

IL PROGETTO FINALIZZATO DI RICERCA

"PHENAGRI: FENOLOGIA PER L'AGRICOLTURA"

Antonio Brunetti

Ministero per le Politiche Agricole e Forestali – Ufficio Centrale di Ecologia Agraria

Storia e Struttura del progetto

L'idea di realizzare il progetto finalizzato: "Phenagri: fenologia per l'agricoltura", del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (MiPAF) è nata, all'inizio degli anni '90, sulla spinta di sollecitazioni provenienti dal mondo dell'agricoltura e da quello dell'agrometeorologia.

La prima sollecitazione proveniva dalla necessità, da parte dei Servizi Regionali impegnati nella divulgazione e nell'assistenza agricola, di disporre di dati fenologici, raccolti sistematicamente e in modo standardizzato, da trasferire in maniera integrata agli agricoltori per poter attuare con maggior efficacia pratiche agricole essenziali come l'irrigazione, la protezione delle piante, il controllo delle infestanti, il corretto uso di concimi e di prodotti antiparassitari, la raccolta, ecc..

La seconda motivazione era connessa con la necessità di integrare le banche dati meteorologiche, in genere ricche di dati e bene organizzate, con informazioni di tipo biologico più difficili da reperire e meno adatte ad essere ordinate in sistemi informativi. Queste informazioni, in particolare quelle fenologiche, erano necessarie per aumentare l'efficacia degli studi di agrometeorologia applicata e per favorire lo sviluppo della modellistica agrometeorologica.

Una sollecitazione ad operare in tal senso veniva anche dalla considerazione che le attività per la raccolta e l'uso di dati fenologici sarebbero state facilitate dall'informatica e dai sistemi di comunicazione che, negli stessi anni, erano in rapido progresso e di grande attualità.

In aggiunta, va ricordato l'interesse e la vivace discussione dei botanici sui temi della fenologia e dei bioritmi sensibilizzati, proprio in quel periodo, anche dalla costituzione di una rete di giardini fenologici.

Alla necessità, quindi, di disporre di fonti informative appropriate, provenienti da banche dati agrometeorologiche arricchite costantemente con informazioni fenologiche corrette, omogenee e ben distribuite sul territorio, il MiPAF ha dato risposta con il progetto "Phenagri: fenologia per l'agricoltura".

Phenagri ha avuto allora il compito di verificare lo stato dell'arte delle conoscenze in Italia sulla fenologia di molte specie agrarie e di alcune infestanti, di impostare nuovi criteri di osservazione e studio delle piante e dei loro parassiti e di favorire una più efficace organizzazione e utilizzazione dei dati fenologici dando un peso considerevole allo studio delle relazioni esistenti tra andamento meteorologico ed evoluzione stagionale delle diverse specie.

Per Phenagri venne scelta una struttura progettuale tale da mettere in luce i settori dell'agricoltura in cui la fenologia può essere applicata e venne articolato, per questo motivo, in quattro sottoprogetti, ciascuno con un numero di unità operative utili ad un adeguato approfondimento.

1 - Fenologia delle piante erbacee	3 Unità Operative
2 - Fenologia delle piante arboree	3 Unità Operative
3 - Sviluppo e taratura di modelli matematici	6 Unità Operative
4 - Metodi e tecniche di documentazione	4 Unità Operative
Coordinamento	

Il disegno che ha unito i vari sottoprogetti tra loro e, in maniera diversamente articolata le varie unità operative è stato improntato alla collaborazione tra i partecipanti. Da una parte ci sono state unità che hanno raccolto sistematicamente nuovi dati fenologici (sottoprogetti 1 e 2), dall'altra ci sono state unità che hanno utilizzato questi dati per validare e calibrare modelli matematici che simulano il comportamento di una specie (sottoprogetto 3) e, infine, un altro gruppo di unità ha raccolto le informazioni al fine di catalogarle, archivarle e rappresentarle spazialmente (sottoprogetto 4).

Gli strumenti che il Progetto ha realizzato vanno dalla definizione di standard metodologici, alla stesura di manuali e ipertesti, dall'organizzazione di banche dati, alla messa a punto e taratura di modelli per la stima dello sviluppo e produttività delle piante e dell'evoluzione dei parassiti. Di rilievo lo sforzo di ricercare e suggerire una standardizzazione di metodi di osservazione fenologica necessaria per uniformare e quindi permettere lo scambio e l'elaborazione dei dati.

Di particolare importanza è stata la realizzazione della banca dati del progetto presso l'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria che ha raccolto e ordinato più di 130.000 dati fenologici e più di 5.000 dati meteorologici. La banca dati costituisce il riferimento nazionale per la conservazione delle informazioni fenologiche per la cui diffusione si appronterà un apposito sito web.

La necessità di favorire lo scambio di informazioni nella comunità fenologica italiana è stata costantemente tenuta presente in Phenagri ed ha rappresentato un'innovazione che è stata trasferita in altri progetti sviluppati congiuntamente dal Ministero delle Politiche Agricole e Forestali e dalle Regioni. Ciò è avvenuto in primo luogo nel progetto: "Sistema di interscambio di informazioni e prodotti agrometeorologici tra MiPAF e Regioni" e poi nell'ambito del Programma Operativo Multiregionale (POM): Misura 2, Innovazioni tecnologiche e trasferimento dei risultati della ricerca "La Previsione Fenologica: uno strumento operativo per i Servizi Regionali di Sviluppo Agricolo". Nel primo caso si sono gettate le basi informatiche per uno scambio di dati fenologici tra le Regioni, mentre nel secondo è stato prodotto un applicativo previsionale ormai in uso nelle regioni interessate dal POM.

Il progetto ha portato anche a riflettere su quale fosse il suo ruolo nel panorama internazionale come pure in quello nazionale e regionale e si sono avviati i collegamenti necessari con altri progetti. Importante, per i contenuti e gli echi internazionali, è stato, tra gli altri, EPN (European Phenological Network), finanziato dalla U.E. nell'ambito del V Programma Quadro, che richiama l'attenzione in particolare sulle relazioni tra fenologia e cambiamenti climatici.

Il progetto ha avuto una durata maggiore di quella triennale preventivata, per ragioni di finanziamento risolte, comunque, grazie alla consapevole attenzione della allora Direzione Generale della Produzione Agricola e alla Divisione “Sperimentazione” a cui va un doveroso ringraziamento.

Il Progetto non avrebbe potuto ottenere i risultati raggiunti senza l’apporto decisivo del gruppo di colleghi che hanno partecipato alle attività spesso pesanti di coordinamento: Giovanni Dal Monte, Alessandra Pasquini e Adriana Calì che pure ringrazio sentitamente. Parimenti va il mio pensiero al lodevole impegno e allo spirito di collaborazione dei colleghi che hanno lavorato nelle molte unità operative impegnate nel progetto.

Le prospettive future sono da individuare nell’interesse per la fenologia riscontrato in molti comparti dell’attività produttiva agricola, favorendo ricerca e assistenza. Appare necessario continuare nello sforzo di standardizzazione delle scale fenologiche. Particolare attenzione viene posta da più parti alla scala BBCH, un sistema innovativo di codifica utilmente applicabile a tutte le specie vegetali. Occorre individuare nuove modalità osservative, introducendo strumenti per l’osservazione a distanza al fine di ridurre gradualmente l’attività in campo molto costosa dei fenologi. Si avverte la necessità di approfondire il tema della previsione e dei modelli di simulazione insieme con la necessità di una libera e più efficace circolazione delle informazioni fenologiche disponibili. Per quest’ultimo aspetto appare opportuno favorire ogni possibile forma di divulgazione usando la rete Internet e, uno specifico sito sarà preparato in UCEA. Interessante, altresì, è la possibilità di collaborazione sia con le Regioni, alle quali è peraltro demandato il compito dell’assistenza diretta agli operatori, sia con altri Paesi per la realizzazione di una non solo auspicata, ma già oggetto di discussione, Rete Agro-Fenologica Europea.

FENOLOGIA NELLE COLTIVAZIONI ARBOREE

Bruno Romano

Università degli Studi di Perugia - Dipartimento di Biologia Vegetale e Biotecnologie Agroambientali

Introduzione

Il termine Fenologia ("faino" = apparire) definisce lo studio degli eventi che evidenziano gli stadi della vita delle piante. La fenologia può considerarsi come l'osservazione delle fasi del ciclo vitale o delle attività delle piante e degli animali, che ricorrono periodicamente e che coincidono con particolari fasi dell'anno solare.

Nel mondo vegetale, la fenologia si riferisce alla registrazione delle date in cui diverse fasi del ciclo vitale della pianta sono state osservate sia in particolari specie sia in comunità vegetali. Le fasi che conducono alla crescita ed allo sviluppo delle piante sono collegate ed influenzate da fattori interni alla pianta (bioritmi) regolati da fattori ereditari della specie e quindi "costanti" nello spazio e nel tempo, oltre che da fattori esterni (clima) che agiscono in maniera diretta nell'induzione dei vari stadi. Lo studio si estende al confronto e all'analisi di queste registrazioni e alla ricerca delle relazioni con le condizioni esterne, che influenzano lo sviluppo della pianta, specialmente quelle del clima (le temperature medie, minime e massime, le precipitazioni e la lunghezza del giorno).

Le principali osservazioni, necessarie per stabilire la periodicità, caratteristica di ogni pianta, dipendono dalla sua forma di vita e dal suo comportamento; la maggior parte delle registrazioni fenologiche comprende la data dell'apertura delle gemme, dell'espansione delle foglie, della fioritura, della formazione del frutto e della dispersione dei semi. Tali fasi dell'attività della pianta (fenofasi) possono essere anche affiancate da altre o definite secondo criteri particolari. Per esempio, nelle sempreverdi legnose e nelle specie decidue, l'apertura delle gemme fogliari è, durante l'anno, un fenomeno abbastanza discontinuo e, di fatto, è normalmente limitato ad una breve fase. Non è tanto importante osservare la prima data di fogliazione o di fioritura (che per le singole piante della medesima specie non sempre coincide) quanto il tempo che la singola pianta o la popolazione impiega per aprire le gemme. Una delle osservazioni fenologiche più importanti è la durata del periodo in cui la pianta mantiene il fogliame funzionale, dato che esso può essere utilizzato per definire la lunghezza della stagione di crescita annuale.

Si attribuisce un particolare interesse alle diversità fenologiche delle varie specie che crescono nella stessa comunità vegetale, dove le influenze esterne del tempo e del clima sono le medesime. Per esempio, in alcuni territori orientali degli Stati Uniti d'America, l'apertura delle gemme avviene ai primi d'aprile per la maggior parte degli alberi, ma la colorazione preautunnale delle foglie e la caduta delle stesse comincia a metà settembre per i castagni (*Aesculus pavia*, *A. octandra*), verso la fine di settembre per l'albero dei tulipani della Virginia (*Liriodendron*) e nel tardo ottobre per l'acero (*Acer saccharinum*, *A. rubrum*). Di conseguenza, queste specie presentano stagioni di crescita di durata diversa (per esempio 150 giorni per *Aesculus* e 200 giorni per *Acer*).

La flora delle regioni con climi contrastanti presenta in genere differenti cicli fe-

nologici. Per esempio, nelle foreste decidue temperate, il 44% delle piante erbacee fiorisce in aprile, il 25% in maggio, il 21% in giugno e solamente il 10% prima o più tardi. In alcune regioni desertiche del Nord America, con piogge invernali scarse e variabili, ci sono due stagioni di fioritura, in aprile-maggio e in settembre-ottobre, che costituiscono anche la fase della crescita vegetativa, separate da stagioni estive ed invernali in cui le piante restano senza foglie. Nelle foreste decidue dell'Africa Tropicale Orientale, la maggior parte degli alberi ha foglie da ottobre a maggio (la stagione delle piogge va da novembre a marzo), sebbene alcune specie siano sempreverdi. Il periodo di fioritura medio è di circa 30 giorni e, per molti alberi, cade verso la fine della stagione secca che precede le piogge, ma è comunque diverso per le varie specie. Nelle foreste tropicali umide alcune piante producono, per un lungo periodo, pochi fiori giornalieri, mentre altre fioriscono abbondantemente per un periodo molto breve; questi differenti comportamenti sono correlati più alla disponibilità e al comportamento dei pipistrelli e degli insetti impollinatori che alle condizioni meteorologiche.

Principali settori della ricerca fenologica

Ricerca con telerilevamento

Le tecniche di telerilevamento definite come "remote sensing" si sono rilevate molto importanti per quanto riguarda gli studi fenologici, in particolare permettendo di superare la principale limitazione delle osservazioni fenologiche dovuta alla scarsa copertura geografica che può essere studiata a terra.

Le osservazioni satellitari a tale proposito permettono di allargare in scala molto più grande singole osservazioni locali, convalidando i dati fenologici e i modelli regionali che ne derivano.

Le stesse osservazioni fenologiche a loro volta sono indispensabili per calibrare le immagini satellitari nelle prime fasi di studio e permetterne una adeguata utilizzazione.

Ricerca in campo medico

Il ruolo della fenologia in relazione alle allergie e a malattie diffuse da insetti vettore si è accresciuto in maniera notevole negli ultimi anni soprattutto per la sempre maggiore diffusione delle stesse allergie.

A tal proposito si può ricordare come le allergie siano aumentate negli ultimi anni in maniera decisa (In Inghilterra il 15-20% della popolazione risulta affetto dalla "febbre da fieno" causata dal polline delle graminacee) e come stia crescendo la spesa pubblica per far fronte a tale urgenza.

L'importanza degli studi fenologici in questo settore risiede nella possibilità fornita dalla fenologia di prevedere le stagioni polliniche e nella recente possibilità di modellizzare le distribuzioni delle malattie.

Tali opportunità consentono di ottenere in largo anticipo informazioni sui periodi di pericolosità fino a diffondere anche grazie a reti di monitoraggio fenologico "allarmi" sotto forma di comunicati pubblici in ampie regioni di territorio.

Attualmente in Europa la rete di monitoraggio fenologico (EPN) permette di seguire lo sviluppo delle specie allergogene e prevedere quando si realizzeranno i periodi antesici e i picchi di pollinazione in essi compresi.

Ricerca nel campo dell'educazione

Le osservazioni fenologiche sono considerate ultimamente un facile strumento per interpretare le trasformazioni naturali e non a livello globale, infatti, sta crescendo sempre più l'interesse da parte sia del pubblico che delle organizzazioni governative per il monitoraggio fenologico.

L'osservazione fenologica risulta di semplice applicazione quindi comprensibile anche da parte di giovani studenti; inoltre è interessante perché legata ai fenomeni delle mutazioni climatiche globali.

A tal fine vengono auspicati e finanziati nuovi programmi di educazione per realizzare sul territorio una rete di monitoraggio fenologico a maglie più strette e per educare i giovani alla osservazione del territorio circostante. Tali programmi portati direttamente nelle scuole mirano a spiegare l'utilizzo dei dati forniti dal monitoraggio remoto, ad indicare le ricadute sulla salute umana, sull'agricoltura etc. fino alla modellizzazione dello sviluppo di scenari futuri.

Ricerca in campo agrario

Le osservazioni fenologiche trovano in campo agrario un settore di impiego particolarmente interessante al fine di determinare la lunghezza delle stagioni di sviluppo delle specie di interesse e per conoscerne i principali periodi di stress termico, idrico o fitopatologico.

In particolare le ricerche fenologiche risultano fondamentali per adattare la selezione varietale in campo frutticolo ed orticolo a specifiche aree di coltivazione riducendo soprattutto il rischio di danni da gelate.

Per quanto riguarda i rapporti tra parassiti e colture ospiti occorre dire che lo studio fenologico di entrambi i soggetti permette di controllare le loro fasi di sviluppo e di prevedere i periodi più suscettibili ad attacchi, consentendo di sviluppare ed applicare le moderne tecniche di difesa integrata al fine di razionalizzare le somministrazioni di prodotti antiparassitari.

I dati fenologici risultano, come rimarcato prima, di estremo interesse anche per la definizione dei volumi irrigui per le diverse colture oltre che per l'adozione di particolari tecniche agronomiche, fino alla pratica della fertilizzazione decisamente legata alle fasi di sviluppo vegetativo.

Ricerca in campo ecofisiologico

In tale ambito occorre ricordare come le osservazioni fenologiche risultino importanti per studiare i rapporti fra le diverse specie e l'ambiente per definire il grado di competizione tra le specie e la composizione specifica dell'ecosistema.

Lo studio fenologico permette di definire ed interpretare i processi realizzati nell'ecosistema come l'organizzazione del carbonio, i flussi dei nutrienti e dell'acqua, la distribuzione delle specie, i periodi di migrazione e riproduzione, l'interazione inter-specifica come pollinazione e disponibilità di cibo.

Il più recente campo di applicazione della fenologia è rappresentato dallo studio delle relazioni con i cambiamenti climatici, dove il concetto chiave di tale applicazione prevede che i dati fenologici rappresentino la risposta del sistema naturale ai cambiamenti climatici, nonché permettano di valutare l'impatto climatico sulle specie considerate.

In questo campo l'esperienza sull'olivo del Dipartimento di Biologia vegetale e Biotecnologie agroambientali dell'Università di Perugia, considerando i trend termici negli ultimi 20 anni e quelli dell'emissione pollinica, ci porta ad evidenziare uno stretto rapporto tra effettivo riscaldamento climatico registrato soprattutto in due periodi (tra il 1984-1990 e il 1996-2001) e la conseguente risposta vegetale. La nostra ricerca infatti indica come negli ultimi 20 anni il periodo di fioritura in olivo, nella provincia di Perugia, si sia realizzato con un progressivo anticipo. Negli ultimi anni (1998-2001) il periodo di fioritura ha avuto inizio a fine maggio mentre in media nei primi anni 80 si realizzava solo a metà giugno.

La nuova valenza della fenologia intesa come “primo meccanismo di allarme per le mutazioni climatiche” ha portato la sua conoscenza anche verso il grande pubblico al quale risulta facile comunicare fenomeni che interessano cambiamenti in processi noti a tutti come quelli della fioritura di specie campione o quello dell'apertura delle foglie.

Culture arboree maggiormente studiate

Tra le colture arboree maggiormente studiate in fenologia occorre annoverare tra le specie da frutto sicuramente la Vite (*Vitis vinifera* L.), l'Olivo (*Olea europaea* L.), gli agrumi in generale nel meridione d'Italia e le Drupacee. Tra le specie arboree forestali possiamo annoverare quelle che sono utilizzate come specie guida nei giardini fenologici e cioè: *Crataegus monogyna*, *Salix acutifolia*, *Robinia pseudoacacia*, *Sambucus nigra* etc.

In particolare presso il Dipartimento di Biologia vegetale e Biotecnologie agroambientali dell'Università di Perugia, da alcuni anni, sono stati approntati degli studi sulle relazioni tra andamenti fenologici ed emissioni polliniche con lo scopo di indagare i rapporti tra andamenti climatici e risposte vegetali quali-quantitative in termini di epoche ed entità di fioritura.

Tale settore di ricerca è stato esaminato anche al fine di impiegare le conoscenze fenologiche ed aerobiologiche per la modellizzazione e previsione delle future produzioni e per aumentare il potenziale produttivo con l'eventuale adozione di particolari tecniche agronomiche (potature, fertilizzazioni, etc.).

All'interno di questa ricerca i risultati del monitoraggio pollinico sono stati considerati come strumenti fenologici al fine di determinare le date di fioritura e a tal proposito vengono presentati alcuni riferimenti bibliografici che comprovano questa ipotesi di lavoro (Chuine et al. 1999; Fornaciari et al. 2000; Osborne et al. 2000; Moriondo et al. 2001).

In particolare la ricerca evidenzia come nella prima fase della fioritura l'apertura dei primi fiori isolati viene registrata dal catturatore pollinico con basse concentrazioni di polline in atmosfera, mentre la partenza effettiva della fioritura viene considerata convenzionalmente come la data in cui vengono registrati almeno 10 pollini/m³, in presenza di trend crescenti di emissione. Nella fase di massima emissione pollinica viene registrato il picco di pollinazione fino a che la presenza di polline viene a ridursi sia in atmosfera che di conseguenza sul nastro di registrazione del catturatore.

Modello di previsione di raccolta in olivicoltura

Al fine di determinare un modello di previsione di raccolta, il ciclo biologico dell'olivo è stato suddiviso in due principali periodi, precedente e successivo al fenomeno di fioritura.

Test statistici hanno confermato l'endogeneità della variabile polline, all'interno del modello di previsione confermandone la bontà come indicatore dei fenomeni meteorologici nel periodo che precede la fioritura stessa. In particolare il modello statistico è stato costruito con un sistema di due equazioni simultanee attraverso il quale si arriva a definire con un eccellente grado di significatività statistica il dato previsionale di produzione potenziale.

Bibliografia

- Chuine I., Cour P., Rousseau D. D. 1999. Selecting models to predict the timing of flowering of temperate trees: implications for tree phenology modelling. *Plant, Cell and Environment*, 22: 1-13.
- Fornaciari M., Orlandi F., and Romano B. 2000. Phenological and aeropalynological survey in an olive orchard in Umbria (Central Italy). *Grana*. 39:246-251.
- Moriondo M., Orlandini S., De Nuntiis P., Mandrioli P. 2001. Effect of agrometeorological parameters on the phenology of pollen emission and production of olive trees (*Olea europaea* L.). *Aerobiologia*, 7: 225-232.
- Osborne C. P., Chuine I., Viner D., Woodward F. I. 2000. Olive phenology as a sensitive indicator of future climatic warming in the Mediterranean. *Plant, Cell and Environment*, 23: 701-710.

FENOLOGIA DEL FRUMENTO: RICERCA ED APPLICAZIONI AVANZATE PER LO STUDIO DEGLI EFFETTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO IN AGRICOLTURA E PER LA PROTEZIONE DELLE PIANTE

Franco Miglietta¹, Francesco Primo Vaccari¹, Beniamino Gioli¹, Frank Ewert², John Roy Porter²

¹ *CNR Firenze – Istituto di Biometeorologia*

² *Royal Vet & Agr Univ, Dept Agr Sci, DK-2630 Taastrup, Denmark*

Introduzione

La ricerca svolta negli anni '80 e '90 in Europa, negli USA ed in Nuova Zelanda, ha contribuito in modo sostanziale ad approfondire i meccanismi che regolano lo sviluppo ontologico e fenologico del frumento (Kirby et al., 1985; Miglietta et al., 1989; Kirby et al., 1987; Loss et al., 1990; McMaster et al., 1991; Jamieson et al., 1995). Lo sviluppo delle strutture apicali della pianta di frumento ha messo a fuoco la sequenza di eventi meristematici che presiedono al differenziamento e alla successiva formazione degli abbozzi fogliari e delle spighette (Kirby et al., 1985). L'esistenza di relazioni ben evidenti fra i parametri ambientali (temperatura e fotoperiodo) ha generato una serie di formulazioni matematiche in grado di mettere in relazione fra loro ambiente e tasso di sviluppo della pianta (Baker & Gallagher 1983), ed il successivo approccio modellistico ha consentito, quindi, di mettere a punto e verificare sperimentalmente una serie di relazioni atte a simulare lo sviluppo della pianta nei diversi ambienti di coltivazione (Miglietta, 1991; Jamieson et al., 1995). I più recenti approfondimenti, a cui il Progetto Phenagri ha dato un contributo sostanziale, hanno infine permesso di comprendere meglio il meccanismo che regola la complessa interazione fra pianta ed ambiente che è sostanzialmente alla base delle "fortune" della coltivazione di una specie vegetale che è stata in grado di adattarsi alle condizioni ambientali più disparate ed estendere il proprio areale di coltivazioni ai cinque continenti, dai climi continentali ed asciutti del Canada, al clima umido atlantico dell'Europa nord-occidentale, ai climi mediterranei temperati di Spagna, Francia, Italia e Grecia e a quelli siccitosi del Nord Africa e del Medio-Oriente. Per estendersi perfino quelli più dichiaratamente sub-tropicali del Messico.

Questo lavoro intende, ora, riassumere, in modo sintetico le attuali conoscenze sulla fenologia del frumento ed illustrare come queste conoscenze abbiano già avuto ed ancora avranno un impatto importante nella soluzione di problemi applicativi di grande importanza nel campo delle politiche di protezione delle piante dai parassiti e nell'analisi dell'impatto del cambiamento climatico sull'agricoltura.

Temperatura, fotoperiodismo, vernalizzazione ed ontogenesi nello sviluppo del frumento

Come accennato brevemente nell'introduzione, l'adattamento della coltura del frumento ai climi diversi che ne caratterizzano l'areale globale di coltivazione, è veramente straordinario. Ed il segreto di questo "successo" può essere ragionevolmente attribuito al meccanismo sofisticato che è alla base della risposta che lo sviluppo fenologico di questa specie ha a diversi fattori ambientali. In massima sintesi, si può dire che la durata del periodo di crescita del frumento che va dalla germinazione ed emergenza alla fioritura e poi alla maturità è di fatto sotto il controllo di tre fattori fra loro indipendenti. La temperatura del suolo e dell'aria regola in modo diretto la velocità di divisione cellulare nelle strutture meristematiche dell'apice vegetativo della pianta e la sequenza degli eventi più macroscopici che si realizzano in questa specie, ovvero la successiva emergenza delle foglie e poi delle strutture fiorali che danno luogo all'evento "spigatura" e poi "fioritura" della pianta. L'apice vegetativo del frumento è già di fatto formato nella struttura embrionale della cariosside prima della germinazione, ed in esso sono presenti già almeno quattro abbozzi fogliari che cominciano il loro accrescimento subito dopo la germinazione del seme. La velocità con cui gli altri abbozzi vengono formati dipende in modo lineare dalla temperatura (Miglietta, 1989). Ad una temperatura di 10°C un abbozzo fogliare viene formato in periodo di circa 3.2 giorni mentre quando la temperatura arriva a 20°C, un nuovo abbozzo fogliare viene formato in circa la metà del tempo e cioè in circa 1.6 giorni. Questa dipendenza dalla temperatura è sostanzialmente uguale per tutte le varietà di frumento coltivate siano esse adattate ai climi più freddi o più caldi del mondo (Miglietta, 1989). Con lo stesso meccanismo, anche la velocità con cui le foglie appaiono visibili in successione sul culmo della pianta, emergendo dalla guaina della foglia precedente, è di fatto funzione lineare della temperatura. Ma qui entra in gioco anche un meccanismo ontogenetico che ha a che fare con la "forma" specifica che caratterizza ogni pianta di questa specie. Infatti ogni abbozzo fogliare che si forma sull'apice della pianta deve percorrere via via un "percorso" sempre più lungo per poter emergere. E' stato calcolato che, a parità di temperatura, questo ritardo ontogenetico dell'emergenza fogliare aumenta di circa il 3% per ogni foglia successiva (Miglietta, 1991a). Da un punto di vista fenologico, quindi, la temperatura fa aumentare il tasso di apparizione delle foglie attraverso un meccanismo in cui interviene anche una componente ontogenetica. Ma la durata del periodo germinazione-spigatura non dipende solo dalla velocità con cui le foglie appaiono sul culmo ma anche dal numero totale di abbozzi fogliari, e di foglie, che la pianta ha sviluppato (Kirby et al., 1985b). Assumendo infatti a scopo esemplificativo che la temperatura si mantenga costante a 20°C, una pianta che ha sviluppato sul suo culmo principale 9 foglie impiegherà proporzionalmente più tempo per completare il suo sviluppo di un'altra che ne ha sviluppato solo 7.

Da un punto di vista matematico il calcolo è abbastanza semplice e si riduce a due sole equazioni differenziali che portano ad una soluzione analitica:

$$dP/dt = -0.0308 + 0.0149 T^{\circ} \quad (1)$$

$$dL/dt = dP/dt (1-a L) \quad (2)$$

$$L = (1 - \exp (-a (P-P_0))) / a \quad (3)$$

dove dP/dt nell'equazione (1) è il tasso di formazione dei primordi fogliari che è stato sperimentalmente definito come funzione lineare della temperatura (Migletta, 1989), a è il coefficiente definibile come "ritardo ontogenetico" che definisce il tasso di emissione delle foglie (dL/dt) e che abbiamo già visto essere pari al 3% per ogni foglia successiva ed infine L è il numero finale delle foglie che vengono prodotte su culmo principale della pianta.

Il fotoperiodismo è in sostanza il primo responsabile del diverso numero di foglie (FLN) che possono essere prodotte da ogni culmo. E' ben noto infatti che il frumento è una specie "longigiurna" e che cioè produce un numero inferiore di foglie prima della spigatura, tanto più lunga è la durata delle ore di illuminazione (Brooking et al, 1995). Le varietà di frumento dette fotoperiodiche producono, in "giorni lunghi", un numero molto basso di foglie che è in generale inferiore o uguale a 7, mentre in "giorni brevi" questo numero può diventare anche molto grande. Una pianta cresciuta in condizioni estreme di "giorno breve" può anche non arrivare mai alla spigatura producendo un numero anormale di foglie. In condizioni di campo, non è raro, che una varietà di frumento a semina autunnale a latitudini elevate arrivi a produrre anche più di dodici foglie per culmo (Kirby, 1985b). Così, in termini generali, se la temperatura accelera lo sviluppo, e cioè il tasso di emergenza delle foglie, il fotoperiodo interagisce, nello sviluppo, con la temperatura determinando il numero totale di foglie che vengono prodotte.

La vernalizzazione, infine, gioca un ruolo fondamentale di regolazione. Scoperta dalla scuola russa di Lysenko, la vernalizzazione può essere definita come un meccanismo complesso che rende una data varietà di frumento sensibile od insensibile al fotoperiodo. Una pianta che è stata completamente vernalizzata, ovvero che ha avuto esperienza di una certa quantità di basse temperature nel corso del suo sviluppo vegetativo, diventa, una volta soddisfatto questo suo "fabbisogno in freddo", sensibile al fotoperiodo e quindi in grado di rispondere alle condizioni ambientali producendo un maggior o minor numero finale di foglie. Al contrario, una pianta non-vernalizzata è insensibile al fotoperiodo e continua a restare nello stadio vegetativo per un periodo molto prolungato di tempo. Alla mancata vernalizzazione corrisponde quindi la produzione di un numero finale di foglie molto elevato, al punto che una varietà di grano fotoperiodica coltivata in un clima caldo o seminata in una stagione avanzata e molto calda non riesce mai ad uscire dalla propria fase vegetativa producendo un numero aberrante di foglie senza mai riuscire a produrre la spiga (EJM Kirby, comunicazione personale).

In sintesi, lo sviluppo del frumento è il risultato di questa complessa interazione in cui entrano a far parte aspetti varietali importanti. Nella storia della ricerca agricola sono

state infatti selezionate varietà più o meno sensibili al fotoperiodo e più o meno esigenti in fatto di vernalizzazione. E se fotoperiodismo e vernalizzazione sono fondamentali per prevenire una spigatura troppo anticipata nei climi freddi che porterebbe poi all'aborto delle strutture fiorali, essi diventano quasi controproducenti nelle aree a clima caldo e caratterizzate da scarsa piovosità primaverile. In questo caso, infatti, la produzione di un basso numero di foglie assicura alla pianta uno sviluppo assai rapido e la possibilità di raggiungere spigatura, fioritura e maturazione prima che la siccità e lo stress idrico danneggino fatalmente la crescita e la produzione.

Modellistica fenologica e cambiamento climatico

I più recenti modelli di sviluppo del frumento sono oggi in grado di considerare, nella loro formulazione matematica, le complesse interazioni che sono state descritte in sintesi nel paragrafo precedente. Fra questi spiccano il modello AFRC-Wheat (Porter, 1984), il modello SIRIUS (Jamieson et al., 1998) ed il modello IATA (Migletta, 1991a) che è stato oggetto di studio ed analisi nell'ambito del Progetto PHENAGRI. Questi modelli, per la cui trattazione specifica si rimanda alle lavori citati sopra, usano approcci diversi e formulazioni non sempre simili ma sono tutti in grado di simulare l'effetto dell'ambiente sullo sviluppo e di essere utilizzati come sistemi previsionali per conoscere anticipatamente come una determinata varietà di frumento risponderà alle condizioni ambientali che potranno variare fra località e località e, tema oggi di grandissima attualità, al cambiamento climatico in atto (Migletta & Porter, 1992; Migletta et al., 1995, Rodriguez et al., 2001; Tubiello & Ewert, 2002).

E proprio a questo proposito, parte dell'attività svolta nell'ambito di PHENAGRI negli anni scorsi, ha anche chiarito che il rapido aumento delle concentrazioni atmosferiche di CO₂, a cui assisteremo nei prossimi anni, non avrà un effetto significativo sullo sviluppo di questa specie. Per questo sono stati fatti esperimenti ad hoc utilizzando il sistema MiniFACE (FACE=Free Air Carbon Dioxide Enrichement) messo a punto dallo IATA-CNR (ora IBIMET, Istituto di Biometeorologia), negli scorsi anni. Un sistema, questo, che ha dato la possibilità di studiare lo sviluppo fenologico del grano in condizioni di pieno campo esponendo peraltro una serie di parcelle sperimentali ad elevate concentrazioni di CO₂ (Migletta et al., 1996; Migletta et al., 2001). E gli esperimenti di PHENAGRI hanno evidenziato in modo chiaro che il cosiddetto "effetto fenologico" delle elevate concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica sul grano che era stato osservato negli esperimenti dell'USDA-Water Conservation Laboratory di Phoenix in Arizona (Kimball et al., 1995), era in realtà un artefatto dovuto essenzialmente ad un effetto di riscaldamento causato dall'uso di potenti ventilatori durante le ore notturne. Il rimescolamento prodotto dall'impianto di ventilazione usato negli USA, infatti, aveva il potere di rompere lo strato di inversione termica notturna al di sopra delle parcelle sperimentali, causando quindi un riscaldamento innaturale dell'aria spesso superiore ai 2°C (Pinter et al., 2000).

Modellistica fenologica e rischio fitopatologico

Ma i prodotti del progetto PHENAGRI stanno dando, oggi, anche un contributo

sostanziale a livello europeo nel settore detto "Pest Risk Assessment", ovvero dell'analisi del rischio di diffusione di nuove malattie delle piante nel nostro continente. Il riferimento è qui all'introduzione in Europa di una grave parassitosi di origine fungina (*Tilletia indica*) che colpisce la spiga del frumento deteriorandone in modo gravissimo le caratteristiche olfattive e rendendo le cariossidi inidonee a qualsiasi uso alimentare o di trasformazione industriale. Si tratta del parassita noto internazionalmente come Karnal Bunt, nome comune attribuito ad una fitopatologia assai diffusa in India (da cui è forse originata), ed ormai diffusa in molte aree cerealicole degli Stati Uniti d'America, ma mai ancora accertata in Europa.

In questo caso, il modello fenologico del frumento che è stato oggetto di studio del Progetto PHENAGRI, ed il modello AFRC-Wheat vengono utilizzati a livello europeo per studiare infatti il potenziale rischio di introduzione di questo pericoloso parassita nel nostro continente. E' noto infatti, che la *Tilletia indica* è in grado di attaccare indifferentemente la spiga di frumento duro e tenero quando persistono determinate condizioni di umidità e temperatura nella fase dello sviluppo compresa fra l'emissione della spiga e la fioritura. Il rischio è elevato quando un determinato indice definito come Humidity and Thermal Index, HTI (Stansbury & McKirdy 2002) supera il valore di 2.2.

La modellistica fenologica ha consentito, in questo caso, di analizzare tutti i più importanti areali di coltivazioni del frumento in Europa e stabilire quali sono le zone maggiormente a rischio. Una volta nota, attraverso la previsione fatta con i modelli, la data più probabile di spigatura, è infatti possibile calcolare il valore dell'indice di rischio HTI e definire le probabilità di infezione (Fowler et al., 2002). Un esempio dell'applicazione della modellistica fenologica del frumento all'analisi del rischio fitopatologico è presente sul World Wide Web al seguente URL: <http://www.planteforsk.no/prosjekter/karnalpublic/>

Conclusioni

La modellistica fenologica ha fatto, nell'ultimo decennio importanti progressi. Applicazioni innovative della modellistica che hanno riguardato la previsione d'impatto dei cambiamenti climatici e l'analisi del rischio di attacchi fitoparassitari e l'introduzione di nuove parassitosi, hanno di fatto preso l'avvio proprio dalla ricerca. Senza il contributo di ricerche condotte in laboratorio ed in campo, non sarebbe infatti stato possibile sviluppare ed approfondire l'insieme delle relazioni che legano fra loro lo sviluppo della pianta del frumento e le condizioni ambientali in cui essa viene coltivata. E proprio queste conoscenze di base, che hanno riguardato gli effetti diretti ed indiretti della temperatura, della vernalizzazione e del fotoperiodismo hanno posto le basi scientifiche per la formulazione di modelli avanzati di previsione fenologica. Si è trattato, nel complesso, di un percorso scientifico classico, in cui l'acquisizione di informazioni attraverso la sperimentazione è stata poi negli anni sintetizzata in prodotti operativi. E il progetto PHENAGRI ha indubbiamente contribuito sia al progresso delle conoscenze che alla creazione di questi strumenti operativi.

Bibliografia

- Baker Ck, Gallagher Jn - The development of Winter-Wheat in the field .2. The control of Primordium Initiation Rate by Temperature and Photoperiod. Journal of Agricultural Science 101 (Oct): 337-344 1983
- Brooking Ir, Jamieson Pd, Porter Jr - The Influence of daylength on Final Leaf Number in spring wheat. Field Crops Research 41 (3): 155-165 Jun 1995
- Fowler GA, Kalaris TM, Sequeira RA - Identifying areas at risk for Karnal bunt. B Am Meteorol Soc 83 (10): 1469-1469 OCT 2002
- Kimball BA, Pinter PJ, Garcia RL, LaMorte RL, Wall GW, Hunsaker DJ, Wechsung G, Wechsung F, Kartschall T - Productivity and water use of wheat under free-air CO2 enrichment Global Change Biology 1 (6): 429-442 DEC 1995
- Kirby Ejm, Appleyard M, Fellowes G - Effect of Sowing date And Variety On Main Shoot Leaf Emergence And Number Of Leaves Of Barley And Wheat Agronomie 5 (2): 117-126 1985
- Jamieson Pd, Brooking Ir, Porter Jr - Prediction of leaf appearance in wheat - a question of temperature. Field Crop Res 41 (1): 35-44 Apr 1995
- Jamieson PD, Semenov MA, Brooking IR - Sirius: a mechanistic model of wheat response to environmental variation Eur J Agron 8 (3-4): 161-179 APR 1998
- Kirby Ejm, Appleyard M, Fellowes G - Effect of sowing date and variety on main shoot leaf emergence and number of leaves of barley and wheat. Agronomie 5 (2): 117-126 1985
- Kirby Ejm, Porter Jr, Day W - An analysis of primordium initiation in avalon winter-wheat crops with different sowing dates and at 9 sites in England and Scotland. J Agr Sci 109: 123-134 Part 1 Aug 1987
- Loss Sp, Perry Mw, Anderson Wk - Flowering times of Wheats in South-Western Australia - A Modeling Approach. Aust J Agr Res 41 (2): 213-223 1990
- Mcmaster Gs, Klepper B, Rickman Rw - Simulation of shoot vegetative development and growth of unstressed Winter-Wheat. Ecol Model 53 (3-4): 189-204 Apr 1991
- Miglietta F, Hoosbeek MR, Foot J, Gigon F, Hassinen A, Heijmans M, Peressotti A, Saarinen T, van Breemen N, Wallen B - Spatial and temporal performance of the MiniFACE (Free Air CO2 Enrichment) system on bog ecosystems in northern and central Europe Environmental Monitoring And Assessment 66 (2): 107-127 JAN 2001
- Miglietta F, Giuntoli A, Bindi M - The effect of free air carbon dioxide enrichment (FACE) and soil nitrogen availability on the photosynthetic capacity of wheat. Photosynthesis Research 47 (3): 281-290 MAR 1996
- Miglietta F - Effect of photoperiod and temperature on leaf initiation rates in wheat (Triticum spp) Field Crop Res 21 (2): 121-130 JUL 1989
- Miglietta F, Porter JR - The effects of climatic-change on development in wheat - analysis and modeling. J Exp Bot 43 (253): 1147-1158 AUG 1992

- Pinter PJ, Kimball BA, Wall GW - Free-air CO₂ enrichment (FACE): blower effects on wheat canopy microclimate and plant development *Agr Forest Meteorol* 103 (4): 319-333 JUL 1 2000
- Porter Jr - A model of canopy development in winter-wheat. *Journal of Agricultural Science* 102 (Apr): 383-392 1984
- Rodriguez D, Ewert F, Goudriaan J - Modelling the response of wheat canopy assimilation to atmospheric CO₂ concentrations *New Phytol* 150 (2): 337-346 MAY 2001
- Stansbury CD, McKirdy SJ - Forecasting climate suitability for Karnal bunt of wheat: a comparison of two meteorological methods *Australasian Plant Pathology* 31 (1): 81-92 2002
- Tubiello FN, Ewert F - Simulating the effects of elevated CO₂ on crops: approaches and applications for climate change *Eur J Agron* 18 (1-2): 57-74 DEC 2002

INTERAZIONI TRA FENOLOGIA DELLE PIANTE E SVILUPPO DELLE MALATTIE

Vittorio Rossi

Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza – Istituto di Entomologia e Patologia Vegetale

Introduzione

Lo studio della fenologia delle piante di interesse agrario (fitofenologia) trova vari campi di applicazione, dato che molte tecniche di coltivazione sono strettamente legate allo sviluppo ontogenico vegetale; è il caso, ad esempio, della concimazione e dell'irrigazione, in quanto i fabbisogni nutrizionali ed idrici delle colture variano nel tempo in rapporto allo sviluppo delle piante. Anche fra fenologia e patologia vegetale esistono molteplici relazioni, ma solo in tempi recenti la fitofenologia ha trovato applicazioni pratiche nel settore della difesa delle colture dalle malattie.

