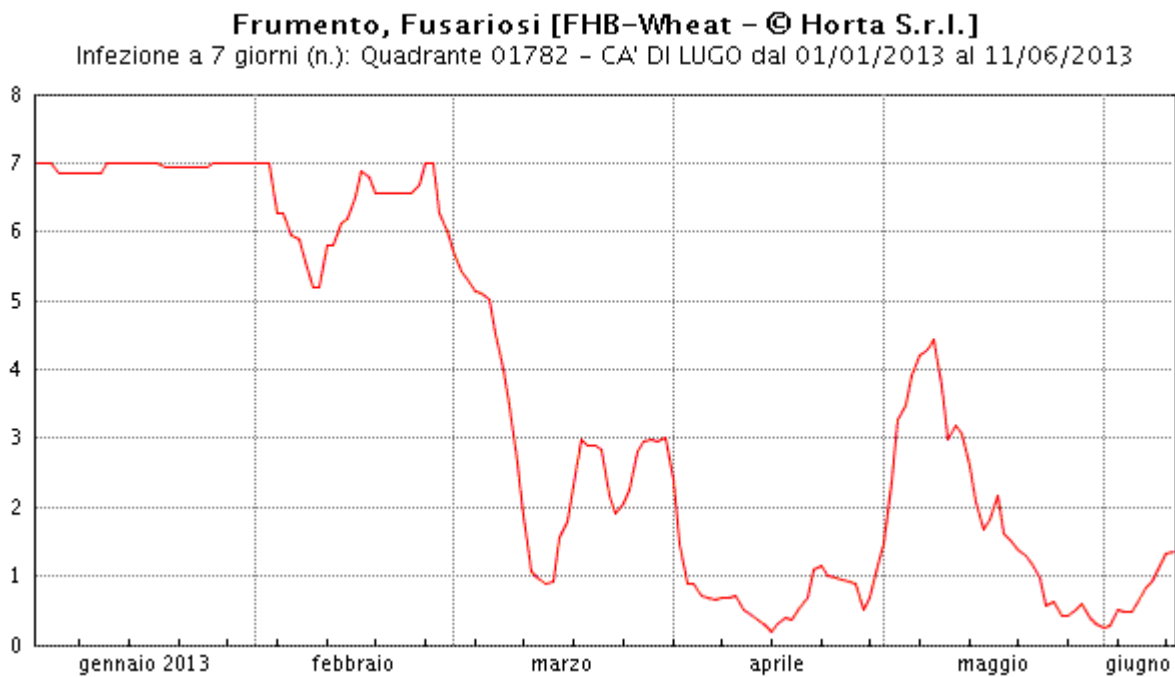
OUTPUT

Rischio infettivo a 7 giorni

COME FUNZIONA

Il modello simula in modo soddisfacente il verificarsi delle infezioni di fusariosi della spiga a 7 giorni dalla sua comparsa in campo (Fig. 12), in funzione dei parametri meteorologici che simulano ogni evento del ciclo biologico del patogeno e del periodo di incubazione che impiega ogni evento infettivo.

Fig. 12. Fusariosi del frumento



IL MODELLO SEPTORIA

Malattia: Septoriosi

Patogeno: *Stagonosporum nodorum* (SN) & *Septoria tritici* (ST)

INPUT

- temperatura oraria (°C)
- umidità relativa oraria (%)
- precipitazione oraria (mm)
- bagnatura fogliare oraria (h)

OUTPUT

Pressione infettiva (Fig. 13)

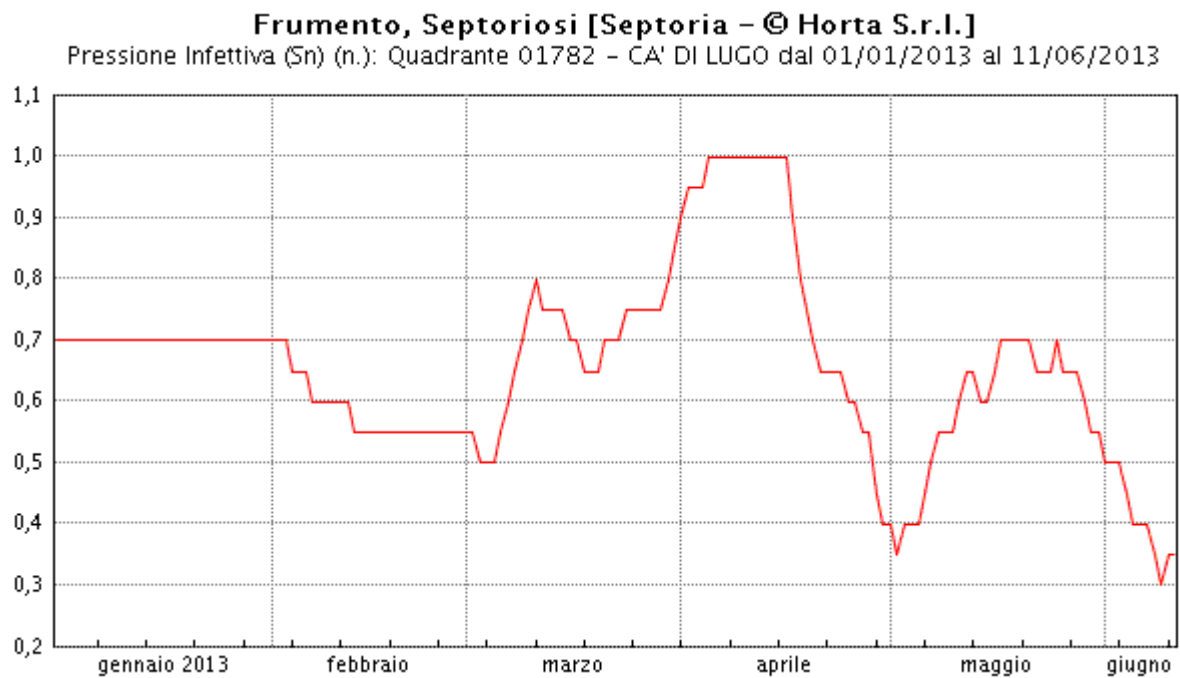
COME FUNZIONA

Il modello, ancora in fase di validazione, simula il ciclo biologico dei due patogeni:

- la pressione infettiva invernale dei due patogeni (SN & ST) in funzione dei parametri meteorologici
- la dispersione (la percentuale di conidi ad ogni evento piovoso)
- l'infezione (SN & ST)

Il risultato finale è la determinazione della pressione infettiva nel corso dell'annata.

Fig. 13. Septoriosi del frumento - Pressione infettiva



MODELLO COUGARBLIGHT

Malattia: Colpo di fuoco batterico Patogeno:
Patogeno: *Erwinia amylovora* (Burrill) Winslow *et al.*

Questa pagina è stata in parte tradotta dalla versione americana 2001 del modello previsionale gentilmente messa a disposizione dal Dr. T. J. Smith (Washington State University, 303 Palouse Street, Wenatchee, Washington 98801, USA) autore del modello previsionale stesso.

Si può consultare in lingua originale nel sito dell'Extension Service della Washington State University.

