

## Modelli di previsione

**Per stabilire il momento più opportuno dell'intervento chimico contro oidio, ruggini e fusariosi, sono disponibili modelli matematici in grado di simulare lo sviluppo della malattia fungina sulla base di parametri climatici, biologici e agronomici. I modelli vengono utilizzati nell'ambito di un Servizio di previsione e avvertimento su scala provinciale e quindi affiancati da rilievi periodici in campo.**

Riccardo Bugiani Servizio Fitosanitario Regione Emilia-Romagna  
 Simona Giosuè Horta Srl, spin off dell'Università Cattolica del Sacro Cuore  
 Diego Scudellari Centro Ricerche Produzioni Vegetali

### FORECASTING MODELS

Mathematical models are available to establish the most proper period for chemical treatments to control rusts, powdery mildew, and fusarium wilt. By means of weather, biological and agronomic parameters, they are able to simulate fungi development in the plant. Such models are used by the Provincial Forecast Service, which performs periodical field monitoring. Connecting to the web page of the Research Centre for Fruit and Vegetable Production it is possible to calculate automatically the contamination risk due to mycotoxins; such calculations are based on information data, such as: local weather conditions, vegetal species, cultivars, crop rotation and soil operations.

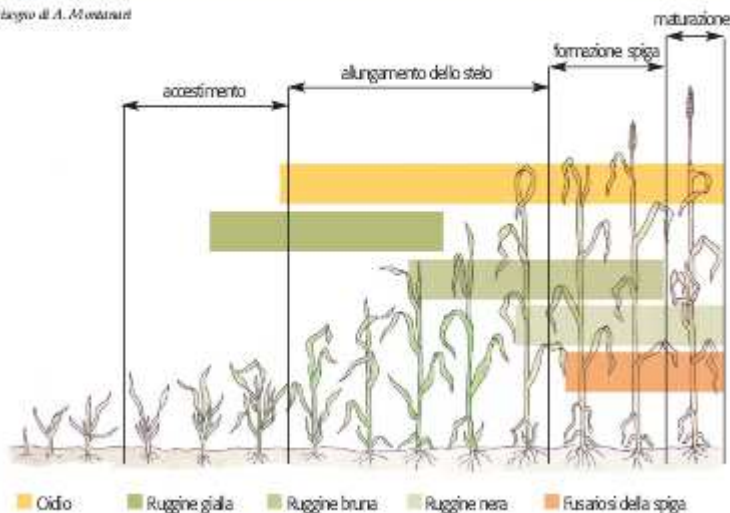
Verso la fine del suo ciclo di sviluppo vegetativo, a partire dalla spigatura, il frumento si avvia nella sua fase più delicata, nella quale si producono e accumulano i costituenti della granella. Gli organi vegetativi che maggiormente contribuiscono a tale attività sono le ultime foglie e in particolare la foglia bandiera, l'ultimo internodo, la spiga e le reste. In queste fasi tali organi possono essere colpiti da diverse patogeni fungini in grado di arrecare danno sia sotto l'aspetto quantitativo (resa in granella) che qualitativo (qualità e contenuto di proteine e presenza di micotossine).

Le malattie fogliari del frumento, che nei nostri areali compaiono con incidenza e gravità diverse da un anno all'altro e da zona a zona, sono l'oidio, causato da *Blumeria* (= *Erysiphe*) *graminis* f.sp. *tritici*, la ruggine gialla e bruna, causate rispettivamente da *Puccinia striiformis* e *Puccinia recondita* f.sp. *tritici*, e la fusariosi della spiga, sindrome causata da diverse specie fungine appartenenti ai generi *Fusarium* e *Microdochium* (fig. 1).

È da segnalare anche la stagonosporiosi, causata da *Stagonospora nodorum*, che negli ultimi anni si è presentata nei nostri areali con una certa gravità.