Le relazioni che intercorrono fra stadio di sviluppo delle piante e malattie possono essere raggruppate in tre temi principali: 1) il sincronismo fra le fenofasi delle piante e quelle dei loro patogeni, 2) le variazioni di suscettibilità delle piante in funzione del loro stadio fenologico, 3) le variazioni di disponibilità di siti d'infezione in rapporto allo sviluppo della pianta.

Sincronismo fra fenofasi delle piante e dei patogeni.

I patogeni, come risultato dei processi di co-evoluzione con la pianta ospite, possiedono strategie che gli consentono di sincronizzare il proprio ciclo biologico con quello dell'ospite. Ad esempio, il fungo Ascomicete *Venturia inaequalis*, agente della Ticchiolatura su foglie, fiori e frutti del melo, trascorre il periodo di riposo vegetativo della pianta in uno stadio quiescente, che gli consente di resistere alle basse temperature invernali in un periodo durante il quale non sono disponibili tessuti vegetali suscettibili all'infezione; egli differenzia, sulle foglie cadute a terra, dei corpi fruttiferi, gli pseudotecii. Nel pieno dell'inverno gli pseudotecii sono indifferenziati; con l'innalzarsi della temperatura, entro gli pseudotecii si differenziano gli aschi e, al loro interno, le ascospore. La comparsa delle prime ascospore mature coincide con il germogliamento del melo, così che le spore, una volta espulse dagli pseudotecii, possono causare infezioni a carico delle giovani foglie. La data di inizio della maturazione delle ascospore è un punto chiave per l'avvio dei modelli che stimano il rischio d'infezione, i quali sono largamente usati nella difesa contro la Ticchiolatura. L'inizio della maturazione può essere rilevata direttamente raccogliendo gli pseudotecii ed osservandoli con il microscopio, può essere stimata a partire dalle condizioni meteorologiche o, più semplicemente, può essere fatta coincidere con il germogliamento del melo.

Suscettibilità delle piante alle infezioni.

La comparsa e lo sviluppo di una fitopatia dipendono da una molteplicità di interazioni che si instaurano fra i tre elementi chiave del patosistema: il patogeno (fungo, batterio, virus, ecc.), la pianta ospite e l'ambiente. Il patogeno mette in atto una serie di azioni finalizzate ad aggredire la pianta ospite, allo scopo di utilizzarla come fonte

nutrizionale; la pianta si difende dalla aggressione del patogeno attraverso una serie di meccanismi di resistenza, atti ad evitare, tollerare o contrastare le azioni del patogeno (Matta, 1996). L'attivazione di tali meccanismi di resistenza dipende, in vari casi, dalla fase di sviluppo della pianta; recettività, sfuggenza e resistenza allo stato adulto sono fenomeni strettamente dipendenti dalla fase fenologica dell'ospite.

La recettività della pianta alle infezioni non si mantiene costante per l'intero ciclo della pianta ospite: variazioni della conformazione, della funzionalità e/o della composizione chimica degli organi vegetali durante lo sviluppo della pianta comportano variazioni di recettività della pianta stessa. Ad esempio, il frumento è altamente recettivo all'infezione da parte dei funghi agenti della Fusariosi della spiga solo durante il periodo della fioritura (Fig. 1), in quanto composti chimici presenti nel polline favoriscono la germinazione delle spore. Anche la fragola è recettiva alle infezioni di *Botrytis cinerea*, agente della Muffa grigia, durante la fioritura, e la recettività dei singoli fiori varia in relazione al loro stadio di sviluppo (Fig. 2). Le recettività delle foglie di melo alle infezioni di *Venturia inaequalis*, agente della Ticchialatura, varia in funzione dell'età (Fig. 3): le foglie giovani appena distese sono altamente suscettibili, quelle ancora arrotolate lo sono meno, così come quelle adulte, tanto da diventare pressoché immuni a circa tredici giorni dalla loro comparsa. Al contrario, in orzo, la recettività delle foglie aumenta passando dalla foglia a bandiera a quelle più vecchie (Fig. 4).

La sfuggenza alle infezioni si manifesta quando la pianta, in seguito a modificazioni della propria fenologia, si trova in una fase recettiva alle infezioni in un periodo di tempo in cui il patogeno è assente oppure non trova condizioni favorevoli per lo sviluppo.

La resistenza allo stato adulto è una resistenza genetica che non si manifesta nelle piante giovani, ma diventa attiva solo tardivamente, spesso in associazione ad alte temperature. Per esempio, le piante di frumento che contengono il gene Lr35 risultano resistenti a *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*, agente della Ruggine bruna, solo a partire dalla fioritura.

Sviluppo delle piante e disponibilità di siti d'infezione

La maggior parte dei patogeni vegetali compie vari cicli d'infezione nel corso della stagione di crescita della pianta ospite, originando le cosiddette malattie policicliche. Sono malattie policicliche le ruggini, gli oidi, le peronosspore, le ticchialature, le septoriosi e molte altre. Durante un'epidemia, la gravità di queste malattie cresce nel tempo come effetto del susseguirsi dei cicli infettivi, seguendo una curva sigmoide (o logistica): nella fase iniziale dell'epidemia, la gravità (ossia la proporzione di tessuto vegetale infetto) cresce lentamente, dato che la quantità d'inoculo disponibile per le nuove infezioni è limitata rispetto alla superficie vegetale; nella fase centrale la crescita aumenta progressivamente, in quanto l'inoculo cresce in modo esponenziale; nell'ultima fase il ritmo di crescita va progressivamente diminuendo, fino ad annullarsi, in quanto vanno esaurendosi la superficie vegetale disponibile ed i siti d'infezione.

Questo tasso di crescita può essere scritto, nella sua forma più semplice:

$$dy/dt = r \cdot y_t \cdot (1 - y_t) \text{ (Vanderplank, 1963),}$$

dove r è il tasso d'infezione apparente, y è la proporzione di tessuto vegetale occupato

dal patogeno al tempo t , ed $1-y$ è la proporzione di tessuto ancora disponibile per le infezioni.

Quando la superficie degli organi suscettibili della pianta non varia in modo significativo nel corso dell'epidemia la funzione precedente descrive in modo accurato lo sviluppo della malattia, ed il tasso di crescita dy/dt dipende essenzialmente da r ; il tasso r è funzione delle condizioni ambientali, che rendono i propaguli del patogeno più o meno efficienti nel causare nuove infezioni.

Quando vi sono variazioni significative della superficie vegetale nel corso dell'epidemia, l'equazione differenziale diventa:

$$dy/dt = r \cdot y_t \cdot (1-y_t/y_{\max}) \text{ (Campbell e Madden, 1990).}$$

Il tasso dy/dt dipende, oltre che da r , da $y_{\max}$ che rappresenta la superficie vegetale massima che può essere occupata dal patogeno; $y_{\max}$ descrive lo sviluppo della superficie vegetale ed è a sua volta una funzione del tempo. Per esempio, nel caso del mal bianco del frumento, causato da *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, $y_{\max}$ assume valori differenti in rapporto alla singola foglia ed al tempo. Per ciascuna foglia, $y_{\max}$ cresce a partire dalla comparsa della foglia fino al raggiungimento della dimensione massima del lembo, quindi rimane invariato per un certo periodo, poi decresce con la senescenza della foglia fino ad azzerarsi in concomitanza del completo disseccamento fisiologico. E' quindi evidente che, in un qualsiasi giorno dell'epidemia, a parità di r , la gravità delle infezioni cresce in modo differente per le diverse foglie.

Fenofasi della pianta e difesa delle colture dalle malattie.

L'introduzione della fenologia delle piante nella difesa delle colture ha fornito un contributo al miglioramento delle tattiche di applicazione dei fungicidi.

I trattamenti fungicidi sulla base dei calendari fenologici della pianta ospite costituiscono infatti una prima evoluzione rispetto ai tradizionali trattamenti a calendario, questi ultimi basati sulla distribuzione dei fungicidi ad intervalli fissi, in modo da mantenere la pianta costantemente protetta da una quantità sufficiente di principio attivo. Usando i calendari fenologici, i trattamenti vengono eseguiti in concomitanza di precise fasi fenologiche della pianta, corrispondenti ai periodi di maggiore recettività o di più alta dannosità. Così, per esempio, i trattamenti contro *Botrytis cinerea*, agente della Muffa grigia della vite, possono essere eseguiti in corrispondenza di quattro fenofasi, corrispondenti a periodi di particolare recettività degli organi vegetali: in pre-fioritura, quando i grappolini erbacei sono particolarmente suscettibili alle infezioni; in pre-chiusura del grappolo, quando i residui della fioritura possono favorire lo sviluppo pertofita del fungo ed accrescere così la massa d'inoculo; all'invaiaitura ed in pre-raccolta, quando le variazioni biochimiche della bacca la rendono particolarmente recettiva alla colonizzazione fungina e le modificazioni istologiche dell'epicarpo rendono più probabili le ferite e quindi la penetrazione.

Ancora, i trattamenti contro le malattie fogliari del frumento, ruggini e mal bianco, vengono eseguiti in corrispondenza della spigatura, quando la superficie fogliare della pianta è al suo massimo stagionale ed inizia la fase di maggior accumulo della sostanza secca nelle cariossidi.

I modelli di simulazione/previsione delle malattie delle piante costituiscono un ulteriore passo avanti nella applicazione razionale dei pesticidi. Anche in questo ambito la fenologia vegetale rappresenta un punto sostanziale. I modelli infatti simulano lo

sviluppo delle malattie nel tempo e segnalano i periodi di maggior rischio per le infezioni, in corrispondenza dei quali risulta necessario eseguire i trattamenti. Le principali variabili che regolano il funzionamento dei modelli sono le condizioni meteorologiche, ma all'interno dei modelli operano spesso sub-modelli che simulano la progressione fenologica della pianta ospite e lo sviluppo degli organi vegetali suscettibili all'infezione. L'inserimento di questi sub-modelli diventa di fondamentale importanza per modulare il rischio d'infezione nei casi in cui esistono variazioni significative della recettività delle piante, fenomeni di resistenza allo stato adulto e modificazioni della superficie vegetale suscettibile.

Per esempio, nel caso del mal bianco del frumento, precedentemente citato, y_{max} assume valori differenti in rapporto alla singola foglia ed al tempo e pertanto, in un qualsiasi giorno dell'epidemia, la gravità delle infezioni cresce in modo differente per le diverse foglie. Di conseguenza, per elaborare un modello di simulazione del mal bianco occorre avere a disposizione un modello per calcolare il tasso di sviluppo del patogeno (Rossi *et al.*, 2000) ed uno per l'ontogenesi delle diverse foglie del frumento e la dinamica della loro crescita (Rossi *et al.*, 1997). L'abbinamento dei due modelli consente di simulare l'andamento della gravità della malattia sulle singole foglie e, una volta fissata una soglia per i trattamenti fungicidi, di determinare il momento in cui tale soglia viene raggiunta (Rossi e Giosuè, 2002).

Conclusioni

Gli studi fenologici delle piante coltivate, ed in particolare quelli finalizzati ad elaborare modelli fenologici, sono di estrema utilità per un miglioramento delle tattiche di applicazione dei mezzi di difesa. La modellistica fitopatologica, infatti, può ottenere significativi miglioramenti in termini di accuratezza (che è la capacità di simulare con precisione il reale sviluppo della malattia) e robustezza (che è la proprietà di fornire simulazioni accurate nelle più diverse condizioni epidemiologiche) dall'inserimento di sub-modelli capaci di simulare lo sviluppo delle colture.

Bibliografia

- Campbell C.L., Madden L.V. (1990) Introduction to plant disease epidemiology. John Wiley & Sons, New York, 532 pp.
- Matta A. (1996) Fondamenti di patologia vegetale. Patron Editore, Bologna, 494 pp.
- Rossi V., Racca P., Giosuè S., Pancaldi D., Alberti I. (1997) A simulation model for the development of brown rust epidemics on winter wheat. *European Journal of Plant Pathology*, 103, 453-465.
- Rossi V., Giosuè S., Racca P. (2000) Modelling the effect of weather on wheat powdery mildew. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 35 (1-4), 323-332.
- Rossi V., Giosuè S. (2002) Un modello a supporto della difesa contro il mal bianco del frumento mediante trattamenti fungicidi. *Notiziario sulla Protezione delle Piante*, 15 (N.S.), 301-307.

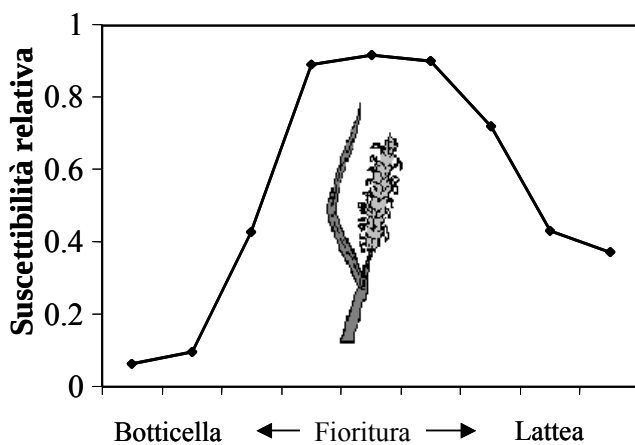


Fig. 1 – Indice di suscettibilità relativa del frumento alla fusariosi della spiga nelle diverse fasi fenologiche.

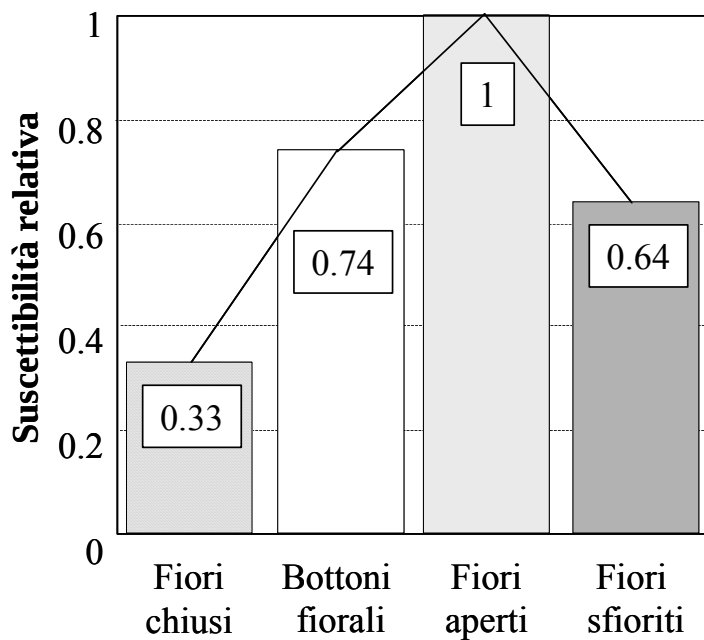


Fig. 2 – Indice di suscettibilità relativa della fragola alla muffa grigia nelle diverse fasi fenologiche.

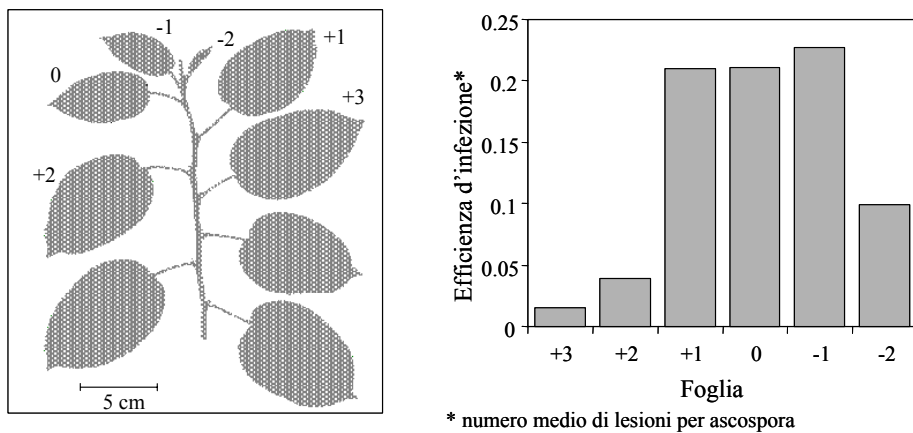


Fig. 3 – Suscettibilità delle diverse foglie di un germoglio di melo alle infezioni di ticchiolatura.

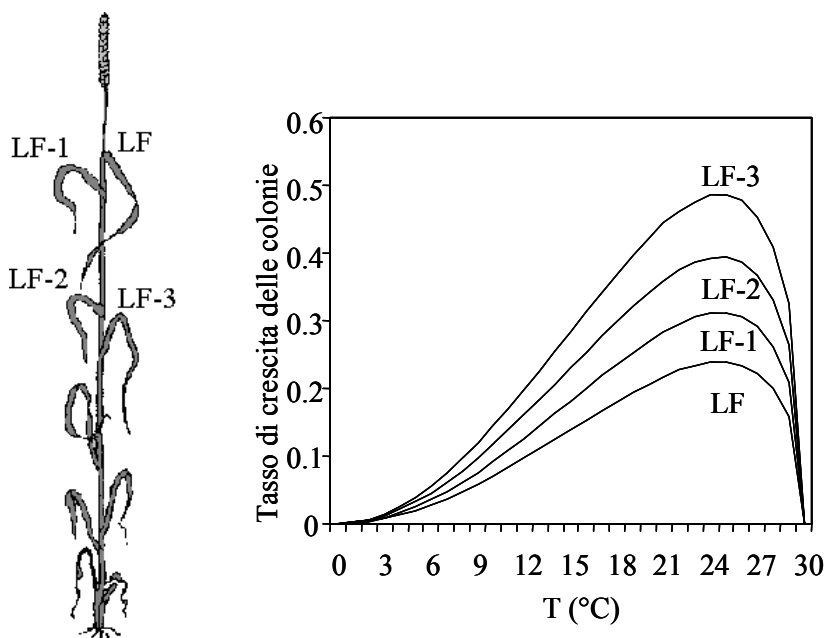


Fig. 4 – Suscettibilità delle diverse foglie di orzo alle infezioni di oidio.

ANALISI FISIOLÓGICO-MOLECOLARE DELLA RELAZIONE TRA FASE FENOLOGICA E CAPACITA' DELLA PIANTA DI ORZO DI RISPONDERE ALLE BASSE TEMPERATURE

Caterina Marè, Cristina Crosatti, Luigi Cattivelli, Elisabetta Mazzucotelli

Fulvia Rizza, Antonio Michele Stanca

Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura di Fiorenzula d'Arda (Piacenza)

Gli stress abiotici, in modo particolare le basse temperature, limitano drasticamente la produttività e la diffusione dei cereali. Le specie coltivate appartenenti alla tribù delle *Triticeae* rappresentano la principale fonte di alimenti sia per il genere umano che per gli animali e sono coltivate in tutti i paesi a clima temperato, come pure nelle aree meno favorevoli quali le regioni nordiche e le zone siccitose coltivabili confinanti con i deserti. Questa diffusione geografica suggerisce che il genoma delle *Triticeae* possiede caratteri per una ampia adattabilità ambientale e una buona resistenza agli stress. La tolleranza agli stress, dal punto di vista agronomico, viene descritta come la capacità di mantenere una resa costantemente elevata (stabilità di produzione), che può essere raggiunta da un ideale genotipo che contenga tutti gli alleli favorevoli ai loci coinvolti nella resistenza agli stress (Cattivelli et al., 2001). Di qui la necessità di studiare e identificare i geni ed i meccanismi di resistenza, per poter migliorare la capacità produttiva dei cereali particolarmente nelle aree del pianeta dove le condizioni ambientali sono più difficili.

La prima risposta fisiologica di una pianta esposta a condizioni di temperature inferiori a 0°C è rappresentata da una significativa perdita d'acqua. A seguito del congelamento si ha un accumulo di cristalli di ghiaccio negli spazi intercellulari, con formazione di adesioni tra il ghiaccio intercellulare, la parete e le membrane delle cellule, una condizione che promuove una consistente disidratazione. La formazione di cristalli nell'apoplasto determina una diminuzione del potenziale idrico con un conseguente flusso d'acqua verso l'esterno della cellula. La disidratazione determina modificazioni fisiologiche più o meno gravi a seconda della quantità d'acqua persa, della velocità di perdita e della durata della condizione di stress. A seguito di carenza idrica si determina una concentrazione dei soluti, una diminuzione del volume cellulare ed una modifica della forma delle membrane, l'alterazione del gradiente di potenziale idrico, la perdita di turgore, la distruzione dell'integrità di membrana, la denaturazione delle proteine (Cattivelli et al., 2002).

Durante l'evoluzione le piante hanno saputo sviluppare meccanismi di adattamento per resistere alle condizioni ambientali più avverse. Tra i più noti vi sono le modificazioni morfologiche finalizzate a limitare la perdita d'acqua (caratteri xerofitici) o la sincronizzazione del ciclo vitale per sfuggire le stagioni più avverse (i genotipi primaverili sfuggono i freddi invernali, mentre i genotipi precoci negli ambienti aridi evitano la siccità estiva). Oltre a questi meccanismi che tendono, nella maggior parte dei casi, ad "evitare" l'effetto dello stress sulla cellula, la sopravvivenza di una pianta

ad una situazione di stress dipende anche dalla capacità della cellula di “rispondere” alla condizione avversa. La risposta cellulare allo stress è un meccanismo inducibile, spesso attivato da moderate condizioni di stress, che migliora sostanzialmente la capacità di tollerare gli effetti negativi delle condizioni ambientali sfavorevoli. Nel caso dello stress da freddo, è noto che se le specie originarie delle zone temperate vengono esposte, per un certo periodo, a temperature basse non letali (tra 0° e 6°C circa), aumentano la loro tolleranza verso temperature inferiori allo zero (acclimatamento al freddo o hardening). Generalmente la risposta della cellula allo stress determina, con modalità diverse a seconda delle specie e dello stress in atto, un accumulo di:

acido abscissico (ABA), un ormone vegetale implicato nella tolleranza al freddo, alla carenza idrica e allo stress salino. L'ABA è in grado di attivare specifici set di geni e costituisce uno dei messaggeri secondari usati dalle cellule per attivare i meccanismi di risposta;

sostanze ad elevato potere osmotico (osmoliti), quali zuccheri solubili, prolina, glicinbetaina, per contrastare la disidratazione causata dal congelamento dell'apoplasto e proteggere le membrane dalla disidratazione;

una famiglia di proteine note come LEA (Late-Embryogenesis Abundant) la cui funzione è ancora sconosciuta ma che presentano elevate caratteristiche idrofiliche;

proteine anticongelanti note come AFP (antifreeze proteins) che si suppone possano contrastare la formazione e lo sviluppo dei cristalli di ghiaccio (stress da freddo);

altre classi di proteine con funzione e caratteristiche ad oggi ignote.

Si verifica, inoltre, una rapida induzione di fattori di trascrizione implicati nei pathway di attivazione genica nella risposta agli stress abiotici.

Nel corso degli ultimi 10-15 anni sono stati clonati numerosi geni la cui espressione è regolata (nella maggior parte dei casi incrementata) dalle basse temperature e/o dalla disidratazione. Analizzando le sequenze per omologia, funzione ed espressione, i geni isolati sono stati raggruppati in classi a seconda delle diverse funzioni. L'esatta funzione della maggior parte dei prodotti genici di queste sequenze è ancora sconosciuta, anche se il loro pattern d'espressione manifesta chiaramente una stretta connessione tra la loro attività e l'acquisizione di tolleranza agli stress.

I meccanismi molecolari che permettono alle piante di percepire esternamente i cambiamenti ambientali e di trasdurre questo segnale al nucleo, dove sono attivati i geni di resistenza, sono ancora poco conosciuti. Questo è dovuto al fatto che tutte le risposte agli stress sono caratteri complessi nei quali sono coinvolti molti geni, che possono avere effetti additivi o ridondanti e possono interagire l'uno con l'altro nelle diverse e complesse vie di trasduzione del segnale (Cattivelli et al., 2001).

La percezione dello stress nelle cellule vegetali è un processo che prevede l'interazione tra diversi pathway, ognuno dei quali coinvolge probabilmente uno specifico recettore e differenti compartimenti cellulari. Tutti questi segnali devono essere inviati al nucleo per avere l'appropriata risposta cellulare.

Infatti ogni cellula contiene, nel proprio genoma, l'informazione necessaria per la sintesi di migliaia di proteine diverse, tuttavia in ciascun momento della sua vita solo una parte di queste è presente; il tipo di proteine espresse e la loro quantità dipendono dalle condizioni fisiologiche della cellula e dagli stimoli ambientali.

Gli organismi viventi sono infatti in grado di variare il profilo di espressione del loro genoma e in questo modo riescono, ad esempio, ad adattarsi a diverse condizioni di crescita, a rispondere ai vari stress ambientali e in particolare, negli organismi pluricellulari, a dare origine a tessuti differenti.

Dall'attivazione di un gene alla produzione della proteina attiva, esistono numerosi livelli in cui l'espressione genica può essere modulata al fine di ottenere un proteoma il più idoneo possibile a soddisfare le necessità fisiologiche della cellula.

Il processo di produzione di una proteina a partire dall'mRNA (traduzione), è regolabile grazie a diverse strategie; una di queste è la stabilità dell'mRNA nel tempo, che varia in modo significativo da un gene all'altro e nelle diverse condizioni.

Riferendoci ai meccanismi di resistenza al freddo, il gene *blt14* di orzo, ad esempio, mostra un aumento della quantità di trascritto in condizioni di bassa temperatura, non per un aumento del suo tasso di trascrizione, ma a causa di una stabilizzazione del suo mRNA da parte della bassa temperatura, o di un fattore proteico presente solo al freddo (Dunn et al., 1994)

I meccanismi di regolazione genica vengono quindi sfruttati dalle piante per modificare il loro proteoma nell'ambito dell'interazione che necessariamente devono avere con l'ambiente. Per "ambiente" si intende l'insieme dei fattori esterni che hanno una conseguenza sulla vita e sul metabolismo dell'organismo. I meccanismi regolativi che controllano i geni necessari per "l'adattamento" all'ambiente agiscono infatti in risposta a precisi segnali percepiti da opportuni recettori (diversi per i diversi fattori ambientali e spesso localizzati sulle membrane), i quali a loro volta attivano processi di trasduzione del segnale che trasferiscono lo "stimolo", generatosi all'esterno della cellula, fino al nucleo.

Nelle piante, esempi significativi di questa capacità sono le risposte ai patogeni e agli stress abiotici (ad esempio il freddo o la carenza idrica); gli organismi vegetali sono in grado di percepire la presenza di un fattore di stress, di trasdurre un segnale e di attivare difese molecolari specifiche che non implicano solo la sintesi di nuove proteine, ma anche l'attivazione di risposte più immediate, come la produzione di specie reattive dell'ossigeno, variazioni del potenziale osmotico ecc.

Alcuni dei meccanismi che consentono alle piante di sopravvivere a condizioni avverse sono costitutivi, cioè presenti prima dell'esposizione allo stress, mentre altri sono inducibili e in questo caso, come precedentemente detto, è necessario un preliminare periodo di acclimatamento affinché l'organismo acquisisca il massimo grado di tolleranza. Fenomeni di acclimatamento si verificano quando la pianta si trova esposta a variazioni non letali delle condizioni ambientali; queste situazioni inducono modificazioni fisiologiche che permettono di sopravvivere a livelli di stress molto più intensi (Fig. 1).

Un aspetto specifico della risposta delle piante al freddo è rappresentato dall'accumulo di proteine localizzate all'interno del cloroplasto. Il primo gene isolato codificante per una proteina importata nel cloroplasto è stato *cor14b* (Cattivelli and Bartels 1990; Crosatti et al., 1995). Sia *cor14b* che l'omologo di frumento *wcs19* (Chauvin et al., 1993) sono indotti solo da basse temperature e la loro espressione viene amplificata dopo brevi e regolari impulsi di luce, condizione necessaria per il completo sviluppo del cloroplasto (Crosatti et al., 1999).

Espressione di geni regolati da freddo durante le diverse fasi fenologiche della pianta di orzo

Le nuove conoscenze nel settore della fisiologia vegetale e biologia molecolare come precedentemente descritto, indicano che esistono processi biochimici regolati sia da fattori ambientali esterni che dallo stadio fenologico. Ne consegue che la fenologia non va più intesa come rapporto “sviluppo della pianta – clima” ma come interazione di tre elementi: “sviluppo e crescita – clima – metabolismo cellulare”. Il sistema qui sviluppato riguarda la relazione esistente tra: basse temperature invernali – stadio di sviluppo della pianta di orzo – resistenza al freddo.

Sono stati realizzati diversi esperimenti di campo e di laboratorio che prevedevano di: applicare una tecnica già collaudata di quantificazione del danno che subiscono le membrane cellulari per effetto delle basse temperature;

impiegare un anticorpo specifico, costruito contro una proteina coinvolta nel fenomeno di risposta alle basse temperature, per svelare la presenza-assenza e la quantità delle proteine negli estratti dei tessuti delle foglie;

monitorare mediante analisi “Western” l’evoluzione della resistenza al freddo in campo durante le prime fasi fenologiche della pianta di orzo.

Un esperimento di laboratorio, che valuta il danno alle membrane cellulari causato dalle basse temperature (Rizza et al., 2001) mediante misura del rilascio ionico è stato realizzato al fine di evidenziare differenze nella capacità di resistenza quando le piante di varietà di orzo venivano sottoposte alla temperatura di -12°C dopo diversi periodi di hardening (Fig. 2). E’ evidente come le varietà Nure ed Onice (invernale) dopo 3 settimane di hardening raggiungono le migliori condizioni di resistenza, la varietà Airone (invernale) necessita di almeno 4 settimane, mentre la varietà Tidone (primaverile) non migliora la sua capacità di resistenza anche prolungando il periodo di hardening.

Sulla base di questi risultati è stato organizzato un esperimento di campo, al fine di monitorare la risposta fisiologica e molecolare allo stress da freddo e per definire il ruolo dei geni COR in diverse varietà di orzo durante il periodo autunno-inverno.

Lo studio fisiologico prevedeva l’impiego di due varietà – Onice autunnale e Gitane primaverile – allevate in parcelle in tre epoche di semina in autunno (20 ottobre – 10 novembre – 20 novembre). Sono stati eseguiti i rilievi di danni da freddo - secondo una scala da 0 nessun danno a 9 piante completamente morte – in due momenti fondamentali da fine gennaio dopo stress a -5°C a fine febbraio dopo stress a -10°C . Le piante avevano raggiunto a fine gennaio e a fine febbraio rispettivamente lo stadio 1.3 - 1.4 nella prima semina 1.2 - 1.3 nella seconda semina e 1.1 - 1.2 nella terza semina.

I risultati (Tab. 1) mettono in evidenza che a -5°C allo stadio di I^a foglia la varietà invernale è lievemente danneggiata mentre nessun danno è stato registrato in II^a e III^a foglia. La varietà primaverile invece mette in evidenza come in terza foglia il danno è modesto. Il rilievo di fine febbraio (-10°C) ha permesso di definire un andamento più o meno simile al precedente rilievo ma in valore assoluto il danno è stato consistente nella varietà primaverile e di modesta entità nella I^a semina della varietà invernale.

TABELLA 1. STADIO FENOLOGICO (SCALA ZADOKS) E DANNO DA FREDDO (SCALA 0-9) NELLA VARIETÀ ONICE (INVERNALE) E GITANE (PRIMAVERILE).

Varietà	Epoche di semina	Stadio fenologico 21.01.99	Danno da freddo	Stadio fenologico 26.02.99	Danno da freddo
	1 (27/10)	1.3	0	1.4	3
Onice	2 (10/11)	1.2	0	1.3	3
	3 (18/11)	1.1	2	1.2	5
	1 (27/10)	1.3	3	1.4	6
Gitane	2 (10/11)	1.2	4	1.3	7
	3 (18/11)	1.1	4	1.2	7

Questi risultati hanno permesso di definire che allo stadio di III^a e IV^a foglia la pianta raggiunge una migliorata resistenza rispetto allo stadio di I^a foglia.

L'uso di un anticorpo contro le proteine sintetizzate nella foglia e specificamente durante il periodo invernale ha permesso di monitorare l'evoluzione della resistenza al freddo in campo durante le fasi fenologiche che vanno dall'emergenza alla fine dell'accestimento.

Nella figura 3 è evidente che l'anticorpo riconosca due proteine COR che differiscono leggermente per il peso molecolare. COR14b risulta essere più abbondante di COR14a. L'aspetto interessante del comportamento di queste proteine è la loro stabilità nelle cellule anche a temperature di +20°C per almeno una settimana. L'accumulo di COR14 è più intenso nella varietà invernale rispetto alla primaverile.

Sulla base di queste evidenze è stato organizzato un secondo esperimento che comprendeva 5 varietà invernali e 5 primaverili al fine di verificare questa ipotesi. I risultati presentati in figura 4 indicano che l'accumulo della proteina COR14 nelle varietà invernali era sempre più alto delle primaverili nel periodo dicembre – gennaio. Nessuna differenza è stata evidenziata tra le varietà autunnali mentre variazioni sono state riscontrate tra le primaverili.

Infatti, due varietà primaverili Chery e Tidone mostrano un livello di proteina COR14 simile a quello presente in alcuni genotipi invernali, mentre Gitane, Tremois e Magda accumulano in ogni situazione una minore quantità di COR14. Questi dati confermano l'esistenza di una variabilità genetica per il carattere "accumulo di COR14", sebbene tutti i genotipi invernali analizzati mostrano la stessa capacità di accumulare la proteina COR14.

Tutte le varietà invernali mostrano un accumulo più elevato delle proteine COR14a e COR14b rispetto alle primaverili e si può concludere che un alto livello di COR14 può rappresentare una componente importante della capacità di sopravvivenza invernale dell'orzo.

Nuovi esperimenti sono stati realizzati al fine di definire il ruolo dei geni COR sulla resistenza al freddo al variare delle fasi fenologiche.

Bibliografia

- Cattivelli L., D. Bartels (1990). Molecular cloning and characterization of cold-regulated genes in barley. *Plant Physiol.*, 93: 1504-1510.
- Cattivelli L., P. Baldi, C. Crosatti, N. Di Fonzo, P. Faccioli, M. Grossi, A.M. Mastrangelo, N. Pecchioni, A.M. Stanca (2002). Chromosome regions and stress-related sequences involved in resistance to abiotic stress in *Triticeae*. *Plant Molecular Biology*, 48(5): 649-665
- Cattivelli L., P. Baldi, C. Crosatti, M. Grossi, G. Valè, A.M. Stanca (2002). Genetic bases of barley physiological response to stressful conditions. In: *Barley Science: Recent Advances from Molecular Biology to Agronomy of Yield and Quality* (Slafer G.A., J.L. Molina-Cano, R. Savin, J.L. Araus, I. Romagosa eds.). Food Product Press, New York-USA. pp. 269-314.
- Chauvin L.P., M. Houde, F. Sarhan (1993). A leaf-specific gene stimulated blight during wheat acclimation to low temperature. *Plant Mol. Biol.*, 23: 255-265
- Crosatti C., C. Soncini, A.M. Stanca, L. Cattivelli (1995). The accumulation of a cold-regulated chloroplastic protein is light-dependent. *Planta*, 196: 458-463.
- Crosatti C., P. Polverino de Laureto, R. Bassi, L. Cattivelli (1999). The interaction between cold and light controls the expression of the cold-regulated barley gene *cor14b* and accumulation of the corresponding protein. *Plant Physiol.*, 119: 671-680.
- Dunn M.A., N.J. Goddard, L. Zhanag, R.S. Pearce, M.A. Hughes (1994). Kiw-temperature-responsive barley genes have different control mechanisms. *Plant Mol. Biol.*, 24: 879-888.
- Rizza F., D. Pagani, A.M. Stanca, L. Cattivelli (2001). Use of chlorophyll fluorescence to evaluate the cold acclimation and freezing tolerance of winter and spring oats. *Plant Breed.*, 120: 389-391.

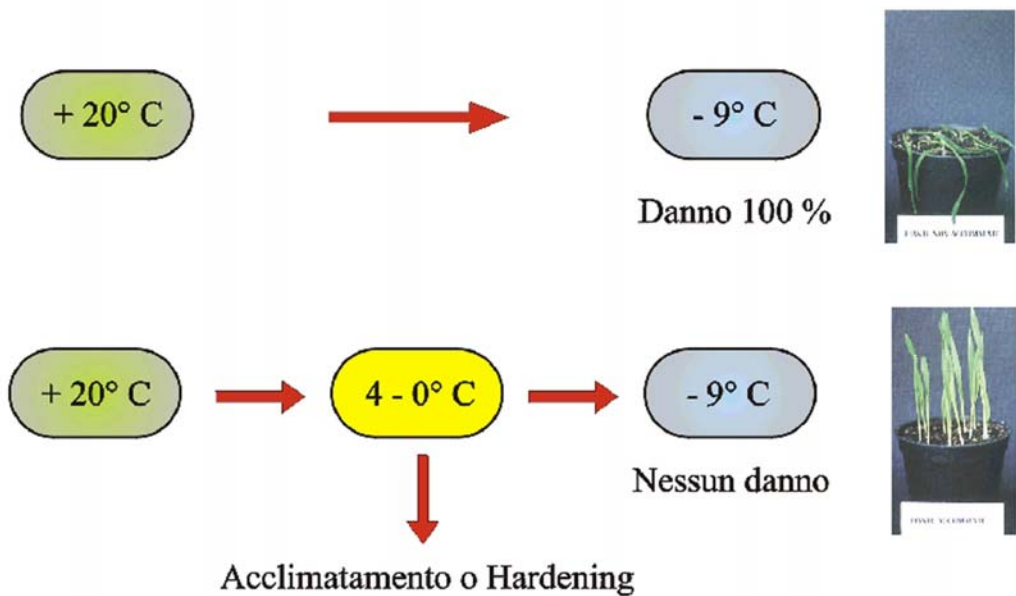


Figura 1. Acclimatamento o hardening di orzo.

Il passaggio diretto da 20°C a -9°C comporta nelle plantule di orzo la morte completa (sopra). Pianta della stessa varietà e allo stesso stadio di sviluppo acquistano la capacità di tollerare benissimo -9°C soltanto perché sono state acclimate per 3 settimane ad una temperatura di 0 – 4°C (sotto).

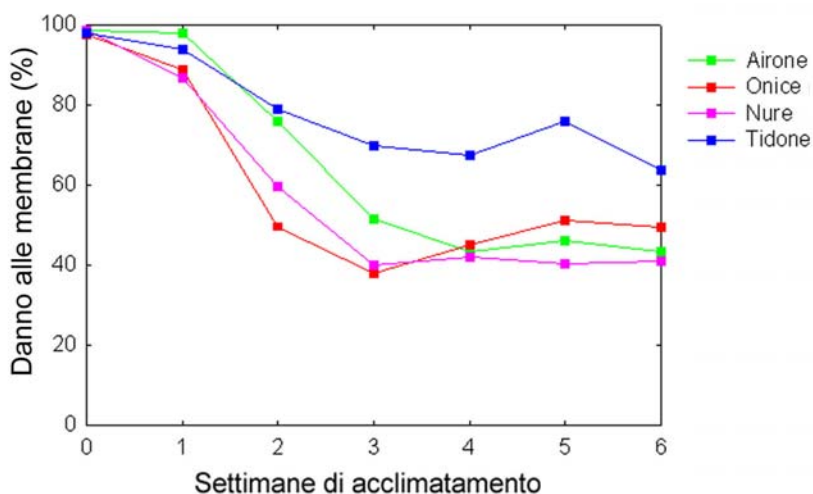


Figura 2. Effetto della durata dell'acclimatamento (settimane) sul danno alle membrane cellulari (%) causato dalla bassa temperatura (-12°C) nelle quattro varietà di orzo: Airone, Onice e Nure (invernali); Tidone (primaverile).

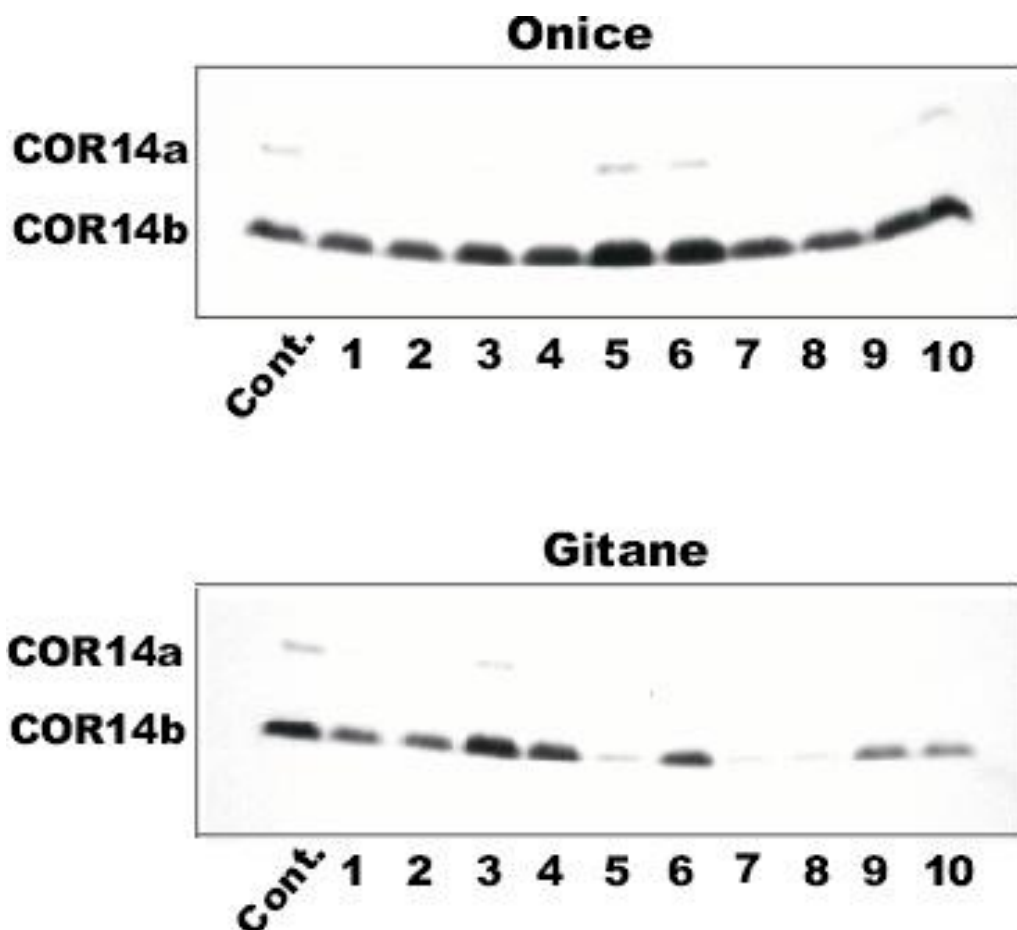


Figura 3. Accumulo delle proteine COR14a e COR14b nella varietà invernale Onice e in quella primaverile Gitane durante la stagione invernale. L'analisi "Western" è stata eseguita utilizzando estratti proteici totali da foglie raccolte circa ogni 10 giorni. Come controllo (Cont.) sono inclusi gli estratti proteici raccolti da plantule di Onice e Gitane cresciute e acclimatate al freddo per 7 giorni in condizioni controllate. I campioni di campo sono stati raccolti da Novembre (1) a Febbraio (10) con cadenze decadiche.