DATI METEOROLOGICI UTILIZZATI

- Temperatura oraria (°C)
- Pioggia (mm)

INPUT

Ambientale:

T = temperatura oraria dell'aria

R = precipitazioni orarie o giornaliere

Colturale:

Data della presenza dei primi fiori aperti nel frutteto o nell'area

OUTPUT

Indice di Rischio Infettivo

Il modello fornisce indicazioni sul rischio di infezione fiorale di colpo di fuoco e pertanto va applicato a partire dalla presenza dei primi fiori aperti nel frutteto. Il pericolo di colpo di fuoco varia da frutteto a frutteto e, nel tempo anche all'interno di ogni singolo impianto. Per stimare il rischio di infezione fiorale durante tutto il periodo primaverile ed estivo, il modello COUGARBLIGHT considera i seguenti fattori:

- **fioritura:** Il numero potenziale di infezioni è fortemente influenzato dal numero di fiori presenti nel frutteto e dalle fioriture secondarie che si producono successivamente nel corso della stagione sulle varietà suscettibili. Le piante più giovani, quelle a maggiore vigoria e le varietà suscettibili sono ad alto rischio, dato che le infezioni possono causare danni estesi e strutturali alla pianta fino a portarla alla morte.
- **storia recente del Colpo di Fuoco:** Le contaminazioni batteriche dei fiori avvengono molto più rapidamente se vi sono cancri attivi nelle vicinanze. L'esperienza dimostra che il rischio di infezione aumenta se la malattia è comparsa recentemente nell'area, anche se il cancro è stato (apparentemente) rimosso. Si deve quindi tenere ben presente la storia recente della malattia nell'area attorno al proprio frutteto e utilizzare la soglia di rischio più appropriata.
- **condizioni predisponenti il processo infettivo:** Il batterio può vivere solo pochi giorni (3-5) sui fiori. Perché avvenga l'infezione è necessario che si verifichino condizioni di temperatura favorevoli alla moltiplicazione dei batteri sugli stigmi dei fiori di pero e melo. Questa crescita è dipendente dalla temperatura. Il modello stima il tasso di crescita delle colonie batteriche in base ai gradi-ora (G. O.) accumulati nelle giornate con temperature superiori ai 15.5°C (Tab. 7). La crescita stimata fa riferimento ad una specifica curva di crescita ottenuta in laboratorio. Temperature più elevate permettono al batterio di svilupparsi più rapidamente.
- La bagnatura dei fiori da sola non è in grado di provocare l'infezione, ma se le recenti temperature sono state in grado di favorire una rapida moltiplicazione batterica, la bagnatura diventa l'evento scatenante l'infezione fiorale. L'infezione è rara quando i G. O. totalizzati raggiungono una soglia "bassa" o "marginale", diventa invece probabile quando viene raggiunta o superata la soglia di "alto rischio". Gravi infezioni possono avvenire anche senza un apparente periodo predisponente se l'indice di rischio è vicino o supera la soglia di "rischio elevato".

VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Il calcolo dei G. O. risulta più accurato se si prendono in considerazione le temperature orarie per le 96 ore precedenti alle 3 ore di bagnatura minima fiorale. Se non si dispone del dato termico rilevato da stazioni meteorologiche automatiche, si può calcolare il rischio di infezione fiorale impiegando i valori di temperatura massima e minima (i G. O. stimati con questo criterio possono variare approssimativamente del 10%) Tavola per la stima dei Gradi-ora giornalieri (Tab. 3).

Il tecnico o l'agricoltore, a seconda della storia epidemiologica del frutteto o dell'area di coltivazione di sua conoscenza è in grado di valutare il grado di rischio infettivo a cui potrebbero essere esposte le piante e intensificare o meno i controlli per eliminare opportunamente gli organi infetti o i fiori secondari. Se le previsioni sono accurate, è possibile determinare se i G. O. cumulati nei 4 giorni siano da considerarsi pericolosi (tab. 4).

Tab. 3 Esempio di simulazione di una infezione di colpo di fuoco

	T. max.	T. min.	G.O. giornalieri	
3 giorni prima	21	9	28	
2 giorni prima	28	11	150	
ieri	28	8	129	
Previsione Odierna	25	10	94	
		Valore cumulato di 4 giorni:	401	Fiori bagnati?

Tabella 4. Colpo di fuoco batterico - Soglie di rischio relative ai G. O. cumulati di 4 giorni

SOGLIE DI RISCHIO RELATIVE AI G. O. CUMULATI DI 4 GIORNI

Presenza potenziale del patogeno	Livello di rischio			
	basso	medio	alto	estremo
Nessun focolaio nell'area l'anno passato	0 - 200	200 - 270	270 - 430	> 430
Presenza di focolai nel frutteto o in quelli vicini l'anno passato	0 - 110	110 - 200	200 - 270	> 270
Cancri al momento attivi nel frutteto o in quelli vicini	0 - 30	30 - 110	110 - 200	> 200

Le esperienze condotte in questi ultimi anni in Emilia-Romagna hanno evidenziato che nei nostri comprensori le condizioni climatiche spesso non sono favorevoli all' infezione nel periodo della fioritura primaria di pero, mentre lo possono essere in concomitanza di fioriture secondarie.

Nelle nostre condizioni climatiche la comparsa dei sintomi avviene circa 1-2 settimane dopo l'avvenuta infezione, mentre il periodo di incubazione per infezioni determinate da grandinate può arrivare ad essere di pochi giorni.

Condizioni predisponenti il processo infettivo: curva di crescita

Tab. 5. Modello Cougarblight- Tavola per la stima dei gradi-ora giornalieri

T. max giornaliera	Se la T. min. è <=9.40	Se la T. min. è >=9.41
15.6	0	0
17	2	6
18	7	14
18.5	9	17
19	12	20
19.5	15	24
20	18	28
20.5	23	32
21	28	37
21.5	32	42
22	39	48
22.5	44	54
23	51	61
23.5	58	70
24	66	76
24.5	73	84
25	81	94
25.5	90	105
26	97	114
26.5	106	124
27	114	134
27.5	122	142
28	129	150

28.5	137	158
29	144	163
29.5	148	168
30	152	172
30.5	155	175
31	158	177
32.5	161	182
33	160	181
33.5	159	179
34	157	177
34.5	155	175
35	152	172
35.5	149	169
36	145	163
36.5	142	161
37	138	158
37.5	134	155
38	130	151
38.5	126	147
39	122	143
39.5	118	139
40	115	135
40.5	-	130
41	-	125
41.5	-	120
42	-	115
42.5	-	110
43	-	104
43.5	-	98
44	-	92
44.5	-	86
45	-	78
45.5	-	70

BSP-CAST (BROWN SPOT PEAR CAST)

Malattia: maculatura bruna del pero

Patogeno: *Stemphylium vesicarium*

DATI METEOROLOGICI UTILIZZATI

- Periodo di bagnatura (h)
- Temperatura oraria (°C)

INPUT

Ambientale:

T = Temperatura media del periodo di bagnatura

W = N° di ore di bagnatura giornaliera

Calcolato:

S = Indice di gravità della malattia giornaliero

R = Indice di rischio infettivo giornaliero

OUTPUT

CR = Indice di rischio infettivo cumulato

DESCRIZIONE

Premessa - Gli studi epidemiologici sulla maculatura bruna del pero cominciarono alla fine degli anni '80, sia in Spagna presso l'Università di Girona, sia in Italia, in particolare presso l'Università di Bologna e il Servizio Fitosanitario della Regione Emilia-Romagna. In particolare i primi tentativi di modellizzare lo sviluppo del patogeno e di prevedere i periodi di rischio infettivo, sono stati compiuti adattando il modello denominato FAST. Tale modello previsionale fu messo a punto negli Stati Uniti e dedicato alla previsione del rischio di comparsa dell'Alternariosi del pomodoro causata da *Alternaria solani*. Sfortunatamente il tentativo sebbene permise di comprendere i fattori che influenzano maggiormente l'evento infettivo di *S. vesicarium*, non furono altrettanto validi nel prevedere con sufficiente accuratezza i momenti di rischio infettivo durante la stagione vegetativa. Sempre nei primi anni '90 negli Stati Uniti, si pervenne alla definizione dei parametri climatici di bagnatura fogliare e temperatura che erano alla base delle infezioni di *Alternaria mali* su melo. Fu anche sulla base di questi risultati che in Spagna, sono quindi stati determinati i periodi ininterrotti di bagnatura fogliare e i valori di temperatura durante tale periodo, che erano in grado di dare avvio al processo infettivo.

