

NUOVI ATTREZZI MODELLISTICI PER LO STUDIO DI EPIDEMIE DI RUGGINI DEL GRANO

CLAUDIO CICCARONE

Istituto di Preparazioni e Produzioni Alimentari - Facoltà di Agraria di Foggia, Università degli Studi di Bari, Via Napoli, 25 - 71100 FOGGIA

Riassunto

La particolare esposizione di molta parte del territorio cerealicolo all'azione dei fattori ambientali spinge alla applicazione di nuovi attrezzi di calcolo che consentano il difficile approccio modellistico alla diffusione delle ruggini fogliari brune del grano, e, generalmente, a tutti quei fatti epidemici che hanno dimensioni casisticamente sporadiche e minoritarie quanto ad emergenza dei danni. L'autore, con questo lavoro, suggerisce l'adozione di tecniche numeriche del tipo dell'analisi di immagine al fine di strutturare modelli adeguatamente sensibili verso fattori e parametri in casi epidemiologici la cui insorgenza è multifattoriale.

PAROLE CHIAVE: Ruggine bruna del grano, *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*, Modellistica epidemiologica.

Summary

TIME/SPACE DOMAIN: EVALUATING TOOLS IN WHEAT-Lf EPIDEMIS

The peculiar setting as regards to orographic and climatic factors stimulates studying multifactorial models in order to predict strategies adopted by leaf-rusts in the course of epidemiological events.

The model should fit the epidemiological ethology of rusts described by soft parametric systems, affected by high 'greyness', low accessibility and low definition.

The author plans a model based on spectral-analysis of space-time domain: it's endowed with good separability, mean/high validity, optimized generalizability, working on populations of rusts as 'not segregated biophases'.

KEY WORDS: Wheat Brown Leaf Rust, *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*, Epidemiological models.

INTRODUZIONE

La ruggine fogliare del grano (da *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*) è una malattia la cui casistica epidemiologica è, nei nostri ambienti, sporadica, tardiva nel corso del ciclo produttivo e minoritaria quanto ad emergenza dei danni. L'affezione è controllata, in Italia meridionale, dal convergere di fattori che promuovono e che inibiscono le sue manifestazioni. I primi sono rappresentati da elevato eolismo, fotosaturazione, fattori orografici, alterazioni del metabolismo idrico, concomitanti patologie e saprotrofismi, coltivazione monovarietale ed estensiva dell'ospite.

Tra i fattori di compressione delle epidemie sono la bassa umidità relativa dell'aria, il modificarsi della serie temporale delle precipitazioni, il concomitante verificarsi di pioggia e vento ed il basso livello di bagnatura fogliare. Anche le pratiche agronomiche, gli effetti secondari della selezione genetica (taglia, distribuzione e portamento della superficie fogliare), la rarefazione degli ospiti di sostituzione e dei vettori sono fatti degni di rilievo. Queste caratteristiche ci hanno indotto a studiare criteri di stima che siano sensibili nella detezione di epidemie fitopatologiche a bassissimo livello fenologico.

La necessità di definire i livelli quantitativi dei fattori elencati, ha indotto a cercare attrezzi modellistici efficaci, molto informativi e scomponibili in molteplici fattori elementari analizzabili separatamente.

Le popolazioni di ruggini sono state quindi studiate come modelli a "biofase non segregata" (Tsuchiya et al. anche in Spriet & Vansteenkiste, 1988): dalle popolazioni di ruggini si estraggono le proprietà da attribuire ed estendere ai singoli propaguli di ruggine e non viceversa. Le epidemie vengono analizzate entro precisi limiti di spazio, definiti da moduli a contorni regolari che vengono detti 'diorami' in cui si associano distribuzioni di numeri ad ordinamenti di

punti che vengono operativamente trattati in forma omologa alle distribuzioni di vettori in campi di energia. Tale campo viene, quindi, sottoposto all'applicazione di campionatori del tipo di quelli usati per le analisi di immagine.

MATERIALI E METODI

Le popolazioni delle ruggini in campo si localizzano a partire da siti di infezione primaria detti 'foci'. Nel dettaglio, le condizioni di propagazione sono catalogate in tre tipi: focale, ibrida o generale sensu Van de Lande, 1993, Jeger, 1982, 1984, 1986, Van den Bosch *et al.* (1988 a, b) Zawolek, 1993. Le tendenze cui soggiacciono, nei loro spostamenti, sono analizzabili solo come prodotti complessi di molti fattori convergenti e, pertanto, esse sono descritte da sistemi morbidi caratterizzati da un elevato tenore di 'greyness' (Sprict & Vansteenkiste, 1988).