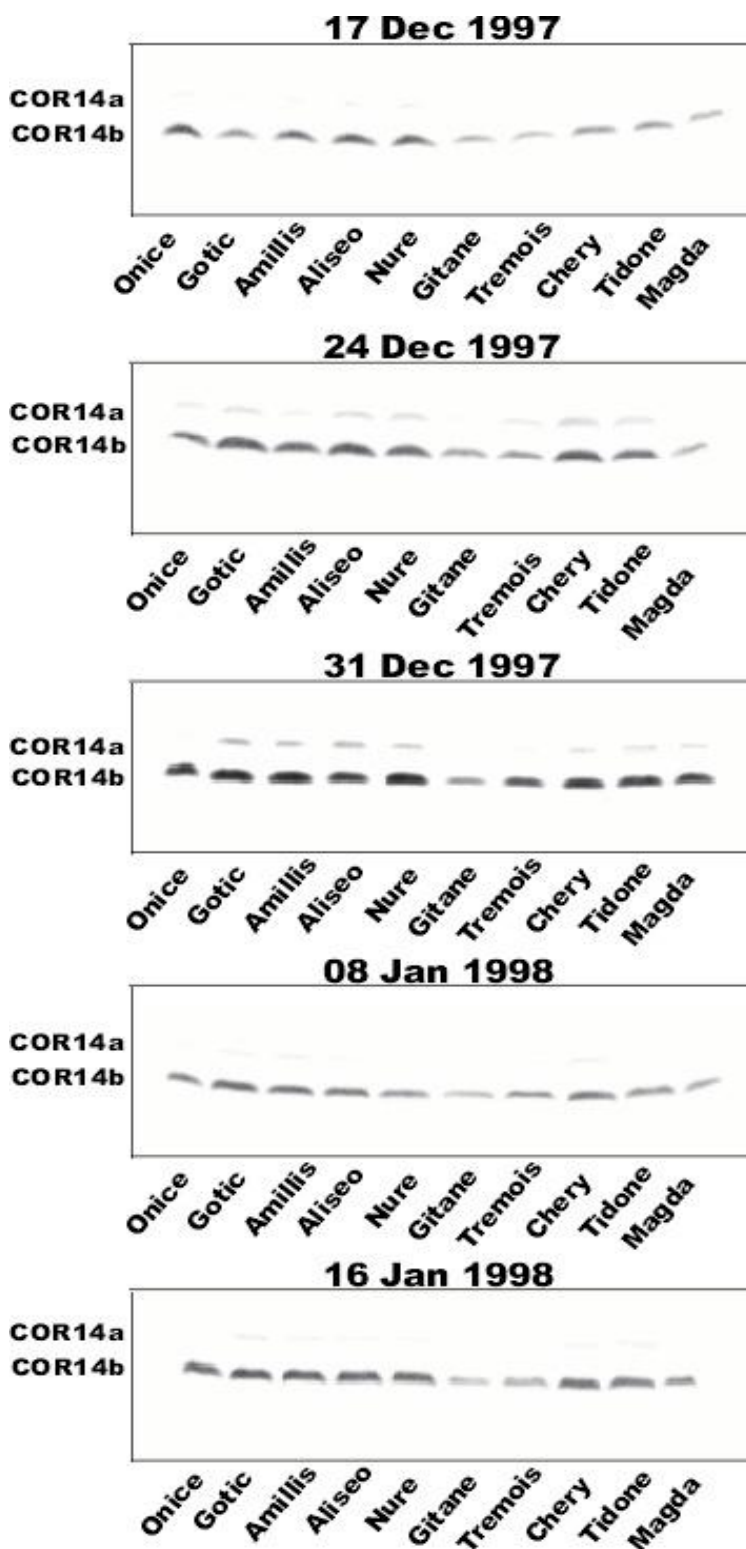


Figura 4.
Accumulo delle
proteine COR14a e
COR14b in 5 varietà
invernali di orzo
(Onice, Gotic,
Amillis, Aliseo e
Nure) e 5 varietà
primaverili (Gitane,
Tremois, Chery,
Tidone e Magda),
durante la stagione
invernale. L'analisi
"Western" è stata
eseguita utilizzando
estratti proteici da
foglie raccolte nelle
date riportate nella

FABBISOGNO TERMICO E ANTAGONISMI TRA GEMME NEL GERMOGLIAMENTO DELLA VITE

Diego Tomasi¹, Andrea Pitacco², Massimo Gardiman¹, Giovanni Pascarella¹, Tiziana Conti¹.

1 - Istituto Sperimentale per la Viticoltura – Conegliano

2 - Università di Padova - Dipartimento di Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali)

Introduzione

Sulla base della vitalità e della differente evoluzione delle gemme, l'intero ciclo annuale della vite può essere visto come una successione di stadi, così come proposto da Pouget (Pouget R. 1972, Pouget R. 1988); nell'ambito di questo, il germogliamento delle gemme rappresenta una delle fasi fenologiche più importanti e in questo contesto la temperatura dell'aria riveste un ruolo di primaria importanza. In particolar modo, la fase di post dormienza ha sempre attratto l'interesse dei ricercatori in quanto la schiusura delle gemme si realizza in stretta relazione con i livelli termici esterni (Calò A. *et al.* 1984, Tomasi D. *et al.* 1994). L'azione della temperatura non è però di tipo lineare, in quanto oltrepassata una determinata soglia (inferiore e/o superiore), l'effetto termico si riduce o addirittura si annulla (Moncur M. W. *et al.* 1989, Oliveira M. 1998). Il fenomeno si complica ulteriormente quando si cerca di giungere a definire una sommatoria termica necessaria alla completa schiusura delle gemme (Williams D. W. *et al.* 1985, Fishman S. *et al.* 1987, Young E. 1992, Tesic D. *et al.* 2001); le difficoltà consistono nello stabilire il momento in cui la temperatura ha una reale azione e il suo livello attivo.

Nell'ambito poi della stessa pianta e dello stesso capo a frutto, sono sempre evidenti fenomeni di antagonismo e di supremazia tra singole gemme (e successivamente tra singoli germogli), che portano ad una scalarità nella loro schiusura fino ai casi estremi di gemme che non riescono a germogliare (gemme cieche). Una volta esaurito un primo effetto starter dovuto alla temperatura, motivi nutrizionali e di trasporto sembrano diventare ad un certo punto predominanti. L'analisi di questi diversi aspetti, diventa allora argomento interessante, il cui approccio deve essere portato inizialmente su valutazioni sperimentali di approfondimento. Per un contributo ad una miglior interpretazione di quanto sopra, nell'ambito del Progetto Phenagri, si sono impostate le due esperienze di cui si esporranno di seguito i risultati.

Materiali e metodi.

La prima prova, volta allo studio della fase di post dormienza e dell'azione esercitata su di essa dalla temperatura esterna, è stata condotta nel biennio '98-'99 mettendo in atto la completa copertura, in momenti differenziati, di alcuni filari di vite. Allo scopo si è utilizzato del film plastico in pvc retinato e palmato; ciò ha portato ad un aumento sotto tunnel della temperatura diurna, così come registrato da apposita apparecchiatura e riportato, per l'annata '98, in fig. 1. Si è operato con una varietà a germogliamento precoce (Prosecco) ed una tardiva (Trebbiano toscano), le tesi a confronto erano le seguenti:

totale copertura del filare a partire dal 7 febbraio nel '98 e dal 12 febbraio nel '99, fino al germogliamento;

inizio copertura alle stesse date di cui sopra, ma apertura del tunnel al 7 e al 13 marzo nel '98 e '99 rispettivamente;

tesi opposta alla precedente e cioè: filari scoperti fino al 7 e 13 marzo ('98 e '99) e poi copertura delle viti fino al germogliamento.

test non coperto.

Il calcolo delle sommatorie termiche verificatesi nei diversi periodi, è stato attuato calcolando l'area compresa tra un valore minimo pari a 3°C per il Prosecco e 7°C per il Trebbiano t., e uno superiore uguale a 32°C per entrambe le varietà. La diversa efficacia della temperatura al variare dei suoi livelli (Calò A. *et al.* 1976), è stata tenuta in debito conto applicando alla stessa una funzione curvilinea che rappresenti meglio la risposta della pianta ai valori termici. In questo modo l'efficacia è nulla per valori inferiori o uguali a 3 e 7°C e superiori a 32°C, ed è invece massima (pari a 1) a 25°C assunti come ottimali per il fenomeno in esame. Per tutti gli altri valori l'efficacia è compresa tra 0 e 1 secondo quanto riportato in fig. 2.

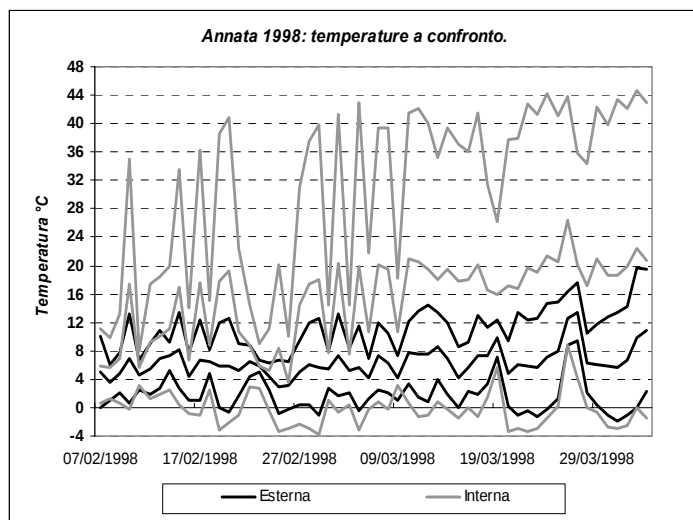


Fig. 1 – Temperature massime, minime e medie registrate sotto tunnel e all'esterno

$$Efficacia = \left(\frac{T - T_{min}}{T_{opt} - T_{min}} \right) \left(\frac{T_{max} - T}{T_{max} - T_{opt}} \right) \left(\frac{T_{max}}{T_{opt}} - 1 \right)$$

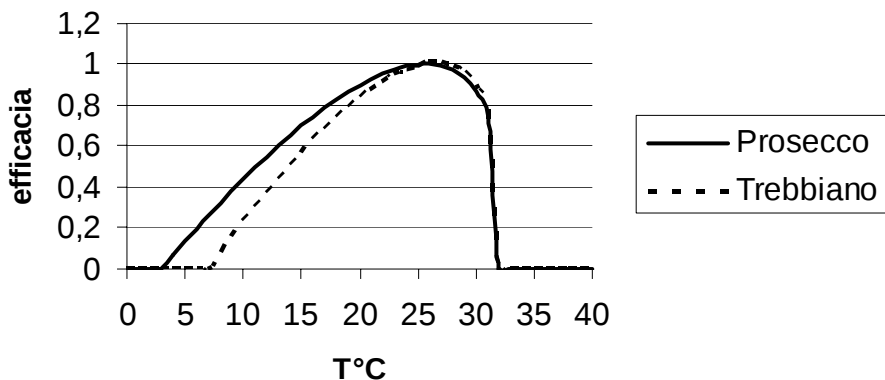


Fig. 2 – Valori utilizzati per il calcolo dell'efficacia della temperatura sul germogliamento per le due varietà.

Il 20 febbraio del 2002 si è dato corso ad una nuova esperienza che ha visto il condizionamento termico di singole coppie di gemme sul capo a frutto. L'obiettivo era quello di verificare l'individualità nella schiusura di ogni singola gemma e di analizzare al germogliamento, nei momenti immediatamente successivi e nel corso della stagione vegetativa, i fenomeni di competizione e di supremazia tra gemme prima e germogli poi.

Per questi fini si è operato proteggendo due gemme contigue con un involucro plastico (PET), all'interno del quale è stata inserita una resistenza da 1 o 2 Ω , collegate ad un alimentatore stabilizzato regolabile e posta su un dissipatore di calore. La serie di resistenze facevano parte di un circuito in linea. Per la valutazione della temperatura raggiunta, all'interno di ogni protezione si è collocata una termocoppia a sua volta collegata ad un data logger (fig. 3). Per la precisione le tesi a confronto erano le seguenti:

Tesi 1 tralcio libero leggermente inclinato verso l'alto: sub-tesi a) 1 Ω , 4 ripetizioni

b) 2 Ω ,

4 ripetizioni

Tesi 2 tralcio curvato (sylvoz): sub-tesi

a) 1 Ω , 4 ripetizioni

b) 2 Ω , 4 ripetizioni

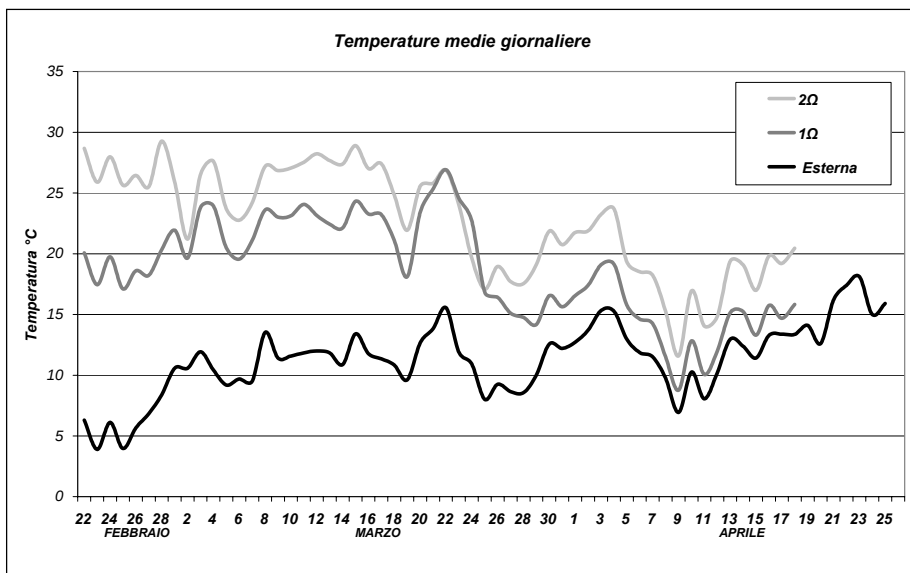


Fig 3 – Temperature medie giornaliere esterne a confronto con quelle registrate all'interno degli involucri protettivi nelle due tesi.

Risultati

A) Condizionamento dell'intera pianta.

Come graficamente riportato in fig. 4, per entrambe le annate e per entrambi i vitigni, le tesi germogliate per prime sono state quelle che hanno potuto disporre di una maggior temperatura nel periodo precedente il germogliamento (tesi 1 e 3). Quando invece l'innalzamento termico è avvenuto con largo anticipo e si è interrotto prima del germogliamento (tesi 2), il corrispondente cumulo termico non ha mai contribuito ad accelerare la schiusura delle gemme rispetto al testimone. Non vi è quindi stata "memoria termica" nel senso che nessuna attività di risveglio vegetativo è stata messa in azione da temperature fornite con molto anticipo rispetto al germogliamento, ed è quindi ipotizzabile che l'evoluzione iniziale dei futuri organi verdi non fosse ancora iniziata nonostante il calore fornito. Il calcolo del "tempo termico" necessario per giungere al germogliamento va quindi calcolato a partire da una data "fisiologica" e non generica.

Con il metodo esposto precedentemente si è calcolato l'integrale termico dei vari sottoperiodi: l'intervallo era compreso tra 3 e 32°C con ottimo 25°C per il vitigno precoce Prosecco (più sensibile alle temperature) e tra 7 e 32°C con stesso ottimo, per il

Trebbiano toscano (vitigno a germogliamento tardivo con minore sensibilità alle temperature).

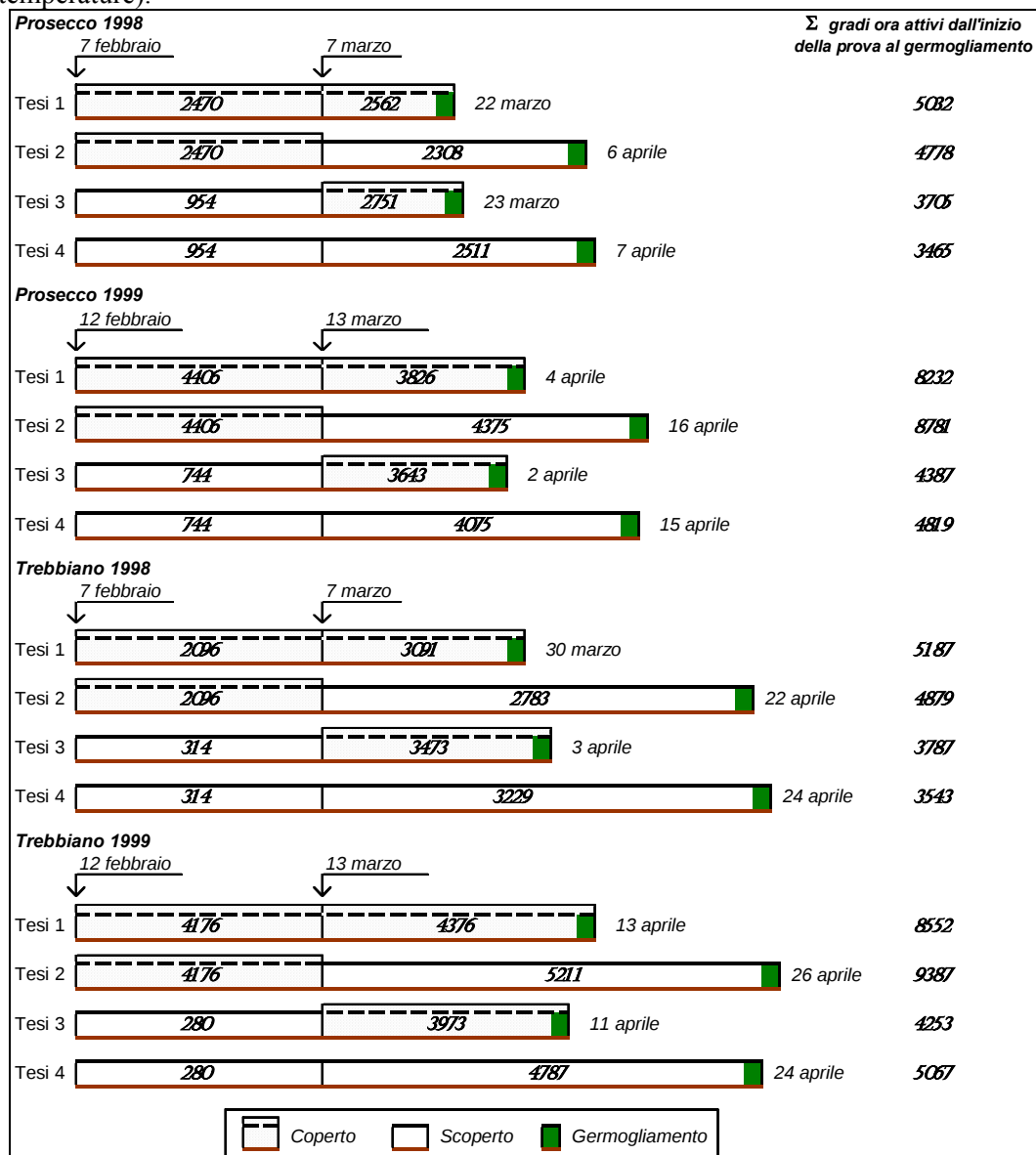


Fig. 4 – Schema riassuntivo delle tesi a confronto, delle date di germogliamento e delle sommatorie termiche parziali e totali.

Sempre come riportato in fig. 4 il calcolo dell'intero integrale termico dall'inizio della prova al germogliamento non avrebbe portato a nessun valore di comparazione. Viceversa l'esame solo del secondo periodo (dal 07/03 al germogliamento nel 1998 e

dal 13/03 nel 1999) ha portato a dei valori abbastanza comparabili nelle due annate.

Nel '99 il posticipo nella messa in atto della seconda fase della prova è stato di sei giorni rispetto al '98 che, sommato all'assenza pressoché assoluta di precipitazioni nel mese di marzo (3 mm di pioggia contro un dato storico di 56 mm), ha posticipato il germogliamento di 10-12 gg facendo aumentare di conseguenza i valori delle sommatorie (gradi ora). Si ritiene attendibile, per le condizioni della prova, che l'inizio del calcolo del cumulo termico possa essere fatto coincidere con i primi giorni del mese di marzo.

B) Condizionamento delle singole gemme

L'esperienza condotta sul vitigno Merlot, ha portato ad evidenziare innanzitutto una netta individualità gemmaria nel capo a frutto, nel senso che è possibile indurre il germogliamento anticipato anche di una sola gemma. La tab. 1 riporta le date di germogliamento per le gemme "protette" rispetto a quelle "esterne".

Tab. 1 – Date e gerarchie di germogliamento

C u r v a t o				
1 Ω		2 Ω		Test
1 ^a gemma germogliata	2 ^a gemma germogliata	1 ^a gemma germogliata	2 ^a gemma germogliata	
31-mar	06-apr (+6)	26-mar	08-apr (+ 13)	23-apr
I n c l i n a t o				
1 Ω		2 Ω		Test
1 ^a gemma germogliata	2 ^a gemma germogliata	1 ^a gemma germogliata	2 ^a gemma germogliata	
06-apr	18-apr (+12)	25-mar	02-apr (+8)	23-apr

E' evidente:

il largo anticipo medio nell'apertura delle gemme riscaldate rispetto ai confronti;
la maggior precocità delle gemme sottoposte a temperature più alte (2 Ω vs 1 Ω);
l'inequivocabile posticipo (circa 10 gg) in tutte le tesi di una delle gemme all'interno della protezione.

Quest'ultima osservazione, accompagnata dalla constatazione che in 14 coppie di gemme su 16 osservate, è germogliata in anticipo la gemma che per prima incontra il flusso dei nutrienti, ci porta ad intravedere una azione stimolatrice il germogliamento legata inizialmente alla temperatura, ma successivamente dovuta al sistema di trasporto e all'immediata azione impositiva che una gemma in via di evoluzione ha nei confronti di quelle adiacenti e vicine. La supremazia che un giovane germoglio dimostra già ai

primi stadi di sviluppo, si basa quindi su una maggior capacità di richiamo dei nutrienti legato ad un sistema di trasporto già in piena efficienza e ad un quadro ormonale già avviato (vedi auxine). Le condizioni termiche create artificialmente nella prova hanno permesso, anche se con un certo ritardo, la completa schiusura di tutte le seconde gemme racchiuse all'interno della protezione. Questo centro di intenso sviluppo e richiamo di nutrienti, ha avuto una forte azione di inibizione nei confronti delle gemme non stimolate termicamente poste a monte e a valle che, con alta frequenza, non sono riuscite a germogliare; la fig. 5 ben evidenzia la posizione e la numerosità delle gemme cieche presenti nei capi a frutto trattati rispetto al test. Lungo il capo a frutto si è quindi venuto a creare un gradiente vegetativo completamente anomalo (corrispondente alle due gemme riscaldate) a cui si sono sommate le classiche zone con maggior energia vegetativa (curvatura e apice). La precocità imposta della prova ai due germogli centrali, si è mantenuta poi nel corso di tutta la stagione vegetativa (vedi date di fioritura, di invaiatura e lunghezze degli assi vegetativi) fino a quantificarsi chiaramente nell'accumulo degli zuccheri al 30 di luglio (tab. 2).

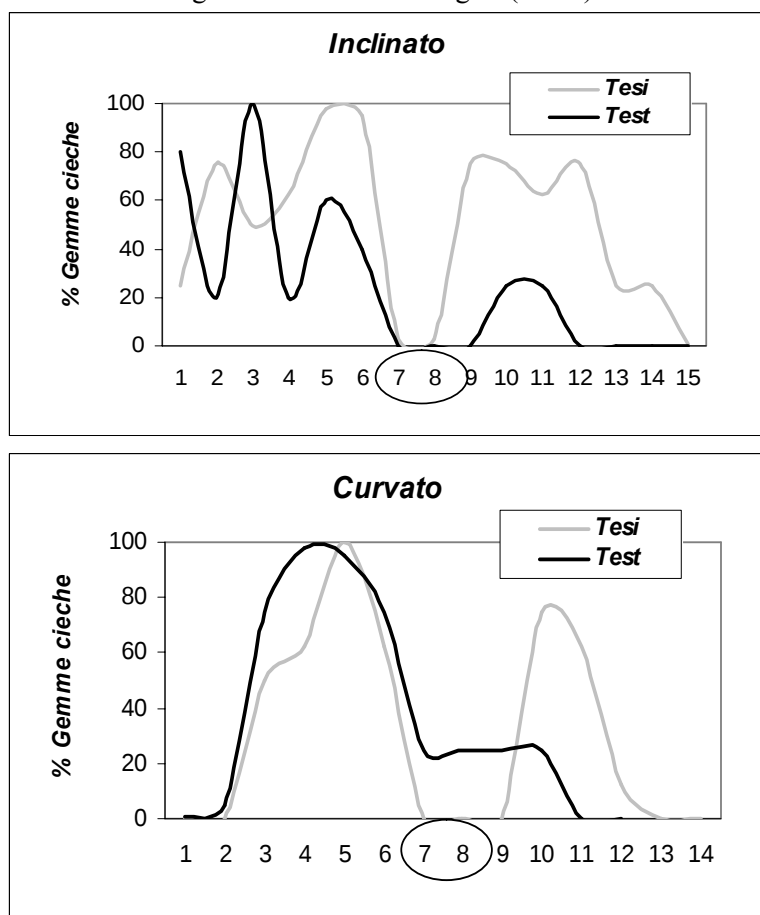


Fig. 5: Percentuale di gemme cieche nei capi a frutto test e trattati (il cerchio evidenzia la coppia di gemme riscaldate)

Tab. 2 Contenuti zuccherini e acidi dei grappoli al 30 di luglio; confronto nell'ambito dello stesso tralcio e tra tesi

Tesi	• GRAPPOLI SU:	zuccheri	acidità	pH
1Ω curvato	• GRAPPOLI SU GERMOGLI TRATTATI	12.9	24.6	2.89
1Ω curvato	• GRAPPOLI SUI RESTANTI GERMOGLI DELLO STESSO CAPO A FRUTTO	9.7	31.5	2.65
test curvato	• GRAPPOLI IN CONDIZIONI NORMALI	8.75	35.5	2.615
1Ω inclinato	Idem sopra	10.2	29.9	2.7
1Ω inclinato		7.9	35.6	2.6
test inclinato		9.3	33.8	2.625
2Ω curvato	Idem sopra	12.8	22.77	2.8
2Ω curvato		10.2	32.3	2.66
test curvato		8.75	35.455	2.615
2Ω inclinato	Idem sopra	12.2	27.3	2.72
2Ω inclinato		9.9	30.8	2.71
test inclinato		9.3	33.8	2.625

Conclusioni

Le due esperienze condotte nell'ambito di Phenagri ci permettono le seguenti considerazioni:

L'effetto cumulativo delle temperature va calcolato a partire da una data "fisiologica" e non generica individuabile in prima approssimazione e nelle condizioni della prova, intorno ai primi giorni di marzo.

Prima di questo momento non vi è effetto termico.

Ogni varietà ha delle soglie di risposta alla temperatura ben precise ed è possibile calcolare con una discreta ripetibilità il cumulo termico necessario alla schiusura delle gemme. L'esperienza qui proposta, andrebbe però approfondita per il sicuro intervento di altri fattori climatici ambientali.

Nel germogliamento vi è una netta e sicura individualità di ogni singola gemma.
 A parità di temperatura, la gerarchia nel germogliamento lungo il capo a frutto è legata a maggiori capacità di rifornimento nutritivo di alcune gemme.
 Gli antagonismi successivi al germogliamento sono ancora legati al sistema di trasporto e al richiamo nutritivo indotto dagli apici più vigorosi e precoci.
 Lunghezza, posizione e disposizione spaziale dei capi a frutto hanno grande rilevanza nell'accentuare questi fenomeni.

Bibliografia

- Calò A., Costacurta A., Nicolini G. (1976). Indagini sul ruolo della temperatura e sul comportamento di alcune varietà di vite (*V. vinifera* L.) in relazione al momento del germogliamento. *Riv. Di Vitic. Enol.* n.4, 3-15
- Calò A., Costacurta A., Cancellier S. (1984). Ricerca sulla risposta del genotipo alla variazione delle condizioni ambientali: I° - influenza sulla fenologia. *Riv. Di Vitic. Enol.* (37), n. 2, 51-67
- Fishman S., Erez A., Couvillon G.A. (1987). The temperature dependence of dormancy breaking in plants: mathematical analysis of a two-step model involving a cooperative transition. *J. Theor. Biol.*, 124: 473-483.
- Moncur M.W., Rattigan K., Mackenzie D.H., McIntyre G.-N. (1989). *Base temperatures for budbreak and leaf appearance of grapevines*. *Am. J. Vitic.*, Vol.40, n.1:21-26.
- Oliveira M. (1998). Calculation of budbreak and flowering base temperatures for *Vitis vinifera* cv. Touriga Francesa in the Douro region of Portugal. *Am. J. Enol. Vitic.*, Vol.49, n.1: 74-78.
- Pouget R. (1972). Considérations générales sur le rythme végétatif et la dormance des bourgeons de la vigne. *Vitis* 11: 198-217.
- Pouget R. (1988). Le débourrement des bourgeons de la vigne: méthode de prévision et principes d'établissement d'une échelle de précocité de débourrement. *Connaissance Vigne Vin*, 22, n.2: 105-123.
- Tesic D., Woolley D.J., Hewett E.W., Martin D.J. (2001). Environmental effects on cv Cabernet Sauvignon (*Vitis Vinifera* L.) grown in Hawke's Bay, New Zealand. 1. Phenology and characterisation of viticultural environments. *Aust. Journ. Grape Wine Research*, 8: 15-26.
- Tomasi D., Calò A., Costacurta A., Biscaro S., Sansone L., 1994. Studio della dinamica delle fenofasi nella *Vitis vinifera* L.: interazione genotipo x condizioni termiche. *Italus Hortus*, vol.1 (5-6), 62-70
- Williams D.W., Andris H.L., Beede R.H., Luvisi D.A., Norton M.V.K., Williams L.E. (1985). *Validation of a model for the growth and development of the thompson seedless grapevine. II. Phenology*. *Am. J. Enol. Vitic.*, Vol.36, n.4: 283-289.
- Young E. (1992). Timing of high temperature influences Chilling negation in dormant apple trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 117(2): 271-272.

VARIABILITÀ FENOLOGICA A SCALA TERRITORIALE

Giovanna Puppi

Università di Bologna - Dipartimento di Biologia Evoluzionistica Sperimentale

Introduzione

Il modo più efficace e sintetico per rappresentare la variabilità fenologica nello spazio è senz'altro quello cartografico.

Già nel diciottesimo secolo De Witt avanzò l'idea di rappresentare cartograficamente le osservazioni fenologiche con linee di contemporanea manifestazione dell'evento fenologico rilevato (isofene); tuttavia la prima carta fenologica viene pubblicata solo alla fine del secolo successivo da Hoffmann (1881): si trattava di una carta a scala piccola (1:3.700.000) in cui era rappresentato l'arrivo della primavera nell'Europa media.

Nel novecento si moltiplicano le carte fenologiche a scala continentale o nazionale, in Europa, in America e in Asia [Germania (Schnelle, 1955; Schnelle e Uhlig, 1952, 1953; Klante, 1986, etc.); Svizzera (Primault 1964, Schreiber, 1977, etc.); Russia (Smirnow N.P., 1938); Canada (Williams et al. 1980); Giappone (Misawa et al. 1952, etc.)], inoltre, dagli anni 70 si impone l'uso del computer in cartografia fenologica [USA (Caprio et al., 1974; Reader et al. 1974)].

Le carte fenologiche possono essere raggruppate in categorie (Zanotti, 1989): a seconda del tipo di variabile rappresentata si distinguono carte quantitative o qualitative, mentre rispetto al tempo si possono distinguere le cronologiche e le sinottiche.

Problematiche della cartografia fenologica

Al di là della qualità grafica, per valutare correttamente una carta fenologica bisogna sempre chiedersi come è stata costruita.

Innanzitutto è necessario esaminare i dati fenologici di partenza.

Ci possono essere due tipologie fondamentali di dati: dati fenologici areici (ottenuti da telerilevamento aereo o satellitare) e dati fenologici puntiformi (rilevati da osservatori operanti al suolo). La maggior parte della cartografia fenologica finora prodotta si basa su dati rilevati al suolo da osservatori.

La qualità dei dati rilevati al suolo dipende da vari aspetti: omogeneità, obiettività, frequenza e rappresentatività dei rilievi.

Le specie da osservare

Singole specie: l'omogeneità genetica è garantita solo facendo rilievi su cloni coltivati, che però in certi casi non sono bene adattati al clima del sito. L'uso di piante spontanee evita questo inconveniente e inoltre permette di predisporre reti di rilievo secondo necessità.

Gruppi di specie indicatrici: l'uso di gruppi di specie è piuttosto diffuso in cartografia fenologica, per varie ragioni, di cui la principale consiste nell'ampliamento dei potenziali siti di rilievo.

Le specie del gruppo dovrebbero avere comportamento fenologico simile e quindi anche parametri fenoclimatici simili (temperature soglia, fotoperiodo e

vernalizzazione): per selezionare le specie di un gruppo, se non si conoscono i loro parametri fenoclimatici, si può procedere in modo statistico, con analisi di correlazione.

La rete delle stazioni

Un altro punto importante riguarda la rete dei siti di rilievo: in particolare la densità delle stazioni di rilievo e la loro distribuzione nel territorio. La prima è strettamente legata alla scala della carta e al dettaglio richiesto, la seconda è legata soprattutto alle caratteristiche topografiche del territorio. La densità e distribuzione ottimale delle stazioni di rilievo dipendono anche dal metodo di spazializzazione che si intende adottare per costruire la carta.

Spazializzazione per interpolazione diretta tra i punti di rilievo

Se si pensa di utilizzare algoritmi di interpolazione tra i punti di rilievo, bisogna programmare una rete di stazioni sufficientemente densa e distribuita in modo omogeneo sull'intero territorio: ogni stazione inoltre dovrà essere rappresentativa di un ampio intorno (area omogenea dal punto di vista topografico e climatico) e dovranno essere collocate stazioni agli estremi (presunti) dei principali gradienti climatici territoriali.

Le carte fenologiche storiche sono state ottenute con metodi manuali, ma ci sono numerosi esempi di realizzazioni anche recenti eseguite con specifici software.

Dal punto di vista grafico, per la realizzazione della carta, si può seguire una procedura che prevede la creazione di una griglia regolare di valori stimati (grid points) mediante algoritmi matematici, partendo da stazioni di rilievo spaziate variamente (control points).

L'algoritmo ad esempio può calcolare medie pesate dei punti di rilievo circostanti il punto di griglia (come nel programma SYMAP utilizzato da Caprio et al.(1974) per rappresentare l'arrivo della primavera negli USA).

La qualità di questo tipo di carte dipende fortemente dal rapporto tra densità delle stazioni e complessità topo-climatica del territorio, mentre risente relativamente poco del tipo di algoritmo utilizzato nella spazializzazione

Bisogna considerare, comunque, che non possono essere rappresentati dettagli spaziali inferiori al passo della maglia della rete di stazioni di rilievo: quindi, in un territorio montuoso, difficilmente si potranno evidenziare con questo metodo differenze fenologiche tra diverse esposizioni e tra i versanti e il fondo delle valli. Ne consegue che l'uso di questo approccio è conveniente soprattutto nel caso di carte a scala piccola e di territori pianeggianti.

Spazializzazione mediante modelli matematici feno-topografici o feno-climatici

Per questa procedura bisogna creare un modello matematico che spieghi la variabilità fenologica territoriale in base a una serie di variabili indipendenti, almeno in parte deducibili dalla topografia stessa del territorio.

La qualità di questo tipo di carte dipende dalla collocazione dei punti di rilievo (tale da individuare i gradienti climatici territoriali) e soprattutto dal modello di spazializzazione.

I modelli più utilizzati in cartografia fenologica sono di tipo empirico e si basano su analisi di regressione (semplice o multipla) eseguite per calcolare i parametri dei gradienti fenologici rispetto a variabili geografiche (latitudine, longitudine e altitudine)

e topografiche (esposizione, inclinazione, crinale, dosso, dolina, aree urbane, valli, ecc.).

Non mancano però anche esempi di modelli di simulazione, composti da più sottomodelli: un modello topo-climatico di spazializzazione delle temperature e modelli feno-climatici per stimare le fenofasi delle specie (Williams et al 1980, White et al. 1997).

Per le colture, i modelli possono essere anche molto complessi: infatti, oltre a clima e topografia, devono tenere conto anche di molte altre informazioni (quali il genotipo, l'epoca di semina, la fertilizzazione, l'irrigazione) per permettere stime accurate.

Relazioni tra fenologia e topografia

Poiché la temperatura ambientale ed il clima in generale variano in relazione alle caratteristiche geografiche e topografiche (latitudine, altitudine, distanza dal mare, etc.), fin dalle origini degli studi fenologici sono state svolte indagini dirette per identificare in modo empirico le relazioni tra comparsa delle fenofasi e le caratteristiche del territorio.

Fenologia e descrittori geografici (a scala piccola): latitudine, longitudine, quota.

Iniziando dalle ricerche a scala continentale, per ragioni storiche si deve citare la cosiddetta legge di Hopkins (1918) secondo la quale un evento fenologico si propaga da sud a nord con 4 giorni di ritardo per ogni grado di latitudine, da ovest a est con 0,8 giorni di ritardo per ogni grado di longitudine e verso l'alto con 1 giorno di ritardo per 100 piedi di altitudine (circa 3 giorni per 100 metri di quota).

In una importante sintesi dei dati della rete fenologica europea IPG (International Phenological Gardens), pubblicata di recente da Chmielewski et Rotzer (2001 e 2002), viene evidenziato l'andamento del periodo vegetativo in Europa nel trentennio dal 1969 al 1998, in base ad un indice calcolato su 4 specie (*Betula pubescens*, *Prunus avium*, *Sorbus aucuparia* e *Ribes alpinum*). Secondo questo studio, l'inizio della stagione vegetativa (BGS) compare in Europa mediamente in Aprile e si diffonde nel territorio europeo da Sud-Ovest verso Nord-Est, ad una velocità che, scomposta nelle due componenti risulta pari a: 44 chilometri al giorno da sud a nord e 200 chilometri al giorno da ovest ad est; mentre il gradiente fenologico altitudinale risulta essere di un giorno ogni 32 metri.

Inoltre sono state studiate le correlazioni tra il pattern fenologico e il campo termico europeo: le correlazioni più alte sono state trovate con una variabile che rappresenta la media delle temperature da febbraio ad aprile. In generale da questo studio si ricava che un aumento di 1 grado centigrado della temperatura primaverile porta ad un anticipo del BGS di 6,7 giorni.

Altre ricerche svolte in singoli paesi europei hanno portato a risultati comparabili.

Fitter et al. (1995) in Inghilterra osservano anticipo di 4 giorni per ogni 1 grado di temperatura, nelle prime fioriture. Sparks et al. (2000) nelle isole Britanniche osservano anticipi da 2 a 10 giorni per ogni 1 grado di temperatura, nelle fioriture di singole specie primaverili. Walkovszky (1998) in Ungheria osserva un anticipo di 7 giorni per ogni 1 grado di temperatura, nella fioritura della robinia.

Fenologia e topografia (a scala media e grande): quota, esposizione, inclinazione, geomorfologia

Negli studi fenologici a scala media e di dettaglio, mentre si attenua l'effetto dovuto alla latitudine e longitudine, accanto alla quota prendono rilievo altri fattori topografici (esposizione e inclinazione dei versanti, morfologia di crinale, dosso, dolina e fondovalle, corpi d'acqua e zone urbanizzate) che influenzano il clima locale.

In questo campo si possono citare vari studi effettuati in Emilia Romagna.

In una ricerca svolta nell'Appennino Bolognese dal 1983 al 1988 (Puppi e Zanotti, 1989), sulla fioritura primaverile della flora spontanea (circa 70 specie osservate), viene presentato un modello empirico di spazializzazione, ottenuto mediante regressione multipla. Le variabili topografiche con coefficienti significativi risultarono: quota (1,8 giorni per ettometro), inclinazione del suolo (-0,07 giorni per grado di inclinazione), radiazione solare diretta teorica (-0,62 giorni per MJ/mq.d, equivalenti a circa una settimana tra esposizioni nord e sud) ed inoltre le variabili categoriche, pianura (2,4 giorni), fondovalle (1,5 giorni) e zone urbanizzate (-3,4 giorni). Il semplice modello feno-topografico sopra indicato, permette di calcolare il ritardo o l'anticipo fenologico di ogni punto del territorio come combinazione lineare delle variabili considerate.