Attraverso sia prove di laboratorio che di campo, nelle quali tali parametri climatici venivano correlati al grado di gravità della malattia, si è arrivati alla determinazione dei valori ottimali per l'infezione di foglie e frutti di pero suscettibili (Fig. 13) e successivamente a definire le classi di gravità potenziale di malattia stimata in funzione dei parametri climatici (Fig. 14). BSP-Cast è un modello di tipo empirico in grado di determinare quando le condizioni ambientali risultano favorevoli per le infezioni di pero da parte di *S.vesicarium* e per lo sviluppo della malattia.

Il modello elabora i dati di input di durata di bagnatura fogliare (W) e di temperatura media durante tale periodo (T) a partire dalle ore 08.00 fino alle ore 08.00 del giorno successivo, e restituisce un valore di gravità della malattia secondo l'equazione

$$\log_{10}(S)=f(T,W)$$

Tale valore viene diviso per il valore di gravità massimo ottenibile ai valori ottimali di bagnatura e temperatura (pari a 3.7942), restituendo quindi un indice di rischio (R) che varia da 0 a 1.

$$\text{Indice di rischio (R)} = S/3.7942$$

Il CR, ovvero l'indice di rischio cumulato, viene calcolato totalizzando i valori R degli ultimi 3 giorni. Tale indice così ottenuto, viene di fatto utilizzato come soglia di intervento per i trattamenti fungicidi consigliati. I parametri R e CR vengono calcolati giornalmente (Fig. 15). Il momento più opportuno per iniziare la consultazione ricade ovviamente nel periodo di aprile - maggio in cui le piante cominciano ad essere maggiormente suscettibili alla malattia.

Il modello BSPCast può risultare utile non tanto per determinare il momento più opportuno di effettuare un eventuale trattamento, bensì per evidenziare i periodi a basso rischio e quindi aumentare l'intervallo tra un trattamento e il successivo.

Soglia di intervento

Le soglie di intervento migliori, in grado quindi di ridurre il numero di trattamenti mantenendo al contempo inalterata la resa produttiva, oscillano tra il valore 0.4 e 0.5 sia quando sono state applicate in prove parcellari che a livello aziendale. La soglia pari a 0.6 risulta dare buoni risultati in presenza di bassa pressione della malattia.

Il Servizio di Avvertimento della Regione Emilia-Romagna, a seguito delle sperimentazioni effettuate nel territorio regionale, utilizza la soglia 0.5.

VALIDAZIONE

Il modello previsionale elaborato sulla base di questi parametri è stato validato sia in Italia che in Spagna nel biennio 1993-1994 (Montesinos et al, 1995). Ulteriori validazioni sono state effettuate in Italia e in Spagna in complessive 11 sperimentazioni dal 1995 al 1997 (Llorente et al, 2000).

LIMITI

Il maggiore limite del modello è rappresentato dalla mancanza di efficaci p.a. curativi contro la maculatura bruna. Ciò nonostante le prove sperimentali hanno dimostrato l'efficacia dell'utilizzo del modello previsionale con le s.a. oggi disponibili

Fig. 13. Gravità delle infezioni di maculatura bruna in funzione di temperatura e durata del periodo di bagnatura (A) Gravità della malattia su frutti di pero inoculati con conidi di *S. vesicarium* a diverse temperature e durate della bagnatura.

(B) Superficie di risposta basata sull'equazione del modello che prevede il numero di lesioni per frutto. (da Montesinos et al., 1995)

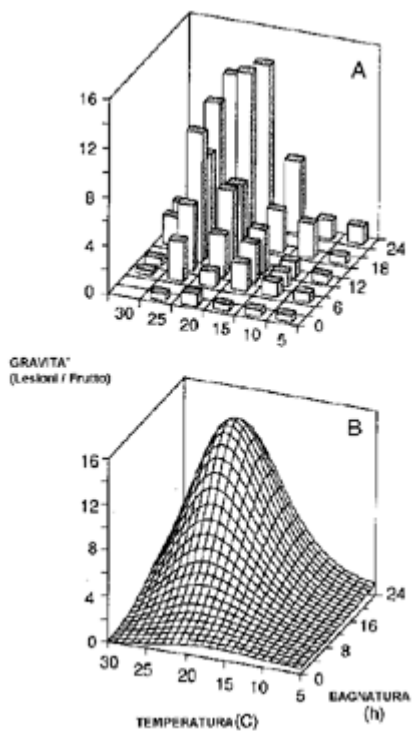


Fig. 14. Maculatura bruna del pero - Classi di gravità potenziale delle infezioni di maculatura bruna in funzione della temperatura e delle ore di bagnatura. (N = nessun rischio; L = infezione leggera; M = infezione media; G = infezione grave;)(da Montesinos *et al.*, 1995)

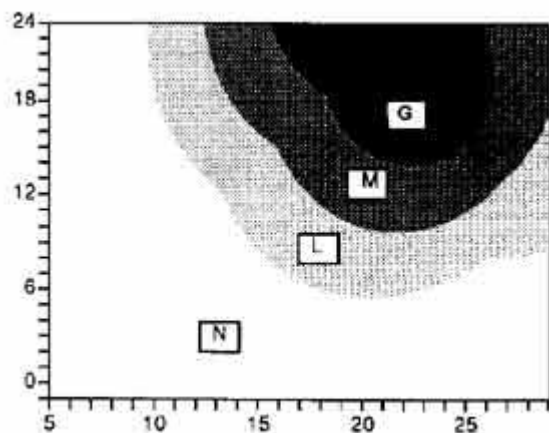
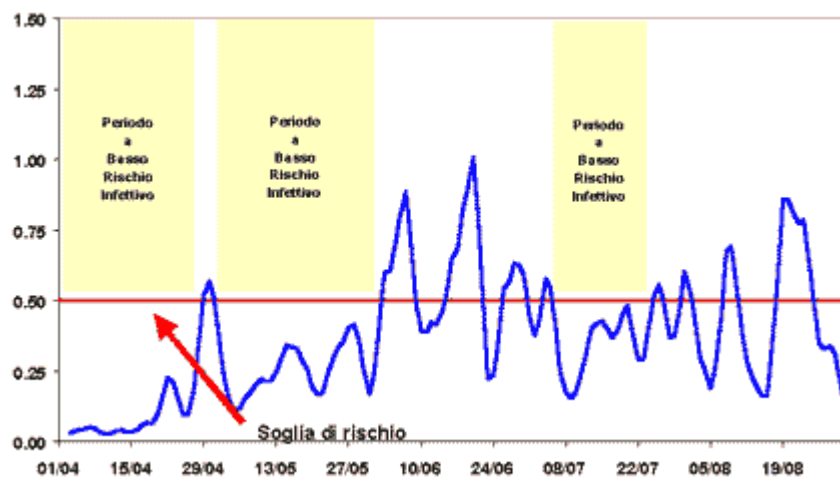


Fig. 15. Maculatura bruna del pero -Indice di rischio infettivo del modello BSP-cast



BIBLIOGRAFIA

Montesinos, E., Moragrega, C., Llorente, I., Vilardell, P., Bonaterra, A., Ponti, I., Bugiani, R., Cavanni, P., Brunelli, A., 1995. **Development and evaluation of an infection model for *Stemphylium vesicarium* on pear based on temperature and wetness duration.** *Phytopathology* 85: 586-592.

Llorente I., Vilardell P., Bugiani R., Gherardi I., Montesinos E., 2000. **Evaluation of BSPcast Disease Warning System in reduced fungicide use programs for management of brown spot of pear.** *Plant Dis.* 84: 631-637.
 Fig. 1. (A) Gravità della malattia su frutti di pero inoculati con conidi di *S. vesicarium* a diverse temperature e durate della bagnatura. (B) Superficie di risposta basata sull'equazione del modello che prevede il numero di lesioni per frutto. (da Montesinos *et al.*, 1995)

I MODELLI IPI E MISP

Malattia: peronospora della patata e del pomodoro

Patogeno: *Phytophthora infestans*

INPUT

- temperatura oraria (°C)
- umidità relativa oraria (%)
- precipitazione oraria (mm)

OUTPUT

Periodi cruciali per lo sviluppo epidemico: esecuzione dei trattamenti successivi al primo su patata.