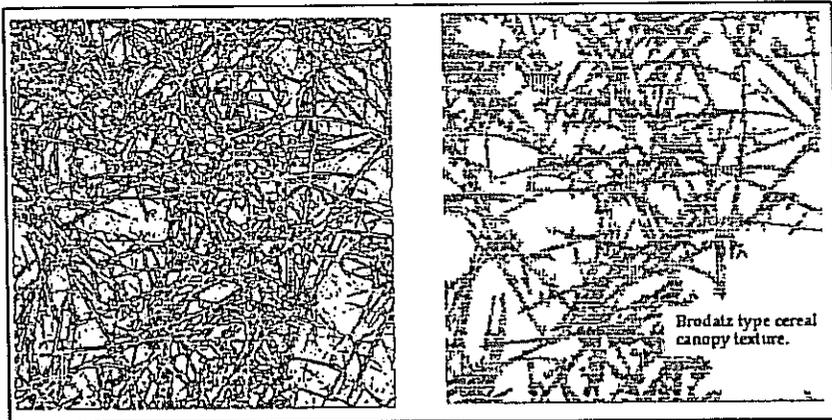
Per una analisi a tal livello di multifattorialità, la struttura dell'apparato di rilevamento deve essere plasticamente adattabile allo studio di statistiche stratificate.

La metodica, perciò, riprende criteri tipici ed operatori della analisi di immagine (Pratt, 1978) per la quale l'immagine viene trattata alla stregua di una distribuzione bidimensionale di energia. Il campo coltivato viene perciò, schematizzato in una matrice semiripetitiva naturale (Figg. 1, 2) del tipo 'discrete Brodatz stochastic array' (Pratt, 1978).

Sintetizzando, l'analisi di una immagine passa per i seguenti punti:

1. Registrazione del segnale analogico: l'immagine viene acquisita prima su supporto fotografico, poi informatico (stato solido, supporto magnetico).
2. Campionamento del segnale: consiste nel misurare l'intensità media del segnale relativa ad ogni maglia definita dalla griglia di campionamento che viene idealmente sovrapposta all'immagine. Dal punto di vista matematico il campionamento è il prodotto (convoluzione) della funzione immagine analogica $f(x,y)$ per la funzione 'operatore di campionamento di Dirac' $S(x,y)$:

$$S(x,y) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} \delta(x - i\Delta x, y - j\Delta y)$$



Figg. 1, 2: Il campo coltivato viene schematizzato in una matrice dal tipo di tessitura naturale semiripetitivo.

Il lato del riquadro di maglia si definisce 'passo di campionamento' ($\Delta x, \Delta y$).

L'estrazione del dettaglio viene anche delegata ad operatori di trasformazione quali le trasformate di Fourier (invarianti rispetto al tempo) o le wavelets (temporalmente localizzabili, Fig.3).

La scelta del passo di campionamento entro i limiti posti dal teorema di Shannon (Pratt, 1978) è un processo di ottimizzazione che è vincolato da due fattori contrastanti:

2a. per evitare il manifestarsi dell'interferenza si incrementa il valore del passo.

2b. per massimizzare la risoluzione si riduce il passo.

Esistono, inoltre, gravi limiti tecnici alla scelta del passo che sono legati alla potenza elaborativa del processore. L'insieme dei valori medi, centrati nel baricentro di ogni riquadro, dà la matrice numerica dell'immagine da esaminare.

3. Quantizzazione: con questa operazione si associano ai campioni, estratti al punto precedente e che contengono valori numerici scalari e continui, entità categoriche numeriche discrete generalmente dette 'toni di grigio' e che, per un computer da 8 bit, è pari a 256 livelli discreti.

4. Digitalizzazione: la digitalizzazione in senso stretto si compone delle due precedenti pratiche. Tuttavia, in senso più ampio, essa prevede le operazioni di filtraggio numerico e di segmentazione. Per la descrizione di queste pratiche accessorie si rimanda alla bibliografia.

I materiali utilizzati sono stati:

a) Varie fotocamere e telecamere per l'acquisizione di immagini in forma digitale.

b) Scanner e masterizzatore per la costituzione veloce di banche dati.

c) Convertitori analogico-numerici per la acquisizione in formato binario di immagini analogiche.

d) Elaboratore elettronico completo di scheda grafica a colori 16 bit, periferiche quali CD-Rom, unità di back-up, videoregistratori, stampante etc.

e) Software di elaborazione grafica, di elaborazione numerica e di vettorializzazione, ray-tracing ed analisi di immagine.

f) Compilatori di programmi.