I modelli lineari però possono comportare errori e distorsioni, perché i gradienti reali non sono sempre di tipo lineare.

In ricerche successive sullo stesso territorio sono state approfondite le analisi di singoli gradienti feno-topografici: ad esempio è stato studiato in dettaglio l'andamento del gradiente fenologico altitudinale (lungo 1000 metri di dislivello), che è risultato lineare per le specie a fioritura tardo-primaverile (ad es. castagno), mentre ha presentato andamenti non lineari e diversi tra le annate nelle specie a fioritura tardo-invernale (nocciolo) (Puppi et al. 1994).

Integrazione di modelli feno-topografici e feno-topo-climatici

La rilevazione contemporanea di dati fenologici e climatici in una rete di stazioni opportunamente distribuite, rappresenta una scelta ottimale per la cartografia fenologica di dettaglio.

Da un lato infatti si studiano direttamente le relazioni tra manifestazioni fenologiche e territorio e dall'altro è possibile comprenderne le cause climatiche.

La realizzazione di un modello empirico feno-topografico da un lato e di modelli di simulazione feno-climatica delle specie osservate e topo-climatico della temperatura nel territorio dall'altro, possono consentire una reciproca correzione e validazione dei due approcci a confronto.

L'integrazione dei diversi tipi di modelli, inoltre, consente di interpretare gli andamenti fenologici in chiave climatica e di caratterizzare bioclimaticamente il territorio.

Anche se le problematiche relative alla rappresentazione spaziale degli eventi fenologici non si possono considerare ancora completamente risolte, una giusta strategia può consistere appunto nel confronto e nell'integrazione di approcci diversi.

Bibliografia

Caprio J.M., Hopp R., Williams J.S., 1974 – Computer mapping in phenological analysis.- in Lieth H., Phenology and Seasonality Modeling- Springer, N.Y.: 77-82.

- Chmielewski F.M., Rotzer T., 2001 – Response of tree phenology to climate change across Europe – *Agricultural and Forest Meteorology* 108, 101-112.
- Chmielewski F.M., Rotzer T., 2002 – Annual and spatial variability of the beginning of growing season in Europe in relation to air temperature changes – *Clim. Res.* 19, 257-264.
- Fitter A.H., Fitter R.S.R., Harris I.T.B., Williamson M.H., 1995 – Relationships between first flowering date and temperature in the flora of a locality in central England.- *Functional Ecology*, 9:55-60
- Hoffmann H., 1881 - Vergleichende phanologische Karte von Mittel-Europa.- *Petermann's Mitt. Justus Perthe's Geogr.*, 27: 19-26.
- Ilhne E., 1885 - Karte der Aufblühzeit von *Syringa vulgaris* in Europa.- *Bot. Centralblatt*, 21:85-88, 116-121, 150-155.
- Klante B., 1986 – Syntetische phanologische Karten.- *Arboreta Phaenologica*, 31: 97-102.
- Lieth H., (editor) 1974 – *Phenology and Seasonality Modeling*- Springer, N.Y.
- Misawa K., Misawa H., Mukaiyama M., Yokota C., Skimozima K., 1953 – On the flowering of *Prunus subhirtella*. - *Astronomy and Meteorology*, 19:3-7.
- Puppi Branzi G., Zanotti A.L., 1989 - Methods in phenological mapping - *Aerobiologia*. Vol.5 (1): 44-54.
- Puppi G., Zanotti A.L., Giani P., 1994 – Ricerche fenologiche nei dintorni del Lago Brasimone (BO) – *Biologi italiani*, anno XXIV (1) : 39-41
- Primault B., 1989 – Les dates d'apparition du printemps en Suisse - *Ann. Schweiz. Meteorol. Zentralanst.*, 100, Anhang 5:5-10.
- Reader R., Radford J.S., Lieth H., 1974 – Modeling important phytophenological events in Eastern North America.- in Lieth H., op. cit., 329-42.
- Schnelle F., 1955 – *Pflanzen-Phanologie*- Akademische Verlagsgesell. Geest e Portig, Leipzig.
- Schreiber K.F. et al. 1977 – Les niveaux thermiques de la Suisse (4 cartes 1/200.000) – *Dep. Fed. Just. et Pol.*, Berne.
- Smirnow N.P., 1938. - Das Bioklima der UdSSR.- *Nachricht d. Staatsges. Fur Geogr. UdSSR.* 70:703-18.
- Sparks T.H., Jeffree E.P. Jeffree C.E., 2000 – An examination of relationships between flowering times and temperature at the national scale using long-term phenological record from the UK - *Int. J. Biometeorology*, 44: 82-87.
- Walkovszky A., 1998 – Changes in phenology of the locust tree (*Robinia pseudacacia* L.) in Hungary. – *Int. J. Biometeorology*, 41:155-160
- White M.A., Thornton P.E, Running S.W., 1997 – A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability.- *Global biogeochemical cycles*, vol.11 (2): 217-34.
- Williams G.D.V., McKenzie J.S., Sheppard M.I., 1980 – Mesoscale agroclimatic resource mapping by computer, an example for the Peace River Region of Canada.-

Agric. Meteorol. 21:93-109.

Zanotti A.L., 1989 - Metodi di cartografia fenologica - in : Schirone ed. - Metodi di rilievo e rappresentazione degli stadi fenologici.- Quaderni metodologici IPRA, CNR Roma.: 39-70.

TELERILEVAMENTO E FENOLOGIA

Fabio Maselli¹, Marta Chiesi¹, Marco Moriondo²

1 - CNR- IBIMET Firenze

2 - Università di Firenze - Dipartimento di Scienze Agronomiche e Gestione del Territorio Agro-Forestale

Introduzione

I dati telerilevati offrono notevoli vantaggi per il monitoraggio del territorio, ed in particolare delle superfici vegetate, rispetto a quelli raccolti a terra. Lo studio della risposta spettrale della vegetazione misurata da aereo o satellite consente infatti di ricavare utili informazioni sulle specie vegetali e sulle loro condizioni (densità, stato vegetativo, ecc.) in modo sinottico e ripetitivo.

Da un punto di vista operativo, le immagini acquisite da satellite sono distinguibili in base alle loro caratteristiche di risoluzione spettrale, spaziale e temporale (Gomarasca, 1997). Per quanto riguarda in particolare i dati acquisiti nello spettro del visibile (0.4 – 2.5 μm), ci sono diversi sistemi che producono immagini con caratteristiche spaziali e temporali completamente differenti. Il satellite NOAA-AVHRR, per esempio, fornisce immagini con risoluzione spaziale molto bassa (circa 1 km) e frequenza di acquisizione bi-giornaliera. Il Landsat-TM e lo Spot-HRV, invece, sono satelliti con sensori ad alta risoluzione spaziale che acquisiscono immagini con pixel di 30-20 m ogni 16-26 giorni; IKONOS riprende immagini ancora più dettagliate (4 m di risoluzione spaziale nel pancromatico) ogni pochi giorni. Si comprende facilmente come, volendo studiare lo sviluppo del manto vegetale, esista una difficoltà intrinseca se si utilizzano immagini ad alta risoluzione spaziale. Queste infatti forniscono dati con una frequenza temporale piuttosto elevata e, ad un buon dettaglio spaziale, si contrappone la scarsità di immagini durante la stagione. I sistemi più recenti stanno riducendo questo problema, ma ancora in maniera insufficiente per poter seguire operativamente le condizioni della vegetazione con dettagli spaziali e temporali molto elevati. I dati TERRA-MODIS, acquisiti dall'inizio del 2000, mostrano risoluzione spettrale e spaziale superiore all'AVHRR (max. 250 m), ma comunque ancora insufficiente per studi su territori disomogenei come quello italiano.

Questo problema crea ovviamente delle difficoltà per il monitoraggio di caratteristiche della vegetazione che variano con alta frequenza spaziale e temporale, come nel caso della fenologia.

L'osservazione della fase fenologica di una associazione vegetale, sia naturale che agricola, necessiterebbe infatti di identificare zone omogenee di coperture (particelle forestali, prati, campi) con una alta frequenza di campionamento (in pratica ogni pochi giorni). Dato che le immagini fino ad ora disponibili non consentono tale operazione, si è generalmente ricorsi a studi su più ampie superfici omogenee, come quelle forestali. Un esempio delle potenzialità in questo settore sarà illustrato successivamente, dopo una breve introduzione sul tipo di informazioni che i satelliti possono fornire riguardo allo stato fenologico della vegetazione.

Risposte spettrali della vegetazione: Indici di vegetazione

La vegetazione presenta una risposta spettrale specifica alle diverse lunghezze d'onda che è facilmente distinguibile da quella delle altre tipologie di copertura del suolo. Il tipico spettro di riflettanza della vegetazione verde è determinato principalmente dai seguenti parametri (fig. 1):

Nelle bande del visibile (0.4-0.7 μm), sono i pigmenti a determinare la risposta spettrale delle foglie alla radiazione; questi infatti assorbono la luce restituendo bassi valori di riflettanza. Ovviamente lo spettro viene modificato sia dal tipo di pigmento presente nelle foglie: clorofille, xantofille, carotenoidi, che dalla quantità.

Nella zona dell'infrarosso vicino (0.7-1.3 μm) invece, il parametro che maggiormente influisce sulla risposta spettrale è la struttura fogliare. L'andamento caratteristico è quello di un plateau la cui altezza è determinata dalla presenza di spazi all'interno del mesofillo, dal suo spessore, dalla dimensione delle cellule che lo costituiscono, ecc.. Uno studio dello spettro in tale campo può quindi fornire informazioni sul tipo di specie, sul loro stadio evolutivo e sulla presenza di eventuali patogeni.

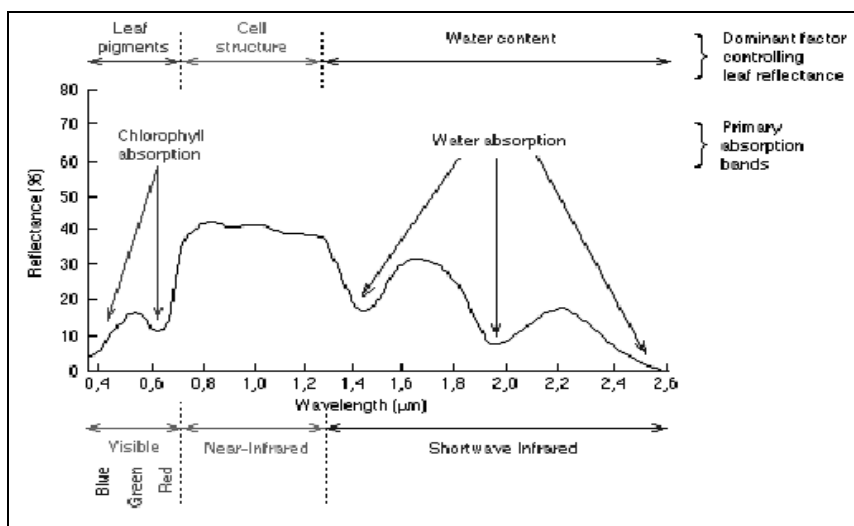


Fig. 1: Caratteristica firma spettrale della vegetazione

Oltre tale lunghezza d'onda, la luce viene fortemente assorbita dalla presenza di acqua nei tessuti e, più precisamente, la riflettanza aumenta quando il contenuto idrico diminuisce (l'acqua ha infatti dei picchi di assorbimento a 1.45, 1.95 e 2.55 μm); tale intervallo è quindi interessante per studiare lo stress idrico cui la vegetazione può eventualmente essere sottoposta.

La forma caratteristica di tale spettro varia, a parità di specie, nello spazio e nel tempo in relazione a diversi fattori quali struttura, densità, stadio evolutivo, contenuto idrico, stato fito-sanitario, ecc.

Il concetto e l'uso degli indici di vegetazione: l'NDVI

Per facilitare lo studio delle caratteristiche della vegetazione usando dati telerilevati, è necessario minimizzare tutti gli effetti dovuti a fattori esterni quali l'influenza degli angoli di osservazione e di illuminazione, gli effetti atmosferici e l'influenza del suolo, che possono alterare la risposta spettrale della vegetazione (Baret and Guyot, 1991). Si ricorre quindi all'uso di Indici di Vegetazione (VI), ovvero all'impiego di combinazioni algebriche tra singole bande spettrali. Da un punto di vista teorico pertanto un buon indice di vegetazione dovrebbe dipendere solamente dalle caratteristiche spettrali della copertura vegetale. Gli indici più comuni utilizzano, come bande spettrali, quella del rosso legata all'assorbimento da parte della clorofilla e quella dell'infrarosso vicino, essendo queste le bande che forniscono gran parte dell'informazione riguardo alla vegetazione. In generale vengono impiegati per estrarre dalle immagini diverse informazioni tra le quali ricordiamo le seguenti (Running et al., 1995; Spanner et al., 1990):

- determinazione del tipo di copertura del suolo;
- stima della produttività;
- studio e stima della biomassa vegetale;
- stima dell'Indice di Area Fogliare (LAI);
- stima della percentuale di copertura delle chiome;
- stima della frazione assorbita di radiazione fotosinteticamente attiva (FAPAR)
- stima dello stato fito-sanitario della vegetazione.

Un loro esempio ci è offerto dall'Indice di Vegetazione Normalizzato (Normalised Difference Vegetation Index, NDVI). Si tratta di una differenza normalizzata tra valori di riflettanza registrati nell'infrarosso vicino e nel rosso ed è definito come:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

dove:

NIR = riflettanza nella banda dell'infrarosso vicino; RED = riflettanza nella banda del rosso.

L'NDVI può assumere valori compresi a -1 e +1 ed è particolarmente diffuso per la sua efficacia e semplicità concettuale. In pratica, l'NDVI di una certa superficie aumenta con la copertura vegetale verde e la relativa attività fotosintetica, anche se esistono differenze fra i diversi tipi di piante.

Uso dell'NDVI per studi fenologici

Lo studio della fenologia della vegetazione non è un compito facile qualora si debba lavorare ad ampia scala e quindi in condizioni di continui cambiamenti di vegetazione e condizioni climatiche. Gli studi classici ed i primi tentativi di modellizzare l'inizio della stagione vegetativa sono spesso basati sull'impiego di sommatorie termiche: cominciando dall'inizio dell'anno, vengono sommate le temperature medie giornaliere superiori a 0°C (o 5°C) e, raggiunta una certa soglia, si ha l'inizio della stagione vegetativa.

L'uso di satelliti ad alta frequenza di campionamento (come ad es. quelli NOAA che riprendono uno stesso ambiente due volte al giorno) dà la possibilità di seguire lo sviluppo della vegetazione durante tutta la stagione di crescita.

Ovviamente quella che può essere monitorata è la condizione vegetativa globale delle

superfici, per cui si parla più correttamente di fenologia del paesaggio. In particolare, dall'osservazione dell'andamento nel tempo di indici di vegetazione quali NDVI (fig. 2), è possibile identificare le seguenti quattro fasi fenologiche della vegetazione:

l'inizio della stagione vegetativa determinata da un rapido incremento del valore di NDVI durante la stagione primaverile (punto 1),

l'inizio del periodo durante il quale la specie investigata è al massimo delle proprie potenzialità (punto 2),

la fine di tale periodo (punto 3), e

la fine della stagione vegetativa quando, dopo una brusca riduzione dell'indice di vegetazione, la specie entra nel periodo di riposo (punto 4).

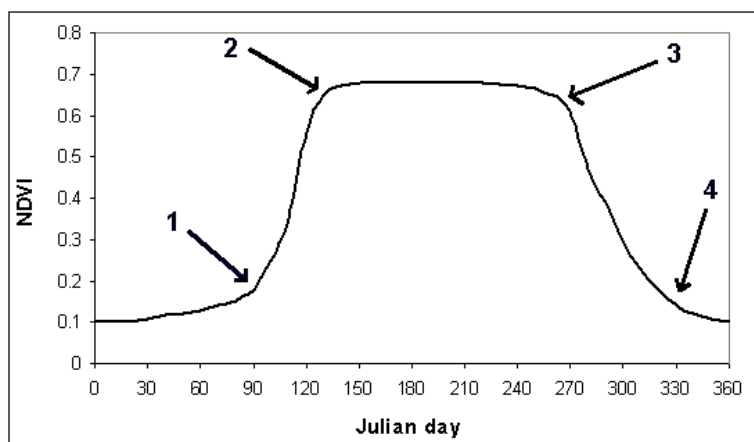


Fig. 2: Andamento stagionale teorico derivato da valori di NDVI. Le frecce indicano le 4 fasi fenologiche.

Ovviamente non mancano le difficoltà legate ad una applicazione di tale metodologia. Queste possono essere determinate da limiti strumentali: ad esempio, l'alta risoluzione temporale richiesta per monitorare i cambiamenti della vegetazione va a scapito di quella spaziale, anch'essa molto importante per studi su scala locale e regionale. Tecniche di integrazione di dati a diversa risoluzione spaziale possono in parte ovviare al problema (Maselli et al., 1998).

Le immagini giornaliere inoltre sono spesso affette da errori dovuti alla copertura nuvolosa della zona interessata, determinando una degradazione dell'informazione e in tali casi anche l'assenza di questa. A tale inconveniente si ovvia spesso applicando tecniche di Maximum Value Composite (MVC) per periodi di circa dieci giorni, compromesso tra la possibilità di ottenere immagini con ridotta influenza da parte delle nuvole e la necessità di mantenere comunque alta la risoluzione temporale (Bolle et al., 1999; White et al., 1997).

Esempio: fenologia delle foreste di Radicondoli

Un esempio di impiego di dati NOAA per il monitoraggio della fenologia ci è offerto

dall'area di studio di Radicondoli in Toscana ($43^{\circ}10'$ - $43^{\circ}18'$ N lat., $10^{\circ}58'$ - $11^{\circ}10'$ E long.; fig. 3). I boschi sono caratterizzati dalla presenza di querce decidue (cerro e roverella) diffuse in una zona collinare con altitudine compresa tra 300 e 900 m s.l.m.. Il clima è mediterraneo sub-umido.

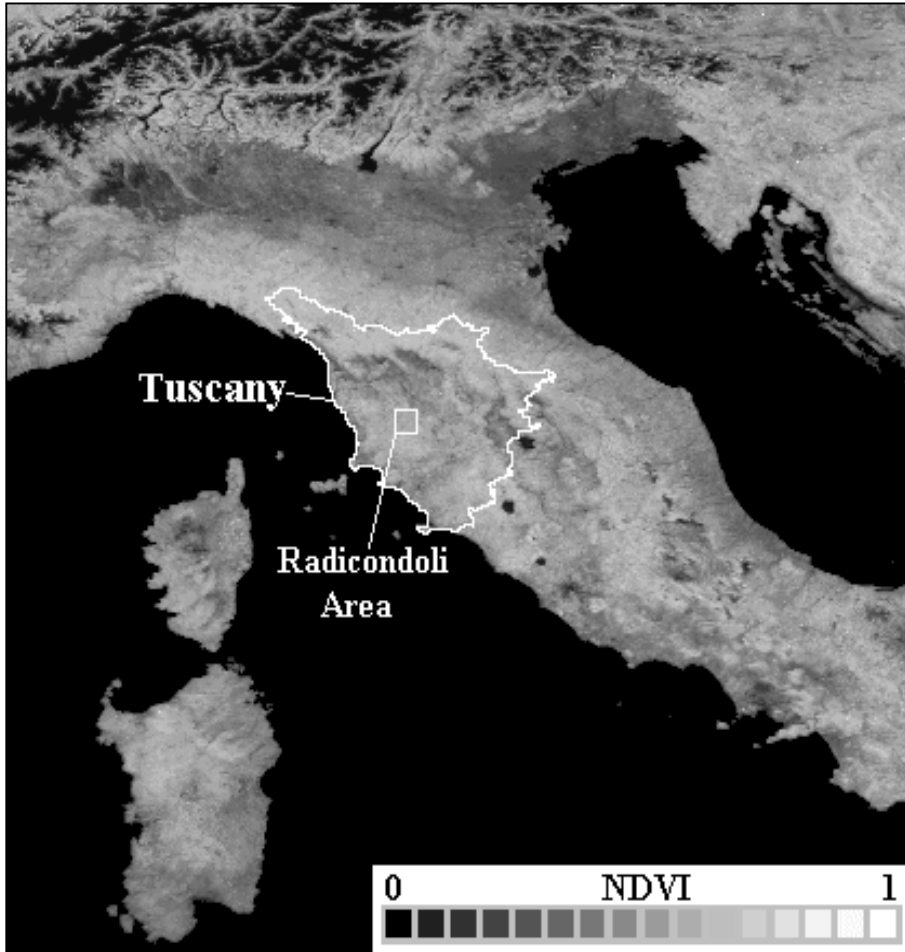


Fig. 3: Immagine NOAA-AVHRR NDVI del maggio 1993 con indicazione dell'area di studio.

Per l'intera zona disponiamo di dati meteorologici giornalieri (temperatura minima e massima, precipitazioni) raccolti dalla vicina stazione di Larderello e immagini decadali NOAA-AVHRR raccolte dagli archivi di Telespazio e dell'Università di Berlino. Tali dati sono disponibili per il periodo 1986-1999

Il lavoro è quindi consistito nei seguenti punti:

raccolta di tutte le informazioni ancillari e delle immagini per gli anni di studio;
 impiego del modello MT-Clim (Thornton and Running, 1999) per adattare all'area di studio i dati di Larderello; ciò è stato fatto sulla base della diversa pendenza ed esposizione delle due stazioni;
 estrazione di profili di NDVI in corrispondenza di una particella forestale dalle immagini decadalì degli anni di studio;
 identificazione dell'inizio della stagione vegetativa dall'osservazione dei profili di NDVI estratti e successiva determinazione dei relativi valori di sommatorie termiche;
 calcolo del valore medio delle sommatorie termiche lungo i 14 anni di studio e applicazione di questo valore per ri-determinare l'inizio delle stagioni su base termica;
 confronto tra l'inizio delle stagioni derivato dai profili di NDVI e quello calcolato dalle sommatorie termiche.

I risultati ottenuti vengono riportati in fig. 4. E' evidente un buon accordo tra i periodi fenologici identificati facendo uso della classica tecnica delle sommatorie termiche e quelli determinati impiegando il parametro NDVI. In particolare, l'informazione telerilevata riproduce piuttosto bene l'inizio delle stagioni per la maggior parte degli anni, con l'eccezione di un paio (1989 e 1990) in cui l'inizio termico è risultato particolarmente precoce.

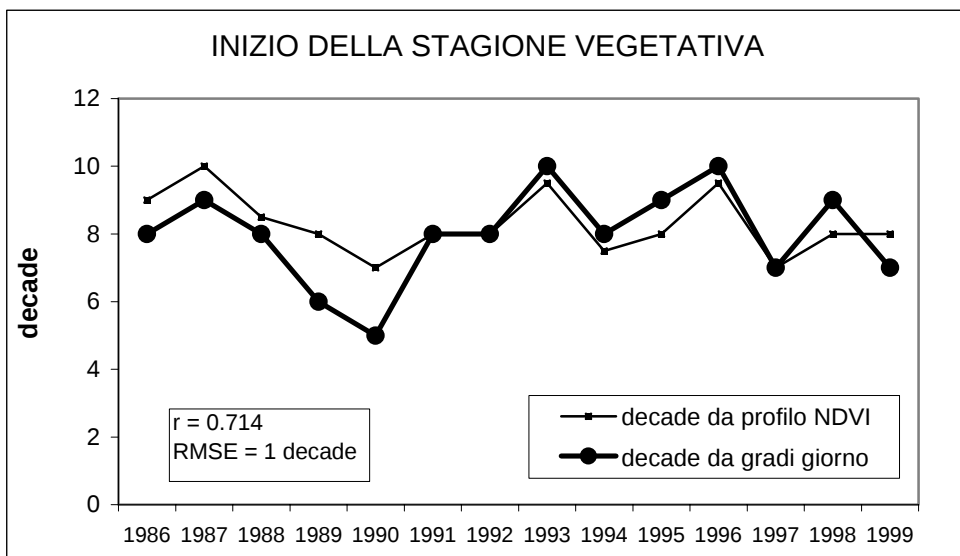


Fig. 4: confronto tra inizio dell'attività vegetativa identificato attraverso i profili di NDVI ed utilizzando le sommatorie termiche

Conclusioni

Il telerilevamento, alla luce di quanto esposto, può essere considerato un valido

strumento per determinare le principali fasi fenologiche della vegetazione a livello di paesaggio. In particolare, i satelliti a bassa risoluzione sono adatti a studiare la fenologia della vegetazione forestale che, a differenza di quella agricola, occupa aree maggiormente omogenee e più stabili nel tempo. Miglioramenti consistenti sono comunque possibili tramite l'utilizzo di immagini riprese dai sensori più moderni, quali MODIS e MERIS. Da un punto di vista operativo, è anche essenziale rivolgere ulteriori ricerche per lo sviluppo e la sperimentazione di algoritmi che, applicati a serie di immagini, consentono l'estrazione automatica di parametri fenologici su ampie zone vegetate.

Bibliografia

- Baret F., Guyot G. (1991). Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sens. Environ.*, 35 : 161-173.
- Bolle, H.J., Billing, H., Brummer, Ch., Eckardt, M., Koslowsky, D., Langer, I. And Tonn, W., 1999. University of Berlin contribution to final report of RESYSMED – ENV4-CT97-0683.
- Gomasasca M. A., (1997). Introduzione al telerilevamento e GIS per la gestione delle risorse agricole e ambientali.
- Maselli F., Gilabert M. A., Conese C. (1998). Integration of high and low resolution NDVI data for monitoring vegetation in the Mediterranean environments. *Remote Sens. Environ.*, 63: 208-218.
- Running S. W., Loveland T. R., Pierce I. I., Nemani R. R. and Hunt E. R. (1995). A remote sensing based vegetation classification logic for global land cover analysis. *Remote Sens. Environ.*, 51 : 39-48.
- Spanner M. A., Pierce L.L., Running S. W. and Peterson D. L. (1990). The seasonality of AVHRR data of temperate coniferous forests: relationships with Leaf Area Index. *Remote Sens. Environ.*, 33 : 97-112.
- Thornton, P.E. and Running, S.W., 1999. An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity, and precipitation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 93: 211-228.
- White M. A., Thornton P. E. and Running S. W. (1997). A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability. *Global Biogeochemical cycles*, 11 (2): 214-234.

FENOLOGIA E SCAMBI ATMOSFERA/BIOSFERA

Sabina Dore, Riccardo Valentini

Università degli Studi della Tuscia - Viterbo

Introduzione

Gli scambi di carbonio atmosfera biosfera rappresentano il bilancio dei processi produttivi e respirativi di un ecosistema e riflettono il controllo che su di essi hanno il clima e la fenologia. La tecnica *eddy covariance* misura gli scambi di carbonio, acqua ed energia a livello di ecosistema. Le misure avvengono in continuo, su larga scala e senza disturbare il sistema misurato. Questa tecnica può essere applicata a diversi ecosistemi, dalle superfici forestali alle superfici agricole. Negli ultimi anni si sono sviluppate reti di monitoraggio che comprendono numerose stazioni *eddy covariance*, che integrano i dati su scala nazionale, europea e mondiale. Questa tecnica permette di determinare grandezze quali la produttività netta, la respirazione e la produttività lorda dell'ecosistema. E' inoltre possibile quantificare le variazioni stagionali della funzionalità dell'ecosistema e la lunghezza del periodo vegetativo. Vengono infine presentati alcuni esempi di applicazioni della tecnica ad ecosistemi agricoli e forestali.

Materiali e metodi

I flussi verticali di grandezze scalari quali anidride carbonica, acqua ed energia, risultanti dagli scambi tra biosfera e atmosfera a livello di ecosistema, vengono oggi misurati con la tecnica *eddy covariance*. I flussi sono calcolati come la covarianza tra le fluttuazioni della velocità verticale del vento e dello scalare. I dati vengono acquisiti in continuo e mediati su un periodo che solitamente è di 30 minuti (Baldocchi 1988, Baldocchi et al. 1996, Aubinet et al. 2000). Per convenzione flussi positivi indicano flussi di massa ed energia diretti dalla superficie all'atmosfera, flussi negativi flussi diretti dall'atmosfera alla biosfera. I dati integrano i flussi generati su di una superficie posta sopravvento al punto di campionamento, di dimensioni che possono arrivare a qualche km², a seconda dell'altezza di campionamento e delle caratteristiche atmosferiche. Il sistema standard è composto da un anemometro sonico tridimensionale, un analizzatore ad infrarossi e un computer per acquisire i dati e per calcolare i flussi (Aubinet et al. 2000). Le misure di flusso vengono completate da misure meteorologiche quali radiazione luminosa, temperatura del suolo e dell'aria, precipitazione.

La tecnica *eddy covariance* misura quindi i flussi a scala di ecosistema. Tra i vantaggi della tecnica si riporta l'assenza di disturbo per l'ecosistema (non altera le fluttuazioni della pressione atmosferica, i naturali processi di trasporto, il microambiente) e l'integrazione dei processi dell'ecosistema nello spazio e nel tempo.

Tra gli svantaggi la dimensione minima necessaria per applicare la tecnica e il fatto che richiede una superficie orizzontale, uniforme e piana. Oggi esistono reti di monitoraggio di scambi atmosfera-biosfera basati sulla tecnica *eddy covariance*, che vanno dalla scala nazionale alla scala continentale (CAROBEUROFLUX per l'Europa, AMERIFLUX per gli Stati Uniti, ASIAFLUX per l'Asia) fino ad arrivare ad una rete di monitoraggio globale, FLUXNET (Valentini et al. 1999).

Inizialmente le stazioni erano localizzate in aree forestali, in seguito l'interesse si è rivolto anche a piantagioni, coltivi, praterie e pascoli. Oggi in Italia esistono circa 15 stazioni *eddy covariance*.

Tra le grandezze misurate con la tecnica *eddy covariance* figurano la produzione netta dell'ecosistema (NEP); la respirazione dell'ecosistema (ER) (misurata di notte, stimata di giorno); la produzione lorda dell'ecosistema (GPP, data da $NEP + ER$) e l'evapotraspirazione totale (ET). E' possibile inoltre quantificare le variazioni stagionali/annuali delle grandezze misurate, l'inizio, la fine e quindi la lunghezza della stagione vegetativa. E' possibile infine ricavare grandezze quali l'efficienza di uso idrico e rapporti utili per caratterizzare la funzionalità di un ecosistema quali RE/NEP , NEP/GPP .

Risultati e discussione

Gli scambi atmosfera e biosfera presentano notevoli variazioni stagionali. Dall'andamento dello scambio di carbonio è possibile riconoscere le fasi di attività vegetativa e di dormienza invernale, i picchi di crescita e le fasi di senescenza (fig. 1). Tali ritmi e fasi sono caratteristici delle diverse vegetazioni: un ecosistema a prateria ha un picco vegetativo anticipato rispetto ad un popolamento forestale, specie sempreverdi hanno una stagione vegetativa più lunga rispetto alle decidue (fig. 2). Le reti di stazioni di monitoraggio *eddy covariance* facilitano il confronto tra i diversi ecosistemi. In questo studio sono stati scelti quattro ecosistemi forestali lungo un gradiente altitudinale: nella fascia delle aghifoglie d'alta quota un bosco misto di abete rosso e larice, nell'orizzonte delle latifoglie sciafile una faggeta dell'Appennino centro-meridionale, nell'orizzonte delle latifoglie eliofile una cerreta ed infine una lecceta costiera nella fascia delle sclerofille. E' possibile notare come la relazione tra scambio di carbonio e luce cambi con le stagioni (fig.3), oltre che tra le varie zone fitoclimatiche. E' possibile quantificare la differenza tra specie sempreverdi e decidue, con le specie decidue che raggiungono una maggiore intensità di assorbimento per un breve periodo, mentre le sempreverdi mantengono la capacità di assimilare carbonio per un periodo più lungo, particolarmente nel caso della lecceta, che rimane attiva durante tutto l'anno. E' inoltre da sottolineare l'importanza dello stress idrico in queste aree mediterranee, dove gli scambi di carbonio tra biosfera e atmosfera diminuiscono durante l'estate. Questo stesso fenomeno è riproposto nella relazione tra respirazione notturna dell'ecosistema e temperatura (fig. 4). Durante l'estate, contrariamente a quanto avviene negli ecosistemi di zone temperate in cui ad un aumento della temperatura corrisponde un aumento della respirazione (Arrhenius 1889), a causa della limitazione dei processi di scambio causati dell'aridità, ad un aumento della temperatura corrisponde una diminuzione della respirazione.

Dal carbonio scambiato cumulativamente in un periodo di un anno (fig. 5) dai quattro ecosistemi esaminati, è facile determinarne la lunghezza del periodo vegetativo. Anche se con strategie e comportamenti diversi, anche se in situazioni climatiche diverse, anche se con specie diverse, tutti gli ecosistemi studiati mostrano un'intensa attività di assorbimento di carbonio e si attestano a livelli di produttività simile.

Il monitoraggio nel corso degli anni degli scambi atmosfera-biosfera di un ecosistema permette di determinare la variabilità interannuale della produttività dell'ecosistema e di quantificare le conseguenze dei cambiamenti climatici sulla funzionalità dell'ecosistema.

Dall'analisi della variabilità interannuale è inoltre possibile esaminare quali siano i fattori che controllano la produttività dell'ecosistema. Su questo argomento Goulden (1996) osserva come lo scambio annuo di CO₂ sia influenzato per prima cosa dalla lunghezza della stagione vegetativa, oltre che dalla copertura nuvolosa estiva, dalla copertura nevosa e in genere temperatura del suolo durante l'inverno ed infine dall'aridità estiva.

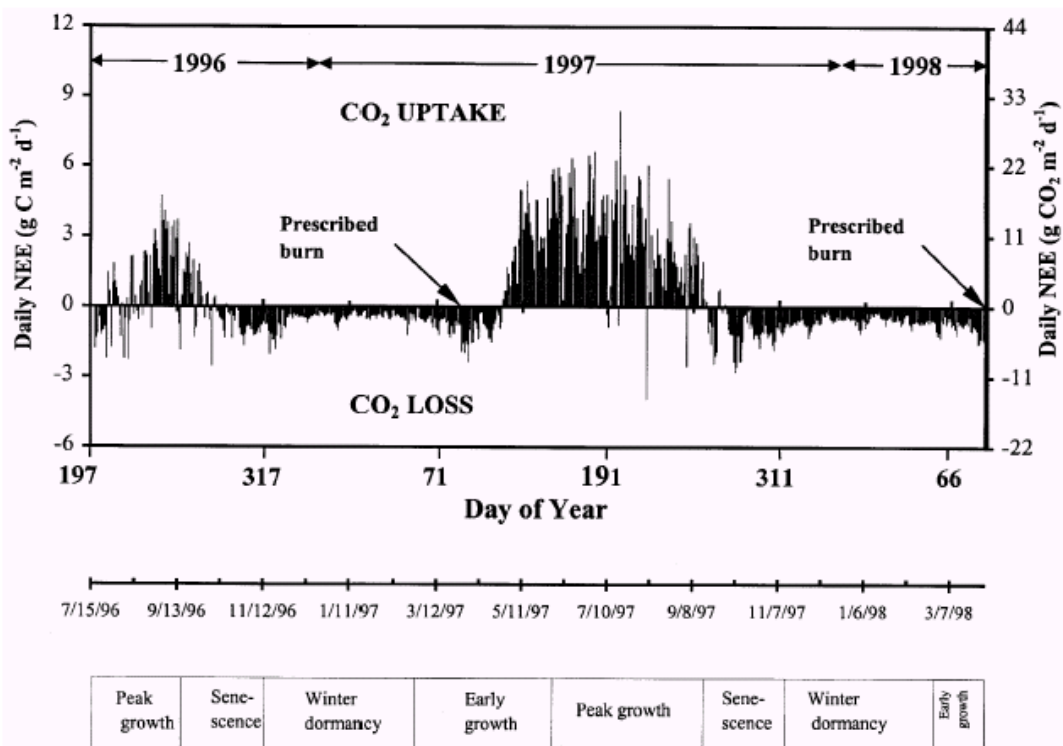


Fig. 1: Scambi di carbonio di una prateria sottoposta a fuoco prescritto (Suyker and S.B. 2001)

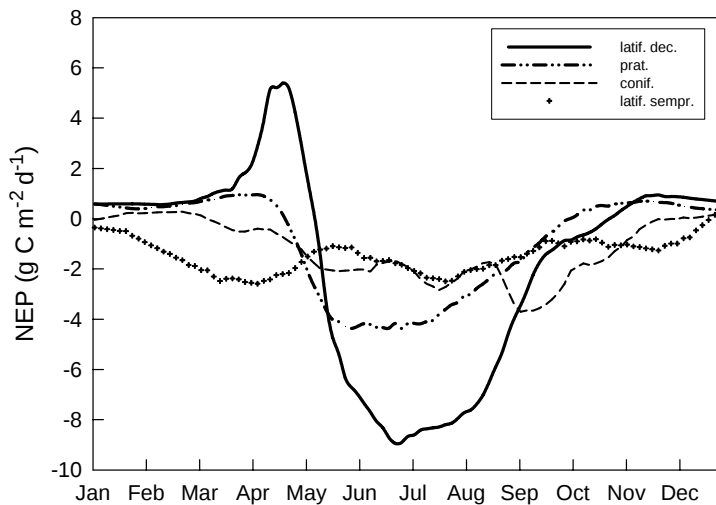


Fig. 2: Scambi giornalieri di carbonio di biomi diversi: una prateria (prat.), un bosco di latifoglie decidue (latif. dec.), un bosco di conifere (conif.) ed un bosco di latifoglie sempreverdi (latif. sempr.).

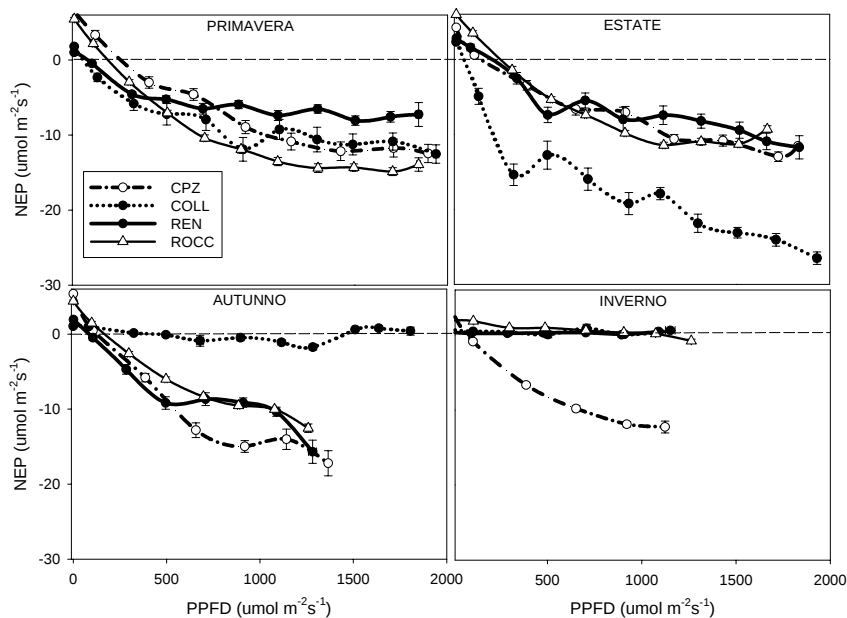


Fig. 3: Relazione tra gli scambi di carbonio (NEP) e radiazione luminosa (PPFD) nelle diverse stagioni per 4 ecosistemi italiani: REN: bosco misto di conifere alpino, COLL: faggeta appenninica, ROCC: cerreta, CPZ: lecceta.

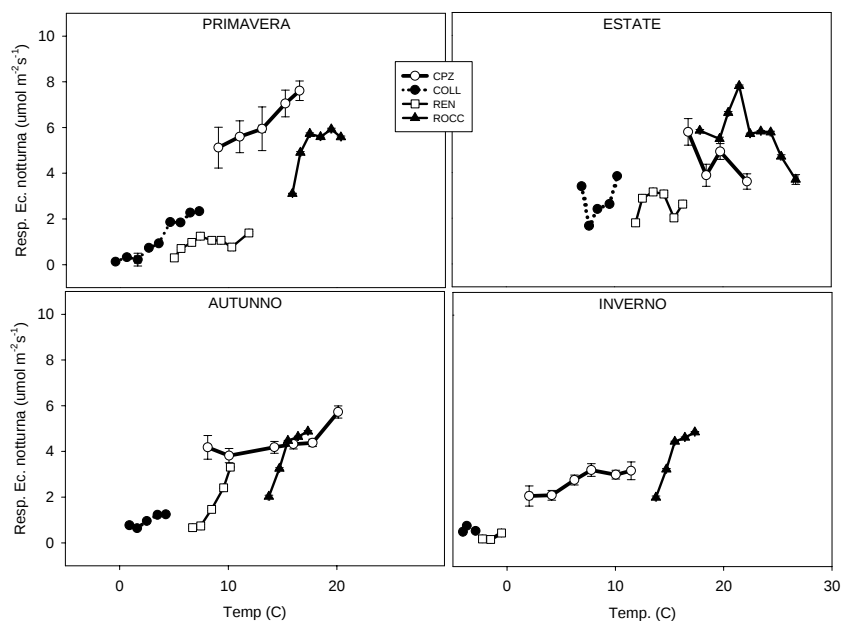


Fig 4: Relazione tra gli scambi di carbonio (NEP) e temperatura del suolo (Temp) nelle diverse stagioni per 4 ecosistemi italiani: REN: bosco misto di conifere alpino, COLL: faggeta appenninica, ROCC: cerreta, CPZ: lecceta.