**Fig. 1 - EPOCA DI COMPARSA DELLE PRINCIPALI MALATTIE FUNGINE**

Disegno di A. Montanari



### Uno strumento matematico

Lo sviluppo delle epidemie fungine viene influenzato dalle interazioni che si instaurano fra il patogeno (in particolar modo la sua virulenza ed aggressività), la pianta (la sua resistenza genetica e il suo stato fisiologico in relazione alla fase fenologica e al suo stato nutrizionale) e le condizioni ambientali in grado di modulare e influenzare sia il patogeno che la pianta.

Per la quasi totalità di queste avversità (è esclusa in questo momento la sola stagonosporiosi) l'Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza, in collaborazione con la Regione Emilia-Romagna ed altri enti, ha sviluppato modelli epidemiologici in grado di fornire, nell'ambito di un Servizio di avvertimento territoriale, informazioni circa il reale rischio epidemico del frumento, in modo da poter razionalizzare gli eventuali interventi chimici a

sua difesa.

Un modello, in senso generale, è uno strumento matematico in grado di rappresentare al meglio un evento, in funzione di una o più variabili. Nello specifico, i modelli in questione fanno uso di informazioni in entrata di tipo climatico, biologico ed agronomico, che vengono elaborate per poter ottenere in uscita indicazioni circa un possibile rischio epidemico della coltura interessata, in modo tale da consentire l'intervento fitoiatrico prima che la malattia diventi incontrollabile o determini perdite di produzione significative.

Un modello matematico costituisce un elemento di previsione spesso determinante; tuttavia l'informazione fornita dal modello deve essere confrontata con altre fonti informative. Infatti, per arrivare a fornire agli agricoltori un

consiglio preciso sulla necessità o meno di effettuare interventi fungicidi, entrano in gioco anche altri fattori biologici in grado di completare il quadro fitosanitario di un certo comprensorio.

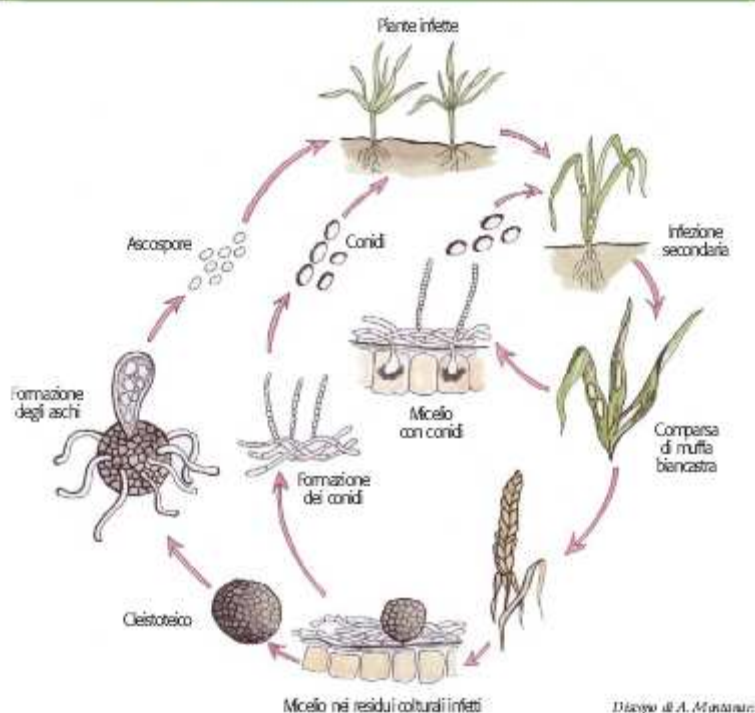
È per questo motivo che i modelli matematici devono essere affiancati a rilievi periodici dello stato fitosanitario della coltura su campi spia non trattati, che quindi possano manifestare con anticipo gli eventuali sintomi della malattia, oppure quantificando la presenza di spore fungine di alcuni patogeni nell'ambiente attraverso captaspore. Questo concetto ha portato quindi ad inserire i modelli previsionali nel Servizio di previsione e avvertimento su scala zonale, generalmente provinciale.