Il software impiegato può essere composto di prodotti commerciali variamente assortiti, oppure può essere integralmente progettato facendo uso di un compilatore (es. Turbo-Pascal). Altro materiale di supporto è stato adoperato per localizzare i foci in pieno campo: fatta eccezione per un G.P.S. portatile, il materiale per la localizzazione, il campionamento e la documentazione degli eventi di ruggine e di eventuali fatti collaterali è quello tipicamente utilizzato nei laboratori di agronomia (captaspore, anemometri, penetrometri, pHmetri, etc.).

RISULTATI

I risultati avvalorano l'attendibilità dell'approccio ed indirizzano ad attuare raffinamenti del software, dell'hardware e della metodica. In sintesi:

1) è possibile rilevare velocemente, su grandi aree, anche con una attrezzatura complessivamente modesta (ma ben integrata) per i suoi costi ed ingombri, l'estendersi e l'intensificarsi delle epidemie di ruggine;

2) trasferendo i dati ottenuti in diversi ambienti di elaborazione (grafica, analisi di immagine, calcolo, connettività, *word-processing*) è possibile estrarre grande varietà di informazione qualitativa dalla sola immagine digitale;

Le tendenze cinematiche e dinamiche delle popolazioni possono essere studiate in condizioni osservative prossime al 'tempo reale'.

3) sono state focalizzate molte delle possibili difficoltà tecniche (vedi discussione) che potrebbero essere in grado di frustrare il successo nell'applicazione della tecnica, ma esse sono tutte risolvibili con mezzi attualmente noti.

Si producono, a titolo dimostrativo, alcuni fotogrammi di una sequenza in cui si osserva l'estendersi delle aree coperte dai 'foci' di ruggine su una coltivazione di grano duro sui versanti dell'appennino dauno (Fig.4).

DISCUSSIONE

La stabilità del metodo si basa sui seguenti postulati:

1. Gli operatori di trasformazione devono essere temporalmente localizzabili.

2. La dinamica delle popolazioni di ruggini si analizza come approssimazione ad una serie di stati concatenati da una sequenza cinematica di tipo quasi-stazionario.

$$\forall (f, \psi) \in \mathbb{R}^* \times \mathbb{R}^d$$

$$\langle Wf \rangle (f, \psi) \equiv \int_{\mathbb{R}^d} \int_0^{+\infty} (Wf)(s, u) \left[\frac{1}{C_{\psi}} \int_{\mathbb{R}^d} \psi_s(x-u) \psi_s(x-u) dx \right] ds du$$

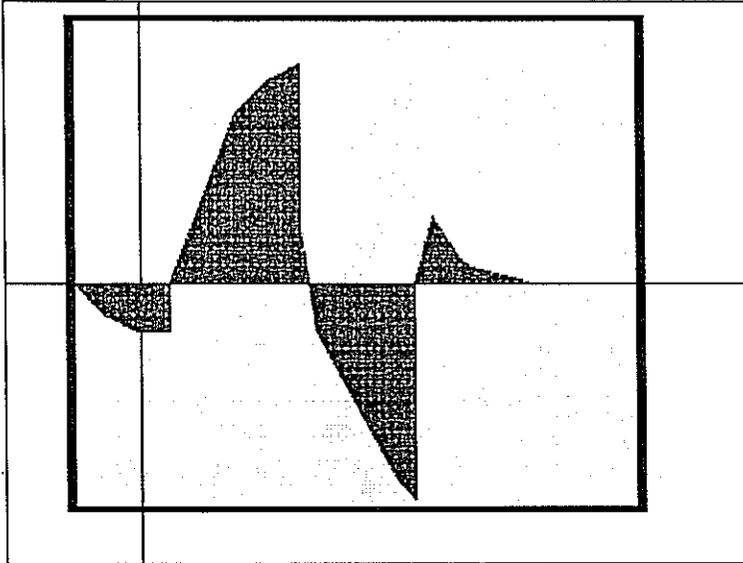


Fig.3: Una wavelet, tipico operatore di trasformazione adottato per l'estrazione dei contorni in analisi di immagine.

