MODELLAMENTO DELLO SVILUPPO EPIDEMIOLOGICO DI <u>CERCOSPORA</u> BETICOLA SACC. IN FUNZIONE DEL CLIMA.

# V. ROSSI, P. BATTILANI

Istituto di Patologia Vegetale e Centro Sperimentale Nazionale-Università Cattolica del Sacro Cuore - Piacenza

La Pianura Padana é considerata un'area geopatologica in cui le infezioni da <u>Cercospora beticola</u> Sacc. sulla barbabietola da zucchero si manifestano regolarmente nel corso di ogni stagione colturale ed in cui il danno economico é sempre presente, in quanto caratterizzata da condizioni climatiche, nel periodo della coltura, favorevoli allo sviluppo del patogeno (Bleiholder e Weltzien, 1972).

I rapporti intercorrenti fra la patogenesi della C. beticola e i fattori climatici sono stati approfonditi da numerosi Autori, con studi di laboratorio; viceversa é stato poco indagato lo sviluppo epidemiologico in campo della fitopatia, soprattutto nell'ambien te padano (Antonellini,1974; Rossi e Battilani,1985a e 1985b). Per la definizione di modelli epidemiologici, impiegabili anche a fini previsionali, é necessario formulare uno schema dei diversi stadi evolutivi del processo da modellare, per il stimare, come parametri, i tassi di sviluppo quantitativo, effetto dei diversi fattori influenzanti il fenomeno (Touzeau, 1979). Le relazioni quantitative fra le diverse variabili possono essere studiate attraverso il metodo della regressione multipla  $(y_i=a+b_1*x_{1i}+b_2*x_{2i}+\dots+b_j*x_{ji}+\dots+b_k*x_{ki})$ , la quale consente pure la previsione del valore di  $y_i$ , noti i valori di  $x_{ij}$ , con un grado di attendibilità stimabile mediante il coefficiente R2. evidenziato alcuni difetti Royle (1974) hanno nell'impiego della regressione multipla per il modellamento fitopatie. Essa infatti, fornendo combinazioni lineari delle variabili e stimando l'entità delle infezioni come somma degli effetti di variazioni unitarie di ciascuna di esse, tiene conto delle interazioni fra le variabili stesse e delle limitazioni da esse imposte, stimando, ad esempio, livelli d'infezione anche in assenza del patogeno.

Waggoner et al. (1980) hanno proposto un metodo alternativo, basato sulla Legge del Minimo, formulata da Liebig nel 1862. Sulla base di questo principio la risposta del patogeno al variare di un fattore é proporzionale fino a che gli altri fattori, influenzanti il fenomeno, si mantengono a ottimali. La presenza di un solo fattore al di sotto di tale livello limita la risposta del patogeno a tutti i restanti fattori. Ad esempio é stato dimostrato da Canova (1959) che l'intensità di infezione di C.beticola é massima con umidità re lativa dell'aria del 90-92%, mentre si annulla in prossimità del 60%, pur mentendo costante la temperatura ottimale di 25°C. Inoltre, in alcuni casi, un fattore altamente favorevole può compensare le limitazioni imposte da un altro fattore. Così l'aumento dell'inoculo, inteso come numero di conidi, determina un incremento dell'intensità d'infezione, ferme restando le condizioni ambientali.

### MATERIALI E METODI

E'stato seguito lo sviluppo epidemiologico in campo del patogeno in 10 località bieticole dell'Emilia occidentale (fig.1). In ogni località, nelle vicinanze di capannine meteorologiche standard, sono stati campionati alcuni appezzamenti, secondo il criterio della rappresentatività rispetto alla zona, le caratteristiche edafiche, le tecniche colturali e le cultivar adottate. In ogni campione é stata delimitata un'area di 100 m<sup>2</sup>, omogenea con il resto dell'appezzamento, che é stato oggetto di tutte le usuali cure colturali, con esclusione dei trattamenti anticercosporici. Dalla comparsa della malattia ad riferibile al primo delle tavole Kleinwanzlebener, sono stati individuati, con criterio completamente randomizzato 10 subcampio



ni all'interno della parcella precedentemente delimitata, cui é stato attribuito un numero d'or dine progressivo. Su questi é stata seguita, con frequenza set timanale, l'evoluzione della malattia, rilevando, per ogni pianta, la porzione di superficie fo

gliare colpita dalla cercosporiosi (SFC). Ogni pianta é stata analizzata foglia per foglia valutando la superficie interessata dalla malattia, mediante confronto oggettivo con uno schema di riferimento. Questo é stato elaborato graficamente ricorrendo ad una foglia tipo su cui sono stati riprodotti, su lucido, vari livel li d'infezione. La porzione di superficie fogliare colpita é stata calcolata come rapporto fra le superfici della foglia tipo e di quella infetta, misurate con un Area Meter LI-COR 3000.