## OIDIO O MAL BIANCO

L'oidio è diffuso in tutte le aree cerealicole italiane. Gli organi colpiti (fig. 2) si ricoprono di un micelio biancastro, mentre nella parte della foglia direttamente opposta al feltro micelico si possono notare aree decolorate, dapprima puntiformi e in seguito rotondeggianti che, con il progredire della malattia, si disseccano. Il micelio, oltre a costituire una barriera meccanica all'attività fotosintetica, causa un aumento della respirazione e della traspirazione, mentre gli austori sottraggono nutrimento all'ospite. Infezioni gravi, che possono portare a perdite di produzione del 10-0%, si hanno però solo in presenza di condizioni climatiche favorevoli allo sviluppo del fungo, quale l'elevata umidità dell'aria (85-100% U.R.). Il suo insediamento è invece ostacolato dalla presenza sulle piante di un velo di acqua. La malattia è in grado di svilupparsi su tutte le parti aeree della pianta (foglie, guaine, culmo, spiga) e molto precocemente nella stagione vegetativa (già dalla fase di accestimento), manifestandosi con maggior virulenza nel periodo compreso tra la levata e la spigatura. Ciò è dovuto alla capacità del fugo di svolgere il suo ciclo infettivo entro un ampio range termico. I conidi, le spore agamiche del fungo, arrivano a germinare sulle foglie e differenziare le strutture per l'infezione con temperature comprese fra 4 e 30 °C, anche se i valori ottimali oscillano fra 10 e 22 °C. Umidità relative prossime alla saturazione favoriscono l'infezione, mentre al contrario la pioggia e la presenza d'acqua sugli organi vegetali ostacolano i processi infettivi.

Una volta terminato il processo infettivo, la colonia del fungo inizia ad accrescersi sulla superficie vegetale e ben presto diventa visibile a occhio nudo. La velocità di accrescimento della colonia dipende essenzialmente dalla temperatura ed è massima intorno a 25 °C. Dopo un periodo di latenza le colonie fungine iniziano a produrre nuovi conidi; a 15 °C sono

Fig. 2 – IL CICLO BIOLOGICO DELL'OIDIO



necessari 7-8 giorni dall'infezione e a 25 °C anche meno.

La sporulazione avviene fra 8 e 30 °C, ma è tanto maggiore quanto più la temperatura si approssima al valore ottimale di 20 °C e quanto più elevata è l'umidità relativa. I conidi, una volta distaccatisi dai rami conidiofori, si disperdono nell'aria e in condizioni climatiche favorevoli causano nuove infezioni.

Il principale fattore in grado di ostacolare il processo infettivo di *Blumeria graminis* è la pioggia che, con il suo effetto battente, rimuove le colonie e le spore sia dalle foglie che dall'aria e, bagnando le superfici vegetali, imbibisce i conidi, che letteralmente scoppiano.

In condizioni favorevoli il fungo compie un ciclo infettivo in pochi giorni, essendo capace di produrre molte spore e potenzialmente di originare molti cicli secondari che portano a incrementi molto rapidi dei sintomi sulla pianta. Quando le condizioni sono meno favorevoli, le epidemie proseguono più lentamente fino ad arrestarsi in presenza di piogge persistenti.

### Funzionamento del modello

Il modello per l'oidio del frumento è composto da due sottomodelli denominati POWPRI, per il calcolo della prima comparsa dei sintomi sulla coltura e POWDEP, per il calcolo dello sviluppo epidemico della malattia. Entrambi sono stati validati per più anni nella regione Emilia Romagna con l'intento di utilizzarli nell'ambito del Servizio regionale di previsione e avvertimento. I modelli POWPRI e POWDEP sono composti da diversi algoritmi: essi legano le variabili meteorologiche tassi che regolano il passaggio da uno stadio del ciclo infezione al successivo. Il tasso di produzione delle spore è calcolato in funzione di temperatura, umidità relativa e pioggia; il tasso di infezione dipende da deficit di pressione del vapore, velocità del vento, pioggia, come pure dal tempo intercorso dalla germinazione delle spore, dipendente a sua volta dalla temperatura; il tasso di crescita delle colonie è funzione della temperatura della pioggia, mentre i tassi di sviluppo dei periodi incubazione, latenza e infettività dipendono esclusivamente dalla temperatura.