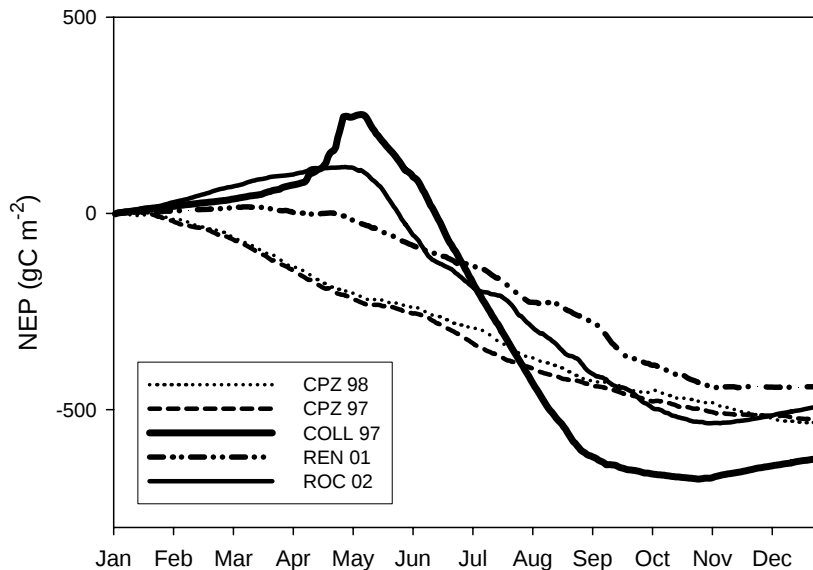


Fig 5: Scambio di carbonio cumulato durante un periodo di un anno per 4 ecosistemi italiani: REN: bosco misto di conifere alpino, COLL: faggeta appenninica, ROCC: cerreta, CPZ: lecceta. Per la lecceta è inoltre mostrata la variabilità interannuale (97-98).

Conclusioni

Gli scambi atmosfera biosfera misurati con la tecnica *eddy covariance* hanno come caratteristica la scala temporale, in quanto il monitoraggio avviene in continuo, e la scala spaziale, in quanto i processi vengono misurati a scala di ecosistema. Essi forniscono numerose informazioni su stagionalità, lunghezza del periodo vegetativo e influenza che questa ha sulla funzionalità dell'ecosistema.

Bibliografia

- Arrhenius S., (1989). Über die Reaktionsgeschwindigkeit bei der Inversion von Rohrzucker durch Säuren. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 4:226-248.
- Aubinet, M., Grelle, A., Ibrom, A., Rannik, U., Moncrieff, J., Foken, T., Kowalski, A.S., Martin, P.H., Berbigier, P., Bernhofer, C., Clement, R., Elbers, J., Granier, A., Grunwald, T., Morgenstern, K., Pilegaard, K., Rebmann, C., Snijders, W., Valentini, R. & Vesala, T. (2000) Estimates of the Annual Net Carbon and Water Exchange of Forests: The EUROFLUX Methodology. *Advances in Ecological Research* **30**, 113-175.
- Baldocchi, D.D., Hicks, B.B. & Meyers, T.P. (1988) Measuring biosphere-atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods. *Ecology* **69**, 1331-1340.
- Baldocchi, D., Valentini, R., Running, S., Oechel, W. & Dahlman, R. (1996) Strategies for measuring and modelling carbon dioxide and water vapour fluxes over terrestrial ecosystems. *Global Change Biology* **2**, 159-169.
- Goulden, M. L., J. W. Munger, et al. (1996). Exchange of Carbon Dioxide by a Deciduous Forest: Response to Interannual Climate Variability. *Science* 271: 1576-1578.
- Suyker, A. E. and V. S.B. (2001). Year-round observations of the net ecosystem exchange of carbon dioxide in a native tallgrass prairie. *Global Change Biology* **7**: 279-289.
- Valentini, R., D. Baldocchi, et al. (1999). FLUXNET: a challenge that is becoming reality. *Global Change News Letter* 37: 15-17.

FENOLOGIA E ALLERGOPATIE RESPIRATORIE

Renato Corsico

Universita' di Pavia - Scuola di Specializzazione in Allergologia e Immunologia clinica

La prevalenza cumulativa delle allergopatie respiratorie, come quella dell'insieme delle malattie allergiche, è elevata e in costante aumento nella maggior parte dei paesi occidentali. E' ragionevole ipotizzare che la sua prevalenza in Italia sia oggi valutabile in una misura compresa fra il 18 e 25% ed è la sintomatologia oculorinica quella più frequentemente causata dalla sensibilizzazione ad allergeni di origine pollinica. La rinite allergica, clinicamente caratterizzata da frequenti salve di starnuti, accompagnati da rinorrea e da ostruzione nasale, che compaiono indipendentemente da raffreddamento o da infezioni, è stata troppo spesso sottostimata dal punto di vista epidemiologico anche per una oggettiva difficoltà all'identificazione, in quanto i pazienti non attribuiscono ai loro sintomi il valore dovuto, interpretandoli come comune rinite da raffreddamento. Soprattutto nell'infanzia la diagnosi di rinite allergica può essere difficoltosa, in quanto molto spesso le manifestazioni allergiche sono nel bambino mascherate dalle ripetute infezioni virali. Si può sospettare l'esistenza di una patologia allergica nei bambini che presentano da 6 a 10 infezioni respiratorie delle vie aeree superiori all'anno (rispetto alle normali 3-5), osservando anche la stagionalità e indagando l'esistenza di dermatite atopica (in atto o pregressa) e di familiarità allergica.

Le manifestazioni della rinite allergica sono caratterizzate dalla periodicità, che segue spesso ritmi cronologici stagionali: nell'adulto il riscontro di sensibilizzazione allergica risulta positivo nei soggetti con rinite stagionale in misura molto vicina all'80% e, d'altra parte, anche quando la manifestazione rinitica presenta un andamento perenne, ma con incrementi della sintomatologia in particolari momenti dell'anno, è possibile riscontrare sensibilizzazione allergica in misura vicina al 70%. E' però da ricordare che, una volta che la rinite si è manifestata, la condizione di flogosi cronica che la caratterizza determina uno stato di iperreattività tale per cui anche gli stimoli irritativi e non solo gli allergeni, possono scatenare una riacutizzazione della sintomatologia rinitica. Questo evento, identificabile come "effetto priming" e cioè come "il fenomeno per cui ripetute esposizioni all'allergene abbassano la soglia della reazione da ipersensibilità", può mascherare la originaria periodicità della rinite allergica, così come altre variabili possono essere attribuibili alle caratteristiche dell'ambiente domestico o dell'ambiente di lavoro, ma anche ad abitudini comportamentali di vario genere. Anche quando la rinite allergica si manifesta nelle forme di grado più lieve deve sempre essere valutata con particolare attenzione, in quanto è spesso responsabile di altre patologie associate. L'associazione con asma bronchiale è così frequente da indurre a considerare il riscontro di rinite allergica come fattore di rischio per asma, rafforzando il concetto per cui "one airway, one disease" che sottolinea l'opportunità di effettuare lo studio della funzionalità bronchiale nei soggetti con rinite allergica.

Secondo Settipane il rischio di manifestare asma è triplicato per coloro che soffrono di rinite: infatti su una popolazione studentesca seguita per oltre venti anni, la comparsa di asma bronchiale è stata del 10,5% fra coloro che già erano sofferenti di rinite al

momento dell'inserimento nell'indagine, contro il 3,6% riscontrato fra coloro che non avevano manifestato rinite. Seguendo il paziente dal momento di inizio della rinite allergica, si riscontrerebbe la possibile insorgenza di asma bronchiale in misura vicina al 20% dei casi dopo venti anni.

In ambito pediatrico la natura allergica della rinite deve essere sempre sospettata quando sia ripetutamente presente tosse notturna (in genere fra le 2 e le 4 di notte) e soprattutto quando questa non sia correlata ad un chiaro evento infettivo.

L'importanza delle sequele cliniche della rinite allergica deve trovare un riscontro nell'impostazione del trattamento terapeutico in quanto un trattamento corretto, adeguato e tempestivo può ridurre la morbidità e contribuire al contenimento della spesa sanitaria. Dobbiamo mettere in atto tutte le misure di prevenzione e di trattamento farmacologico che possono garantire un buon controllo della patologia di base e delle complicanze. La prevenzione nei confronti della rinite allergica è attuabile sia riducendo la esposizione all'allergene specifico, sia modulando la risposta nei confronti dello stesso mediante immunoterapia specifica: poiché nei confronti della diffusione aerea degli allergeni pollinici non si possono avviare interventi efficaci, le misure preventive si limitano all'adozione di norme comportamentali da parte dei soggetti allergici. Non tutti i pollini sono dotati di potere allergizzante, in quanto è indispensabile che contengano determinati antigeni e che la loro presenza in atmosfera sia quantitativamente elevata.

In Italia, come in tutto il bacino del Mediterraneo, i pollini più diffusi in atmosfera sono quelli liberati da specie arboree appartenenti alle famiglie delle Cupressaceae, Fagaceae, Oleaceae e Pinaceae e da specie erbacee appartenenti alle famiglie delle Urticaceae e Graminaceae, ma l'esistenza di numerose situazioni climatiche con vegetazione di tipo centro-europeo determina la presenza anche di specie non termofile, appartenenti soprattutto a Betulaceae, Corylaceae, Salicaceae, Compositae.

Inoltre nuove piante vengono introdotte e diffuse sul nostro territorio sia a scopo ornamentale che di rimboschimento o di miglioramento della produzione agraria. Molte specie possono essere introdotte anche in maniera accidentale, importate come infestanti di sementi, o diffuse in seguito all'abbandono di terreni o a lavori di sbancamento, come è recentemente accaduto con l'Ambrosia.

Per quanto riguarda la patologia allergica delle vie respiratorie, è necessario sia ai fini diagnostici che preventivi e terapeutici, conoscere la cronologia del rischio di esposizione agli allergeni pollinici. In Italia si riconoscono tre maggiori stagioni polliniche: la prima compresa fra la fine dell'inverno e l'inizio della primavera, caratterizzata dalla fioritura di numerosi alberi e arbusti, ma anche di alcune erbe come la parietaria nelle regioni meridionali e nelle isole maggiori; la seconda occupa la tarda primavera e l'inizio estate, con prevalente fioritura di graminacee ed altre erbe annuali o perenni, ma anche di alcuni alberi come olivo e castagno; infine la terza stagione è rappresentata dalla tarda estate ed inizio autunno, con particolare presenza dei pollini di piante erbacee.

Mentre è molto variabile l'inizio della prima stagione pollinica, la seconda stagione ed, in misura maggiore, la terza sono piuttosto costanti.

La presenza dei primi pollini di interesse allergologico si verifica in genere a metà gennaio quando vengono liberati quelli di nocciolo e di ontano; ai quali segue, in

febbraio, la pollinazione dei cipressi che fanno registrare concentrazioni aeree elevate fino all'inizio della primavera. Tra febbraio e marzo si riscontrano poi i pollini di frassino e olmo, quindi più tardi quelli di pioppo e salice.

A fine marzo si riscontrano i pollini di numerose specie di pini ed in questo periodo è presente anche il polline di carpino nero, a cui fa seguito, in aprile e fino a tutto maggio, il polline del carpino bianco che, invece, preferisce zone pianeggianti.

Nelle zone settentrionali e peninsulari interne, nel mese di aprile inizia il periodo di fioritura della betulla e, nelle zone montane, del faggio, ma la presenza preminente è quella dei pollini rilasciati dalle piante erbacee, con l'inserimento dell'olivo in giugno e del castagno in luglio.

Particolarmente interessante da un punto di vista allergologico è in questo periodo la pollinazione di parietaria, che si protrae per tutta l'estate fino all'inizio dell'autunno, raggiungendo valori massimi durante la primavera e dopo il periodo siccitoso estivo. Da considerare inoltre che, in molte regioni meridionali a causa delle particolari condizioni climatiche, spesso questo polline viene rilevato in quantità notevoli anche nei primi mesi dell'anno.

Tra le ultime piante a fiorire troviamo molte composite tra cui artemisia e ambrosia rappresentano i generi più diffusi e allergologicamente importanti: l'Ambrosia, sempre più diffusa in molte regioni settentrionali, inizia a liberare polline subito dopo ferragosto e la pollinazione può proseguire fino a settembre-ottobre quando le giornate si accorciano e ciò induce le piante ad entrare in una fase di dormienza.

Le concentrazioni di polline in atmosfera non sono costanti durante le 24 ore giornaliere, ma molto spesso si registrano delle variazioni con valori più bassi nelle prime ore della giornata e concentrazioni più elevate nelle ore centrali e nel primo pomeriggio.

Spesso, soprattutto in regioni con rapide variazioni delle condizioni ambientali, l'andamento giornaliero è primariamente influenzato dalle condizioni meteorologiche che si hanno al momento come la pioggia, la luminosità e la temperatura. Così, alte concentrazioni possono essere osservate durante la notte, come per le graminacee, quando si verificano particolari condizioni come lo sviluppo di uno stabile strato di inversione termica durante le ore serali e notturne, oppure risospensione del polline stimolata da movimenti di turbolenza che si possono avere all'inizio del periodo notturno o inizio della ricaduta di polline rilasciato durante le ore diurne e che era rimasto sospeso negli strati più elevati dell'atmosfera.

La concentrazione dei vari tipi di polline in atmosfera dipende soprattutto dalla presenza e diffusione delle piante sul territorio, dalla capacità riproduttiva di ciascuna pianta ed anche dalla capacità del polline a diffondere nell'aria.

E' quindi molto importante possedere informazioni relative all'entità del rischio da allergeni pollinici e, soprattutto, alla cronologia, al fine di potere attuare un'efficace prevenzione ed anche allo scopo di iniziare tempestivamente il trattamento con farmaci che siano efficaci nel ridurre la reazione infiammatoria dei tessuti sede della reazione allergica. La flogosi rappresenta infatti l'elemento patogenetico fondamentale delle manifestazioni allergiche e, quando supera la soglia critica delimitata dall'orizzonte clinico, si manifesta con i segni clinici caratteristici della rinite allergica.

Definizione di rinite allergica.

“Afezione infiammatoria della mucosa nasale sostenuta da un meccanismo immunologico IgE mediato e caratterizzata stagionalmente, ovvero durante tutto l’anno, da sintomatologia clinica consistente in ricorrenti episodi di rinorrea (generalmente assente nella prima infanzia), ostruzione nasale e starnutazione (a salve), accompagnata da senso di prurito al naso (a volte anche a palato ed orecchie), indipendentemente da raffreddamento o da infezioni delle vie respiratorie superiori.

Lo stato infiammatorio, se protratto nel tempo, può rendersi responsabile di una associata condizione di iperreattività nasale per cui anche stimoli diversi dagli allergeni possono scatenare la comparsa della sintomatologia rinitica.”.

Bibliografia

- Andersen A.A. New sampler for the collection, sizing and enumeration of viable airborne particles. *J.Bacteriol.* 1958; 76: 471-484.
- Corren J. Intranasal corticosteroids for allergic rhinitis: how do different agents compare? *J Allergy Clin Immunol* 1999 Oct;104(4 Pt 1):S144-9.
- D'Amato G. Patologia allergica respiratoria. Ed. Curtis Milano, 1993.
- Expert Panel Report 2. Guidelines for the diagnosis and management of asthma: National Institutes of Health National Heart, Lung and Blood Institute. Publication n. 97-4051 A. May 1997.
- Frenguelli G., Bricchi E. The use of the pheno-climatic model for forecasting the pollination of some arboreal taxa. *Aerobiologia* 1998; 14: 39-44.
- Frenz D.A., Elander J.C. A calibration program for Rotorod samplers. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 1996; 76(3): 245-246.
- Hirst J.M. An automatic volumetric spore trap. *Ann.Appl.Biol.* 1952; 39: 257-265.
- Mandrioli P. Aerobiology: pollen sampling, influence of climate, pollen sources, and pollen calendar. In: *Pollinosis*, Ed. P.Falagiani, CRC Press, Inc. Florida, 1990: 39-53.
- Mandrioli P. Introduction to biological particles. In: Mandrioli P., Comtois P., Levizzani V. (eds) *Methods in Aerobiology*. Pitagora Ed., Bologna, 1999: 1-12.
- Mandrioli P., Comtois P., Dominguez Vilches E. et al. Sampling: Principles and Techniques. In: *Methods in Aerobiology*, eds. P.Mandrioli, P.Comtois, V.Levizzani, Pitagora Editrice, Bologna, 1999; 49-101.
- Pacini E., Franchi G.G. Types of pollen dispersal units and pollen competition. In: C.Clément, E.Pacini, J.C. Audran (eds) *Anther and Pollen: from biology to biotechnology*, Springer Verlag, Berlin, 1999: 1-11.
- Peat J.K., Woolcock A.J. Sensitivity to common allergens: relation to respiratory symptoms and bronchial hyper-responsiveness in children from three different areas of Australia. *Clinical and Experimental Allergy* 1991; 21: 573-581.
- Ricci S., Meriggi A., Bruni M., et al. Aerobiological monitoring of *Alternaria* fungal spores: a comparison between survey in 1992 and 1993 and local meteorological conditions. *Aerobiologia* 1995; 11: 195-199.

- Romano B., Frenguelli G. Botanica generale. La procreazione nei vegetali e organografia degli apparati riproduttivi. Galeno Ed., Perugia, 1982: 248.
- Schenkel EJ, Skoner DP, Bronsky EA, Miller SD, Pearlman DS, Rooklin A, Rosen JP, Ruff ME, Vandewalker ML, Wanderer A, Damaraju CV, Nolop KB, Mesarina-Wicki B. Absence of growth retardation in children with perennial allergic rhinitis after one year of treatment with mometasone furoate aqueous nasal spray. *Pediatrics* 2000 Feb;105(2):E22
- Settipane RJ, Hagy GW, Settipane GA. Long-term risk factors for developing asthma and allergic rhinitis: a 23-year follow-up study of college students. *Allergy Proc.* 1994; 15:23
- Spieksma F.Th.M., den Tonkelaar J.F. Four-hourly fluctuations in grass pollen concentrations in relation to wet versus dry weather, and to short versus long over-land advection. *Int.J.Biometeor.* 1986; 30(4): 351-358.
- Trigo M.M., Cabezudo B., Recio M., et al. Annual, daily and diurnal variations of Urticaceae airborne pollen in Malaga (Spain). *Aerobiologia* 1996; 12: 85-90.

MODELLI DI PREVISIONE FENOLOGICA

Marco Bindi¹, Salvatore Cosentino², Francesco Danuso³, Marcello Donatelli⁴, Vittorio Marletto⁵

1 - Università di Firenze - Dipartimento di Scienze Agronomiche e Gestione del Territorio Agro-Forestale

2 - Università di Catania - Istituto di Agronomia

3 - Università di Udine - Dipartimento di Produzione Vegetale e Tecnologie Agrarie

4 - MiPAF - Istituto Sperimentale per le Colture Industriali

5 - ARPA Emilia-Romagna, Servizio Meteorologico Regionale Area Agrometeorologia e Territorio

Introduzione

La conoscenza dell'evoluzione fenologica delle colture di interesse agrario e delle principali specie infestanti ad esse associate è essenziale ai fini di una corretta realizzazione di tutte quelle pratiche agronomiche, come la concimazione, l'irrigazione, i trattamenti antiparassitari, il diserbo, ecc., la cui realizzazione è strettamente legata allo stadio di sviluppo. La possibilità quindi di disporre di modelli di simulazione dello sviluppo può risultare di particolare interesse per lo sviluppo di programmi di assistenza tecnica. Questi strumenti infatti, insieme alle previsioni meteorologiche, possono essere impiegati non solo per la determinazione dell'evoluzione della fenologia ma anche per una sua previsione.

Nel settore della modellistica dello sviluppo fenologico delle specie coltivate, in tempi recenti, sono stati profusi notevoli sforzi ai fini di una corretta interpretazione delle relazioni esistenti tra i parametri ambientali e la dinamica dello sviluppo, e numerosi approcci sono stati proposti. I più semplici si basano sul concetto delle "unità termiche" e sull'assunzione dell'esistenza di una relazione lineare tra le sommatorie termiche e lo sviluppo; mentre nei più dettagliati il concetto delle unità termiche è corretto per tener conto della diversa risposta varietale all'azione della vernalizzazione e del fotoperiodo.

Attualmente esistono vere e proprie reti di ricerca (es. GCTE-Wheat e Potato Networks) che hanno come obiettivo quello di raccogliere informazioni sui modelli di sviluppo e crescita delle varie colture agrarie. Informazioni che sempre più spesso vengono messe a disposizione su Internet mediante apposite WEB-page (es. <http://library.wur.nl/camase>; <http://dino.wiz.uni-kassel.de/ecobas.html>).

Per le principali colture di interesse agricolo sono quindi già disponibili modelli in grado di simulare la durata delle singole fasi fenologiche. In gran parte dei casi però tali modelli non sono stati validati in ambienti diversi da quelli in cui sono stati realizzati e in condizioni climatiche estreme. Inoltre, solo raramente sono stati condotti dei confronti tra i vari modelli sviluppati per la stessa specie. Ai fini quindi di un uso applicativo di tali strumenti non è possibile prescindere da un ampio esame di calibrazione, validazione e confronto. Esame che però può essere condotto correttamente solamente in presenza di un set di dati che rappresentino le diverse realtà colturali e climatiche esaminate. Per quanto riguarda invece le specie infestanti si presenta la necessità di sviluppare, calibrare e validare nuovi modelli in quanto gli

aspetti modellistici del loro sviluppo sono stati esaminati solo marginalmente.

In questo contesto si è inserito il progetto “Phenagri: fenologia per l’agricoltura” che ha avuto tra i suoi scopi principali quello di esaminare la modellizzazione dello sviluppo fenologico delle specie agricole ed infestanti.

Progetto finalizzato “Phenagri: fenologia per l’agricoltura”. Sottoprogetto 3: Sviluppo e taratura di modelli fenologici. Unità Operativa 3.1 “Modelli matematici”

Nell’ambito del Progetto Nazionale “Phenagri: fenologia per l’agricoltura” il Sottoprogetto 3 “Sviluppo e taratura di modelli fenologici” ed in particolare l’Unità Operativa 3.1 “Modelli Matematici” si è occupato del reperimento da fonti bibliografiche e/o dello sviluppo diretto di modelli matematici di colture agricole ed infestanti, e della loro calibrazione e validazione con i dati sperimentali forniti dal Sottoprogetto 1 “Fenologia delle piante erbacee”, Unità Operativa 1.1 “Rilievi fenologici”. Nel gruppo 3.1 hanno collaborato le seguenti Unità di Ricerca:

Centro Studi per l’Applicazione dell’Informatica in Agricoltura (Ce.S.I.A.), Accademia dei Georgofili, Firenze (Coordinatore del gruppo, Prof. M. Bindi);

Servizio Meteorologico della Regione Emilia-Romagna (S.M.R.), Bologna (responsabile Dr. V. Merletto);

Istituto Sperimentale delle Colture Industriali (I.S.C.I.) Modena (responsabile Dr. M. Donatelli);

Dipartimento di Produzione Vegetale e Tecnologie Agrarie (D.P.V.T.A.), Università di Udine, Udine (responsabile Prof. F. Danuso);

Dipartimento di Scienze Agronomiche e Gestione del Territorio Agro-Forestale (D.I.S.A.T.), Università di Firenze, Firenze (responsabile Prof. C. Zanchi);

Istituto di Agronomia, Università di Catania (responsabile Prof. S. L. Cosentino).

L’obiettivo primario di questo gruppo è stato quello di mettere a disposizione del Progetto una serie di modelli fenologici validati per diverse colture. In particolare l’attività di ricerca è stata articolata in tre fasi:

Sviluppo o scelta dei modelli necessari;

calibrazione, su dati meteorologici e sperimentali provenienti da aree e varietà rappresentative delle condizioni climatiche e varietali italiane;

validazione, su dati meteorologici e varietali indipendenti rispetto a quelli utilizzati per la calibrazione.

Per agevolare l’impiego dei modelli, sia all’interno della comunità scientifica che da parte degli utenti del settore, è stata prevista inoltre, la creazione di un software applicativo comune a tutti i modelli che permetta di gestire in modo semplice le informazioni in ingresso ed uscita dai modelli.

1 - Sviluppo o scelta dei modelli

Sulla base delle competenze delle singole unità di ricerca sono state individuate le seguenti colture da simulare: cereali autunno-vernini (frumento e orzo), Ce.S.I.A./D.I.S.A.T. Firenze; mais e pomodoro, ARPA-S.M.R. Bologna; soia e infestanti, Università di Udine; girasole e sorgo, Università di Catania; mentre, all'ISCI è stata affidata la progettazione del software applicativo.

Per ciascuna di queste colture sono stati individuati dei modelli di simulazione in grado di simulare, a partire dai dati meteorologici, la durata delle principali fasi fenologiche:

Modello	Fasi	Fattori	Rifer.bibliografico
<i>Cereali autunno/vernini</i>			
ARCWHEAT	Eme, Fio, Mat	Temp., Foto., Vern.	Porter et al., 1987
CAO e MOSS	Eme, Spi	Temp., Foto., Vern.	Cao e Moss, 1997
CERES	Eme, Spi, Fio, Mat	Temp., Foto., Vern.	Ritchie, 1991
McMASTER	Eme, Spi, Fio, Mat	Temp.	McMaster et al.,
MIGLIETTA	Eme, Spi, Fio, Mat	Temp., Foto.	Miglietta et al., 1993°-b
<i>Mais</i>			
SMR-mais	Eme, Vir. Ap., Fio, Mat	Temp., Foto.	Grant, 1989
<i>Pomodoro</i>			
SMR-pomodoro	Eme/Tra, Fio, Inv, Mat	Temp., Foto., Pre.	Gray et al., 1980; Wolf et al., 1986
<i>Soia</i>			
DANUSO	Eme, Fio, Mat	Temp., Foto., Pre.	Danuso, 1997
<i>Infestanti (B. frondosa e B. tripartita)</i>			
NOAA	Eme, Fio, Mat	Temp.	Danuso, 1989
Foto-Termico	Eme, Fio, Mat	Temp., Foto.	Danuso, 1989
Termo-Idrico	Eme, Fio, Mat	Temp., Pre.	Danuso, 1989
<i>Girasole</i>			
Oilcrop-SUN	Eme, Fio, Mat	Temp., Foto.	Villalobos et al.,
HAMMER	Eme, Fio	Temp., Foto.	Hammer et al., 1982
<i>Sorgo</i>			
CERES			Hodges, 1991

Fasi: Eme=emergenza, Tra=trapianto, Vir ap=viraggio apicale, Spi=spigatura, Fio=fioritura, Inv=invasatura, Mat=maturazione

Fattori: Temp=temperatura, Pre=precipitazioni; Foto=fotoperiodo

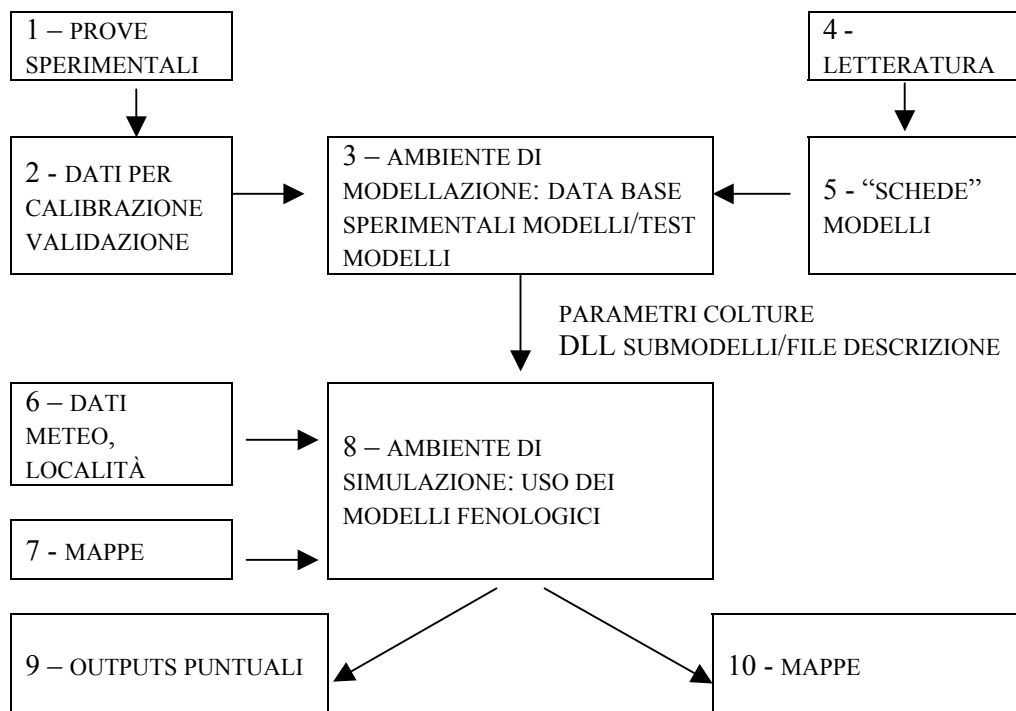
2 - Calibrazione e validazione dei modelli

I modelli selezionati sono stati calibrati e validati impiegando sia i dati già a disposizione delle varie unità operative che quelli messi a disposizione dal progetto durante i tre anni di rilievi sperimentali condotti dal Gruppo 1.1 “Rilievi fenologici”. In particolare, per indicare la corrispondenza fra dati simulati ed osservati e, quindi, la bontà di un modello sono stati calcolati una serie di indici statistici come il Mean Bias Error (MBE), il Mean Absolute Error (MAE), il Root Mean Square Error (RSME), il Root Mean Square Difference (RMSD%). A quest’ultimo indice è stata affiancata una scala qualitativa che valuta l’efficacia del modello nel simulare le singole fasi fenologiche Jamieson et al., (1991). E’ stata infine calcolata anche la correlazione (r) fra i valori osservati e quelli simulati.

I risultati della validazione hanno messo in evidenza, la necessità di svolgere un dettagliato lavoro di calibrazione per adattare alla realtà italiana modelli costruiti in ambienti con caratteristiche climatiche, pedologiche e varietali talvolta assai differenti dalle nostre. Solo dopo un’accurata calibrazione i modelli selezionati sono stati in grado di simulare con sufficiente precisione la durata delle varie fasi fenologiche.

3 - Sviluppo di un software applicativo comune a tutti i modelli

L’obiettivo generale è stato quello di avere disponibili, in un unico ambiente software integrato, uno o più modelli fenologici per ciascuna specie, unitamente ai dati per la calibrazione e il test dei modelli. Una rappresentazione schematica dei principali collegamenti e prodotti ottenibili è riportata in fig. 1. Tale software permetterà il test dei modelli stessi e il loro export ad un’altro software, che ne permetterà l’uso.



Bibliografia

- Cao W., Moss D.N. 1997. Modelling phasic development in wheat: a conceptual integration of physiological components. *J. Agricult. Sci., Cambridge*, 129:163-172.
- Danuso F., Benati R., Amaducci M.T. E Venturi G., 1987b. Fenologia della soia (*Glycine max* (L.) Merrill): II. Modelli di risposta ai fattori ambientali. *Rivista di Agronomia*, n. 1, 37-44.
- Danuso F. e Zanin G., 1989a. Simulazione della dinamica di popolazioni di malerbe annuali in colture erbacee: I. Descrizione del modello WEPOM. Presentato al XXII Convegno annuale della S.I.A., Catania 20-23 settembre 1988. *Rivista di Agronomia*, 23, 4,466-476.
- Grant, R.F. 1989. Simulation of maize phenology. *Agron. J.* 81: 451-457.
- Gray D, Ward JA, Steckel JRA, 1980. Growth and development of bush tomatoes in relation to temperature. *J. Agric. Sci. Camb.* 95: 285-292.
- Jamieson P.D., Porter J.R., Wilson D.R. 1991. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crop Res.*, 27:337-350.
- McMaster G.S., Wilhelm W.W., Morgan J.A. 1992. Simulating winter wheat shoot apex phenology. *J. Agricult. Sci., Cambridge*, 119:1-12.
- Miglietta F., Bindi M., Castellani M., Maracchi G. 1993a. Sviluppo ontogenetico del frumento (*Triticum* spp.): I. Influenza di temperatura, fotoperiodo e vernalizzazione. *Riv. Agron.*, 27:484-489.
- Miglietta F., Bindi M., Castellani M., Maracchi G. 1993b. Sviluppo ontogenetico del frumento (*Triticum* spp.): II. Modello di simulazione. *Riv. Agron.*, 27:484-489.
- Porter JR, Kirby EJM, Day W, Adam JS, Appleyard M, Ayling S, Baker CK, Beale P, Belford RK, Biscoe VP, Chapman A, Fuller MP, Hampson J, Hay RKM, Hough MN, Matthews S, Thompson WJ, Weir AH, Willington VBA, 1987. An Analysis of morphological development stages in Avalon winter sheat crops with different sowing dates and at ten sites in England and Scotland. *J. Agric. Sci. Cambr.*, 109> 107/121.
- Ritchie J.T. 1991. Wheat phasic development. *Modeling Plant Soil Systems, Agron. Monogr.* 31:31-44.
- Wolf et al., 1986. Predicting harvesting date of processing tomatoes by a simulation model. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 111: 11-16.

Simulazioni e mappe fenologiche per il bollettino agrometeorologico Dell'Emilia-Romagna

Vittorio Marletto, Franco Zinoni

ARPA Emilia-Romagna, Servizio Meteorologico Regionale Area Agrometeorologia e Territorio

Introduzione

Presso il Servizio meteorologico regionale dell'Emilia-Romagna viene realizzato da alcuni anni il bollettino agrometeorologico regionale (v. sito Internet www.arpa.emr.it/smr). La produzione del bollettino è settimanale (di solito viene redatto il martedì). Esso è disponibile sia in versione cartacea che in versione Html consultabile sul sito solo per la settimana corrente. Per le settimane precedenti il sito consente di scaricare una versione stampabile in formato pdf (Adobe portable document format). L'area agrometeorologia del SMR realizza anche dei bollettini speciali accessibili anch'essi in versione web e pdf, il più recenti dei quali è dedicato all'andamento agroclimatico dell'estate 2002.

I contenuti del bollettino consistono nella presentazione delle previsioni meteorologiche settimanali, nella discussione del tempo trascorso nella settimana precedente (il cosiddetto riepilogo meteo settimanale). Nella parte più strettamente agroclimatica il bollettino presenta mappe regionali relative al bilancio idroclimatico della settimana corrente e la relativa situazione stagionale. Il bollettino propone inoltre mappe delle sommatorie dei gradi giorno alle soglie di 0, 5 e 10 °C. Le mappe presentano sia la situazione stagionale dei gradi giorno che il confronto con l'anno passato. Attraverso la valutazione di opportuni modelli viene simulata la fenologia di alcune specie erbacee: le mappe anche in questo caso presentano sia la situazione corrente che il confronto con l'anno passato (differenze espresse in giorni di anticipo o ritardo nello sviluppo). Altre importanti elaborazioni recentemente rese operative sono quelle realizzate con il modello di bilancio idrico "Criteria" e relative al computo dell'acqua utile nei suoli e al numero di irrigazioni necessarie al contenimento dello stress idrico.

Buona parte del lavoro preparatorio necessario alla compilazione del bollettino viene realizzato con l'applicativo DIC, un programma scritto in Visual Basic che consente:

- il rapido aggiornamento della base di dati meteorologici necessaria ai calcoli successivi;

- la selezione della mappa da realizzare sia per quanto riguarda la variabile che il periodo di interesse;

- il calcolo delle grandezze in uscita per mezzo degli opportuni algoritmi di elaborazione dei dati;

- l'attivazione automatica del programma di interpolazione spaziale Surfer che provvede alla effettiva realizzazione delle mappe stesse secondo gli standard predefiniti.

Le mappe e i modelli fenologici

Il programma di elaborazione DIC incorpora come già detto alcuni modelli più o meno semplici relativi alla simulazione dello sviluppo fenologico di alcune colture erbacee

quali i cereali autunno-vernini, la soia, il mais, il girasole, la barbabietola e il pomodoro seminato e trapiantato. Sono anche disponibili due modelli relativi alla vite e all'olivo, coltura quest'ultima presente in alcuni areali collinari romagnoli. Per la simulazione della fenologia il programma richiama un'apposita DLL (dynamic link library) ottenuta compilando un programma di simulazione fenologica scritto in C++ (Nerozzi et al., 1997). La procedura di simulazione fenologica consente la scelta della data di semina (o di trapianto in campo per il pomodoro) e la scelta della classe varietale (p.e. classi FAO per il mais, precoce, media o tardiva per il pomodoro). È possibile visualizzare lo stadio di sviluppo raggiunto sotto forma di mappa relativa ad una qualsiasi data posteriore all'inizio della simulazione. I modelli infatti producono valori numerici espressi in una scala continua nella quale, per esempio, nel caso del mais: 1 corrisponde alla semina, 2 all'emergenza, 3 al viraggio apicale, 4 alla fioritura femminile (comparsa delle setole) e 5 alla maturazione fisiologica. A titolo esemplificativo presentiamo di seguito la descrizione succinta di un paio tra questi modelli, relativi allo sviluppo fenologico del pomodoro e del mais.

Pomodoro

Il modello per la simulazione dello sviluppo fenologico del pomodoro si basa essenzialmente sul lavoro di Wolf et al. (1986). In questo approccio la durata delle fasi viene calcolata conteggiando i cosiddetti "giorni fisiologici" (PHD), individuati idealmente da una temperatura costante di 26 °C, alla quale è massimo il tasso di sviluppo. L'algoritmo fa uso delle temperature estreme giornaliere Tmin e Tmax, dalle quali ricava il contributo diurno e notturno al computo dei giorni fisiologici. In generale

$$PHD = Dday + Dnyt$$

con

$$Dday = (Tday - Ts) / (26 - Ts) * DL / 24$$

$$Dnyt = (Tnyt - Ts) / (26 - Ts) * (24 - DL) / 24$$

e

$$Tday = Tmin + (Tmax - Tmin) * Dayfac$$

$$Tnyt = Tmin + (Tmax - Tmin) * Nytfac$$

nelle quali Tmin e Tmax sono le temperature estreme giornaliere, Dayfac e Nytfac sono fattori empirici del valore rispettivo di 0.77 e 0.19, Ts è la temperatura di soglia della fase e DL è la durata del giorno, determinata dalla

$$DL = 12 * (1 + 2 * \text{ARCSIN}((- \text{SEN}(-4\pi/180) + \text{SEN}(\text{TETA}) * \text{SEN}(\text{DELTA})) / \text{COS}(\text{TETA}) / \text{COS}(\text{DELTA}))) / \pi$$

con

$$\text{TETA} = -23.45 * \text{COS}(2\pi(D+10)/365)$$

dove D è il giorno dell'anno, TETA è la declinazione solare e DELTA è la latitudine.

Nel modello la fase di emergenza si conclude dopo 4.52 giorni fisiologici con soglia termica pari a 8 °C. La fase di primo fiore si raggiunge una volta trascorsi 27.4 giorni fisiologici dall'emergenza con soglia termica di 10 °C, valida anche per la fase successiva, quella dell'invaiaura, che viene raggiunta dopo 29-30 giorni fisiologici.

La maturazione (individuata al 95% di bacche rosse) si verifica trascorsi 25-31 giorni fisiologici dall'invaiaura, in dipendenza delle condizioni idriche del suolo. Per semplicità utilizziamo un valore medio di 28 giorni fisiologici, modificabile a 31 in

caso di abbondanti precipitazioni (100 mm dall'invasatura in poi) e a 25 in caso di assenza di pioggia per più di 20 giorni nella fase di sviluppo dei frutti. I valori sopra riportati sono riferiti alle varietà medie, mentre per le varietà precoci, in assenza di riferimenti bibliografici, il ciclo è ridotto di 2 giorni fisiologici e per le varietà tardive il ciclo è aumentato di 2 giorni fisiologici.

Per quanto riguarda il pomodoro trapiantato, il trapianto inizia normalmente quando non sussistono più rischi di gelate tardive (la pianta è molto sensibile a temperature inferiori a 0 °C e può essere irrimediabilmente compromessa), periodi che si approssimano indicativamente verso la fine di aprile nel nord Italia. L'operazione di trapianto prosegue normalmente per 40 - 60 giorni in relazione all'andamento meteorologico e alla programmazione dei raccolti. A seguito della scalarità del trapianto, le piantine prodotte nei semenzai vengono impiegate dallo stadio di 3 allo stadio di 6 - 7 foglie.

Considerando un valore medio di sviluppo delle piantine, la fase trapianto - inizio fioritura può essere stimata in un lasso di tempo pari al 30 % del periodo compreso tra semina e inizio fioritura (Gray et al., 1980), quindi in circa 10 giorni fisiologici.

Mais

Il modello per la simulazione dello sviluppo fenologico del mais si basa essenzialmente sul lavoro di Grant (1989). Per la stima della data di emergenza si fa uso

di una somma della temperatura del suolo con soglia 8,5 °C fino al raggiungimento di 55 °D. Facendo invece uso della temperatura dell'aria la soglia termica va elevata a 9.8 °C, e la somma a 61 °D. L'importante fase del viraggio apicale (consistente nel mutamento della natura dell'apice vegetativo che cessa la produzione di abbozzi fogliari e dà inizio all'abbozzo della spiga) viene determinata attraverso una valutazione del numero potenziale di foglie in base alla classe di maturazione FAO. Questo potenziale fogliare è soggetto a una modifica giornaliera in base al fotoperiodo e alla temperatura. Parallelamente viene portato avanti il computo dei primordi fogliari sull'apice vegetativo in base alla temperatura. All'uguaglianza tra foglie potenziali e numero di primordi siamo al viraggio ed è noto il numero finale di foglie. L'emissione delle foglie è funzione della temperatura e prosegue fino al numero massimo di cui sopra. La fioritura maschile è raggiunta all'emissione dell'ultima foglia mentre la fioritura femminile viene raggiunta calcolando l'emissione di ulteriori due foglie fittizie. La fase di maturazione viene infine calcolata con il cosiddetto metodo Ontario basato sull'accumulo delle “corn heat units” CHU.