Per prevedere la comparsa e l'evoluzione di infezioni di peronospora su patata e pomodoro, in Emilia-Romagna vengono impiegati questi due modelli a base climatica.

Il modello IPI stabilisce se e quando dare inizio ai trattamenti antiperonosporici, sulla base di parametri climatici. E' stato messo a punto nel 1990 per l'Emilia-Romagna dal Servizio fitosanitario regionale e viene integrato dal Modello MISP (Main Infection and Sporulation Period) elaborato in Svizzera, che fornisce indicazioni sui successivi momenti infettivi.

MODELLO IPI

Il modello IPI (Indice Potenziale Infettivo) valuta la probabile evoluzione nel tempo del potenziale infettivo di *Phytophthora infestans* nell'ambiente. E' un modello "a prognosi negativa", in quanto non indica con precisione la data di comparsa della malattia, ma individua un periodo di tempo in cui è improbabile la manifestazione della malattia in campo e di conseguenza inutili eventuali trattamenti.

INPUT

- data di emergenza o trapianto della coltura
- temperatura minima, media e massima giornaliera (°C)
- umidità relativa media giornaliera (%)
- precipitazione totale giornaliera (mm)

OUTPUT

- indice di rischio potenziale giornaliero cumulato
- data di superamento della soglia di alto rischio: esecuzione del primo trattamento su patata e pomodoro

COME FUNZIONA IPI

Si è cercato di tradurre le conoscenze sulla biologia del fungo in relazioni matematiche nelle quali i valori di temperatura, umidità relativa e pioggia sono stati trasformati in valori numerici che aumentano via via che il parametro considerato si avvicina ai valori ottimali per la crescita e la moltiplicazione del patogeno.

I valori minimi presi in considerazione dal modello sono:

- temperatura minima giornaliera > 7°C
- pioggia totale giornaliera 0.2 mm oppure U. R. media giornaliera 79%

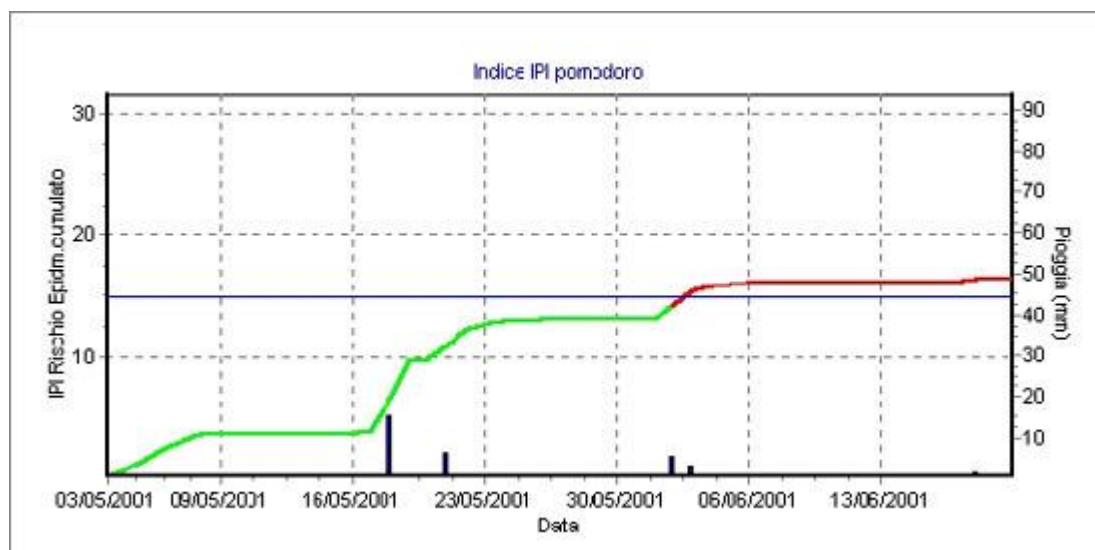
Il modello è costituito da 3 diverse funzioni per i tre parametri climatici considerati. Ciascuna di queste dà un indice numerico che può variare da 0 ad 1 (T e U. R.) oppure da 0 a 3 (pioggia). Questi 3 indici vengono poi correlati tra loro per la determinazione di un indice giornaliero che misura l'incremento probabile della carica d'inoculo nell'ambiente per effetto dei fattori climatici utilizzati, secondo questa formula:

$$I.P.I.g = IT \times IPg \text{ o } IUR$$

Quando sia IPg sia IUR sono > 0, il modello tiene conto dell'indice di valore più elevato.

L'indice di rischio giornaliero viene progressivamente cumulato a partire dalla data di piena emergenza o di trapianto della coltura, fino ad arrivare ad una determinata soglia di rischio, corrispondente al valore IPI cumulato = 15 per il pomodoro e 10 per la patata. Il modello distingue due fasi: la prima a basso rischio epidemico comprende l'arco di tempo nel quale l'indice si mantiene al di sotto del valore soglia; la seconda ad alto rischio a seguito del superamento della soglia stessa (Fig. 16).

Fig. 16. Peronospora della patata e del pomodoro - Output del modello IPI: indice di rischio cumulato



Legenda:

linea blu: soglia di rischio

verde: valori al di sotto della soglia

rossa: soglia superata

IL MODELLO PREVISIONALE MISP

Il modello MISP è stato messo a punto dalla Stazione di ricerca per l'Agroecologia e l'Agricoltura di Zurigo. Scopo del modello è individuare i momenti di sviluppo delle epidemie di peronospora della patata.

Il modello individua come giorno favorevole per il realizzarsi di un'infezione di peronospora un periodo di 24 ore con almeno 6 ore di pioggia, 6 ore consecutive con umidità relativa >90% e temperatura media >10°C. Successivamente viene calcolato il periodo di incubazione, secondo il metodo Schrödter & Ullrich del 1967, al termine del quale è atteso il manifestarsi dei sintomi di peronospora (Fig. 17 e Tab. 6).

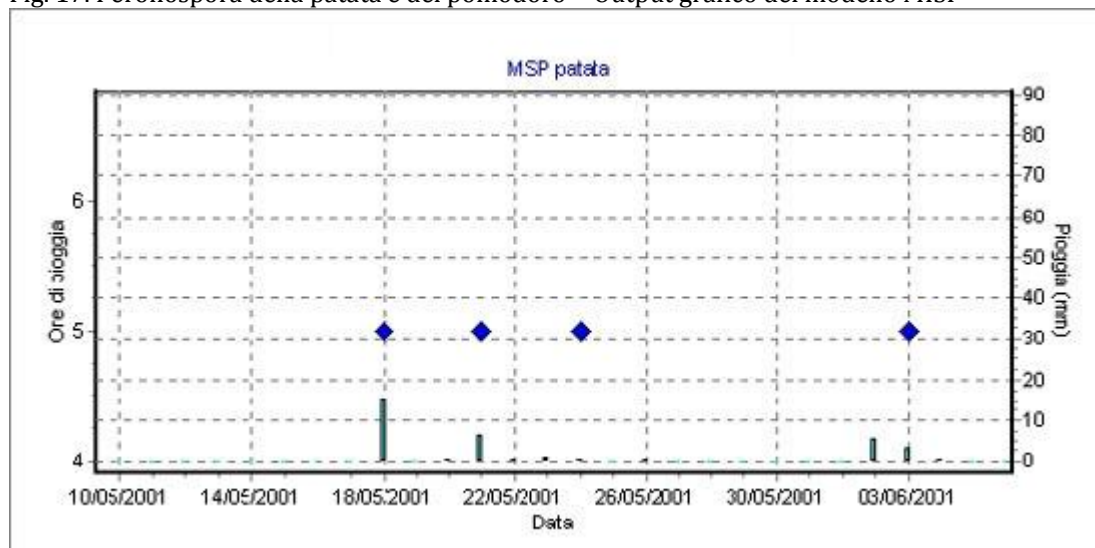
INPUT

- temperatura oraria (°C)
- umidità relativa oraria (%)
- precipitazione oraria (mm)

OUTPUT

Periodi cruciali per lo sviluppo epidemico: esecuzione dei trattamenti successivi al primo su patata.