Le SFC rilevate sulle i foglie di ogni singola pianta(con i che va da 1 a n) sono state riportate su scheda, distinguendo le foglie in j classi di sviluppo crescente (con j che va da 1 a 5) (Rossi e Battilani, 1985a). La superficie fogliare colpita di ogni pianta é stata calcolata mediante l'espressione:

SFC = 
$$\sum_{j=1}^{5} \sum_{i=1}^{n_j} SFC_{i,j} / \sum_{j=1}^{5} n_j$$

I dati climatici rilevati sono stati:temperatura media (su 24 valori orari) giornaliera dell'aria (°C), umidità relativa media (su 24 valori orari) giornaliera dell'aria (%) e piovosità giornaliera (mm).

Le variabili utilizzate per la formulazione del modello sono state poche e di facile acquisizione, come indicato da Touzeau (1979), e precisamente: l'inoculo ambientale, la temperatura media e l'umidità relativa media dell'aria, la cui influenza sull'epidemiologia del patogeno é stata accertata in studi precedenti. Quale misura dell'inoculo é stato impiegato il valore di SFC del rilievo precedente, sotto l'assunto, comprovato da precise prove sperimentali, che il numero di conidi prodotto sia direttamente proporzionale al numero di lesioni fogliari.

Per ciascuna variabile é stata calcolata la sommatoria iesima, con i che va da l a R (numero dei rilievi) della sommatoria jesima, con j che va da l a G (numero di giorni intercorrenti fra 2 rilievi successivi), di ogni kesima località, con k che va da l a 10, ed ogni qesimo anno, con q che va da l a 3. Quindi:

$$egin{array}{lll} R_{kq} & G_{kq} & & & & \\ \sum & \sum & SFC_{ijkq} & \mbox{\'e} & i1 \mbox{totale della superficie fogliare colpi-i=2} & j=1 & & \mbox{ta dalla cercosporiosi (SFC),} \end{array}$$

#### RISULTATI

Per la definizione del modello le variabili SI, ST ed SUR sono state considerate come indipendenti  $(x_1, x_2 e x_3 rispettivamente)$  e SFC come dipendente (y). Per le elaborazioni successive i valori calcolati, caratterizzati da differenti unità di misura, sono stati standardizzati.

Sono state analizzate le relazioni quantitative intercorrenti fra le variabili standardizzate y -  $\mathbf{x}_1$ , y -  $\mathbf{x}_2$  ed y -  $\mathbf{x}_3$ , mediante il metodo della regressione lineare semplice. In particolare è stato calcolato il coefficiente di regressione b. L'intercetta è stata esclusa dalle elaborazioni, essendo illogico quantificare un fenomeno in assenza dei fattori causali.

Per ogni località e per ogni anno sono stati quindi calcolati i rapporti  $\mathbf{b}_1$ ,  $\mathbf{b}_2$  e  $\mathbf{b}_3$ , ed é stato fissato un valore massimo di y (=m). Il valore di m é stato introdotto per precisione metodologica, in considerazione di eventuali combinazioni di SI, ST e SUR non limitanti l'intensità delle infezioni.

Successivamente per ogni valore di  $y_i$  é stato stimato un valore  $x_{si}$  sulla base delle seguenti relazioni:

$$x_{si} = x_{2i} \cos x_{2i} < b_1/b_2*x_{1i}; x_{2i} < b_3/b_2*x_{3i}; x_{2i} < m/b_2$$
 $x_{si} = b_1/b_2*x_{1i} \cos b_1/b_2*x_{1i} < x_{2i}; b_1/b_2*x_{1i} < b_3/b_2*x_{3i};$ 
 $b_1/b_2*x_{1i} < m/b_2$ 
 $x_{si} = b_2/b_2*x_{si} \cos b_3/b_2*x_{si}; x_{2i} < b_3/b_2*x_{3i};$ 

 $x_{si} = b_3/b_2*x_{3i} con b_3/b_2*x_{3i} < x_{2i}; b_3/b_2*x_{3i} < b_1/b_2*x_{1i}; b_3/b_2*x_{3i} < m/b_2$ 

 $x_{si} = m/b_2 \operatorname{con} m/b_2 < x_{2i}; m/b_2 < b_1/b_2*x_{1i}; m/b_2 < b_3/b_2*x_{3i}.$  Con le variabili y ed  $x_s$ , mediante la regressione lineare semplice, é stato ricalcolato il valore di  $b_2$ , e da questo, attraverso le suddette relazioni, i valori di  $b_1$  e  $b_3$ .