3. La distanza di semina sulla fila e tra le file deve fluttuare all'interno di un disco di probabilità la cui corona di indeterminazione sia proporzionale a quella di 'aliasing' tipica del reticolo di campionamento (Operatori di Dirac).
4. Ad operatori di trasformazione, finestre, funzioni di trasferimento, filtri deve poter essere imposta la condizione di invarianza rotazionale.
5. Gli ideotipi del grano alle diverse fasi fenologiche devono essere spazialmente variabili entro i limiti imposti da una distribuzione gaussiana.
6. La distribuzione della taglia e dei parametri endometrici delle piantine deve avere distribuzione gaussiana in una popolazione necessariamente coetanea e primariamente sana.
7. Le superfici campionabili devono avere coordinate multispettrali (colorimetriche) fluttuanti in un 'range' delimitato.
8. La velocità del vento in direzione z deve essere trascurabile o, comunque approssimabile ad una funzione non lineare della quota z.
9. La diffusione atmosferica turbolenta delle particelle deve essere studiata in analogia con la propagazione delle particelle inquinanti secondo le leggi della micrometeorologia.
10. Le infezioni primarie di ruggini si devono sviluppare sulle foglie di copertura.
11. Il prodotto del campionamento deve essere passibile di stima quantitativa e qualitativa (Jeger, 1986): sia le funzioni di trasferimento che le curve di sviluppo debbono essere integrabili nei loro domini di definizione.
12. L'articolabilità in sottofasi (periodo preinfezionale, infezionale, latente, di evasione, di perennazione) deve garantirsi contro il possibile instaurarsi di effetti di ridondanza.

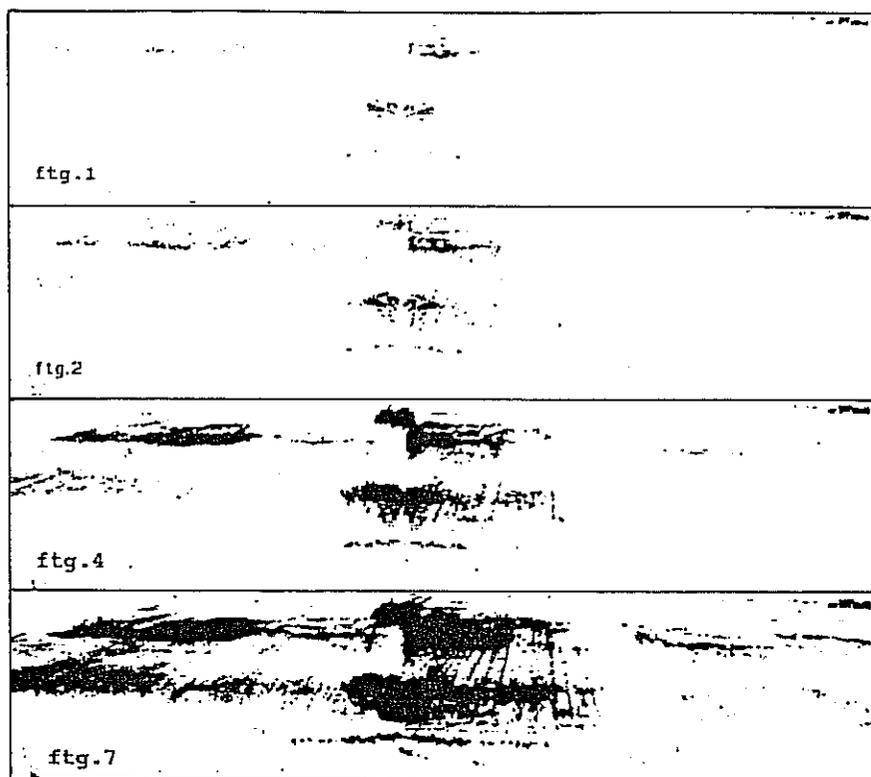


Fig.4: sequenza di fotogrammi illustrante l'estendersi dei foci di ruggine in un campo di grano duro pugliese.

13. Lo schema del campionario deve essere adattabile alle condizioni di propagazione di tipo focale, ibrida o generale.

L'azione e la base del campionamento debbono essere localizzabili nelle funzioni spaziali che le legano alla variabile temporale. Perciò i fattori che, sia singolarmente che in interazione, possono influire sul realizzarsi dell'epidemia devono poter essere, di volta in volta, isolati, modificati, aggiunti o sottratti.

I calcoli vettoriali o statistico-minimalistici della fase di stima (deterministica o stocastica) debbono poter essere modularmente applicati alla base numerica.

L'approccio iniziale, a livello di campionamento, stoccaggio e strutturazione dei dati deve essere plasticamente constataivo, non simulativo.

La eventuale simulazione deve partire da successive analisi validanti la sua fattibilità.

Analogamente, l'approccio analitico deve essere conservativo del dato e della struttura in cui il dato è inserito, poichè la fase sintetica va operata in seguito all'applicazione degli operatori di stima.