Fig. 17. Peronospora della patata e del pomodoro - Output grafico del modello MISP



Legenda: **punti rossi:** giorni con almeno 6 ore di pioggia; **punti blu:** giorni con almeno 5 ore di pioggia

Tab. 6. Peronospora della patata e del pomodoro - Output tabellare del modello MISP

Data	MIPS	Ora Infezione	Termine incubazione
18/05/2001	18/05/2001	20	25/05/2001
21/05/2001	21/05/2001	22	27/05/2001
24/05/2001	24/05/2001	10	28/05/2001
03/06/2001	03/06/2001	10	09/06/2001
18/06/2001	18/06/2001	24	23/06/2001
28/06/2001	28/06/2001	8	02/07/2001
20/07/2001	20/07/2001	12	24/07/2001
24/07/2001	24/07/2001	20	28/07/2001
29/07/2001	29/07/2001	4	01/08/2001
11/08/2001	11/08/2001	6	15/08/2001
31/08/2001	31/08/2001	20	98.12%
04/09/2001	04/09/2001	23	32.25%
05/09/2001	05/09/2001	4	29.25%

Legenda:

MISP: giorno teorico d'infezione

Termine Incubazione: fine del periodo di incubazione relativo a MISP

Quando i dati meteo non sono sufficienti a calcolare la fine del periodo d'incubazione, questo viene espresso in percentuale riferita all'ultima data disponibile.

Come si utilizzano i due modelli

A partire dalla data scelta come indicativa della fase di emergenza o trapianto della coltura, il modello IPI fornisce giornalmente un indice potenziale infettivo cumulato. Quando questo valore raggiunge la soglia di alto rischio viene data l'indicazione di eseguire il primo trattamento antiperonosporico.

Dal superamento della soglia IPI, si passa all'elaborazione dei dati meteorologici secondo il criterio MISP. Ogni volta che tale criterio segnala un giorno cruciale per lo sviluppo epidemico della malattia, questo viene considerato giorno teorico d'infezione. Cautelativamente vengono segnalati anche i periodi favorevoli con almeno 5 ore di pioggia, oltre a quelli con 6 ore come indicato dal criterio previsionale. Come output del modello viene indicata anche la fine del periodo d'incubazione relativo ad ogni giorno teorico d'infezione. In base a queste informazioni, i tecnici possono valutare la scelta del fungicida più adatto per l'esecuzione del trattamento antiperonosporico.

MODELLO DOWGRAPRI

Malattia: peronospora della vite

Patogeno: *Plasmopara viticola*

DESCRIZIONE

Modello di simulazione delle infezioni primarie di peronospora della vite

Il modello nasce dalla collaborazione fra i Servizi Fitosanitari di Emilia-Romagna e Piemonte, e le Università di Piacenza e Bologna. Il modello, utilizza dati orari di temperatura dell'aria, umidità relativa, pioggia e bagnatura fogliare per simulare il processi infettivi, dalla germinazione delle oospore, alla comparsa dei sintomi di peronospora, incluso l'intero processo germinativo, la sopravvivenza degli sporangi, il rilascio e la sopravvivenza delle zoospore, la loro dispersione e, infine l'infezione e l'incubazione.

Il modello si basa sul concetto fondamentale che la popolazione di *P. viticola* in un vigneto è composta da diverse famiglie di oospore che sono in fase di quiescenza. Queste, prima di germinare, devono superare un determinato e graduale periodo di latenza dopo il quale cominciano a germinare seguendo una distribuzione normale. Il processo di simulazione della germinazione prende avvio ad ogni evento piovoso in grado di bagnare la lettiera di foglie presente nel terreno del vigneto. La simulazione può essere interrotta in ogni fase del processo infettivo se le condizioni climatiche non sono favorevoli al fungo, come può completarsi sino alla comparsa dei sintomi sulla vegetazione.

In pratica il processo infettivo viene scomposto nelle seguenti fasi:

Superamento della latenza

fornisce una stima del momento in cui le prime famiglie di oospore raggiungono la maturazione fisiologica, superando il periodo di latenza, e sono quindi pronte a germinare. Il processo di germinazione dipende in questa fase dalla temperatura e dalla bagnatura della lettiera. L'indice che si produce viene accumulato fino al superamento di una determinata soglia, al di sopra della quale si considera conclusa la fase di latenza. Al momento, non risulta possibile quantificare con precisione l'abbondanza dell'inoculo iniziale e, quindi, la gravità relativa delle differenti infezioni primarie.

Germinazione delle oospore

Dopo il superamento della latenza, il modello considera che ogni evento piovoso capace di umettare la lettiera è in grado di innescare la germinazione di una famiglia di oospore. Ogni pioggia in questo periodo fa iniziare il processo di germinazione di ogni singola famiglia di oospore e la produzione del macrozoosporangio (Fig. 18 e 19).

Sopravvivenza dei macrozoosporangi

Il modello fornisce una stima della sopravvivenza dei macrozoosporangi in assenza di acqua, in rapporto alle condizioni di temperatura e umidità. Senza le condizioni climatiche idonee (temperatura ed umidità relativa elevata e la presenza di un velo d'acqua) i macrozoosporangi possono sopravvivere solo per un paio di giorni, poi muoiono. Questa è un'indicazione di fondamentale importanza per individuare l'avvio di eventuali infezioni anche alcuni giorni dopo l'avvenuta germinazione delle oospore.

Rilascio e dispersione delle zoospore

Il modello simula il rilascio delle zoospore qualora il macrozoosporangio sia in presenza di una sufficiente bagnatura della lettiera di foglie. In questa fase le zoospore, molto delicate, nuotano nel film liquido e, qualora esposte a condizioni climatiche sfavorevoli (assenza di bagnatura), si devitalizzano. Tuttavia, se in questo periodo cade una pioggia si considera che questa sia in grado di veicolare con gli schizzi d'acqua le zoospore sulla vegetazione suscettibile.

Infezione e incubazione

Il modello simula il momento dell'infezione da parte delle zoospore, in funzione della combinazione di temperatura e durata della bagnatura fogliare. Durante questo periodo le zoospore nuotano verso le aperture stomatiche, si incistano e producono un tubetto germinativo in grado di penetrare attraverso gli stomi. Se la superficie fogliare si asciuga prima della penetrazione, le zoospore si devitalizzano (Fig. 20).

Alla fine del processo di incubazione, che varia nel tempo in funzione della temperatura e dell'umidità dell'aria, il modello segnala il probabile momento di inizio della comparsa dei sintomi nel vigneto (Fig. 22).