E' stata eseguita l'ANOVA per saggiare la significatività

statistica della regressione lineare. Inoltre é stato calcolato il valore di  $\mathbb{R}^2$ . Questo, rappresentando la proporzione della devianza della y attribuibile alla relazione lineare con la  $\mathbf{x}_{\mathrm{S}}$ , é stato utilizzato come indice della bontà di adattamento del modello ai valori campionari.

La Legge del Minimo é stata quindi espressa mediante l'equazione:

 $SFC = MIN(b_1 * SI; b_2 * ST; b_3 * SUR; m) \\ 1)$  secondo cui, il valore di SFC risulta determinato dal valore minimo assunto dai prodotti entro parentesi.

Perseguendo la massima semplicità del modello, é stata verificata l'attendibilità della l), eccettuando la variabile SI. La scelta di questa esclusione é dipesa dalla stretta associazione fra SI e SFC, determinata dalla modalità di rilevamento di SI. Si é considerato inoltre che data la dimostrata influenza della temperatura e dell'umidità sui processi di differenziazione e diffusione dei conidi, l'informazione circa l'inoculo é già contenuta, in buona parte, nelle variabili ST e SUR.

Il metodo di analisi é stato analogo a quello precedentemente i $\underline{1}$  lustrato, semplificato dall'impiego di due sole variabili.

L'espressione della Legge, in questo caso, risulta:

 $SFC = MIN(b_2 * ST; b_3 * SUR; m) \qquad \qquad 2)$  L'esame dei valori di R² ha indicato che la 2) non comporta una riduzione della attendibilità rispetto alla 1). Pertanto il modello semplificato appare preferibile a quello esteso.

Come ulteriore verifica della bontà di adattamento del modello ai valori campionari, é stata eseguita l'analisi dei residui.

I residui - determinati dall'espressione:  $(y_0 - y_a)/SQR(SM res)$ , in cui:  $y_0$  = valori osservati di y, rappresentati dai valori campionari;  $y_a$  = valori attesi di y, ottenuti dall'applicazione della Legge ai valori campionari:  $y_a = x_0 * b$ ; SMres = varianza residua - sono stati confrontati con il valore critico  $\pm 2.0$ , entro il quale dovrebbero cadere il 95% dei valori (verifica dell'assunzione di gaussianità).

Come atteso i residui sono risultati tutti compresi nell'intervallo  $\pm$  2.0.

Il modello elaborato può avere diverse applicazioni. Esso può

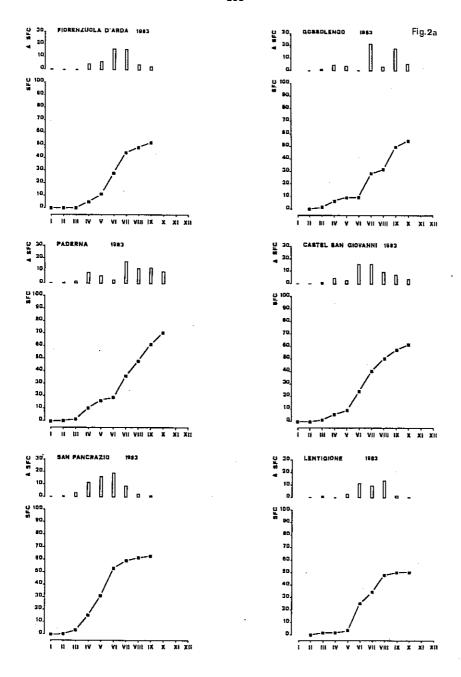
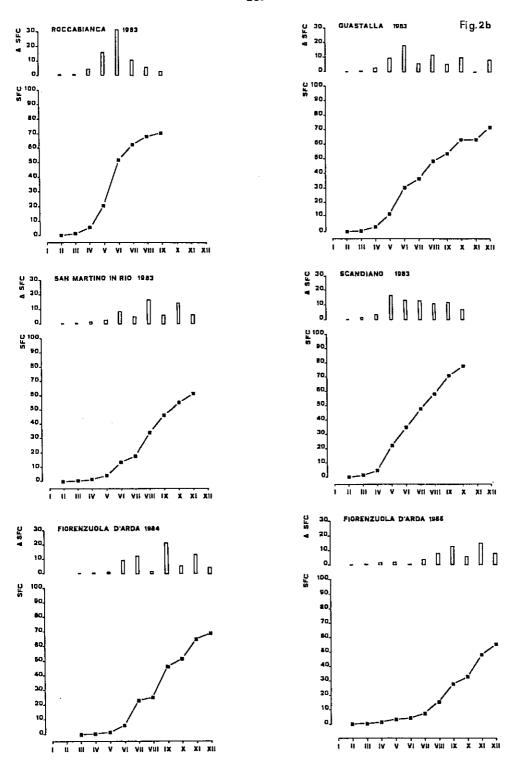


Fig.2-Rappresentazione grafica dei valori cumulati e degli incrementi di SFC relativi ai 12 rilievi, in  $10 \log 1$  lità, nel 1983 ed a Fiorenzuola nel triennio 1983-85.