MAIS 400 Irriguo	Emergenza	Fioritura femminile	Maturazione fisiologica
Errore Quadratico Medio	2.06	12.29	9.78
Errore Medio (bias)	-0.42	10.91	6.91
EQM-EM	1.64	1.38	2.87

Tabella 1. Valori medi degli errori (in giorni) per le tre fasi sulle quali è possibile un confronto tra osservazioni e modello fenologico del mais. Come si vede buona parte dell'errore quadratico relativo alle fasi di fioritura femminile e maturazione fisiologica è da attribuirsi alla componente sistematica (bias) dell'errore, tanto che la rimozione del bias genera valori di errore residuo inferiori alla settimana, del tutto accettabili per questo tipo di modelli.

Nell'ambito del progetto finalizzato Phenagri il nostro gruppo ha potuto sottoporre a verifica sia il modello del pomodoro che quello del mais, preventivamente calibrato su dati indipendenti (Nerozzi et al., 1998). Nell'ambito del progetto finalizzato infatti sono state realizzate prove di semina in 3 località site nelle province di Catania (Az. Magnano, Cassibile), Chieti (Az. Cotir, Vasto), e Piacenza (Az. Tadini, Gariga di Podenzano), per 3 anni (1997, 1998 e 1999), con 3 epoche di semina per 2-3 trattamenti irrigui su due varietà. Il protocollo sperimentale adottato prevedeva il monitoraggio delle fasi fenologiche su 5-6 piante per tesi. Questo ha portato alla rilevazione e archiviazione di quasi 10.000 osservazioni per specie. Naturalmente il protocollo prevedeva anche la rilevazione dei dati meteorologici nelle località di prova.

I confronti condotti tra modelli non calibrati e osservazioni hanno indicato una buona capacità di adattamento dei modelli al trasferimento tra diversi ambienti. Per il passaggio all'applicazione è però necessario correggere gli errori sistematici rilevati sulle date di fioritura e quelli, meno forti, sulla fase di maturazione. E' anche necessario

un approfondimento sulle diverse modalità di rilevazione effettivamente messe in campo durante le prove.

Applicazioni dei modelli e delle mappe fenologiche

Il bollettino agrometeorologico, basato com'è sull'applicazione territoriale di modelli fenologici costituisce a nostro avviso un valido supporto operativo ai tecnici delle produzioni agro-ambientali operanti in regione sia ai fini della pianificazione degli interventi irrigui che per la pianificazione degli interventi fitosanitari. Inoltre questo materiale consente analisi a posteriori dell'impatto di situazioni meteoclimatiche particolari sulla base delle condizioni fenologiche delle colture. I modelli fenologici, oltre ad essere essenziali elementi costitutivi di modelli di crescita e bilancio idrico costituiscono anche un valido ausilio nello studio del mutamento climatico e dei suoi impatti agricoli.

Bibliografia

- Grant, R.F. 1989. Simulation of maize phenology. *Agron. J.* 81: 451-457.
- Gray D, Ward JA, Steckel JRA, 1980. Growth and development of bush tomatoes in relation to temperature. *J. Agric. Sci. Camb.* 95: 285-292.
- Nerozzi F., Marletto V., Zinoni F., 1997. Modelli agrofенologici operativi. Rapporto interno SMR - ARPA Emilia Romagna (AGR9701).
- Nerozzi F., Zinoni F., Marletto V., 1998. Calibrazione e validazione di due modelli fenologici operativi per il frumento e per il mais in Emilia-Romagna. *Rivista di Agronomia* 32: 112-123.
- Wolf et al., 1986. Predicting harvesting date of processing tomatoes by a simulation model. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 111: 11-16.

MODELLI DI SIMULAZIONE E SVILUPPO DI MALATTIE FUNGINE IN COLTURE AGRARIE

Vittorio Rossi, Simona Giosuè

Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza – Istituto di Entomologia e Patologia Vegetale

Introduzione

La difesa delle colture dalle malattie ha subito, negli anni, una profonda evoluzione. I cambiamenti culturali e scientifici hanno determinato un radicale mutamento nella difesa fitosanitaria, passando da metodologie di semplice applicazione, poco rispettose dell'ambiente, a metodi più complessi ed articolati, compatibili con il mantenimento dell'ecosistema e con la salute del consumatore. I sistemi (ed i servizi) di supporto alle decisioni – di cui i modelli epidemiologici fanno parte integrante - nascono in risposta a queste esigenze, come strumenti capaci di fornire all'operatore una serie di conoscenze sulla cui base formulare le decisioni da prendere in merito alla difesa delle colture dalle malattie (Rossi, 2002). I Disciplinari di Produzione Integrata (DPI) sono gli strumenti che definiscono le linee di difesa e supportano i tecnici nelle decisioni relative agli interventi; tuttavia, i criteri decisionali sono talvolta poco circostanziati, così da introdurre aspetti soggettivi. Spesso è necessario eseguire i trattamenti quando si presentano condizioni favorevoli, per esempio, all'instaurarsi delle infezioni. Sulla base della sola esperienza di campo, è difficile stabilire se e quando si presentano condizioni meteorologiche favorevoli alla comparsa di una malattia oppure alla sua diffusione, dato che le relazioni che legano i patogeni alle condizioni meteorologiche ed alle fasi fenologiche della coltura sono molto complesse e variabili nel corso della stagione. I modelli si pongono l'obiettivo di definire, in modo univoco e semplice, la presenza di condizioni favorevoli allo sviluppo di vari patogeni.

La realizzazione di questi modelli segue uno schema preciso. Il modello nasce da esigenze pratiche, messe in luce attraverso un confronto con gli utilizzatori. Definito in modo preciso il fenomeno da modellizzare (ad esempio la presenza di spore capaci di iniziare le infezioni, oppure di condizioni meteorologiche favorevoli all'infezione, il periodo di probabile comparsa dei sintomi di malattia, ecc.), si procede ad elaborare – sulla base delle informazioni disponibili – un prototipo di modello: si tratta di definire gli stadi fondamentali della malattia, le condizioni capaci di influenzarne la quantità e la dinamica temporale, e di esprimere le loro relazioni mediante regole o formule matematiche. Qualora le informazioni ed i dati disponibili non siano sufficienti ad esprimere matematicamente tutti gli aspetti del modello, si procede a condurre ricerche finalizzate a questo scopo. Si ottiene così un prototipo di modello, che viene sottoposto ad una serie di verifiche, sia sul piano scientifico che operativo; qualora il modello non superi le verifiche, si procede ad apportare le modifiche necessarie, fino ad ottenere una versione finale ed operativa del modello. Il modello è poi soggetto, nel tempo, a vari aggiornamenti ed ampliamenti, in modo da inserire i risultati di nuove ricerche o nuovi elementi.

La tecnica utilizzata nella elaborazione dei modelli epidemiologici è quella della ‘Analisi dei Sistemi’. Questa tecnica, utile alla elaborazione di modelli dinamici di simulazione, si basa sul principio secondo il quale gli stadi di un sistema (p. es. il ciclo biologico di un patogeno) possono essere quantificati in ogni momento ed i passaggi da uno stadio al successivo possono essere descritti da equazioni matematiche. Pertanto, tutte le informazioni fornite dalla letteratura o da esperimenti di laboratorio specifici vengono organizzate in un diagramma relazionale che include variabili di stato, tassi e variabili influenti (Fig. 1). Le variabili di stato rappresentano i diversi stadi del ciclo di infezione del patogeno. Il passaggio da uno stadio al successivo è regolato da tassi che vengono quantificati attraverso funzioni matematiche che li legano ai fattori ambientali influenti (Rabbinge e De Wit, 1989; Rossi *et al.*, 1997).

✓ **Variabili di stato** (stadi del ciclo di infezione)

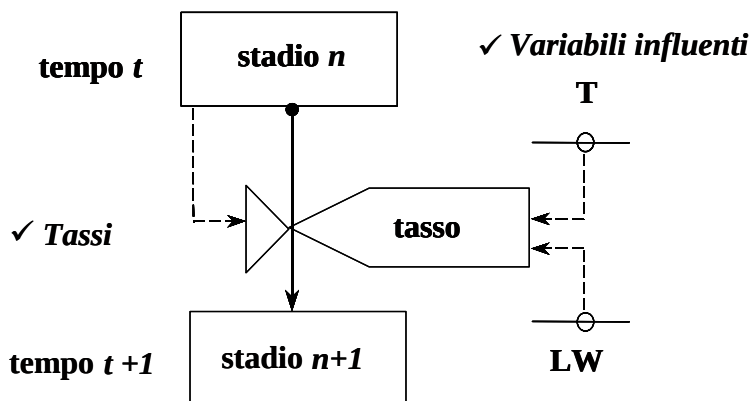


Fig. 1 – Esempio di organizzazione delle informazioni in un diagramma relazionale secondo i principi della ‘Analisi dei sistemi’.

Tutti i modelli messi a punto o completati nell’ambito del progetto ‘Phenagri: fenologia per l’agricoltura’ (Tab. 1) sono stati elaborati con la tecnica descritta, ad eccezione del modello che stima il rischio di alternariosi del pomodoro. In quest’ultimo caso l’approccio seguito è stato quello di verificare la possibilità di adattare un modello empirico americano, chiamato FAST (Pennsylvania, State University), alle condizioni ambientali della Pianura Padana. A differenza, infatti, dei modelli dinamici di simulazione, i modelli empirici sono basati sulla analisi di dati attuali e storici sul comportamento della malattia in campo e sui fattori che la influenzano. Pertanto, basandosi su relazioni numeriche tra i dati raccolti in particolari situazioni ambientali, senza alcuna relazione nota a priori di causa-effetto fra le variabili, la loro adattabilità ad ambienti diversi da quelli in cui sono stati raccolti i dati deve essere verificata sperimentalmente.

Tab. 1 – Modelli sviluppati o completati nell’ambito del progetto Phenagri, relativi dati di

input necessari al funzionamento dei modelli ed output prodotti.

COLTURA	MALATTIA	INPUT	OUTPUT
Frumento	Oidio	• Dati meteorologici • Fase fenologica • Presenza di infezioni in atto	• Segnalazione del periodo di probabile comparsa dei sintomi • Previsione a 6-10 giorni dello sviluppo della malattia
	Fusariosi	• Dati meteorologici • Fase fenologica	• Segnalazione del rischio di infezione
	Ruggine bruna	• Dati meteorologici • Fase fenologica • Presenza di uredosori	• Determinazione del rischio giornaliero di infezione • Segnalazione del probabile periodo di comparsa dei sintomi • Previsione a 7-10 giorni dello sviluppo della malattia
	Ruggine gialla	• Dati meteorologici • Fase fenologica • Presenza di uredosori	• Previsione della comparsa dei sintomi • Previsione a 10-20 giorni dello sviluppo della malattia
Barbabietola da zucchero	Cercosporiosi	• Dati meteorologici • Comparsa della malattia	• Segnalazione del probabile periodo di comparsa dei sintomi • Previsione a 10-14 giorni dello sviluppo della malattia • Previsione del raggiungimento di soglie per i trattamenti
	Oidio	• Dati meteorologici	• Determinazione del rischio di infezioni • Previsione dello sviluppo della malattia
Pomodoro	Alternariosi	• Dati meteorologici	• Indice cumulato di rischio • Previsione del raggiungimento di soglie per i trattamenti

Alcuni modelli si trovano già ad un livello operativo e vengono utilizzati attivamente da servizi regionali di avvertimento agli agricoltori (cercosporiosi-bietola e ruggine bruna-frumento); gli altri (Fig. 1) si trovano ancora in fase di validazione per verificarne l'affidabilità attraverso il confronto con dati di campo raccolti in varie zone, rappresentative di diverse situazioni epidemiologiche (Fig. 2).

Dopo questa fase, se le validazioni avranno dato risultati soddisfacenti, anche questi

modelli verranno trasferiti agli utilizzatori finali.

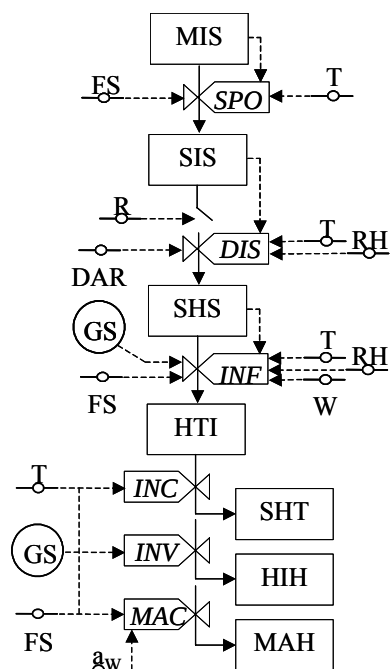


Fig. 1 – Diagramma relazionale del modello che simula il rischio di infezione di fusariosi e di accumulo di micotossine nelle cariossidi di frumento.

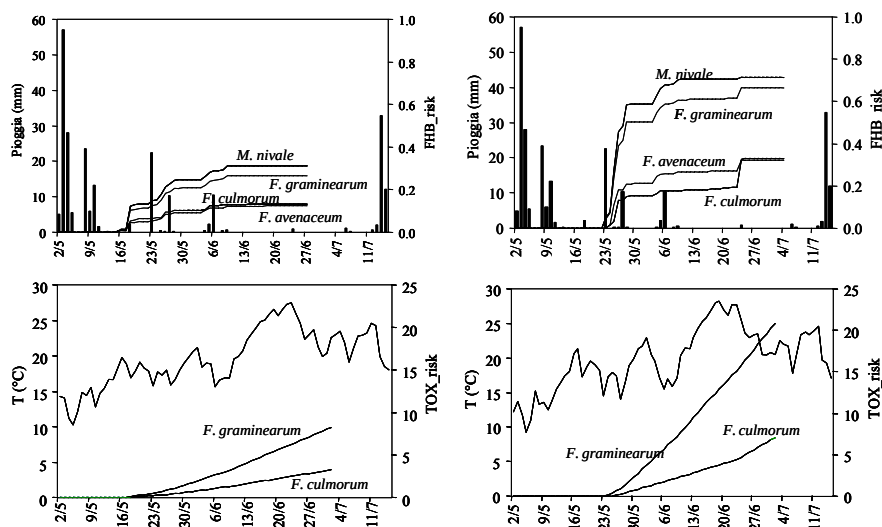


Fig. 2 – Esempi di output del modello che simula il rischio di infezione di fusariosi e di accumulo di micotossine nelle cariossidi di frumento, calcolati rispettivamente su dati meteorologici di due località in cui sono stati rilevati valori molto bassi e molto alti di malattia.

In conclusione, l'«Analisi dei sistemi», utilizzata per la costruzione dei modelli elencati, permette di ottenere previsioni affidabili e modelli robusti, adattabili a diverse condizioni ambientali, che possono costituire un buon supporto ai servizi di assistenza tecnica per la razionalizzazione degli interventi di difesa, con conseguente riduzione del numero di trattamenti chimici o delle dosi di impiego.

Bibliografia

- R. Rabbinge, C.T. de Wit (1989) Systems, models and simulation. In: R. Rabbinge, S.A. Ward e H.H. van Laar (Eds) Simulation and systems management in crop protection. Pudoc, Wageningen, 3-15.
- V. Rossi, p. Racca, s. Giosue', Battilani p. (1997) Decision support systems in crop portection: from analysis of the pathosystems to the computerized model. Petria, 7 (suppl. 1), 7-26
- V. Rossi (2002) I modelli epidemiologici per la difesa delle piante. Agricoltura, marzo 2002, 61-63.

MODELLI FENOLOGICI SVILUPPATI DAL MIPAF

Antonio Brunetti,

MiPAF – Ufficio Centrale di Ecologia Agraria

Introduzione

I modelli fenologici applicati in agrometeorologia permettono di stimare l'evoluzione del ciclo di sviluppo delle colture utilizzando le informazioni climatiche e meteorologiche - in genere molto diffuse sul territorio - per integrare le informazioni fenologiche spesso troppo discontinue nel tempo e nello spazio o addirittura inesistenti.

I risultati dei modelli contribuiscono alla soluzione di problemi agrometeorologici operativi come la stima delle rese, l'impostazione corretta di piani operativi come quelli di irrigazione, di concimazione, di lotta integrata, ecc.. I modelli di uso più frequente si basano spesso su semplici formule empiriche e sulla sola temperatura dell'aria che è la variabile meteorologica di maggiore influenza sullo sviluppo delle piante, ma se le grandezze meteorologiche considerate sono più di una e le esigenze di stima maggiori, allora gli algoritmi usati possono assumere notevole elaborazione.

Taluni modelli fenologici possono essere parte integrante di sistemi più complessi dei quali costituiscono l'orologio che segna la progressione delle fasi di sviluppo delle piante e non possono essere usati al di fuori del modello generale se non con opportune modificazioni.

Anche quando i modelli richiedono l'accesso a banche dati meteorologiche molto grandi (perché studiati per stimare un fenomeno con elevato dettaglio temporale ed essere applicati a porzioni ampie di territorio) hanno il vincolo di non poter essere usati se non nel contesto nei quali sono inseriti e in quello delle basi di dati che li alimentano.

Le condizioni appena dette interessano pure i modelli fenologici sviluppati all'interno dei programmi di agrometeorologia del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (MiPAF) e ne impediscono una maggiore utilizzazione al di fuori della specifica funzione per la quale sono stati creati. Per eliminare tali vincoli si è ritenuto utile intervenire con uno studio di trasformazione di detti modelli, con l'obiettivo di renderli disponibili mediante applicativi GIS, con caratteristiche le più possibili "user friendly", a categorie di operatori altrimenti impossibilitati a poterli utilizzare.

Materiali e metodi

I programmi di agrometeorologia del MiPAF fanno uso di detti modelli in almeno due casi: come parte del programma di valutazione territoriale del Sistema Informativo Agricolo Nazionale (SIAN) e all'interno del modello agrometeorologico (SAM) di stima delle rese del Programma AGRIT.

Nel primo caso un modello di valutazione fenologica di importanti colture agrarie (frumento, orzo, mais e vite) è stato messo a punto nei primi anni '90 per la caratterizzazione agro-climatica del territorio.

Nel secondo caso si è costruito all'interno di SAM un orologio biologico capace di seguire la cadenza delle fasi di sviluppo delle piante al fine di stimare per ogni distinta fase il soddisfacimento delle esigenze climatiche delle colture ed eventuali cause di riduzione delle rese.

1° caso: passaggio da “Modello SIAN” a “Modello SIAN Phenagri”

Per la rielaborazione del Modello SIAN sono state fatte alcune scelte di carattere progettuale e tecnologico indirizzate ad ottenere tre livelli di complessità funzionale:

utilizzo di PC come piattaforma hardware: i modelli SIAN, originariamente sviluppati per *mainframe*, sono stati semplicemente "portati" su PC come applicazione *stand-alone* in ambiente Windows per consentirne una facile diffusione ed utilizzo da parte delle unità operative del progetto Phenagri e di altri potenziali utenti.

impiego di DBMS (Data Base Management Systems) per la gestione delle basi di dati. Un software largamente diffuso come *Microsoft Access* può favorirne l'utilizzo da parte di un ampio numero di utenti.

collegamento tra DBMS e G.I.S. per le elaborazioni e la rappresentazione geografica. G.I.S. e DBMS sono strettamente collegati tra loro. L'uso del G.I.S. non si limita alla mappatura dei risultati del modello fenologico SIAN, ma viene usato per la creazione di matrici ed isolinee e per il confronto con altri strati tematici di interesse. Anche in questo caso è stato usato un software G.I.S. di ampia diffusione come *ArcView*.

In tal modo si è andati oltre la realizzazione di un semplice applicativo G.I.S., sviluppando un vero e proprio sistema informativo per la gestione e la successiva elaborazione dei risultati dei modelli fenologici SIAN, con vari livelli di complessità funzionale e di requisiti software.

Le 3 versioni attualmente disponibili sono a livello di “beta release” e hanno come punto di partenza comune il modello SIAN che è caratterizzato dalla possibilità di calcolare il tasso di sviluppo oggettivo (Tassog) raggiunto dalla coltura sulla base di una regressione lineare con la media dei “parametri oggettivi” (temperatura minima e massima giornaliera), registrati nel periodo 1961-90. Lo stesso Tassog si riferisce ad ognuno dei nodi della “Griglia Italia” (per un totale di 584 nodi). Questo modello non ha un valore predittivo, ma storico in quanto si basa sui dati dell'analisi climatologica e consente di valutare lo sviluppo delle colture per periodi scelti dall'utente.

Come detto i modelli fenologici SIAN sono stati re-implementati in modo tale da poter essere computati secondo diverse modalità. Ciò si traduce in 3 differenti tipi di Run del modello, tra i quali l'utente può scegliere:

Transizione di fase: si determina la data alla quale si raggiunge una certa fase fenologica.

Tasso di sviluppo: si determina il tasso di sviluppo raggiunto ad una certa data.

Confronto fra due Run del tipo “transizione di fase” o del tipo “tasso di sviluppo”, per valutare “scarti” tra orizzonti temporali diversi.

Confrontando due diversi Run del tipo “transizione di fase”, si determina la differenza (espressa in giorni) nella data di transizione da una fase fenologica a quella successiva. Si possono in questo caso confrontare due orizzonti temporali (ad esempio gli eventuali “scarti” tra una annata particolare e la serie storica di riferimento) ma anche, per uno stesso periodo, diverse colture o varietà.

Confrontando invece due diversi Run del tipo “tasso di sviluppo” si determina la differenza nel tasso di sviluppo raggiunto ad una certa data.

L'utente potrà poi specificare l'area geografica su cui effettuare il Run, con la scelta di una o più unità amministrative (regioni e/o province).

Una ulteriore possibilità consentire all'utente l'interrogazione e la consultazione degli stessi "parametri oggettivi" che sono alla base dei modelli SIAN, secondo modalità analoghe a quelle sopra descritte. Si tratta in particolare della media delle temperature medie giornaliere.

I modelli SIAN prendono in considerazione quattro colture: **frumento, orzo, mais e vite**, l'utente può in prospettiva aggiungere altre colture o coefficienti di regressione diversi da quelli usati in ambito SIAN.

Strumenti per interpretare e confrontare i risultati dei modelli

Un aspetto di particolare importanza è stato interpretare i risultati dei modelli alla luce di elementi di carattere fisico ed economico, rendendoli così più aderenti alle diverse realtà agricole del nostro Paese. A tal fine sono state realizzate delle basi di dati di carattere sia fisico che economico, da mettere a confronto con i risultati degli stessi modelli.

Per quanto riguarda i dati di natura fisica, sono stati elaborati una serie di strati tematici legati all'orografia (altimetria, pendenza, esposizione) che possono essere sovrapposti ai diversi output generati dai modelli. Ad esempio, sono state realizzate delle "maschere di non crescita" che permettono di escludere visivamente aree nelle quali, a causa dell'altitudine, non è realistico ipotizzare lo sviluppo delle colture considerate.

Particolarmente innovativo è poi l'utilizzo di informazioni sull'importanza economica delle colture. Queste informazioni, più ancora dei dati su copertura e uso del suolo che si possono ottenere dal telerilevamento, sono essenziali per identificare le zone in cui maggiore è il peso (in questo caso di carattere economico) delle colture oggetto della modellazione fenologica.

I dati utilizzati per la definizione degli "Ordinamenti Tecnico-Economici (O.T.E.) sono stati rielaborati per consentire di discriminare ordinamenti basati sulle quattro colture modellate nell'ambito SIAN.¹

In sostanza, si è fatto riferimento alla incidenza relativa del "reddito lordo standard" (r.l.s) per le colture considerate, su base comunale. L'intero territorio nazionale è stato rappresentato come uno strato tematico in cui, ad ogni comune e per ognuna delle colture considerate, è stata assegnata una classe di incidenza economica.

I risultati dei modelli fenologici possono essere quindi sovrapposti con questo strato tematico e il confronto evidenzia il peso economico delle colture relativamente all'insieme delle attività agricolo-zootecniche.

Risultati: realizzazione di diverse versioni dell'applicativo e delle relative interfaccia utente

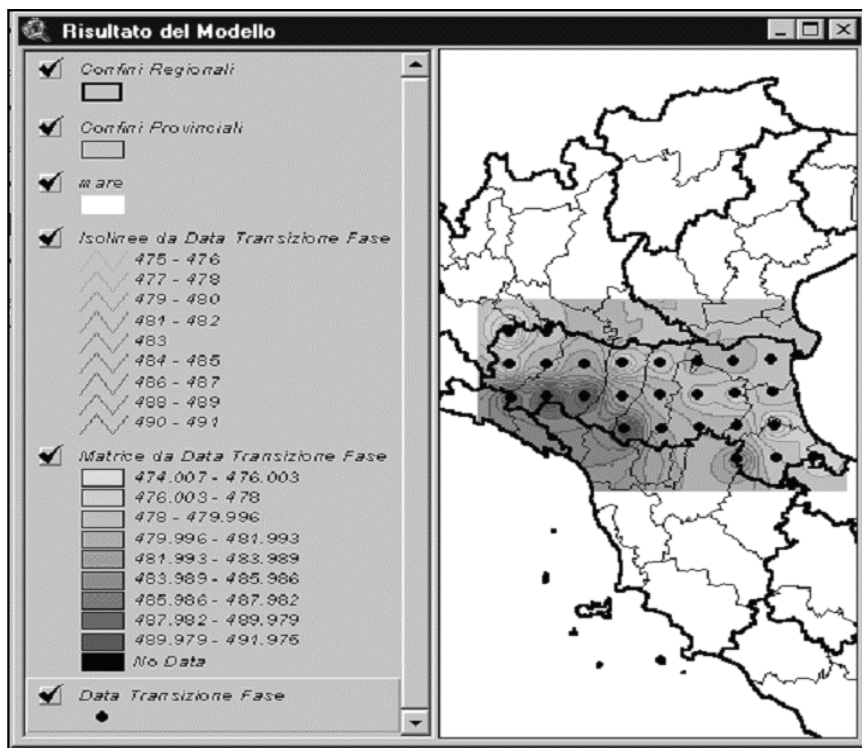
¹ Le informazioni necessarie sono state elaborate a partire dall'Atlante Nazionale del Territorio Rurale realizzato per conto del Ministero delle Politiche Agricole, a cura di CAIRE - Urbanistica, Reggio Emilia, 1999.

Sono state realizzate tre versioni del sistema. Con questo si è voluto consentire un utilizzo da parte di utenti diversi a seconda del software in loro possesso e più in generale del tipo di funzionalità richiesta:

Un livello "semplificato" utilizza il solo software Access. In questo caso i risultati si riferiscono ai nodi della Griglia Italia e sono forniti esclusivamente in forma tabellare. Sono comunque consultabili a titolo esemplificativo alcune delle mappe realizzate con le versioni più avanzate.

Un livello "intermedio" si avvale, oltre che di Access, del software GIS ArcView. In questo caso i risultati del modello SIAN vengono "mappati" come entità puntiformi. Questi possono essere confrontati con i dati di carattere fisico ed economico.

Un livello "avanzato" richiede anche l'estensione di ArcView per l'analisi raster (Spatial Analyst). Consente tra l'altro interpolazioni e creazione di isolinee a partire dai risultati puntiformi del modello SIAN. Per ognuna delle versioni sono state realizzate delle specifiche interfaccia-utente per permettere una gestione la più agevole possibile delle basi di dati, dei modelli e delle procedure di elaborazione e rappresentazione finale dei risultati.



Esempio di rappresentazione dei risultati del modello (data di transizione di fase) con interpolazione e creazione di contours

Sono molti i possibili esempi di applicazione del sistema sviluppato. Sarà ad esempio possibile valutare i risultati stessi dei modelli qui implementati, mettendoli a confronto con altri, di diversa concezione e operanti a scale differenti.

Uno dei possibili risultati sarà quindi quello di poter mettere in luce eventuali necessità e modalità di affinamento degli stessi modelli SIAN.

Le tre versioni del sistema sviluppato potranno essere distribuite agli utenti che ne

faranno richiesta. Per ognuna è stata realizzata una documentazione relativa sia ai criteri progettuali che alla installazione e al funzionamento del software. Si tratta pertanto di un applicativo “stand-alone” che ha bisogno di software dedicati (Access, ArcView).

Inoltre nel sito del P.F. Phenagri sono state inserite alcune pagine di descrizione dei modelli e dei risultati ottenuti con l'applicativo.

2° caso: Gestione, tramite un Sistema Informativo Geografico, dei modelli fenologici sviluppati nell'ambito del Programma AGRIT di previsione delle rese (MiPAF – Consorzio ITA)

Sviluppo dell'applicativo

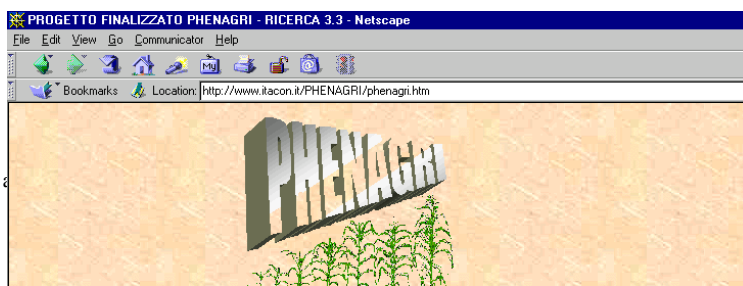
Lo sviluppo dell'applicativo per la gestione dei modelli AGRIT si è articolato secondo le fasi descritte di seguito:

acquisizione della strumentazione HW e SW di base presso UCEA;
analisi dei requisiti, definizione dei dati e degli elaborati da produrre;
definizione dei requisiti della struttura GIS;
individuazione dell'architettura definitiva dell'applicazione GIS;
sviluppo dell'applicativo vero e proprio nel quale sono state messe a punto le funzionalità su un primo insieme ristretto di colture. Il prototipo è stato installato e messo a punto su una banca dati aggiornata costantemente con informazioni agrometeorologiche provenienti dalle banche dati e dalle spazializzazioni del Consorzio ITA. Pertanto l'utente che voglia far funzionare i modelli accede ad un server remoto senza la necessità di possedere un software dedicato.

pubblicazione di un sito web in cui sono riportate le funzionalità e le caratteristiche del prototipo attualmente funzionante: <http://www.itacon.it/PHENAGRI/phenagri.htm>

Mappa del sito WEB

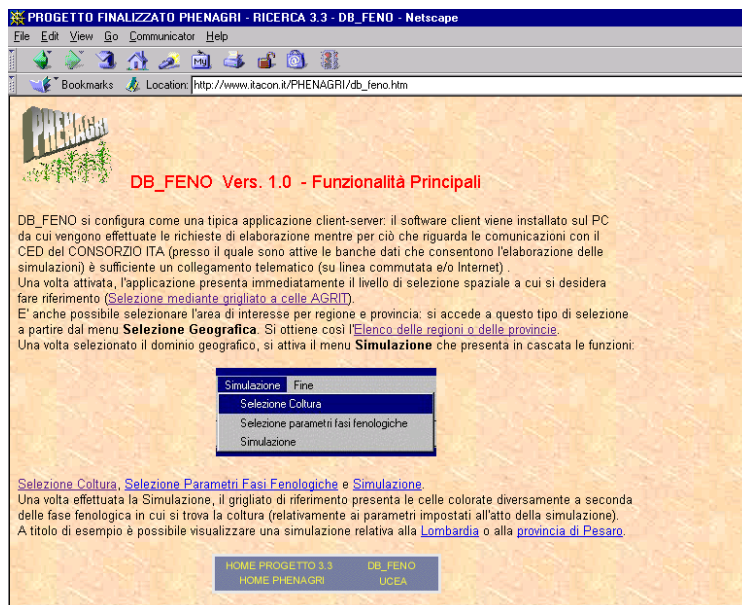
Il sito web si apre con la seguente home page; all'interno vi si trovano i riferimenti ai siti collegati (sito UCEA, sito PHENAGRI, sito CONSORZIO ITA), nonché la possibilità di iniziare l'analisi del programma DB_FENO e l'indirizzo e-mail da contattare in caso si volessero informazioni di dettaglio.



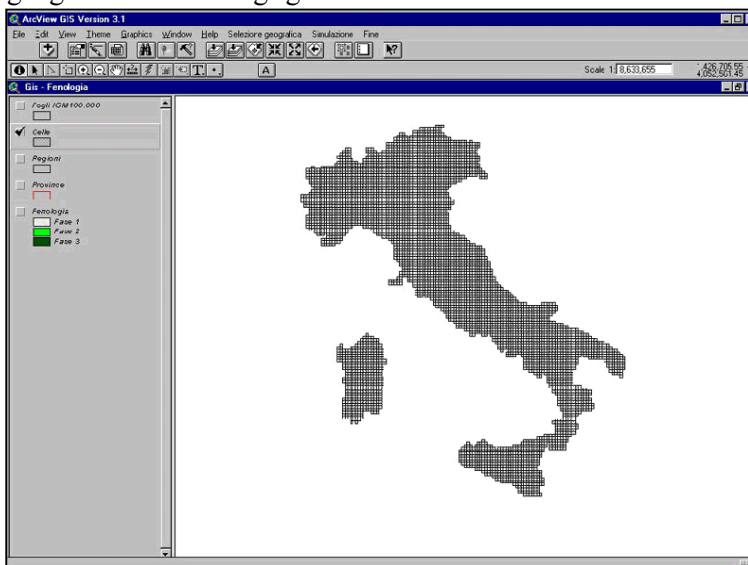
Moduli dell'applicativo

Tool di selezione geografica

La pagina DB_FENO permette di iniziare ad esplorare le funzionalità del programma. In essa sono riportate le indicazioni su come effettuare la selezione geografica dell'area di interesse (Regioni, Province, celle AGRIT) a partire dal menù "Selezione Geografica".



Quella che segue è l'immagine che il sito propone per descrivere la selezione geografica mediante grigliato a celle AGRIT.



Simulazione

Una volta selezionato il dominio geografico, si attiva il menù Simulazione che presenta in cascata:

Selezione Coltura

Selezione parametri fasi fenologiche

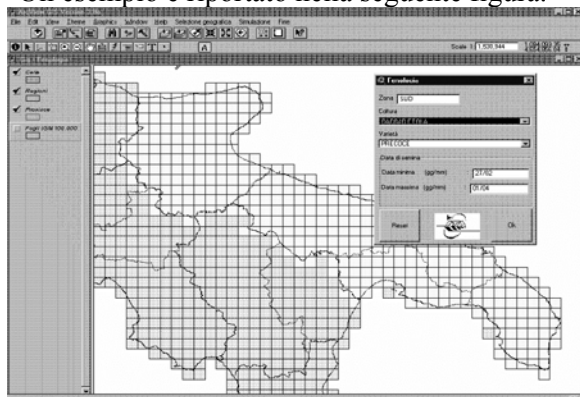
Simulazione

Selezione coltura

La selezione coltura identifica automaticamente l'appartenenza delle celle individuate alla zona geografica di riferimento (Nord, Centro, Sud).

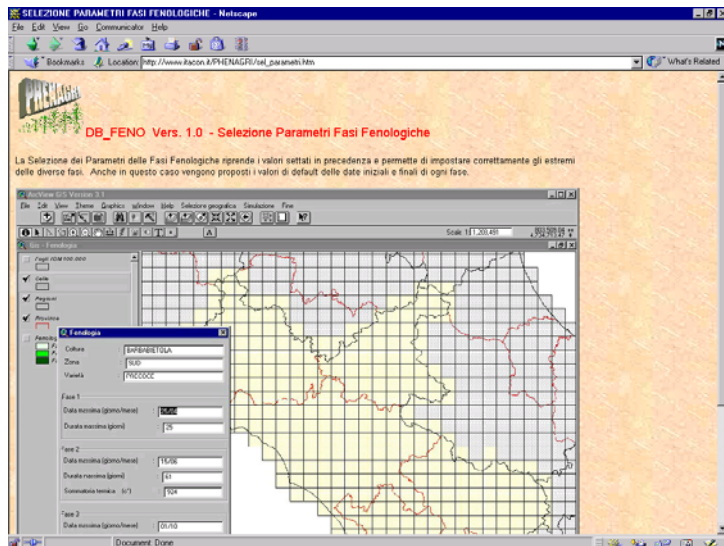
Su tale base vengono settati i valori di default (comunque modificabili) della data di semina della coltura prescelta.

Un esempio è riportato nella seguente figura.



Parametri delle fasi fenologiche

La selezione dei parametri delle fasi fenologiche riprende i valori settati in precedenza e permette di impostare correttamente gli estremi delle diverse fasi.

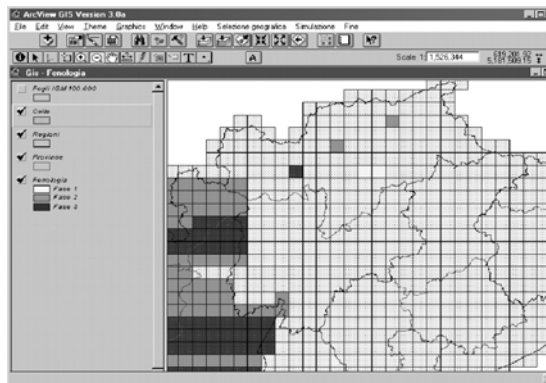
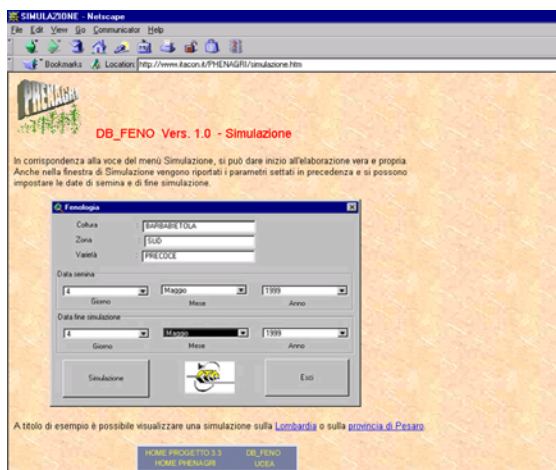


Anche in questo caso vengono proposti i valori di default delle date iniziali e finali di ogni fase.

Simulazione

In questo menù si dà inizio alla simulazione. Anche in questa finestra vengono riportati i parametri settati in precedenza e si possono impostare le date di semina e di fine simulazione. Un esempio di risultato della simulazione riferito alle celle AGRIT è riportato nella figura che segue.

La schermata del sito web illustra una simulazione sul grigliato della Lombardia.



CENSIMENTO E DATABASE DI DATI AGROFENOLOGICI

Giovanni Dal Monte, Adriana Calì, Mauro Buttarazzi

MiPAF – Ufficio Centrale di Ecologia Agraria

La ricerca ha avuto un duplice obiettivo:
organizzare e rendere disponibili i dati fenologici rilevati nell'ambito del progetto Phenagri (**database**);
contribuire ad evidenziare e far conoscere meglio le informazioni fenologiche esistenti, in particolare reperire informazioni su serie storiche relative a piante coltivate (**censimento**).

CENSIMENTO

Il censimento ha puntato a far emergere serie storiche di dati fenologici presenti, in particolare, in istituzioni di ricerca e servizio. L'attività è stata svolta in gran parte negli anni 2000 e 2001.

Per prima cosa è stata preparata la scheda con le informazioni da chiedere agli enti "sospettati" di avere nel cassetto dati fenologici. Le informazioni riguardano: l'ente che ha rilevato e conserva i dati; le caratteristiche del sito fenologico (altitudine s.l.m., pendenza, esposizione, coordinate); le caratteristiche della stazione meteorologica di riferimento per ciascun sito fenologico (localizzazione, grandezze rilevate, serie storica); le informazioni fenologiche disponibili (specie, varietà, scala fenologica, fasi rilevate, frequenza rilievi, lunghezza serie storica) ed eventuali rilievi accessori (agronomici, di laboratorio); indicazioni sul tipo di supporto sul quale i dati sono stati archiviati.

Complessivamente sono stati contattati 39 enti, di cui 36 (Tab.1) hanno "confessato" di possedere dati fenologici.

Tabella 1

	<i>Enti che hanno Dati Fenologici</i>	<i>SEDE</i>
1	ENEA Centro Ricerche Casaccia (*)	S. Maria di Galeria (RM)
2	Istituto Sperim. per la Cerealicoltura	Roma
3	Istituto Sperim. per la Cerealicoltura	Bergamo
4	Istituto Sperim. per la Cerealicoltura	Fiorenzuola d'Arda (PC)
5	Istituto Sperim. per la Cerealicoltura	S. Angelo Lodigiano (LO)
6	Istituto Sperim. per la Cerealicoltura	Vercelli
7	Istituto Sperim. per la Cerealicoltura	Catania
8	Istituto Sperim. per la Cerealicoltura	Foggia
9	Istituto Sperim. per la Frutticoltura	Ciampino (RM)
10	Istituto Sperim. per la Frutticoltura	Pergine di Valsugana (TN)
11	Istituto Sperim. per la Frutticoltura	Caserta
12	Istituto Sperim. per la Olivicoltura	Rende (CS)

.... segue tabella 1

13	Istituto Sperim. per la Viticoltura	Arezzo
14	Istituto Sperim. per la Viticoltura	Conegliano Veneto (TV)
15	Istituto Sperim. per le Colture Industriali	Osimo (AN)
16	Istituto Sperim. Agronomico	Bari
17	Università di Perugia	Dip. Biologia Vegetale
18	Università di Firenze	Dip. Ortoflorofrutticoltura
19	Università di Bologna	Dip. Botanica Evoluzion. Sperim.
20	Università di Sassari	Dip. Coltivazioni Arboree
21	Regione Lombardia - ERSA	Milano
20	Regione Campania - Se.SIRCA	Napoli
21	Regione Sardegna - SAR	Sassari
22	Regione Piemonte - Ufficio Agrometeo	Torino
23	Regione Sicilia/Ass.to Agricoltura e Foreste	Unità Operat. Agrometeorologia
24	Regione Friuli Venezia Giulia/C.S.A.	Cervignano del Friuli
25	Regione Marche/ASSAM	Centro Operat. Agrometeorologia
26	Regione Emilia Romagna/SMR	Bologna
27	Regione Toscana/ARSIA	Pisa
28	Regione Umbria/ARUSIA	Perugia
29	Regione Abruzzo/ARSSA	Centro Agrometeo Regionale
30	Regione Puglia	Ass.Region. Consorzi di Difesa
31	Regione Basilicata	Agenzia Regionale Svil. Agricolo
32	Regione Liguria/CAAR	Genova
33	Regione Trentino/Centro Agrometeorologico	S.Michele all'Adige (TN)
34	Regione Lazio/SMR	Roma
35	Regione Molise/ERSAM	Campobasso
36	Regione Calabria	ARSSA

Un caso particolare è rappresentato dall'Enea, che possiede dati fenologici che non sono stati rilevati in proprio, ma sono i dati rilevati sul frumento dall'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura.