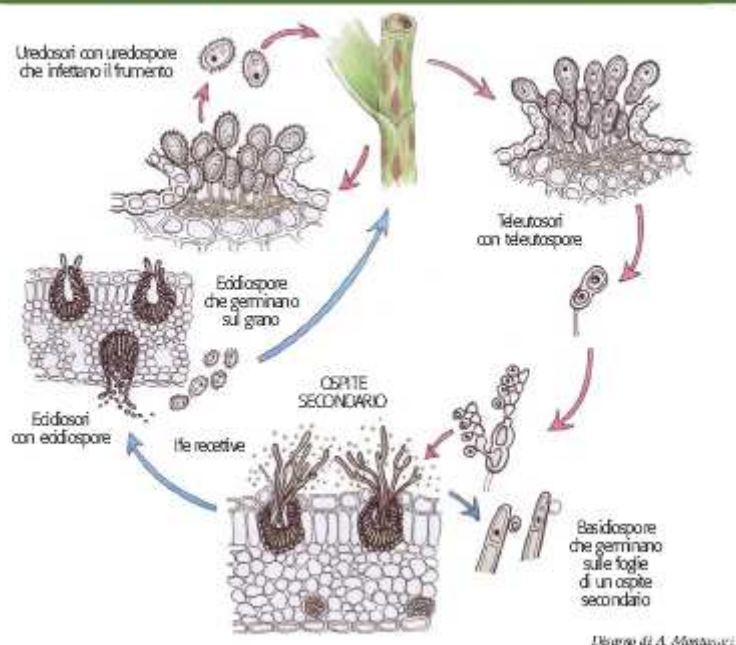
Dallo studio delle simulazioni effettuate in svariati anni, due parametri sono risultati di interesse primario. Per simulare l'infezione di oidio sono necessari - oltre alla data di semina, determinante per inizializzare il calcolo - i dati orari di temperatura, umidità relativa, precipitazione e bagnatura fogliare.

Dal prodotto di due indici (il tasso di produzione spore sulle colonie fungine e il tasso al quale le spore determinano infezione) viene inoltre calcolato un indice di malattia che viene cumulato a partire dal 1° aprile e che, nell'ambito delle validazioni, è risultato correlato positivamente con i valori di gravità di mal bianco osservati in campo e misurati sulla base della soglia di riferimento usata dai Disciplinari di produzione integrata, pari a 10-12 colonie di *B. graminis* presenti sulla foglia bandiera (2,5% dell'area fogliare colpita). Gli altri parametri sembrano avere minore importanza, specialmente durante il periodo di maggior interesse per una simulazione orientata alla protezione della coltura. In questa fase infatti la dispersione delle spore può essere considerata già possibile, l'area di produzione delle spore proporzionale all'area malata nella maggior parte delle condizioni ambientali, il numero di siti disponibili per l'infezione può ritenersi non limitante e, infine, la crescita di pustole sulla superficie della pianta può essere considerata trascurabile se confrontata con l'instaurarsi di nuove infezioni.

## RUGGINE BRUNA

La ruggine bruna o fogliare per frequenza e durata è una delle malattie più pericolose del frumento, anche se le epidemie, generalmente, non sono disastrose. Si presenta sulla lamina fogliare con pustole (uredosori) rotondeggianti e puntiformi di colore rosso mattone, disposte in modo irregolare, contenenti le uredospore, pure di colore rosso mattone (fig. 3). In seguito compaiono sulle guaine fogliari e sulla pagina inferiore delle foglie i teleutosori di colore nero, irregolarmente distribuiti.