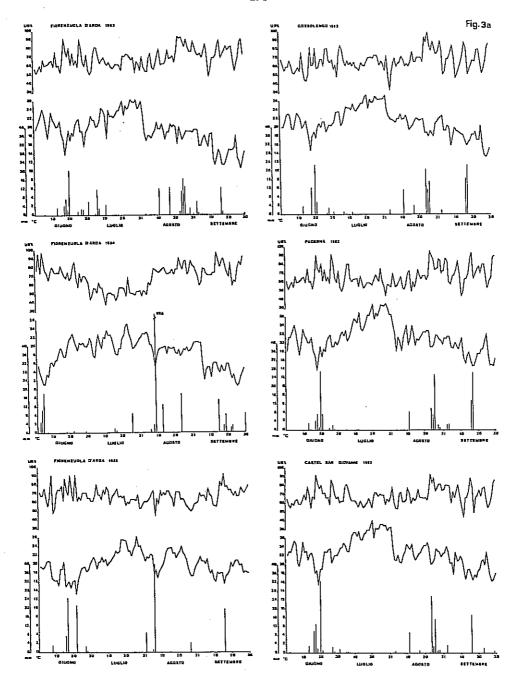
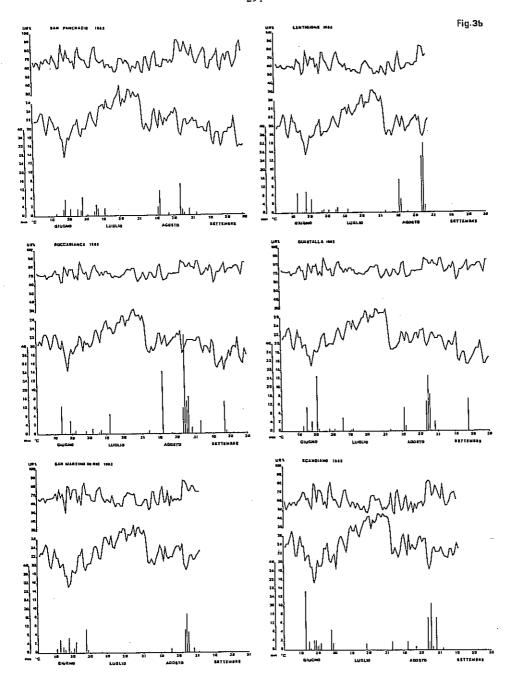


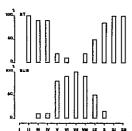
Fig.3-Valori giornalieri di temperatura media, umidità relativa media e precipitazioni nelle località e negli anni considerati.



aiutare a studiare, impiegato a posteriori, lo sviluppo epidemiologico del patogeno in un determinato ambiente ed anno e ad individuare le variabili che, nelle diverse fasi della malattia, hanno agito come fattori limitanti.

Utilizzando in questo senso i dati raccolti nel triennio 1983-85 - qui riportati solo in parte per vincoli editoriali (fig. 2,3,4 e tab.1) - é stato evidenziato che, nell'ambiente pa dano, la temperatura e l'umidità relativa dell'aria svolgono un ruolo primario nella limitazione dello sviluppo epidemico della cercosporiosi. In particolare, nei primi rilievi, la diffusione della malattia é contenuta dai livelli termici, successivamente da quelli igrometrici ed infine nuovamente da quelli termici (fig.4).