INPUT

- temperatura oraria (°C)
- umidità relativa oraria (%)
- precipitazione oraria (mm)
- bagnatura fogliare (h)

OUTPUT

Il modello fornisce come output grafici relativi alle famiglie di oospore in procinto di terminare il processo di germinazione e pertanto sono in procinto di disseminare le zoospore alla pioggia che potrebbe cadere nelle 48 ore successive. Nonché i periodi cruciali per lo sviluppo delle infezioni e la comparsa dei sintomi in campo. In fine, viene stimata la pressione infettiva della malattia incrociando i dati relativi alle infezioni e al loro periodo di incubazione (Fig. 21)

Fig. 18. Peronospora della vite - Modello Dowgrapi -DOR: tasso di germinazione delle oospore

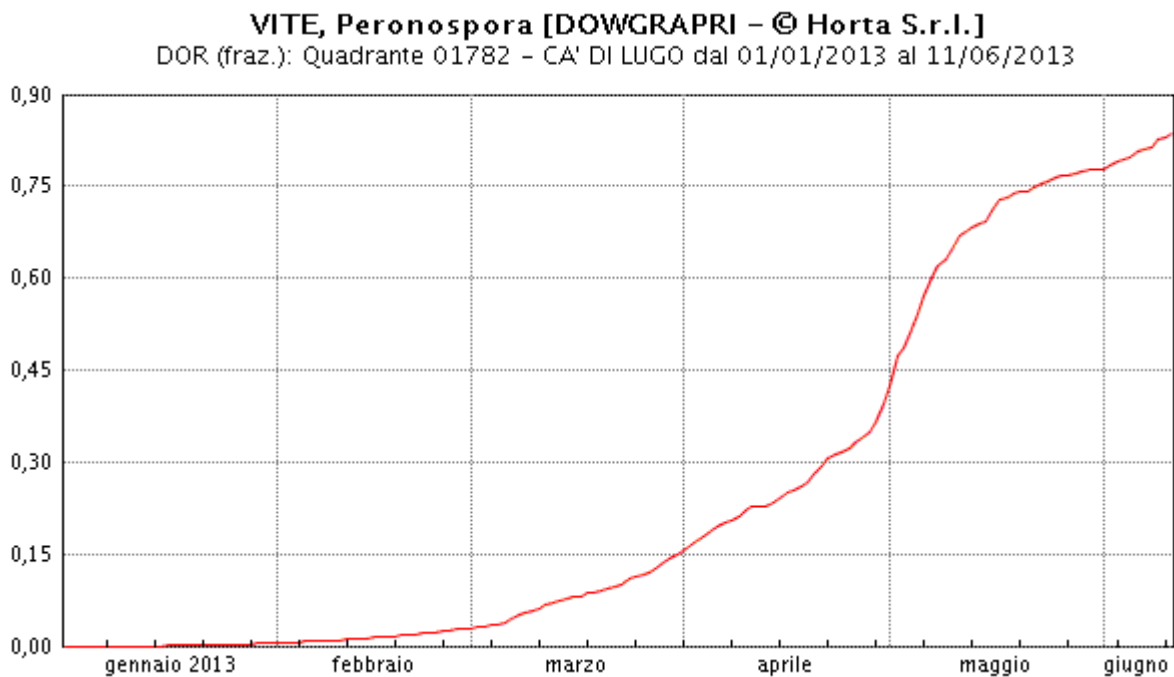


Fig. 19. Peronospora della vite - Modello Dowgrapi - Famiglie coetanee di oospore che raggiungono il 90-100 di germinazione

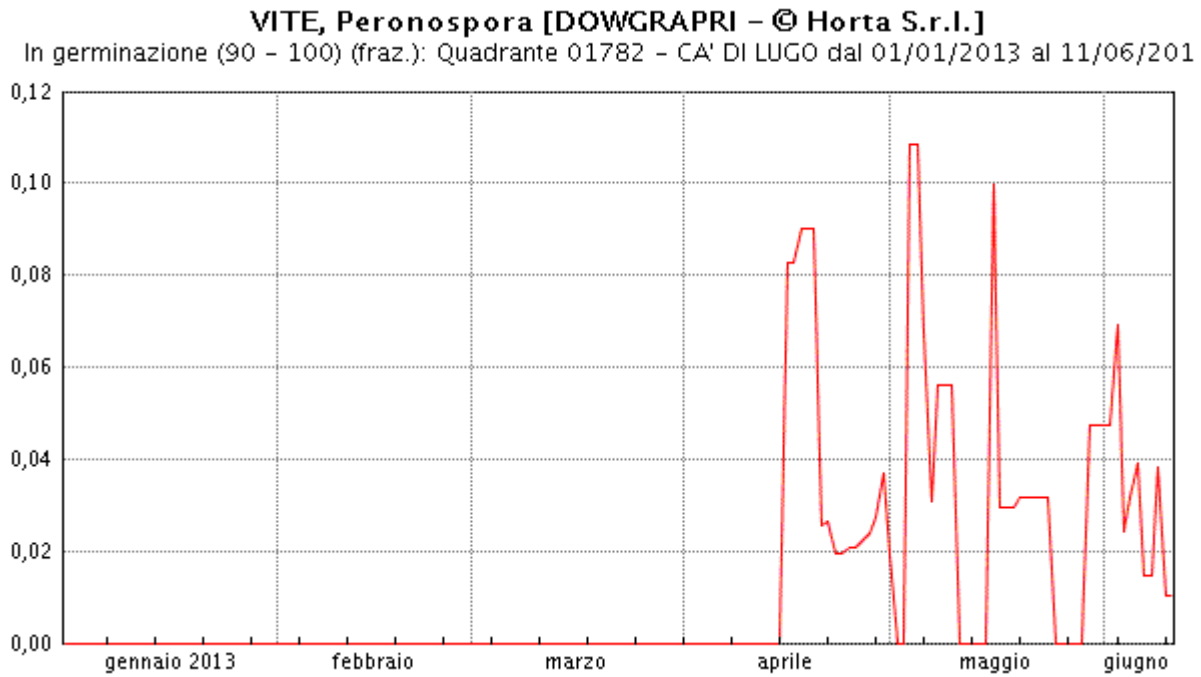


Fig. 20. Peronospora della vite - Modello Dowgrapi - Infezione: potenziale di inoculo che è riuscito a produrre infezione

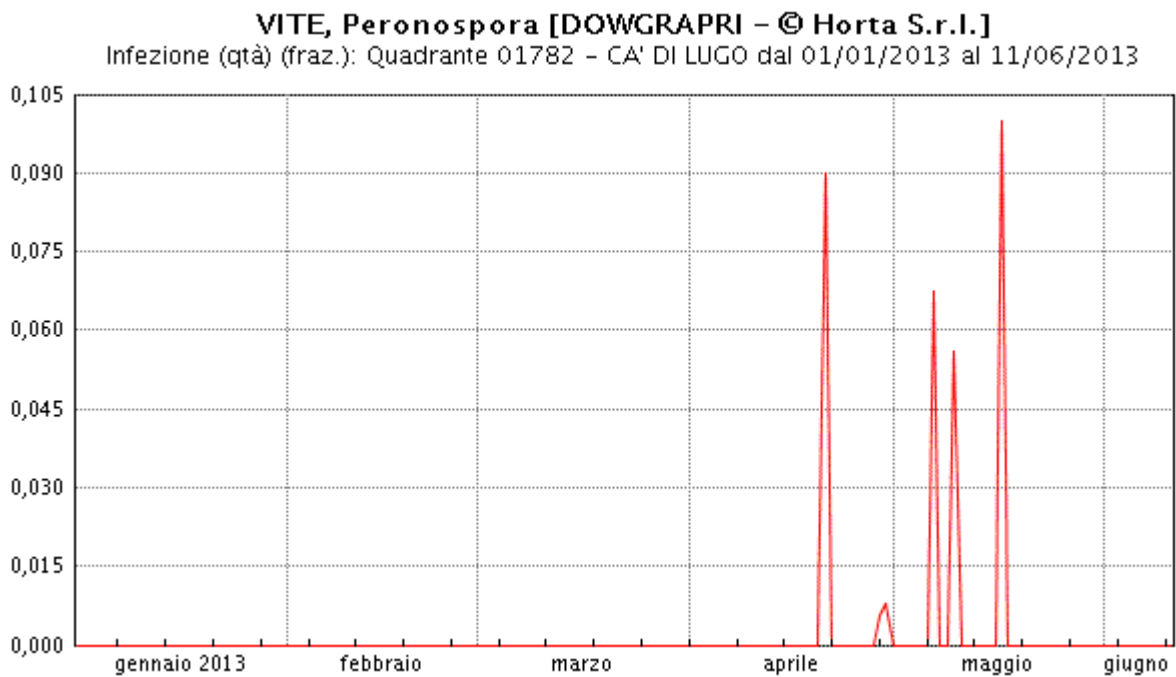


Fig. 21. Peronospora della vite - Modello Dowgrapi - Pressione infettiva del patogeno nel corso dell'annata