Fig. 3 - IL CICLO BIOLOGICO DELLE RUGGINI



Particolarmente gravi sono gli attacchi tra la spigatura e la maturazione cerosa, quando l'aumento della traspirazione e della respirazione e la diminuzione dell'attività fotosintetica portano a un ridotto vigore della pianta e a una conseguente riduzione nella resa di granella.

In quasi tutte le aree cerealicole del nostro Paese il patogeno ha sempre trovato condizioni climatiche favorevoli al suo sviluppo. Solamente in quest'ultimo decennio è stata osservata una certa riduzione della sua frequenza e intensità, probabilmente legata, da una parte, ai cambiamenti delle condizioni climatiche e, dall'altra, alla scarsità e/o all'arrivo dell'inoculo primario.

### Funzionamento del modello

Le epidemie di ruggine bruna vengono simulate correttamente attraverso i modelli RUSTPRI e RUSTDEP. Il processo infettivo inizia quando una uredospora germina sulla superficie fogliare e il tubo germinativo penetra attraverso uno stomato, dando avvio a una infezione latente. Al

termine del periodo di latenza appare un uredosoro e l'infezione diventa visibile. La comparsa della malattia è significativamente influenzata dalla germinazione e penetrazione delle uredospore e dalla durata della latenza (dipendenti dalle condizioni climatiche di temperatura, umidità relativa, pioggia, luce e bagnatura fogliare) oltre che dallo stadio di sviluppo dell'ospite e dalla sua resistenza intrinseca all'infezione. Il modello calcola giornalmente un'efficienza di infezione delle uredospore espressa in percentuale e rappresentante una misura della probabilità di infezione. Più alta è l'efficienza di infezione, maggiore è la probabilità di contrarre l'infezione. Tuttavia, poiché è certo che, nel caso delle infezioni primarie, le uredospore presenti nell'aria vengono veicolate sulle piante attraverso la pioggia, la presenza di questa associata a un'alta efficienza di infezione aumenta notevolmente il rischio di infezione. Il modello è in grado di determinare il momento delle infezioni primarie di ruggine, la percentuale di uredospore in grado di infettare le foglie di frumento e il momento in cui intensificare i monitoraggi in campo per rilevare la malattia. Il modello RUSTDEP è invece in grado di simulare lo sviluppo epidemico della malattia nel corso della stagione. Anche in questo caso l'indice di infettività viene cumulato nel corso della stagione vegetativa.

## RUGGINE GIALLA

La ruggine gialla o delle glume è presente nel nostro Paese spesso in forma latente, è circoscritta ad alcune aree e si manifesta soprattutto su varietà sensibili di frumento tenero, in quanto il frumento duro sembra essere più tollerante. In coincidenza di condizioni climatiche favorevoli allo sviluppo del fungo si possono avere forti epidemie. La sua comparsa, in forma epidemica, avviene generalmente ogni 5-6 anni. Tra le ruggini del frumento è la più precoce, in quanto compare, in genere, tra fine levata e spigatura sviluppandosi soprattutto sulle foglie, ma in grado di infettare anche la spiga. Sugli organi colpiti compaiono pustole di colore giallo (uredosori), di aspetto



- indice di rischio cumulato, a partire dalla spigatura, che corrisponde allo stadio fenologico di inizio suscettibilità (mentre lo stadio più suscettibile è quello di antesi); tale indice è specifico per ciascuna specie e viene determinato attraverso il prodotto dei tre indici precedenti se il tasso di infezione è maggiore di zero;
- periodo di incubazione;
- indice di rischio per l'accumulo di micotossine, solo per le specie *F. culmorum* e *F. graminearum*.

Il modello FHB-wheat è pertanto in grado di fornire il rischio di contaminazione tossigena delle cariossidi in funzione del patogeno e della fenofase. Pertanto rappresenta, insieme ad altre componenti, uno degli elementi essenziali del FHB-DSS (*Fusarium Head Blight Decision Support System*), attualmente gestito in Emilia Romagna dal Crpv per la filiera cerealicola (si veda alle pagine successive).