LOCALITA	ANNO	STIMA DI SFC	G.L	. F	$R^2$
Fiorenzuola	1983	SFC=MIN(0.973*ST;0.971*SUR)	1,6	83.27	0.933
Gossolengo	1983	SFC=MIN(0.963*ST;0.983*SUR)	1,6	68.11	0.919
Paderna	1983	SFC=MIN(0.984*ST;0.998*SUR)	1,7	135.58	0.951
C.S.Giovanni	1983	SFC=MIN(0.979*ST;0.985*SUR)	1,7	132.84	0.945
S.Pancrazio	1983	SFC=MIN(0.982*ST;0.946*SUR)	1,6	92.85	0.939
Lentigione	1983	SFC=MIN(0.979*ST;0.962*SUR)	1,6	84.16	0.933
Roccabianca	1983	SFC=MIN(0.973*ST;0.961*SUR)	1,5	69.01	0.932
Guastalla	1983	SFC=MIN(0.988*ST;0.980*SUR)	1,8	312.20	0.975
S.Martino	1983	SFC=MIN(0.975*ST;0.991*SUR)	1,7	129.58	0.949
Scandiano	1983	SFC=MIN(0.999*ST;0.995*SUR)	. 1,6	698.28	0.991
Fiorenzuola	1984	SFC=MIN(0.974*ST;0.982*SUR)	1,7	272.98	0.975
Fiorenzuola	1985	SFC=MIN(0.936*ST;0.946*SUR)	1,8	61.08	0.884



Tab.1-Modellamento dello sviluppo di  $\underline{C}$ . beticola secondo la Legge del Minimo.

Fig.4-Frequenza percentuale di ST ed SUR come fattori limitanti lo sviluppo di  $\underline{C}$ . beticola nei 12 rilievi del 1983.

Si ritiene inoltre che il modello elaborato possa essere impiegato a scopi previsionali; ciò sulla base delle ridotte differenze fra i b calcolati nei diversi campioni e dei valori di  $\mathbb{R}^2$ .

A tale scopo si intende utilizzare tutti i valori campionari rilevati nelle 10 località e nei 3 anni -previo saggio della significatività delle differenze fra i b- ed apportare alcune modifiche, quali la trasformazione dei b standardizzati e la definizione dei limiti di confidenza dei coefficienti di regressione. RIASSUNTO

Gli Autori hanno elaborato un metodo di analisi dei dati per il modellamento dello sviluppo epidemiologico della <u>C.beticola</u> in funzione del clima. Tale modello rappresenta con elevata attendibilità i valori campionari. Esso può essere applicato per studiare l'epidemiologia del patogeno in un determinato ambiente e, opportunamente modificato, a scopi previsionali.

## SUMMARY

A MODEL OF CERCOSPORA BETICOLA SACC. EPIDEMIOLOGIC DEVELOPMENT IN FUNCTION OF WEATHER.

The Authors elaborated a method of values analysis to the <a href="Cercospora">Cercospora</a> beticola Sacc. epidemiologic development in function of weather. Such model represents the sample values with hight credibility. It can be applied to explain the pathogen epidemiology in any locality and, opportunely modified, could be applied in previsional object.

# BIBBLIOGRAFIA

- -Antonellini E. (1974). Ricerche sulla epidemiologia della <u>Phytophtora infestans</u> e della <u>Cercospora beticola</u> in relazione all'ambiente. Inf.tore fitopatol.,24 (7), 11-20.
- -Bleiholder H., Weltzien H.C.(1972).Beitrage zur Epidemiologie von <u>Cercospora beticola</u> an Zuckerrube - III, Geopathologische Untersucheungen. Phytopath. Z., 73,93-114.
- -Butt D.J., Royle D.J.(1974).Multiple regression analysis in the epidemiology of plant diseases. Epidemics of Plant Disease: Mathematical Analysis and Modeling Springer-Verlag. J.Kranz Ed., 78-114.
- -Canova A.(1959).Ricerche su la biologia e l'epidemiologia della <u>Cercospora beticola</u> Sacc. IV, Ann. Sper. Agr.,13 (4),685-776. -Rossi V., Battilani P.(1985 a).Epidemiologia della <u>Cercospora beticola</u> Sacc.. Studi in provincia di Piacenza nel biennio 1983-84, per l'elaborazione di un modello previsionale. Quaderni dell'Amm. Prov. di Piacenza, in corso di stampa.

-Rossi V., Battilani P.(1985 b). Impiego di variabili climatiche nella previsione delle infezioni primarie di <u>Cercospora</u> <u>beticola</u> Sacc.. Inf.tore fitopatol., in corso di stampa.

-Touzeau J.(1979) .Dévelopements récents dans l'établissement des sistèmes de prévision et d'avertissements. Biostatistique et modélisation.Proc.Int.Symp.OILB/SROP, Wien, 8-12 oct., 43-55. -Waggoner P.E.,Norvel W.A.,Royle D.J.(1980). The Law of the Minimum and the Relation between Pathogen, Weather, and Disease. Phytopathology, 70, 59-64.

Lavoro in parte svolto con il contributo finanziario dell'Ammin $\underline{i}$  strazione Provinciale di Piacenza.

Il lavoro é stato approvato da revisori indicati dai membri esterni del Comitato Scientifico del Centro Sperimentale Nazionale.