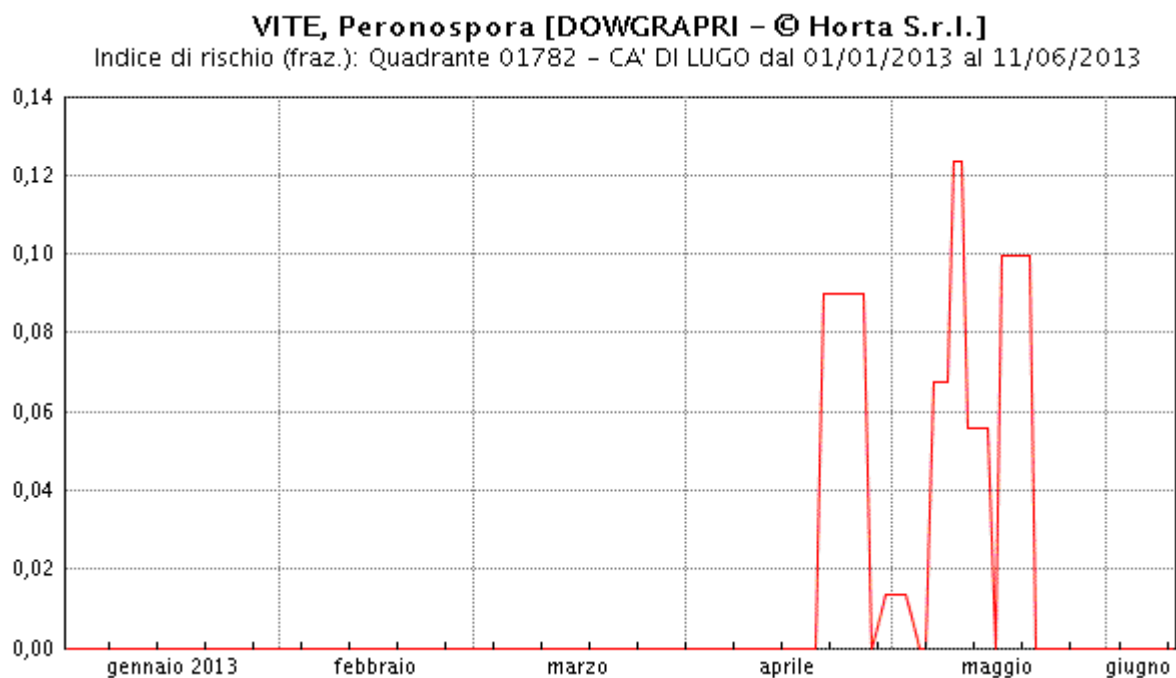
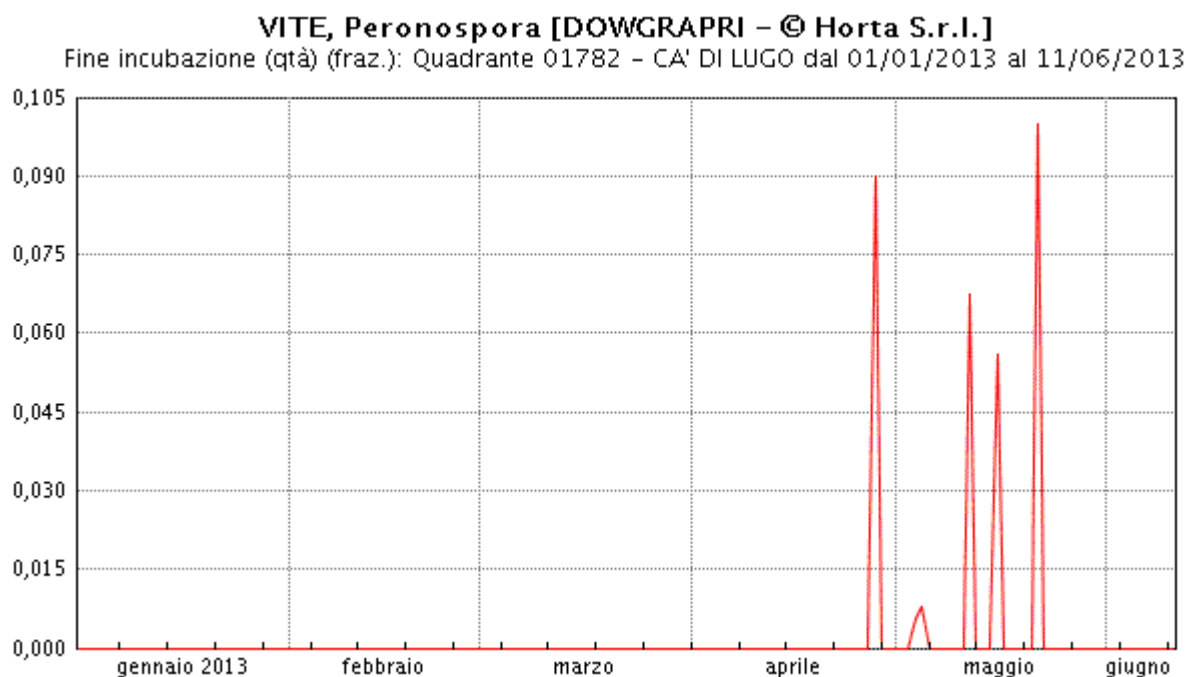


Fig. 22. Peronospora della vite - Modello Dowgrapi - Comparsa dei sintomi



MODELLO POWGRAPRI

Malattia: Oidio della vite

Patogeno: *Uncinula necator*

Modello di simulazione delle infezioni primarie di oidio della vite

L'università Cattolica di Piacenza in collaborazione con il Servizio Fitosanitario della Regione Emilia-Romagna, nell'ambito di un progetto finalizzato alla realizzazione di modelli revisionali per le più importanti avversità crittogamiche della regione, ha messo a punto un modello meccanicistico in grado di simulare i processi infettivi primari dell'oidio.

Il modello, partendo da dati orari di temperatura, umidità relativa, pioggia, bagnatura fogliare e deficit di pressione di idrico (VPD) registrati dal primo giorno dell'anno, determina i giorni climaticamente favorevoli per la maturazione delle ascospore (Fig. 23). La percentuale di ascospore liberate ad ogni evento piovoso utile, caratterizzato da piogge di almeno 2,5 mm con temperatura di almeno 10°C (secondo il modello Gadoury), viene calcolato in funzione dei giorni trascorsi dalla data di germogliamento della vite attraverso un sottomodello che accumula unità termiche sopra i 10°C a partire dal 1° gennaio. Ogni rilascio comprenderà una quota di ascospore decurtata della quantità di queste rilasciate in precedenza (Fig. 24).

Successivamente viene calcolato il tasso di germinazione e formazione dell'appressorio delle ascospore in funzione di temperatura e VPD e l'indice di infettività ascosporica sulla base del prodotto della proporzione di ascospore rilasciate con il tasso di germinazione. Tali fattori concorrono alla definizione del Rischio di infezione (Fig. 25). Infine il modello calcola il periodo di incubazione prima che le infezioni primarie si manifestino in campo (Fig. 26).