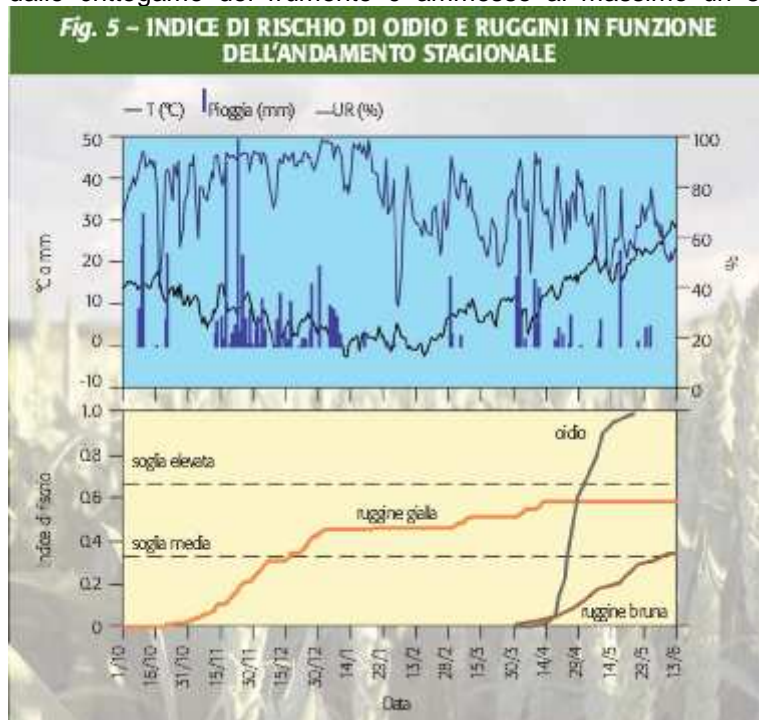
### Un'unica soglia per le tre malattie

Come si evince da quanto sopra riportato, nell'ambito di specifici programmi di ricerca finanziati dalla Regione Emilia-Romagna sono stati sviluppati modelli capaci di simulare in modo corretto la dinamica delle principali malattie fogliari del frumento.

Attualmente sono disponibili modelli per la ruggine bruna, per il mal bianco, per la ruggine gialla (ancora allo stato sperimentale e di validazione) e la fusariosi della spiga. I suddetti modelli forniscono informazioni molto dettagliate sul patogeno e sulla sua dinamica di sviluppo. Secondo i Disciplinari di produzione integrata, per la difesa chimica dalle crittogame del frumento è ammesso al massimo un solo trattamento all'anno, indipendentemente dalle

avversità.

Proprio tale vincolo dei Disciplinari ha reso necessario definire un nuovo sistema di previsione, in grado di correlare l'andamento epidemologico di tutte le più diffuse malattie crittogamiche del frumento, fornendo un'unica soglia che permetta di posizionare il trattamento nel momento più idoneo per un controllo globale e più razionale delle malattie (fig. 5). In questo sistema l'output dei modelli risulta semplificato e particolarmente adattato alle decisioni fitoiatriche che il tecnico e l'agricoltore devono intraprendere. Per ciascuna malattia è stato costruito un indice dinamico di rischio di malattia espresso in scala da 0 a 1, e sono state individuate due soglie di allerta, corrispondenti ai valori dell'indice 0,33 – ossia "rischio medio", nel qual caso è importante eseguire controlli in campo - e 0,67 "rischio alto" dell'indice. Tali indici vengono calcolati a partire dal 1° aprile, mentre nel caso della ruggine gialla l'indice è costruito sulla base delle condizioni meteorologiche favorevoli alle infezioni a iniziare dall'autunno precedente. Il calcolo dell'indice di



rischio inizia così il 1° di ottobre e prosegue gradualmente, incrementandosi in misura proporzionale alla presenza di condizioni climatiche favorevoli. In tutti i casi il superamento della soglia di rischio corrispondente precede l'evento infettivo di circa una settimana in funzione della durata di incubazione della malattia.