Dei 36 enti in esame, 22 hanno già informatizzato i loro dati fenologici, con modalità diverse che vanno dalla videoscrittura al database; in circa la metà dei casi si tratta di rilievi effettuati su più siti, che quindi vanno a costituire una rete fenologica, più o meno strutturata e formalizzata. (Tab. 2)

Tabella 2

	ENTE	SEDE	SUPPORTO	RETE
1	ENEA Casaccia	Casaccia (RM)	Foglio Elettronico	NO
2	I. S. per la Cerealicoltura Roma	Roma	Database	SI
3	I. S. per la Cerealicoltura Bergamo	Bergamo	Videoscrittura	NO

.... segue tabella 2

4	I. S. per la Cerealicoltura Fiorenzuola	Fiorenzuola d'Arda (PC)	Foglio Elettronico	SI
5	I. S. per la Cerealicoltura S. Angelo Lodigiano	S. Angelo Lodigiano (LO)	Foglio Elettronico	SI
6	I. S. per la Frutticoltura Roma	Ciampino (RM)	Foglio Elettronico	NO
7	I. S. per la Frutticoltura Pergine Valsugana	S. Michele all'Adige (TN)	Foglio Elettronico	NO
8	I. S. per la Viticoltura Arezzo	Arezzo	Database	NO
9	I. S. per la Viticoltura Conegliano	Conegliano Veneto (TV)	Database	NO
10	I. S. per le Colture Industriali Osimo	Osimo (AN)	Foglio Elettronico	NO
11	Università degli Studi di Perugia (*)	Dipart. Biologia Vegetale	Database	SI
12	Università degli Studi di Sassari	Dipart. Coltivazioni Arboree	Foglio Elettronico	
13	Regione Lombardia – ERSAL	Milano	Database	SI
14	Regione Sardegna – SAR	Cagliari	Database	SI
15	Regione Sicilia – SIAS	Unità Operativa di Agrometeorologia	Foglio Elettronico	SI
16	Regione Marche – ASSAM	Centro Operat. Agrometereologia	Database (Access)	SI
17	Regione Emilia Romagna - ARPA SMR	Bologna	Database	SI
18	Regione Puglia - Consorzi di difesa	Ass.Region. Consorzi di Difesa	Foglio Elettronico	SI
19	Regione Basilicata - ALSIA	Agenzia Regionale Svil. Agricolo	Foglio Elettronico	SI
20	Regione Liguria – CAAR	Genova	Database	SI
21	ISMAA - U.O. Agrometeorologia	S.Michele all'Adige (TN)	Foglio Elettronico	NO
22	Regione Calabria - ARSSA	ARSSA	Foglio Elettronico	SI

Di seguito vengono riportati due esempi sintetici delle informazioni raccolte con il censimento (Tab. 3).

Tabella 3

Ente	I. S. Agronomico	I. S. Frutticoltura
Sede	Bari	Ciampino (RM)
Colture	mandorlo	Pesco
N° varietà	205	316
N° siti	1 (campo sperimentale)	1 (campo sperimentale)
Periodo	1976-1993	dal 1993
Fasi fenologiche	fioritura (5, 50 e 90%)	fioritura e maturazione fisiologica (inizio e fine)
Scale fenologiche	non nota	Fleckinger
Frequenza osservazioni	giornaliera	ogni 4 gg.
Modalità di osservazione	non nota	media di 3 piante per ogni parcella
Supporto dati	cartaceo	floppy disk
Formato file	-	foglio elettronico
Dati accessori	irrigazioni, concimazioni, trattamenti, resa, dati carpologici, analisi di laboratorio,	resa, dati carpologici e organolettici, avversità, trattamenti, concimazioni
Dati meteo	dal 1976	1998-2000
Dati geografici	sì	no

Dieci enti non si sono limitati a fornire informazioni sui loro dati fenologici ma hanno messo a disposizione, tutto o in parte, il loro patrimonio informativo (Tab. 4)

Tabella 4

ENTE	SEDE	COLTURE	FASI	SUPPORTO
ENEA Casaccia	Casaccia (RM)	vedi I. S. Cerealicoltura	vedi I. S. Cerealicoltura	EXCEL
I. S. per la Cerealicoltura Roma	Roma	frumento duro	spigatura, maturazione	ACCESS + EXCEL
I. S. per la Cerealicoltura Bergamo	Bergamo	mais	emergenza, fioritura, maturazione fisiologica	WORD
I. S. per la Cerealicoltura Fiorenzuola	Fiorenzuola d'Arda (PC)	frumento duro, tenero, orzo	spigatura	EXCEL
I. S. per la Cerealicoltura S. Angelo Lodigiano	S. Angelo Lodigiano (LO)	frumento tenero	spigatura, maturazione	EXCEL
I. S. per la Frutticoltura Roma	Ciampino (RM)	pesco	inizio e fine fioritura, inizio e fine maturazione fisiologica	EXCEL

.... segue tabella 4

I. S. per la Frutticoltura Pergine Valsugana	S. Michele all'Adige (TN)	vite, melo	germogliamento, raccolta	EXCEL
I. S. per le Colture Industriali Osimo	Osimo (AN)	girasole, barbabietola, soia	emergenza, fioritura, maturazione fisiologica	EXCEL
Regione Lombardia – ERSAL	Milano	frumento tenero, mais	12 per il frumento 10 per il mais	ACCESS
Regione Marche - ASSAM	Centro Operat. Agromet.	cereali autunno-vernini, mais, sorgo, girasole, barbabietola, vite, olivo, pesco, susino, noce, ciliegio, spinacio, pomodoro, finocchio, cavolfiore	varie	ACCESS

In sintesi, le informazioni raccolte sono relative a rilievi fenologici effettuati su:
924 siti

36 specie: vite (14 enti), olivo (11), pesco (9), frumento duro (8), frumento tenero (7), mais (6), melo (6), orzo (6), pomodoro (6), barbabietola (4), soia (4), agrumi (3), carciofo (3), cavolfiore (3), tabacco (3), ciliegio (2), erba medica (2), finocchio (2), girasole (2), riso (2), susino (2), actinidia, albicocco, anguria, cipolla, drupacee, insalata, loiessa, mandorlo, melone, nocciolo, noce, ortive, patata, sorgo, spinacio.

Per la vite, come esempio, si riporta l'elenco dei 14 enti che ne curano i rilievi:

I.S. Viticoltura Arezzo

ISMAA

Reg. Campania - SESIRCA

Reg. Friuli- CSA

Reg. Umbria- ARUSIA

Reg. Puglia – Consorzi difesa

Reg. Molise ASSAM

I.S. Viticoltura Conegliano

I.S.Frutticoltura Pergine V.

Reg. Sardegna - SAR

Reg. Marche - ASSAM

Reg. Abruzzo - ARSSA

Reg. Liguria CAAR

Reg. Calabria - ARSSA

Considerazioni

Dobbiamo ringraziare i numerosi colleghi che si sono dimostrati disponibili a dedicarci del tempo e a fornirci informazioni e dati.

Molti degli enti che dispongono di serie storiche di dati fenologici continuano a rilevare dati quindi le loro serie storiche aumentano di importanza.

Diversi enti non si limitano ad effettuare rilievi su un singolo sito, ma dispongono di una vera e propria rete di monitoraggio, cosa che rende possibile il confronto spaziale dei dati.

Le informazioni raccolte integrano quelle del censimento effettuato da Luigi Mariani nel 1998 (Presidente AIAM – Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Produzione Vegetale) che però era più indirizzato agli enti di servizio e assistenza tecnica, mentre noi abbiamo puntato maggiormente sugli enti di ricerca; in tutti e due i casi ci sono riferimenti importanti a iniziative internazionali: nel caso di Mariani lo spunto era fornito da un questionario dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale, nel nostro caso ci sono riferimenti al progetto europeo definito EPN, European Phenological Network.

Sono emerse alcune situazioni interessanti, che meritano in futuro di essere analizzate in dettaglio, come ad esempio le seguenti:

I.S. per la Viticoltura di Conegliano (dati dal 1978 su 362 cultivar di vite);

I.S. Agronomico di Bari (dati dal 1975 su 205 cultivar di mandorlo);

Dipartimento di Ortoflorofrutticoltura di Firenze (10 anni di dati su 100 cultivar di pesco).

Prospettive future

Le schede del censimento saranno consultabili sul sito del progetto PHENAGRI e si può ipotizzare il loro eventuale aggiornamento tramite Web. I dati fenologici forniti dai 10 enti potrebbero essere in futuro inseriti nel database PHENAGRI. Le informazioni sulle reti fenologiche verranno inserite nel metadatabase del progetto EPN. All'indirizzo <http://www.dow.wau.nl/msa/epn/index.htm> sono reperibili informazioni su EPN e sul metadatabase, mentre all'indirizzo <http://epn.pik-potsdam.de/cgi-bin/epn/readepn.py> si trovano i moduli per inserire i dati nel metadatabase.

DATABASE

E' stato realizzato per raccogliere i rilievi su piante coltivate, effettuati da diverse unità operative, per gli scopi del progetto PHENAGRI e, in particolare, per lo sviluppo e la taratura di modelli di simulazione.

La prima attività al riguardo è consistita nel concordare, con i responsabili dei rilievi fenologici in campo, le regole per la fornitura dei dati, in modo da ricevere dati in un formato standard, predisposto per l'inserimento nel database e conforme ai protocolli sperimentali adottati.

Diverse sono le difficoltà incontrate in questa fase. I responsabili dei rilievi a volte "si sono dimenticati" di inviare i dati, a volte li hanno inviati su carta e non su supporto magnetico; i formati dei file utilizzati non sempre sono risultati omogenei (videoscrittura, foglio elettronico, ...). Inoltre, non sempre i dati sono corrisposti a quanto stabilito nei protocolli e i formati a volte sono variati, anche per lo stesso ente,

da un'annata all'altra; infine non sono mancati dati palesemente errati o incongruenti.

Per far fronte a queste difficoltà si possono utilizzare diversi strumenti. Certamente è necessaria una stringente attività di controllo da parte del coordinatore del progetto. Indispensabile, poi, è una grande attenzione e molto tempo da dedicare alla fase del controllo della qualità del dato prima del suo inserimento nel database; la messa a punto di strumenti automatici migliora e velocizza il controllo. Per ridurre il tempo e gli errori sarebbe preferibile, quando possibile, effettuare controlli di qualità dei dati all'origine, al momento del trasferimento dalle schede di campagna al computer, oppure rilevare dei dati direttamente tramite portatile o palmare dotati di programmi appositi.

La seconda attività ha riguardato la messa a punto della struttura logica e informatica del database. Sotto questo aspetto risulta fondamentale conoscere a fondo i dati che si vogliono organizzare e le relazioni che li collegano. Il tempo dedicato alla conoscenza dei dati non è mai sprecato: meglio si conoscono i dati e le loro interconnessioni, migliore sarà la struttura del database e minore il rischio di doverla modificare in corso d'opera.

Il software scelto come Relational Data Base Management System (RDBMS) è Microsoft Access: l'attività è iniziata utilizzando la versione '97, ma recentemente si è ritenuto opportuno passare alla versione 2000.

Nella Fig. 1 vengono mostrate le tabelle presenti nel database e le relazioni che intercorrono tra i dati.

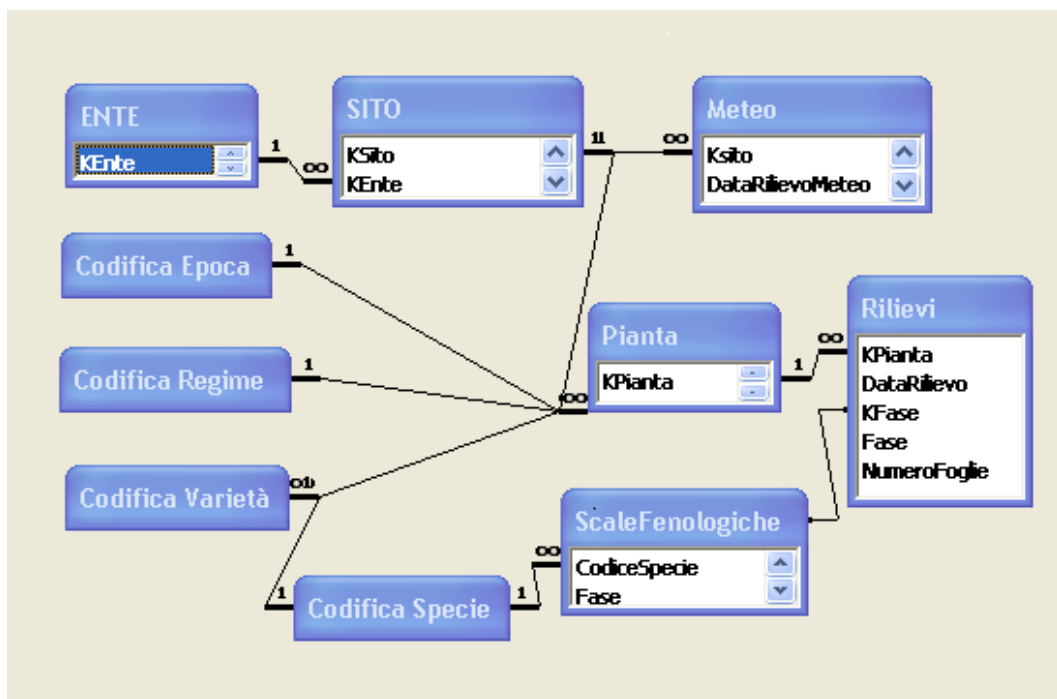


Figura 1

Una volta definita la struttura, si è provveduto a mettere a punto una procedura

automatica per il controllo dei dati da importare, da foglio elettronico, e per l'inserimento all'interno del database dei dati controllati. Il controllo sui dati mira a verificare il rispetto dell'integrità referenziale e ad evidenziare la eventuale presenza di fasi che "ritornano indietro" e di rilievi duplicati. Oltre ai dati fenologici sono stati inseriti anche un'altra serie di rilievi - definiti genericamente "Rilievi accessori"- non strettamente fenologici, ma previsti dai protocolli e diversi da specie a specie. Per esempio, per la patata fanno riferimento alle dimensioni e al peso dei tuberi, per la vite all'evoluzione del rapporto acidi/zuccheri nella bacca. Inoltre, sono stati inseriti nel database i corrispondenti dati meteorologici relativi alla stazione di riferimento per ciascun sito di rilievo fenologico, per le stesse annate per le quali sono stati effettuati i rilievi fenologici. Il controllo sui dati meteorologici ha verificato che venisse rispettata l'integrità referenziale tra le tabelle, che i dati fossero all'interno dell'intervallo di misura di ciascuna grandezza e che non fossero presenti dati duplicati.

Le informazioni complessivamente contenute nel database si riferiscono a:

10 specie erbacee - di cui 2 (frumento duro e frumento tenero) con 20 cultivar ciascuna e le rimanenti (orzo, mais, sorgo, soia, girasole, barbabietola, patata, pomodoro) con 2 cultivar - con tre epoche di semina scalari, due regimi idrici (50% e 100% dell'evapotraspirazione massima), tre siti, con rilievi ripetuti su un numero di piante fino a 20;

2 specie arboree: vite (con 19 cultivar e 5 siti) e olivo (con 16 cultivar e 6 siti);

3 annate (dal 1996-97 al 1998-99);

130.000 rilievi fenologici (oltre ai rilievi accessori);

dati meteo in parallelo (sul sito o sulla stazione meteo di riferimento)

L'interrogazione del database avviene attraverso una maschera (Fig. 2) in cui l'utente effettua le sue scelte tramite caselle combinate. Una volta che l'utente ha selezionato i dati di interesse, può visualizzarli in anteprima e poi stamparli, oppure esportarli in un file Excel. La stessa cosa avviene per i corrispondenti dati meteorologici.

Banca Dati PHENAGRI - Interrogazione dati

Specie:	GLYCINE MAX	N° Rilevi: 17325		
Varietà:	OCEAN	N° Rilevi: 5867		
Sito:	AZIENDA TADINI	N° Rilevi: 3740		
Regime:	ASCIUTTO	N° Rilevi: 1870		
Semina:	I EPOCA	N° Rilevi: 640		
Pianta:	TUTTE	N° Rilevi: 640		
Fase:	TUTTE	N° Rilevi: 640		

Data inizio: 02/04/1998 **Data fine:** 10/09/1999

Si vuole selezionare un subperiodo? ☒ Si ☐ No

Data inizio: 01/01/1999 **Data fine:** 10/09/1999

Figura 2

Prospettive future

Il database verrà reso consultabile tramite Internet, sul sito del Progetto, nell'ambito delle attività previste per il 2003. Un ulteriore sviluppo potrebbe consistere nell'inserimento dei dati acquisiti con il censimento e nel rendere possibile l'inserimento di nuovi dati direttamente da Internet. Inoltre la struttura del database può essere utilizzata da chi effettua rilievi come strumento per gestire in locale i propri dati fenologici.

Ringraziamenti

La realizzazione del database è stata effettuata con la consulenza del sig. Andrea Ciaccio.

Bibliografia

- Anonimo, 1994. Microsoft Access v. 2.0. Manuale dell'utente. Microsoft Corporation, 956 pp.
- Atzeni P., Ceri S., Paraboschi S., Torlone R., 1999. Basi di dati. Seconda edizione, McGraw-Hill, 620 pp.
- Bechini L., 1999. Le strutture di database come elemento del sistema di qualità in agrometeorologia. Atti del workshop nazionale di agrometeorologia "AIAM 99", pp. 66-73.

- Davis, M.P., 2001. Costruire applicazioni con Access. Seconda edizione, Apogeo, 644 pp.
- Gardin L., Napoli R., Costantini E. A. C., 1996. Architettura di un database relazionale per un sistema informativo pedologico. Atti del Convegno "Contributi della scienza del suolo allo studio e alla difesa dei territori montani e collinari", Bollettino della società italiana di scienza del suolo, n° 8, dicembre 1996, pp.165-182.
- Gauthier L., Guay, R.,1998. Using object-oriented database management technology in agricultural decision support software. Canadian Agricultural Engineering Vol. 40, n° 3, pp. 219-226.
- Jennings R.,1997. La Grande Guida ACCESS 97. Jackson libri, 921 pp.
- Lieshout J.G.F., White J.W., 1998. The Sustainable Farming Systems database (SFSD).[online] In "INTERNATIONAL CROP INFORMATION SYSTEM. TECHNICAL DEVELOPMENT MANUAL". Consultabile all'indirizzo: <http://www.icis.cgiar.org/ICIS27B.PDF>, [visitato il 15 aprile 2003].
- Mariani L., 1998. Censimento dei rilevamenti agrofenologici in Italia nel 1998. In "Applicazioni di bilancio idrico e di produttività delle colture", Atti del workshop nazionale di agrometeorologia AIAM '98, Firenze, 2 aprile 1998, pp. 101-106.
- Nekovář J., 2000. The structure of the czech phenological database. In: Menzel A., (ed.) "International conference: Progress in Phenology. Monitoring, Data Analysis and Global Changes Impacts", Freising, pag. 17.
- Ostroumova T.A., Ostroumov V.S., 1999. Database for living plant collection in botanical garden of Moscow University. [online]. In "Information Retrieval Systems in Biodiversity Research", Sanpietroburgo., Zoological Institute. Consultabile all'indirizzo: <http://www.zin.ru /conferences/irsb/cdrom/ ostroumova /ostroumo.htm> [visitato il 15 aprile 2003].
- O'Reilly M., 2000. Functional database design. A toolkit for developers. **MAJOR** Software & Text Publishing. 70pp. <http://www.majorsoftware.com.au/Functional.htm>.
- Van Vliet, A.J.H., De Groot, R.S., 2001. The European Phenology Network. In "The times they are a-changin'", Atti della conferenza internazionale EPN, Wageningen, 5-7 Dicembre 2001, pp.11-13.

ORGANIZZAZIONE IPERTESTUALE DELLE CONOSCENZE FENOLOGICHE DEI CEREALI AUTUNNO-VERNINI

Albino Libè, Ivano Faccini

Provincia di Piacenza- Rete Agrometeorologica, Servizio Agricoltura

Premessa

Nell'ambito del sottoprogetto "Metodi e tecniche di documentazione" del progetto finalizzato Phenagri, è stato sviluppato un ipertesto con lo scopo di migliorare l'organizzazione e la gestione delle informazioni sulla fenologia dei cereali autunno-vernini e soddisfare un fabbisogno derivante dal fatto che le informazioni su di essi reperibili sono troppo specifiche per alcune fasi del ciclo di sviluppo e troppo generiche per altre. Tali informazioni sono, inoltre, disperse su riviste di settore editate in varie lingue, il che rappresenta un effettivo ostacolo alla loro diffusione in ambito culturale, formativo e tecnico.

L'ipertesto è uno strumento informatico per organizzare informazioni, elaborare nuove tecniche di comunicazione e nuove strategie di apprendimento. I primi ipertesti prodotti sono stati dei documenti di riferimento elettronici o ERD, impiegati nella produzione di manuali, in quanto consentivano una consultazione più agevole ed efficace rispetto ai testi cartacei. Fino agli anni novanta l'utilizzo delle nuove tecnologie nella formazione sono riconducibili a due tipologie di prodotti quali il CBT (Computer based training) ed il multimedia educativo su Cd-rom. Successivamente lo sviluppo del Desktop publishing ha permesso di migliorare il processo di edizione dei testi, ma soprattutto l'avvento di Internet, ed in particolare del Web, ha aperto nuove prospettive per la formazione digitale.

Contenuti

L'ipertesto realizzato ha lo scopo di fornire a studenti, tecnici ed agricoltori uno strumento che raccoglie in modo organico le conoscenze sulla fenologia dei cereali autunno-vernini, spiegandone la crescita e lo sviluppo e descrivendone la risposta all'ambiente ed alla conduzione agronomica.

All'interno dell'ipertesto l'unità di base, o nodo di conoscenza primario, è stata scelta la fase fenologica a partire dalla quale è possibile acquisire informazioni di tipo didattico o agronomico-gestionale.

Le diverse fasi sono strettamente correlate alle condizioni ambientali ed al genotipo e non è possibile prevederne precisamente la comparsa e la durata, se non attraverso l'osservazione dell'apice del germoglio o della spiga in formazione.

La conoscenza degli stadi di sviluppo consente la corretta previsione dei tempi d'intervento così da aumentare l'efficacia delle pratiche agronomiche quali concimazioni, diserbi, pratiche fitoiatriche, nonché prevedere gli effetti di stress biotici ed abiotici sulle caratteristiche qualitative e quantitative della granella.

Per descrivere in modo conciso lo sviluppo dei cereali autunno vernini sono state

predisposte diverse scale o chiavi fenologiche codificate. Alcune si basano sull'aspetto esteriore della pianta descrivendone tutti gli stadi, altre individuano solo stadi potenzialmente critici per la coltura. Queste ultime, in generale, si basano su misure di parti delle piante, come ad esempio la spiga ad un centimetro, messa a punto dai francesi nel 1980.

Il manuale fornisce una dettagliata descrizione della morfologia della pianta in ogni singola fase, documentandola ampiamente con supporti visivi, inoltre sul Cd-rom è disponibile un manuale in formato PDF, consultabile e stampabile con Acrobat Reader.

Struttura

L'ipertesto "Fenologia dei cereali" realizzato risponde a tre diversi sistemi organizzativi:

- è un *sistema macroletterale*, ovvero se utilizzato in Internet raggruppa grandi librerie di documenti attraverso collegamenti in rete su server diversi;

- è un *sistema browsing*, perché consulta un discreto numero di documenti sul proprio Cd;

- è un *sistema multipurpose*, perché adotta la tecnologia ipertestuale per attività formative.

E' stato realizzato utilizzando il software *Illuminatus* in quanto tale software consente di accedere ad Internet direttamente dal Cd, quando si possiede sul computer una connessione, ed inoltre possiede script per la generazione dei link autogestiti dal programma. E' stato realizzato da due team di lavoro distinti che hanno interagito durante tutta la fase realizzativa: un gruppo si è occupato della parte testuale e della realizzazione del manuale, mentre il secondo composto da informatici e grafici si è occupato della realizzazione del l'ipertesto.

Le informazioni e le immagini contenuti nell'ipertesto sono organizzate in moduli informatici autosufficienti e connessi fra loro da link. Questi link sono organizzati sostanzialmente in tre modi diversi: in modo sequenziale, gerarchico e referenziale. Il presente ipertesto è riconducibile ad un modello integrato-misto fra le tre tipologie di link, in quanto presenta una struttura sequenziale nel passaggio tra una fase e l'altra, gerarchico all'interno della singola fase e referenziale quando si parte dal glossario o si naviga in Internet. Tale struttura consente di utilizzare l'ipertesto come un manuale ERD con una linearità di sviluppo che rispecchia il susseguirsi delle fasi fenologiche della coltura, nel contempo le informazioni relative a ciascuna fase sono strutturate ad albero, consentendo al lettore di reperire rapidamente le informazioni raccolte con un massimo di due salti di livello, come evidenziato dal diagramma di flusso allegato.

Inoltre ai fini formativi è stata introdotta una struttura gerarchica con interfaccia grafica di agevole fruizione da parte degli studenti in cui è prevista una sezione di autoverifica dell'apprendimento.

E' consultabile rapidamente anche tutta la bibliografia di riferimento ed i testi consigliati per un ulteriore approfondimento.

Modalità di accesso alle informazioni

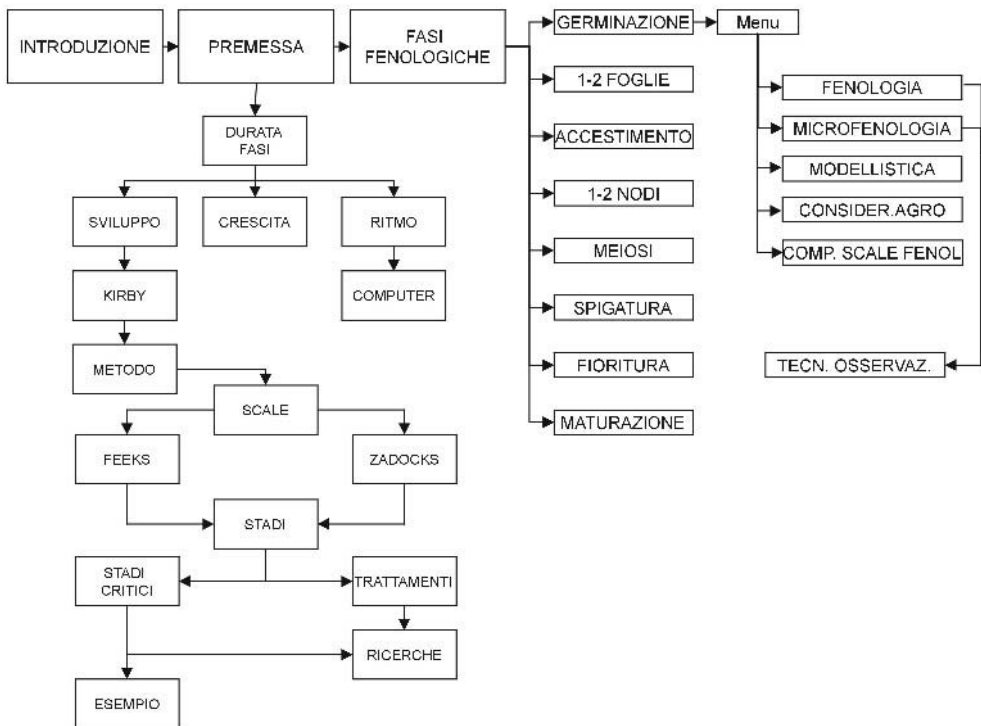
L'ipertesto è stato realizzato in modo che sia possibile dal Cd-rom :
consultare il manuale ERD
consultare il manuale fenologico
consultare altri manuali fenologici disponibili in Internet
verificare l'andamento dei prezzi dei principali mercati granari di riferimento.

Quest'ultima informazione è stata resa accessibile soprattutto per i cerealicoltori in quanto si è ritenuto rendere il Cd-rom uno strumento d'uso quotidiano per conoscere le quotazioni dei mercati granari nazionali (Milano e Bologna) e dei mercati a termine internazionali (Parigi, Chigago).

Inoltre per facilitare la diffusione dei risultati del progetto Phenagri sono stati ipotizzati i seguenti percorsi formativi:

- Sintesi dei risultati
- Modelli matematici e banche dati

E' previsto anche l'inserimento di una e-mail ove è possibile collegarsi per inviare agli autori suggerimenti sul manuale o segnalazioni su siti Internet. Inoltre è prevista la realizzazione di un manuale d'uso del Cd-rom e sarebbe auspicabile la realizzazione di un sito ove il manuale sia residente e nel quale gli aggiornamenti siano facilmente disponibili per gli utenti.



Bibliografia

- Bolter J.*, 1993; *Lo spazio dello scrivere*. Vita e Pensiero, Milano
- Calvani A.*, 1990; *Dal libro stampato al libro multimediale*. La Nuova Italia, Firenze
- Cesareni D.*, 1995; *Ipertesti ed apprendimento*. Garamond, Roma
- Landow G.*, 1993; *Ipertesto, il futuro della scrittura*. Baskerville, Bologna
- UNESCO, 2002; *Learning to Be*. UNESCO Press, Parigi
- UNESCO, 2002; *Theacher Education Guidelines: Use Open and Distance Learning*. UNESCO Press, Parigi
- Pfaffenberger B.*, 1996: *The Element of Hypertext Style*. Academic Press Inc., Boston, Londra
- Stix G.*, 1994; *Editoria scientifica in rete*. in *Le Scienze* n. 318, febbraio 1995, Le Scienze, Milano, pagg. 82-87
- Tway L.*, 1993; *Multimedialità. Come costruire un'applicazione*. Tecniche Nuove, Milano

INTERPOLAZIONE SPAZIALE DI DATI FENOLOGICI PUNTUALI

Aldo Giovacchini, Francesco Luccarini, Paolo Ragni

Consorzio Italiano per il Telerilevamento in Agricoltura

Introduzione

La ricerca ha l'obiettivo di sviluppare un modello di interpolazione spaziale di dati fenologici puntuali utilizzando informazione ausiliarie telerilevate. Lo studio è stato realizzato su dati relativi dalla regione Emilia-Romagna con riferimento ai principali cereali microtermini (frumento tenero, frumento duro, orzo).

Le attività da svolgere si possono raggruppare in due distinte fasi operative:

analisi delle relazioni tra la fenologia e i dati telerilevati;

definizione e validazione del modello di interpolazione.

I risultati ottenuti nella prima fase non hanno reso possibile l'esecuzione della seconda.

Analisi dei dati fenologici

I dati fenologici utilizzati sono stati forniti dall'ARPA della regione Emilia Romagna e provengono dalla banca dati della Rete Agrofienologica dell'Ente Regionale di Sviluppo Agricolo (E.R.S.A.).

Le rilevazioni nelle aziende appartenenti alla rete sono state eseguite con la seguente periodicità:

ogni 15 giorni nel periodo compreso tra la semina e la fine di novembre;

una volta al mese da dicembre a febbraio;

ogni settimana da marzo al raccolto.

Lo sviluppo fenologico della pianta è stato misurato secondo una scala che ha previsto 18 fasi distinte (Tab.1). Per poter cogliere in modo più accurato la transizione tra le fasi, a ogni rilievo sono state registrate anche le due principali fasi eventualmente concomitanti e per ciascuna di esse è stata registrata la classe di frequenza con cui si è presentata (Tab.1).

Cod	Stadio fenologico
1	Pre-emergenza
2	Emergenza
3	1 ^a Foglia
4	2 ^a Foglia
5	3 ^a Foglia
6	4 ^a Foglia
7	5 ^a Foglia
8	6 ^a Foglia
9	Inizio Levata
10	2° nodo
11	Ultima Foglia
12	Botticella
13	Spigatura
14	Fioritura
15	Ingrossamento Cariosside
16	Maturazione Lattea
17	Maturazione Cerosa
18	Maturazione fisiologica

Classe	Descrizione
1	meno del 5% delle piante
2	fra il 5 ed il 25% delle piante
3	fra il 25 ed il 50% delle piante
4	oltre il 50% delle piante

Tab. 1 – Fasi fenologiche
e classi di frequenza

La banca dati delle osservazioni fenologiche è stata sottoposta a un accurato controllo di qualità sulla completezza e coerenza delle informazioni.

I principali errori riscontrati sono:

coordinate assenti o errate

classi di frequenza incompatibili

errata successione temporale delle fasi fenologiche

duplicazione di dati

rilevazioni mancanti

Tutte le informazioni disponibili sono state utilizzate per correggere gli errori o recuperare i dati mancanti.

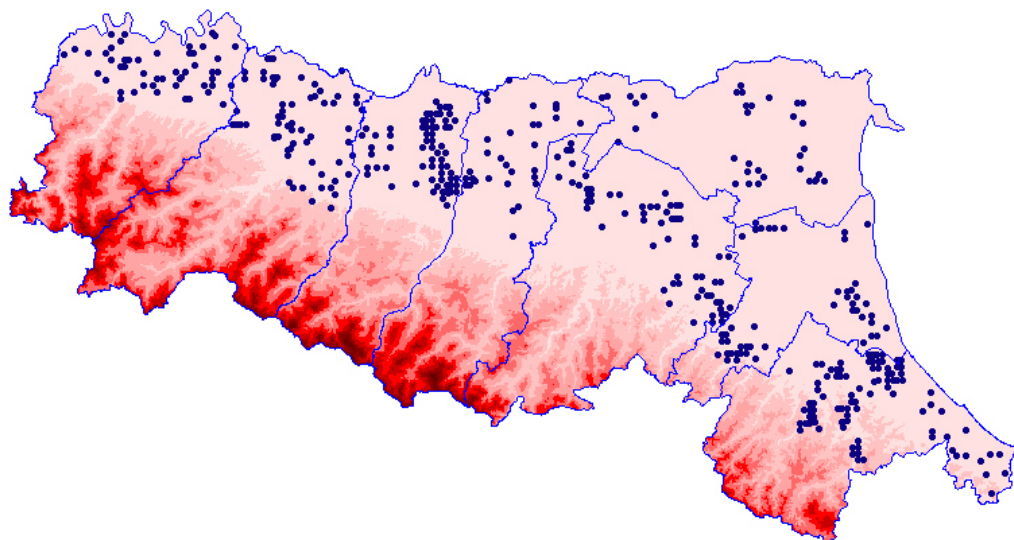
Il numero di osservazioni valide disponibili al termine della revisione della banca dati è riportato in Tab. 2.

Per “osservazione” si intende l’insieme delle rilevazioni effettuate in singolo punto dalla semina al raccolto nell’annata agraria di riferimento.

Tab. 2 – Osservazioni fenologiche disponibili

Annata Agraria	Frumento Tenero	Frumento Duro	Orzo
86 / 87	16	10	2
87 / 88	47	24	14
88 / 89	198	56	53
89 / 90	37	5	8
90 / 91	177	116	85
91 / 92	191	92	70
92 / 93	66	55	40
93 / 94	40	23	35
94 / 95	87	33	28
95 / 96	41	16	16
96 / 97	28	10	14
TOT	928	440	365

Fig. 1 - Distribuzione spaziale delle osservazioni fenologiche disponibili.



La maggior parte delle annate agrarie presenti in banca dati sono caratterizzate dalla presenza di un numero estremamente ridotto di osservazioni, si è quindi scelto di limitare l'analisi dei dati alle stagioni 90/91 e 91/92 (la stagione 88/89 è stata esclusa per l'assenza dell'informazione ausiliaria telerilevata).

Dall'intero profilo fenologico a disposizione, sono poi state scelte le fasi più significative per lo sviluppo dei cereali microtermi, ovvero quelle in corrispondenza delle quali si verificano variazioni significative nella morfologia e nella dinamica della vegetazione.

In particolare:

<i>Fase</i>	<i>Fenomeno</i>
Inizio Levata	Incremento esponenziale della biomassa
Spigatura	Massimo sviluppo della biomassa
Fioritura	
Maturazione cerosa	Ingiallimento delle foglie e della spiga
Maturazione fisiologica	

Per tutte le osservazioni disponibili è stata considerata la data di inizio delle fasi di interesse, coincidente con la prima rilevazione in cui la fase diviene dominante (interesse oltre il 50% delle piante).

Per quanto riguarda l'andamento temporale delle fasi fenologiche (Tab. 3) si osserva

che:

frumento tenero e duro hanno un comportamento analogo; il ciclo del duro risulta più lungo solo di alcuni giorni;

l'orzo si distingue per l'anticipo della levata e la brevità del periodo levata-spigatura. La maturazione ha la stessa durata;

la variabilità delle osservazioni in una stessa fase è molto simile per i tre cereali analizzati.

Per poter analizzare le relazioni tra osservazioni fenologiche e indici telerilevati è necessario ricondurre le prime all'unità di misura temporale di questi ultimi: la decade (vedi paragrafo successivo). I risultati di questa normalizzazione sono riassunti in Fig. 2.

Per quanto riguarda la variabilità temporale si può osservare che per le tre colture considerate:

tutte le fasi, ad eccezione dell'inizio levata, hanno un intervallo di variazione abbastanza ridotto, limitato a 2-3 decadi;

gran parte delle osservazioni si concentra su una sola decade.

La variabilità della data di inizio fase non sembra seguire un qualche andamento spaziale (Fig. 3):

osservazioni vicine presentano decadi di inizio fase differenti;

esistono gruppi di osservazioni contigue con date omogenee, ma diverse da altre osservazioni nella stessa zona;

la variabilità della fenologia non sembra dipendere da alcun fattore di natura spaziale (latitudine, distanza dal mare o da catene montuose, altitudine).

FRUMENTO TENERO		DATA INIZIO (giorno giuliano)			
FASE	n° oss.	media	dev.st.	min	max
Inizio Levata	185	96,0	8,6	63	118
Spigatura	141	134,0	5,4	120	147
Fioritura	165	140,0	5,6	126	161
Mat. Cerosa	161	169,6	5,5	154	183
Mat.Fisiologica	132	182,3	4,9	167	197
FRUMENTO DURO		DATA INIZIO (giorno giuliano)			
FASE	n° oss.	media	dev.st.	min	max
Inizio Levata	91	98,0	9,1	71	125
Spigatura	80	136,4	4,5	119	147
Fioritura	72	144,3	4,8	133	155
Mat. Cerosa	75	174,2	6,3	161	183
Mat.Fisiologica	72	185,4	5,9	174	197
ORZO		DATA INIZIO (giorno giuliano)			
FASE	n° oss.	media	dev.st.	min	max
Inizio Levata	65	93,1	6,4	78	105
Spigatura	48	126,0	4,9	112	134
Fioritura	54	131,3	5,2	125	141
Mat. Cerosa	65	160,5	4,9	149	168
Mat.Fisiologica	40	174,1	6,5	162	183

Tab. 3 – Statistiche descrittive per la variabile data di inizio (giorno giuliano) delle fasi fenologiche di interesse per i tre cereali oggetto di studio. (annata agraria 91/92).

Fig. 2 – Distribuzione di frequenza della decade di inizio delle fasi fenologiche di

interesse. (a.a. 91/92)

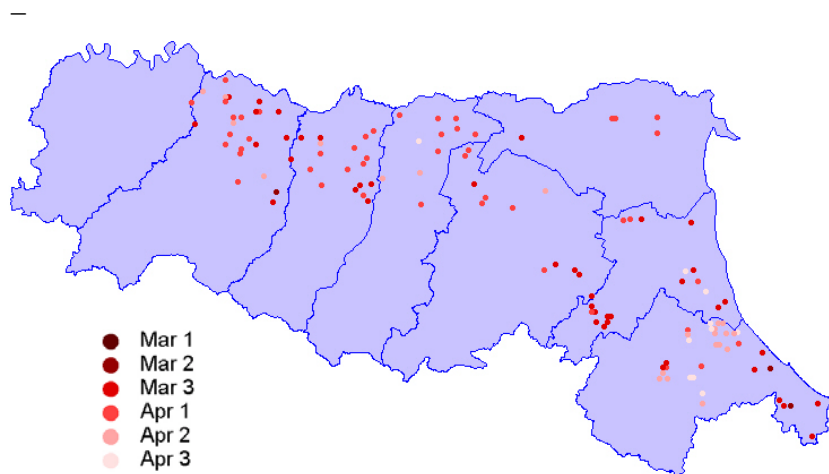
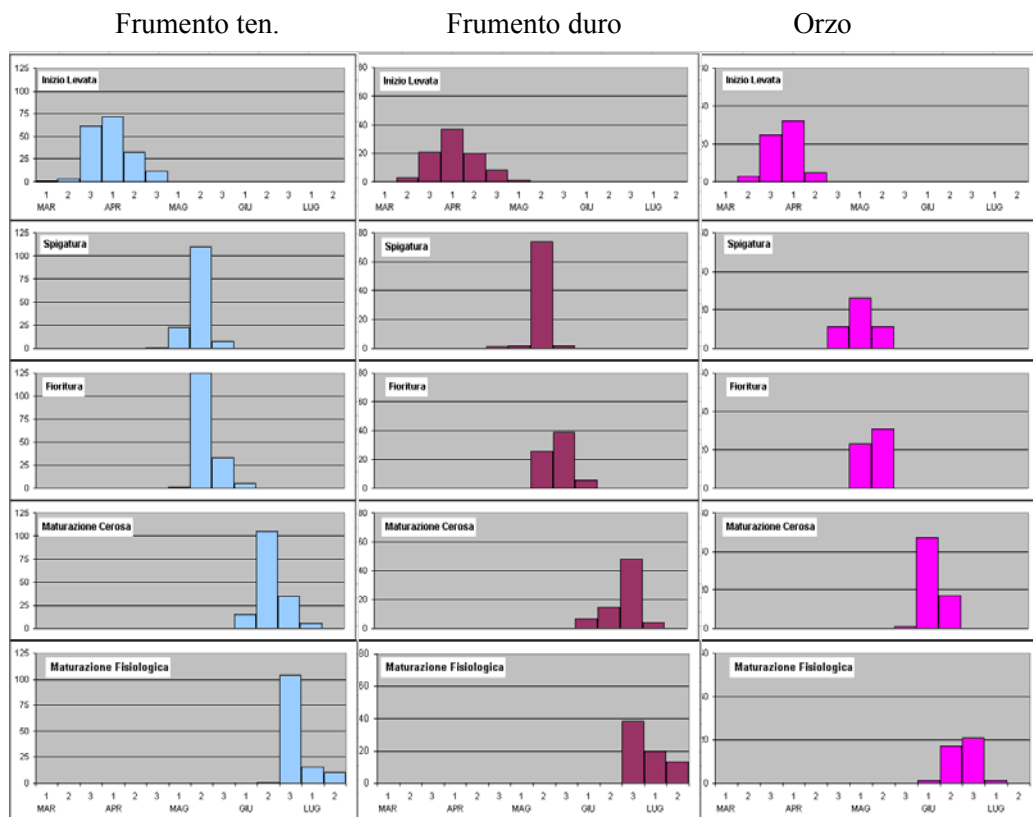


Fig. 3 -
Frumento
tenero,
variabilità
spazia
le
dell'inizio
della fase di
inizio levata.
I periodi di
occorrenza
delle fasi
sono
espressi in
decadi

Elaborazione dei dati telerilevati

Le informazioni ausiliarie telerilevate sono state costruite elaborando i dati acquisiti dal sensore AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) montato su satelliti NOAA.