Rispetto al tempo, un modello costituito su queste metodiche si presta più ad applicazioni di tipo ricostruttivo che previsionale. L'introduzione dei fattori dinamico e temporale nel modello richiedono l'uso di operatori diversi dalla trasformata di Fourier o dalla FFT poichè queste ultime mancano di localizzazione spaziale. Sono state perciò sperimentate, in queste applicazioni, le trasformate di Haar (Pratt, 1978) le quali hanno una risoluzione variabile nello spazio tempo-frequenza del quadro.

Il modello deve essere a campionamento spaziale e temporale adattativi onde evitare fenomeni di ridondanza (Pratt, 1978).

La definizione dello spazio è di tipo modulare, in quanto si definiscono le già citate unità modulari di area dette 'diorami' la cui dimensione è ottimizzabile in funzione della dinamica dei "foci" nel sistema epidemiologico delle ruggini brune del grano.

Nel nostro caso, il campionamento è stato effettuato su parcelle elementari modularmente associabili e di dimensioni circa- ettariali.

Il nostro approccio presenta, però, alcuni problemi tecnici ardui da risolvere:

1. Le immagini debbono poter soggiacere a trasformazione geometrica e ciò produce complicazioni nella fase di 'object-modelling' (Coad & Yourdon, 1991, Pratt, 1978).

2. Aumenti di dettaglio sono ostacolati dalla crescita del rumore di fondo.

3. Le diverse profondità nel campo - oggetti possono creare effetti di interferenza.

La tecnica adottata trova limiti nella potenza di elaborazione delle macchine di calcolo impiegate: tuttavia il sistema di analisi del campo attraverso diorami modulari (e proceduralmente concatenati) può consentire l'effettuazione di analisi parziali del campo contraendo i tempi e l'ingombro delle elaborazioni.

Sulle matrici numeriche si applicano operatori complessi quali i campionatori, le funzioni di trasferimento, i filtri passabanda, gli estrattori di caratteristiche. Questo approccio rende i dati provenienti da altre statistiche demologiche, connesse con l'epidemiologia delle ruggini (studi sulla dispersione dei geni codificanti per la virulenza e per la resistenza) più facilmente integrabili con i dati prodotti da 'surveying' in quanto anch'essi listabili in forma matriciale.

Infine va ricordato che la struttura in moduli matriciali conformerebbe il quadro dei dati campionati all'evoluzione dei calcolatori verso l'architettura parallela (Soucek B. e Soucek M., 1988).

LAVORI CITATI

- COAD P., YOURDON E. (1991). Object-oriented design. Prentice-Hall Inc., U.S.A., 197 pp.
- DAALHUIS A. B. O. (1993). Computing with daubechies' wavelets. In: Wavelets: an elementary treatment of theory and applications (Koonwinder T. H.). World Sci. Pub. Co. Inc., 93-105.
- JEGER M. J. (1982). The Relation Between Total, Infectious and Postinfectious Diseased Plant Tissue. *Phytopathology*, 72(9), 1185-1189.
- JEGER M. J. (1984). Relation Between Rate Parameters and Latent and Infectious Periods During a plant Disease Epidemic. *Phytopathology*, 74(10), 1148-1152.
- JEGER M. J. (1986). Asymptotic Behaviour and Threshold Criteria in Model Plant Disease Epidemics. *Plant Pathology*, 35, 355-361.
- PRATT W. K. (1978). Digital Image processing. J. Wiley & Sons, New York, 688 pp.
- SOUCEK B., SOUCEK M. (1988). Neural & Massively Parallel Computers-The 6th generations. J. Wiley & Sons, New York, 460 pp.
- SPRIET J. A., VANSTEENKISTE G. C. (1988). Computer-aided Modelling and Simulation. Academic Press, 515 pp.
- VAN DEN BOSCH F., ZADOKS J. C., METZ J. A. J. (1988). Focus Expansion in Plant Disease. I: The Constant Rate of Focus Expansion. *Phytopathology*, 78(1), 54-58.
- VAN DEN BOSCH F., ZADOKS J. C., METZ J. A. J. (1988). Focus Expansion in Plant Disease. II: Realistic Parameter-Sparse Models. *Phytopathology*, 78(1), 59-64.
- VAN DE LANDE H. L. (1993). Spatio-temporal analysis of spear rot and 'marchitez sorpresiva' in African oil palm in Surinam. *Netherland Journal of Plant Pathology* 99 Supplement 3, 129-138.
- ZAWOLEK M. W. (1993). Shaping a focus: wind and stochasticity. *Netherland Journal of Plant Pathology* 99 Supplement 3, 241-255.