INPUT

- Temperatura oraria (°C)
- Umidità relativa oraria (%)
- Precipitazione oraria (mm)
- Bagnatura fogliare (h)

OUTPUT

- la percentuale di ascospore rilasciate ad ogni evento piovoso utile
- il valore del rischio della probabile infezione primaria
- il calcolo del periodo di incubazione al termine del quale possono comparire i primi sintomi di infezione primaria

Fig. 23. Oidio della vite - Modello Powgrapri - Potenziale ascosporico disponibile

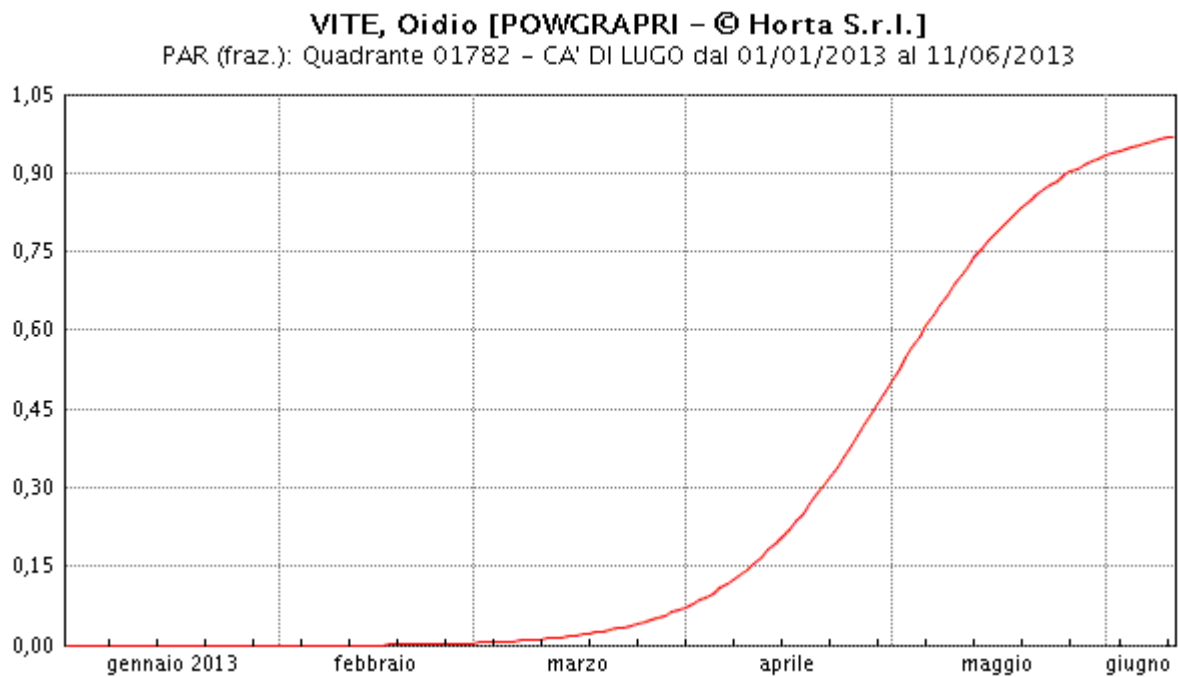


Fig. 24. Oidio della vite - Modello Powgrapri - Rilascio, ad ogni evento piovoso utile, delle ascospore maturate

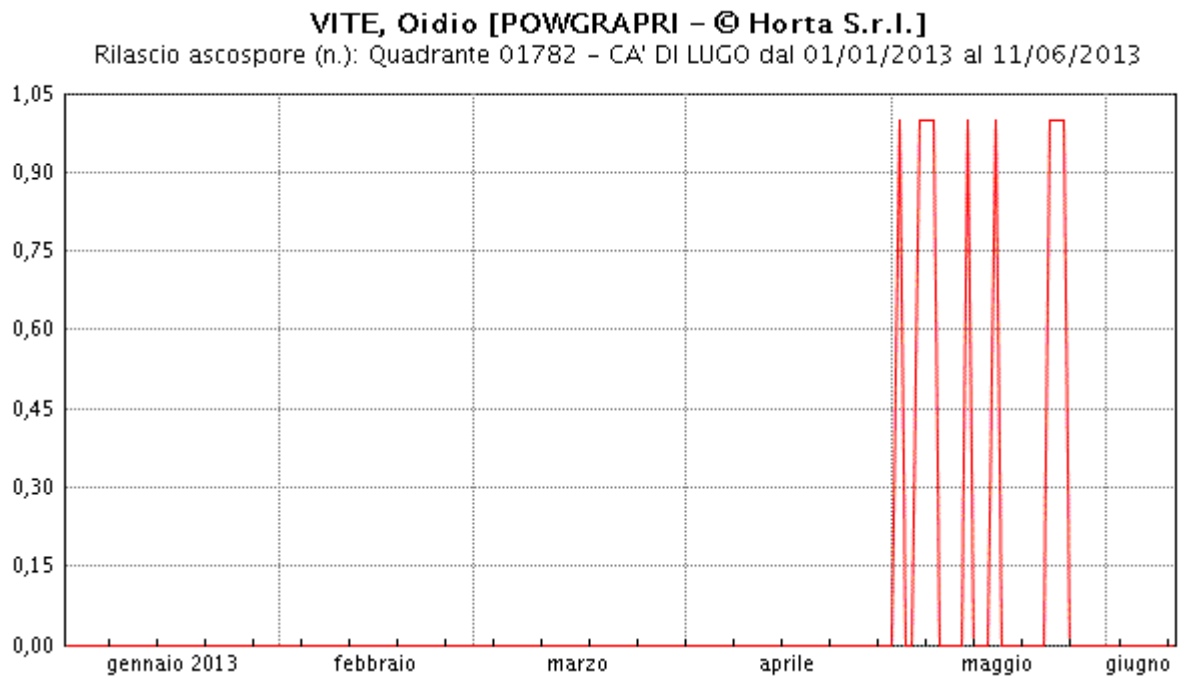


Fig. 25 Oidio della vite - Modello Powgrapri - RISK: Indice di rischio infettivo

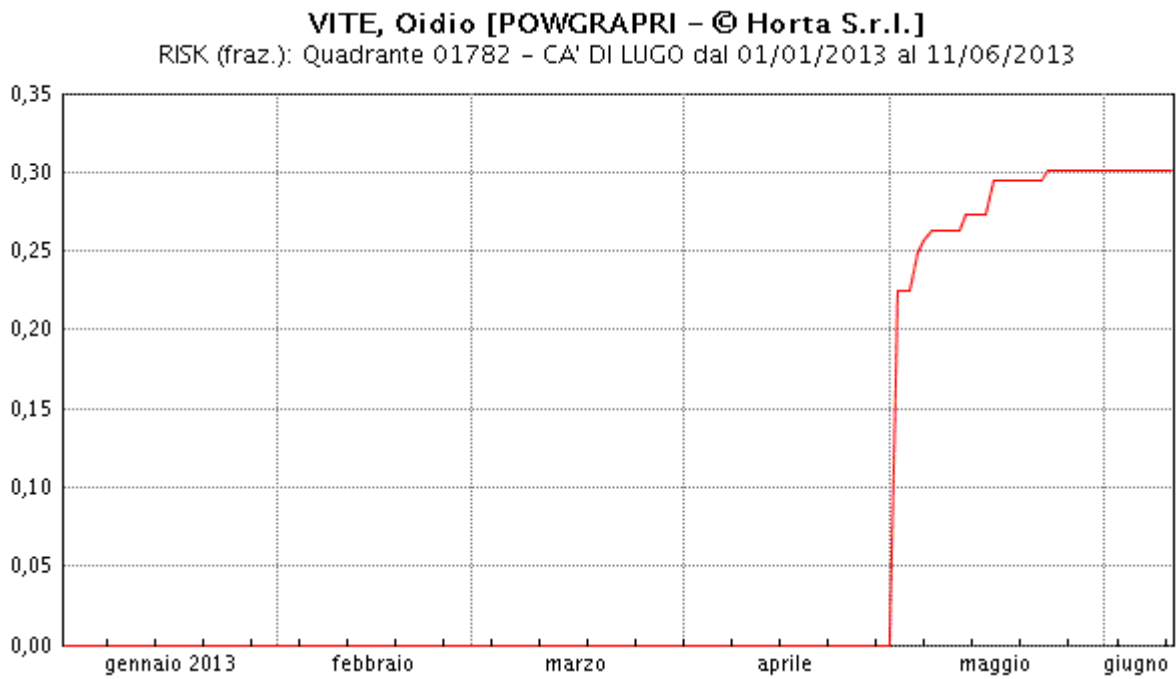


Fig. 25. Oidio della vite - Modello Powgrapri - Termine del periodo di incubazione