Le immagini NOAA-AVHRR sono acquisite giornalmente, hanno un pixel di 1,1 km e cinque bande spettrali:

Ch1	0,58 – 0,68 µm (rosso)
Ch2	0,73 – 1,10 µm (infrarosso vicino)
Ch3	3,55 – 3,93 µm
Ch4	10,3 – 11,3 µm
Ch5	11,5 – 12,5 µm

Il NOAA-AVHRR è l'unico sensore con le caratteristiche necessarie allo studio: attivo negli anni di interesse (a partire dal 2000 sono disponibili anche le immagini MODIS e SPOT-vegetation);

elevata frequenza di acquisizione;

bande spettrali adeguate allo studio della vegetazione;

visione sinottica.

Le due bande utili per monitorare l'andamento della copertura vegetativa sono la Ch1 (rosso) e la Ch2 (infrarosso vicino), caratterizzate rispettivamente da un forte assorbimento della clorofilla e una elevata riflettanza del mesofillo spugnoso.

La differenza normalizzata dei valori delle due bande costituisce un indice, fortemente correlato con il LAI (Leaf Area Index) e la biomassa verde, noto come NDVI (Normalized Difference Vegetation Index):

$$NDVI = \frac{Ch2 - Ch1}{Ch2 + Ch1}$$

L'indice assume valori compresi tra gli estremi teorici -1 e +1; valori bassi (fino a circa +0,1) corrispondono in genere a terreno non vegetato (neve, acqua, suolo nudo, aree urbane), al contrario la presenza di vegetazione fotosinteticamente attiva fa registrare valori elevati (oltre 0,2).

Il NDVI minimizza le variazioni di riflettanza all'interno di una stessa immagine attribuibili alla topografia della superficie ed al differente angolo sensore-target-sole.

Un problema da affrontare è invece quello della rimozione dell'eventuale copertura nuvolosa. I pixel sicuramente interessati da nuvole possono essere filtrati con algoritmi automatici basati sulla temperatura superficiale (banda Ch3).

Per poter ridurre la frazione di dati mancanti è stato calcolato per NDVI un valore sintetico su base decadale (MVC, Maximum Value Composite). Ad ogni pixel viene assegnato il valore massimo tra quelli delle immagini disponibili nell'intervallo temporale di riferimento (in questo caso 10 giorni).

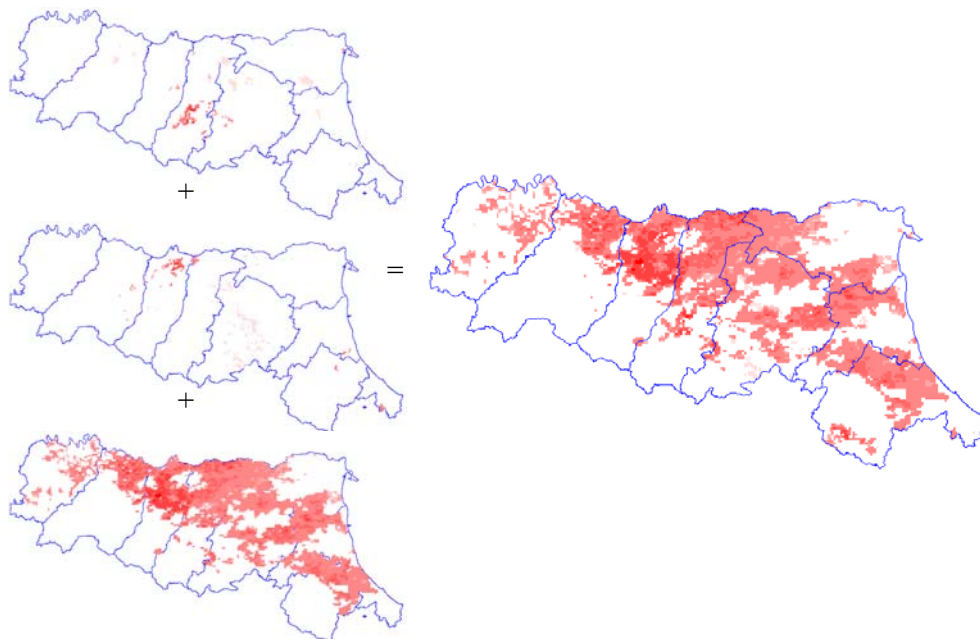
Il MVC rende sicuramente più robusta (ovvero meno sensibile a singoli valori anomali) l'analisi di NDVI, ma:

se la nuvolosità è persistente non garantisce che tutti i pixel abbiano un valore di NDVI nel periodo di riferimento; la frazione di dati mancanti può essere ancora considerevole (Fig. 4).

derivando dalla composizione di immagini diverse introduce il problema delle differenti geometrie di acquisizione

non consente l'eliminazione di altri fattori di disturbo atmosferici (aerosols, vapore acqueo) o l'individuazione di pixel parzialmente interessati da nuvole

Fig. 4 – Esempio di calcolo di MVC decadale; in questo caso sono disponibili solo tre dati giornalieri con scarsa copertura territoriale, il risultato coincide in larga parte con il valore di NDVI di una singola giornata e presenta ancora numerosi pixel senza informazione



Alcuni valori di NDVI decadale mancanti possono essere ricostruiti utilizzando per imputazione i dati adiacenti (spazialmente o temporalmente). Osservando le percentuali di dati disponibili (Tab. 4), si può notare però che l'assenza di valori non è sempre limitata a una decade isolata: in questi casi non è possibile ricostruire il profilo di NDVI senza introdurre forti elementi di arbitrarietà. Per questo motivo i dati relativi al 1991 non sono stati utilizzati.

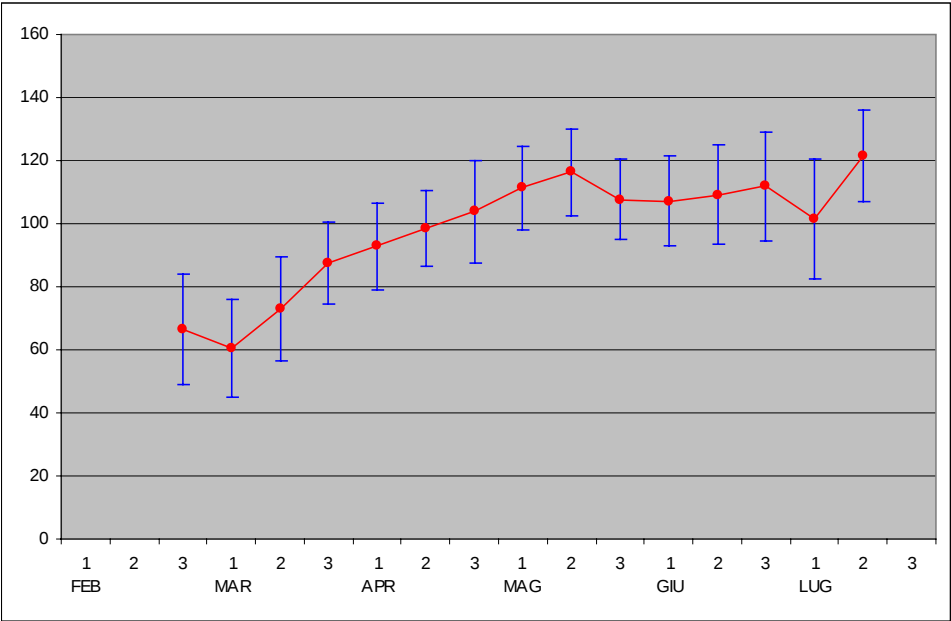
L'analisi della relazione con la fenologia è quindi limitata all'anno 1992 (Fig. 5).

Tab. 4 – NDVI decadale (maximum value composite), percentuale di dati disponibili

negli anni 1991 e 1992.

% DATI DISPONIBILI			
Mese	Decade	1991	1992
GEN	1	0,0	33,9
	2	0,0	39,4
	3	0,0	86,4
FEB	1	0,0	67,0
	2	0,0	43,9
	3	92,2	99,7
MAR	1	0,0	99,1
	2	100,0	99,8
	3	82,0	99,4
APR	1	99,4	37,8
	2	99,2	99,6
	3	60,0	99,7
MAG	1	42,6	100,0
	2	98,6	100,0
	3	100,0	98,5
GIU	1	94,4	93,3
	2	0,0	98,1
	3	100,0	99,9
LUG	1	100,0	95,9
	2	100,0	100,0
	3	100,0	0,0

Fig. 5 –Anno 1992, profilo NDVI decadale (media e deviazione standard). Il dato della prima decade di aprile è stato ricostruito per interpolazione.



Analisi della relazione tra NDVI e fase fenologica

Per definire un modello di interpolazione spaziale è necessario anzitutto caratterizzare la relazione esistente tra NDVI e fenologia; in particolare gli indici derivati dal telerilevamento dovrebbero poter spiegare la variabilità della data di occorrenza delle fasi fenologiche oggetto di interesse.

L'ipotesi di lavoro è che le date di occorrenza di una stessa fase fenologica siano accomunate da un valore di NDVI simile.

Per verificare questo assunto sono state definite delle opportune variabili scarto rispetto alla data $\bar{g}$ (media di inizio fase, in giorni giuliani). Per ciascuna delle osservazioni a disposizione:

$\Delta g_i = g_i - \bar{g}$ differenza tra il giorno giuliano di inizio fase per l'osservazione i-esima e la data media di inizio fase

$\Delta NDVI_i = NDVI_{i,\bar{g}} - \overline{NDVI}$ differenza tra il valore di NDVI nella data media di inizio fase e il valore medio di NDVI nella data di inizio fase

$\Delta INDVI_i = INDVI_{i,\bar{g}} - \overline{INDVI}$ differenza tra il valore di NDVI integrato nella data media di inizio fase e il valore medio di NDVI integrato nella data di inizio fase

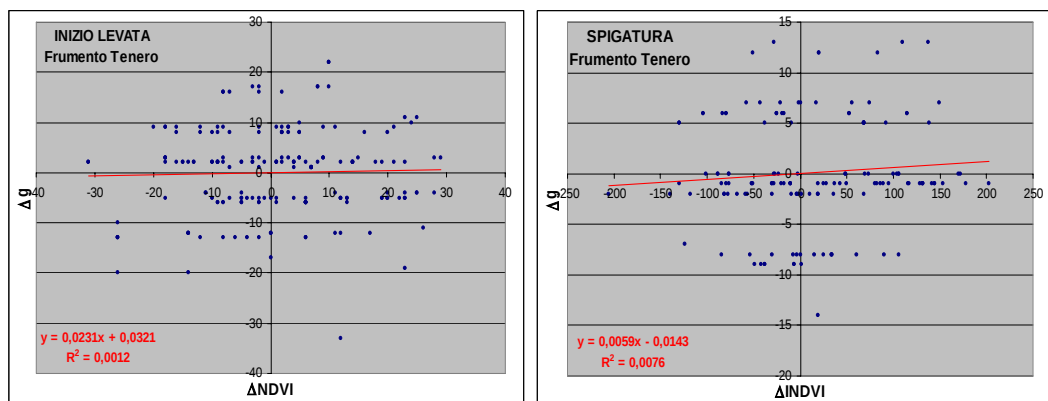
L'ipotesi fatta trova conferma se esiste una relazione inversa tra lo scarto nelle date e la differenza nei valori di NDVI (assoluto o integrato). Si avrebbe infatti che osservazioni precoci (Δg negativo) sono associate a un profilo di NDVI in cui la crescita della curva è "anticipata" (quindi il valore assunto quando si raggiunge la data media $\bar{g}$ è superiore al valore medio di inizio fase; scarto positivo).

I risultati ottenuti evidenziano l'assenza di una qualunque relazione significativa tra le variabili. Le correlazioni lineari (Tab.5) assumono valori assoluti piuttosto ridotti (al massimo 0,479) e sono di segno prevalentemente positivo. La sostanziale indipendenza tra le variabili scarto definite è ancor più evidente osservando i grafici scatterplot e le rette di regressione lineare (Fig. 6).

Tab. 5 – Correlazione tra le variabili scarto

CORRELAZIONE	FRUMENTO TENERO		FRUMENTO DURO		ORZO	
	Δg	Δg	Δg	Δg	Δg	Δg
FASE	$\Delta NDVI$	$\Delta INDVI$	$\Delta NDVI$	$\Delta INDVI$	$\Delta NDVI$	$\Delta INDVI$
Inizio Levata	0,035	-0,031	-0,054	-0,191	0,073	-0,005
Spigatura	0,105	0,087	-0,036	-0,056	-0,121	-0,059
Fioritura	0,077	0,104	0,264	-0,090	0,014	0,026
Mat. Cerosa	0,049	0,166	0,147	0,310	0,162	-0,213
Mat. Fisiologica	0,065	0,187	0,194	0,479	0,205	0,432

Fig. 6 – Esempi di scatterplot tra la variabile scarto temporale (Δg) e quella relativa a NDVI assoluto ($\Delta NDVI$) o integrato ($\Delta INDVI$). In rosso è riportata la retta di regressione.



Conclusioni

Lo studio ha tentato di individuare una specifica relazione fra NDVI e fenologia, una relazione che descriva la variabilità delle date di occorrenza delle fasi fenologiche registrata nelle osservazioni di campo.

I risultati dello studio non dimostrano l'assenza di una relazione fra valori di NDVI e fenologia, ma portano a concludere che, almeno nelle specifiche modalità applicative, l'NDVI non ha alcuna utilità quale covariabile che permetta di definire un modello di interpolazione spaziale migliore di quello realizzabile con le sole osservazioni fenologiche puntuali registrate in campo.

In termini generali, la relazione fra NDVI e data di occorrenza delle fasi fenologiche è indiretta. La fenologia registra infatti modificazioni dello sviluppo delle piante, mentre lo NDVI è un indice che stima fenomeni legati alla crescita, ovvero alla quantità di biomassa verde.

Ulteriori problemi specifici della ricerca, cioè dipendenti dagli strumenti adottati, e che possono aver influenzato i risultati ottenuti sono:

- la bassa risoluzione delle immagini NOAA-AVHRR, che determina la presenza di coperture del suolo miste in gran parte dei pixel;

- la precisione della localizzazione geografica delle osservazioni di campo;

- la distorsione dovuta alla necessità di combinare frequenze di acquisizione: settimanali per i dati fenologici, decadal per i valori di NDVI-MVC. Frequenze non giornaliere ed eterogenee introducono "artefatti" (variabilità dipendente dalla misura) non trascurabili, se si considera l'obiettivo dello studio;

- la presenza di valori di NDVI mancanti e/o ricostruiti a causa della persistente nuvolosità nei mesi invernali e primaverili.

Bibliografia

- Barbieri R., Botarelli L., Salsi A., Zinoni F. (1989), Guida alle rilevazioni agrofенologiche ed alla compilazione delle schede di rilevamento per le colture erbacee ed arboree, ERSA - Servizio Meteorologico Regionale, Bologna
- Benedetti R., Rossini P. (1993), On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics: the case study of wheat yield estimates and forecast in Emilia Romagna, *Remote Sens. of Environ.*, 45:311-326
- Miles R. (1994) Component analysis for interpretation of time series NDVI imagery, *ASPRS/ACSM*, 538-550
- Ehrlich D., Estes J., Singh A. (1994) Application of NOAA-AVHRR 1 km data for environmental monitoring, *International Journal of Remote Sensing*, 15:145-161
- Holben B. (1986) Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR, *International Journal of Remote Sensing*, 7:1417-1434

MAPPE FENOLOGICHE A SCALA DI DETTAGLIO

Anna Letizia Zanotti¹, Giovanna Puppi¹, Franco Zinoni², Vittorio Marletto²

1 - Università di Bologna - Dipartimento di Biologia Evoluzionistica Sperimentale -

2 - ARPA Emilia-Romagna, Servizio Meteorologico Regionale Area Agrometeorologia e Territorio

Introduzione

Con questa ricerca ci si propone di effettuare la caratterizzazione fenologico-bioclimatica alla scala di dettaglio di un territorio orograficamente complesso, mediante la realizzazione di mappe ad elevata risoluzione costruite in base a dati climatici, orografici e fenologici, rilevati in punti significativi del territorio. Poiché la data di comparsa della fioritura delle singole specie è determinata sia dall'andamento termico dell'annata che dalle particolari condizioni microclimatiche della stazione in cui si trova è necessario mettere a punto innanzitutto 2 modelli:

uno feno-topografico basato sull'osservazione del comportamento fenologico di alcune specie in relazione ai diversi fattori topografici e che consente di individuare i fattori principali che modulano lo sviluppo fenologico in ogni punto del territorio (Puppi e Zanotti, 1989; Puppi Branzi e Zanotti, 1992)

uno topo-climatico basato sullo studio dell'andamento delle temperature in relazione alla geomorfologia del territorio e che consente di individuare le correlazioni esistenti tra clima e fattori orografici (Boselli et al., 1990).

Obiettivo finale sarà la messa a punto di un modello feno-topo-climatico che coinvolga sia parametri topografici che climatici nella stima delle fenofasi e quindi nella caratterizzazione bioclimatica del territorio.

In questo contributo vengono presentati i dati relativi alla formulazione di modelli feno-climatici e feno-topografici per la cartografia di un territorio in parte pianiziaro e in parte montuoso.

Materiali e metodi

Per ottenere una base cartografica sui cui applicare i modelli è stato costruito un modello digitale del terreno con acquisizione di dati vettoriali e realizzazione di files raster delle quote, dai quali, mediante appositi modelli, sono stati derivati quelli delle esposizione e delle pendenze.

Per quanto riguarda la parte di fenologia, in un territorio di circa 800 km², situato ad est di Bologna, è stata istituita una rete di stazioni di rilevamento fenologico. Il territorio indagato ricade in parte nella zona pianiziaro e in parte in quella collinare, prevalentemente tra il versante destro della vallata dell'Idice e il versante sinistro della vallata del Sillaro, fino a 580 m di quota. Le stazioni di rilevamento (circa una sessantina iniziali, poi ridotte) sono state ubicate in ambiente naturale in situazioni geomorfologiche diversificate: oltre che disseminate nella pianura e all'imbocco delle valli principali (Santerno), anche su crinali, versanti collinari e nel fondo di valli strette (Quaderna) (Fig. 1).

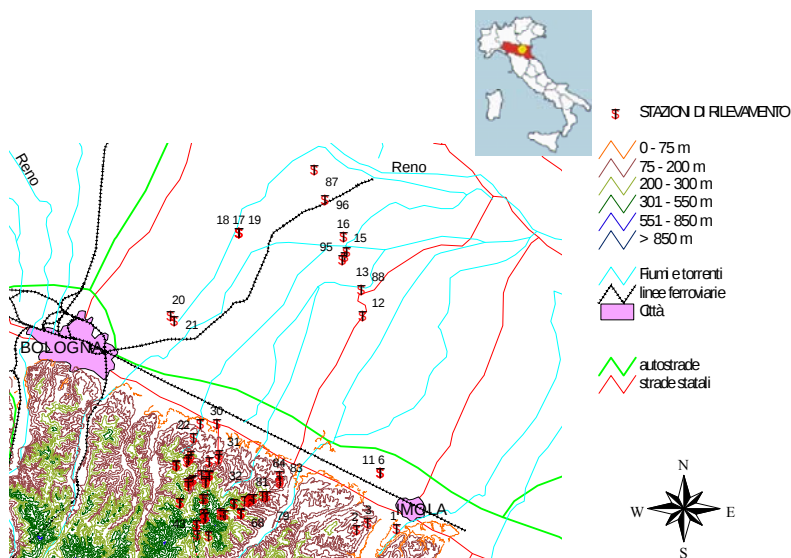


Figura 1 - Territorio e stazioni di rilevamento

Per 3 anni, dal 1997 al 1999, durante il periodo primaverile, sono stati compiuti rilevamenti a cadenza settimanale su una ventina di specie spontanee ed ampiamente diffuse, sia erbacee (Graminacee) che legnose, e precisamente:

Agropyron repens, *Anthoxanthum odoratum*, *Brachypodium rupestre*, *Bromus erectus*, *Bromus hordeaceus*, *Dactylis glomerata*, *Lolium perenne*, *Poa pratensis*, *Poa trivialis*, tra le Graminaceae;

Acer campestre, *Cornus sanguinea*, *Coronilla emerus*, *Euonymus europaeus*, *Prunus avium*, *Prunus domestica*, *Prunus spinosa*, *Robinia pseudacacia*, *Rosa canina*, *Sambucus nigra*, *Quercus pubescens*, tra le legnose.

I rilevamenti, di tipo quantitativo, hanno riguardato le fenofasi antesiche e sono stati realizzati utilizzando le chiavi di rilevamento messe a punto dal Gruppo dei Giardini Fenologici Italiani (Puppi, 1993; Puppi e Zanotti, 1998).

L'elaborazione dei dati fenologici è stata fatta mediante stima della data di comparsa delle fenofase "massima fioritura" per ogni specie, anno e stazione, mediante analisi di regressione lineare.

Sia sull'insieme delle legnose che sull'insieme delle Graminacee sono state effettuate analisi di regressione multipla tra le variabili dipendenti costituite dalle date stimate di comparsa della massima fioritura di ogni specie e le variabili indipendenti costituite dalle specie, dalle stazioni e dalle annate, espresse come variabili binarie.

L'elaborazione dei dati, attuata attraverso analisi di regressione, ha portato a stimare il ritardo di ogni annata rispetto ad una annata di riferimento e, per ogni stazione, il ritardo fenologico, espresso in giorni di ritardo (o anticipo) rispetto ad una stazione di riferimento.

Una seconda analisi di regressione multipla è stata effettuata tra dati di stazione (variabili indipendenti) e ritardi fenologici di stazione stimati con l'analisi precedente. Tale elaborazione ha portato all'identificazione dei fattori geomorfologici più significativi nel determinare tale ritardo (e quindi i parametri utili a definire il bioclimate di stazione).

Per quanto riguarda la parte climatologica, sono stati utilizzati i dati delle stazioni meteorologiche standard del Servizio Meteorologico Regionale di Settefonti (336 m s.l.m.), S. Pietro Capofiume (11 m s.l.m.), Casola Canina (32 m s.l.m.), Loiano (745 m s.l.m.) e Sasso Marconi (275 m s.l.m.) effettuati rilevamenti di tipo climatico. Inoltre, in aggiunta, sono stati rilevati dati di temperatura in 9 stazioni di rilevamento temporanee appositamente installate nel territorio in esame in prossimità delle stazioni fenologiche. Dalle medie dei dati grezzi sub-orari di queste 9 stazioni si sono ricavati valori giornalieri, per avere omogeneità e possibilità di confronto con i dati dalle stazioni meteorologiche SMR. Questi ultimi dati di temperatura sono disponibili per il periodo inverno-primavera 1998-1999, esattamente dal 10 novembre 1998 al 12 marzo 1999.

Risultati

Dati fenologici

L'anno con fioriture più precoci, sia per le Graminacee che per le legnose, è risultato il 1997.

Per quanto riguarda l'andamento dei ritardi di stazione, si sono ottenuti risultati diversi per i due gruppi di specie.

In particolare, per le specie legnose, è stato osservato un andamento particolare e costante, nei diversi anni considerati, del ritardo fenologico di stazione con la quota. Per queste specie, salendo in quota, il ritardo fenologico presenta un trend negativo fino a 150 - 200 m seguito da uno positivo dai 200 m in su (figura 2). Il massimo anticipo delle fioriture (ritardo negativo) delle specie legnose si è verificato quindi, in tutti e 3 gli anni, alla quota di 200 m.

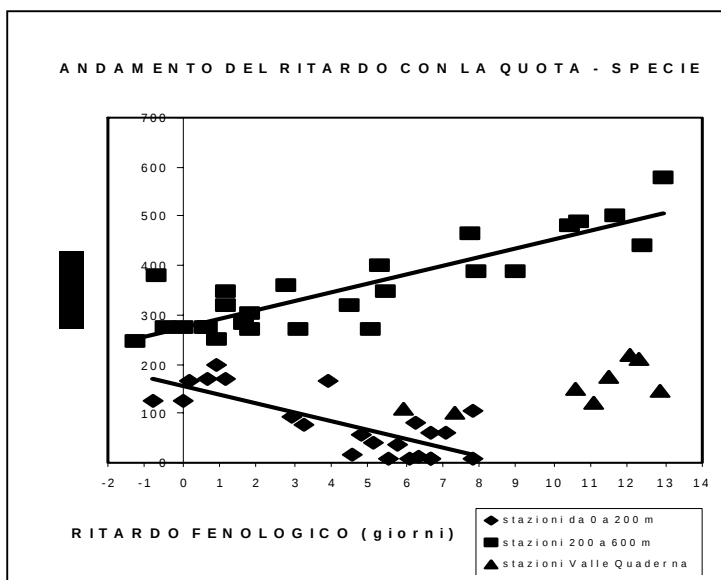


Figura 2 - Grafico del ritardo fenologico con la quota delle specie legnose

Per quanto riguarda invece le Graminaceae tale tipo di andamento con la quota è stato osservato solo nel primo anno (che è risultato anche essere quello con fioriture più anticipate per l'insieme delle specie); negli anni successivi l'andamento ha seguito il normale trend positivo di aumento del ritardo di stazione con l'aumentare della quota (figura 3).

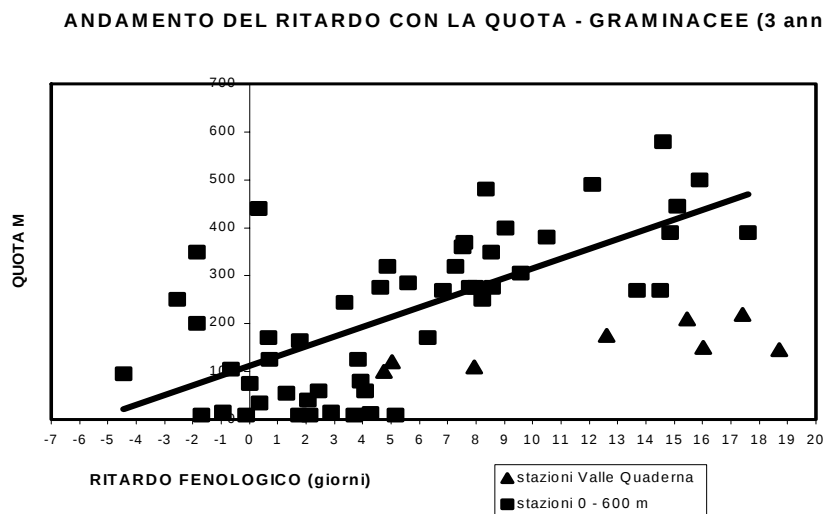


Figura 3 - Grafico del ritardo fenologico con la quota delle Graminacee

E' da rimarcare il fatto che, per entrambi i sottoinsiemi di specie, ritardi fenologici di stazione più marcati si sono riscontrati nelle stazioni poste nella valle, particolarmente incassata, del Torrente Quaderna.

Per entrambi i gruppi di specie i fattori più significativi nel determinare l'andamento antesico sono risultati:

la quota

Legnose: circa 4 giorni di ritardo ogni 100 m di quota, da 200 a 600 m e 8 giorni di anticipo ogni 100 m al di sotto dei 200 m di quota ($R=0,872$)

Graminacee: 2 giorni di ritardo ogni 100 m

il microclima di valle stretta

Legnose: 8,5 giorni di ritardo

Graminacee: 7 giorni di ritardo

l'esposizione

Legnose: circa 5 giorni di ritardo tra esposizione settentrionale e meridionale a media pendenza

Graminacee: 8 giorni

I fattori geomorfologici più significativi hanno fornito i valori per l'interpolazione spaziale dei dati al fine di realizzare mappe del ritardo fenologico, o fenologiche sintetiche, relative sia alle Graminaceae che alle legnose, relativamente al periodo primaverile dell'insieme dei 3 anni esaminati.

Per la realizzazione delle mappe del ritardo fenologico ci si è avvalsi quindi da un lato dalle matrici raster dei fattori morfologici risultati più significativi e dall'altra dei coefficienti di regressione delle relative variabili ottenuti col modello di regressione.

Punto per punto un semplice algoritmo ha calcolato la matrice raster della mappa del ritardo fenologico. Un programma di grafica (SURFER) ha consentito di ottenere le mappe (fig. 4 e 5).

Il confronto tra la mappa delle legnose e quella delle graminacee relative a tutti e tre gli anni considerati evidenzia i gradienti ottenuti.

Per quanto riguarda i dati climatici, sono state calcolate mese per mese le sommatorie termiche, utilizzando soglie termiche di 0° e 4 °C, valori di riferimento generalmente usati nella modellistica fenologica. Quindi si sono effettuate analisi che mettessero in relazione andamento termico e fattori orografici. Considerando il numero relativamente piccolo di punti di misura utilizzati, per semplicità, si è analizzata la relazione con la sola quota. Sulla base dei dati, provenienti dalle 9 stazioni temporanee, inizialmente si sono considerate le sommatorie fino a marzo. Si è individuata una relazione polinomiale di secondo grado tra quota e sommatoria termica, in base alla quale la variabile meteorologica aumenta fino ad un valore massimo in corrispondenza di circa 350 metri, per poi diminuire. Il risultato sta ad indicare che il gradiente di temperatura nel periodo invernale - primaverile è caratterizzato da una marcata inversione termica, fino alla quota suddetta.

Per estendere il calcolo anche ai mesi successivi, soprattutto per analizzare l'andamento agrometeorologico in relazione alla fioritura di specie più tardive, si sono calcolate le sommatorie termiche fino ad aprile e a giugno, utilizzando dati dalle 5 stazioni fisse. Anche in questo caso i risultati indicano che il massimo termico si trova a circa 300 m.

Tali semplici modelli topoclimatici consentono di ricostruire il campo termico, in base alla quota, utilizzando un modello digitale del terreno (DEM). Si ottengono così mappe agrometeorologiche con un dettaglio corrispondente a quella del DEM di partenza (fig. 6).

Conclusioni

La messa a punto di questi 2 modelli ha evidenziato che il comportamento antesico delle specie legnose, la cui induzione fiorale avviene precocemente, rispecchia l'andamento termico del territorio, con il caratteristico fenomeno di inversione termica invernale (anche se il valore di massimo termico non coincide esattamente col valore di massimo anticipo).

Le Graminacee, la cui induzione fiorale e antesi sono invece tardive, paiono risentire solo dell'andamento termico del mese in cui fioriscono (di norma senza fenomeno di inversione termica).

Il comportamento antesico delle specie legnose si è rivelato quindi in complesso più affidabile di quello delle Graminacee nel definire il bioclima stagionale di un territorio

a media scala.

Un passo successivo sarà la messa a punto di modelli più complessi feno-topo-climatici, che siano in grado di realizzare mappe fenologiche di tipo previsionale per ogni punto del territorio basandosi sulle correlazioni esistenti tra dati fenologici e dati climatici e orografici.

CARTA DEL RITARDO FENOLOGICO DELLE SPECIE LEGNOSE (3 anni)

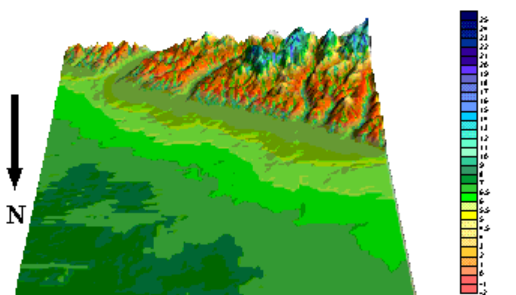


Figura 4

CARTA DEL RITARDO FENOLOGICO DELLE GRAMINACEE (3 anni)

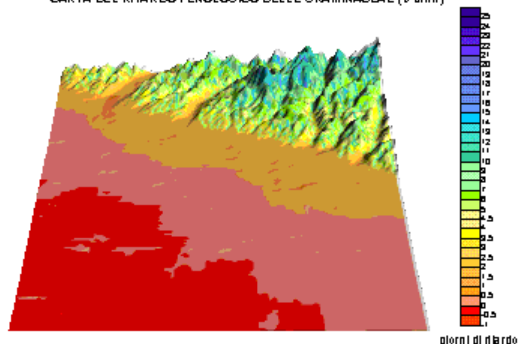


Figura 5

SOMMATORIE TERMICHE DI APRILE 1988

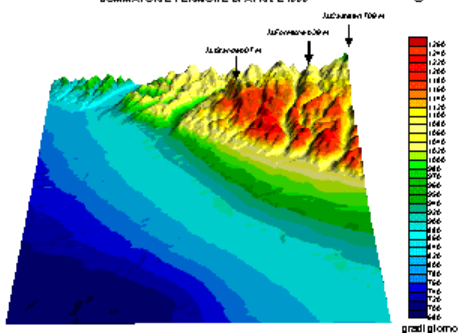


Figura 6

Figura 4 - Mappa topografica tridimensionale vista dalla parte settentrionale del ritardo fenologico delle specie legnose, in cui si evidenziano, con diverse sfumature di grigio, i giorni di ritardo fenologici rispetto ad una stazione di riferimento situata a 125 m di quota e con nessuna esposizione

Figura 5 - Mappa topografica tridimensionale vista dalla parte settentrionale del ritardo fenologico delle Graminacee, in cui si evidenziano, con diverse sfumature di grigio, i giorni di ritardo fenologici rispetto ad una stazione di riferimento situata a 15 m di quota e con nessuna esposizione

Figura 6 - Mappa topografica tridimensionale delle sommatorie termiche in base 0° . Le sfumature di grigio corrispondono a diversi valori di sommatoria termica raggiunti nel mese di aprile; si evidenzia in chiaro la fascia termica con i valori massimi raggiunti.

Bibliografia

- Boselli M., Pasquali A., Zinoni F., Lega P. (1990) - Caratterizzazione del territorio dell'Emilia-Romagna mediante l'uso di indici bioclimatici . Atti Cong. "Agrometeorologia per un servizio regionale", Perugia.
- Puppi G. (1993) - Criteri per il rilevamento fenologico: Angiosperme. In Gruppo Nazionale per i Giardini Fenologici, Procedure per il rilevamento fenologico nei giardini italiani, 29-40.
- Puppi G., Zanotti A.L. (1989) - Methods in phenological mapping. *Aerobiologia*, 5, 44-54.
- Puppi Branzi G., Zanotti A.L. (1992) - Estimate and mapping of the activity of airborne pollen sources. *Aerobiologia*, 8: 69-74.
- Puppi G., Zanotti A.L. (1998) - Guida ai rilievi fenologici - in AA.VV. - Guida al rilevamento dei Giardini fenologici italiani - MIPA, P.F. Phenagri, pp. 9 – 13.

LA FENOLOGIA DELL'OLIVO IN ITALIA

Giovanni Nieddu, Costantino Sirca

Università degli Studi di Sassari - Dipartimento di Economia e Sistemi Arborei

Introduzione

A differenza di altre specie arboree, ed in particolare della vite, sull'olivo si riscontrano pochi studi sulla fenologia e sui rapporti con lo sviluppo, la produttività e la qualità delle produzioni. In questa specie, infatti, risultano ancora poco indagate le relazioni tra fenologia e fattori climatici e non sono disponibili valori soglia generalmente riconosciuti e indici agroclimatici verificati su larga scala. Gli aspetti innovativi del Progetto Finalizzato del Mi.P.A.F., Phenagri: fenologia per l'agricoltura - riscontrabili nella possibilità di censire, catalogare, rilevare dati fenologici e sviluppare le ricerche sui modelli matematici utili alla coltivazione - assumono un'ulteriore importanza per l'olivo, dove la specificità del patrimonio varietale nelle singole regioni non ha sinora consentito un'ampia comparazione tra le cultivar.

L'importanza dell'acquisizione di tali informazioni, utilizzando metodologie standardizzate, ha motivato il coinvolgimento nel progetto di sette Istituzioni di ricerca operanti in ambienti climatici italiani fortemente differenziati. La loro ricerca ha, pertanto, inteso fornire, sia indicazioni specifiche valide ai fini di una più razionale scelta varietale e di una migliore organizzazione aziendale, sia i primi dati storici utili allo sviluppo e calibrazione di modelli matematici per l'olivo.

Materiali e metodi

Lo studio del comportamento fenologico della specie *Olea europaea* L. è stato condotto nell'ambito del Progetto Finalizzato del Mi.P.A.F. Phenagri: fenologia per l'agricoltura, Sottoprogetto: Fenologia delle piante arboree, da un gruppo di ricerca coordinato dal Dipartimento di Economia e Sistemi Arborei dell'Università degli Studi di Sassari e costituito dal Dipartimento di Ortoflorofrutticoltura dell'Università di Firenze, dal Dipartimento di Arboricoltura e Protezione delle Piante dell'Università di Perugia, dal Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali dell'Università di Bari, dall'Istituto Sperimentale per l'Olivicoltura di Rende (Cosenza), dal Dipartimento di Orto-floro-arboricoltura e Tecnologie Agroalimentari dell'Università di Catania e dal Dipartimento di Coltivazioni Arboree dell'Università di Palermo. All'interno del gruppo di lavoro è stata definita una metodologia comune d'indagine (Bernati et al., 1999) e sono state scelte per l'indagine 17 varietà di olivo di cui tre di esse (Carolea, Coratina, Picholine) presenti in tutte le sette località dell'Italia Centrale, Meridionale ed Insulare oggetto d'indagine (Tab. 1).

Tabella 1. Elenco delle Unità operative e delle varietà osservate.

Unità Operativa	Provincia	Responsabile	Varietà studiate
Dipartimento di Ortoflorofrutticoltura	Firenze	Piero Fiorino	Carolea, Coratina, Picholine, Frantoio, Moraiolo, Leccino, Pendolino
Dipartimento di Arboricoltura e Protezione delle Piante	Perugia	Alvaro Standardi	Carolea, Coratina, Picholine, Frantoio, Moraiolo
Dipartimento di Scienze delle Produzioni Veget.	Bari	Enrico Ferrara	Carolea, Coratina, Picholine, Bella di Cerignola, Nocellara etnea, Sant' Agostino
Istituto Sperimentale per l'Olivicoltura	Cosenza	Caterina Briccoli-Bati	Carolea, Coratina, Picholine, Cassanese, Messinese
Dipartimento di Ortofloro-arboricoltura e Tecnol. Agroalim.	Catania	Oscar Alberghina	Carolea, Coratina, Picholine, Moresca, Tonda iblea
Dipartimento di Coltivazioni Arboree	Palermo	Luigi di Marco	Carolea, Picholine, Biancolilla, Nocellara etnea, Nocellara messinese
Dipartimento di Econ. e Sistemi Arborei	Sassari	Giovanni Nieddu	Carolea, Coratina, Picholine, Bosana, Manna

Durante il triennio 1997-1999, in oliveti rappresentativi di ciascuna area geografica, sono stati scelti quattro germogli su quattro piante e, su questi, sono state periodicamente rilevate le fasi fenologiche del riposo e della ripresa vegetativa, sia sulle gemme apicali sia laterali. Le osservazioni sono proseguite con il monitoraggio delle fasi di mignolatura, di fioritura e di allegagione. Durante l'estate i rilievi effettuati hanno riguardato l'indurimento del nocciolo, l'entità della colorazione superficiale ed interna della drupa e la cascola. Per ciascuna delle varietà a confronto nelle aree è stata, altresì, descritta la dinamica di incremento ponderale delle drupe e l'inoilezione.

Per ogni stazione sperimentale è stata effettuata la descrizione del sito, dell'oliveto, e delle tecniche di conduzione. L'indagine è stata completata con la raccolta e l'archiviazione dei dati della temperatura dell'aria, dell'umidità relativa, delle precipitazioni e della radiazione solare.

Risultati

La figura 1 riporta un fenogramma che indica la durata complessiva del periodo compreso tra la ripresa vegetativa e l'inizio della invaiatura superficiale della drupa (I.M. 1) costruito utilizzando i dati acquisiti nel triennio in tutte le sette aree su diciassette varietà di olivo.

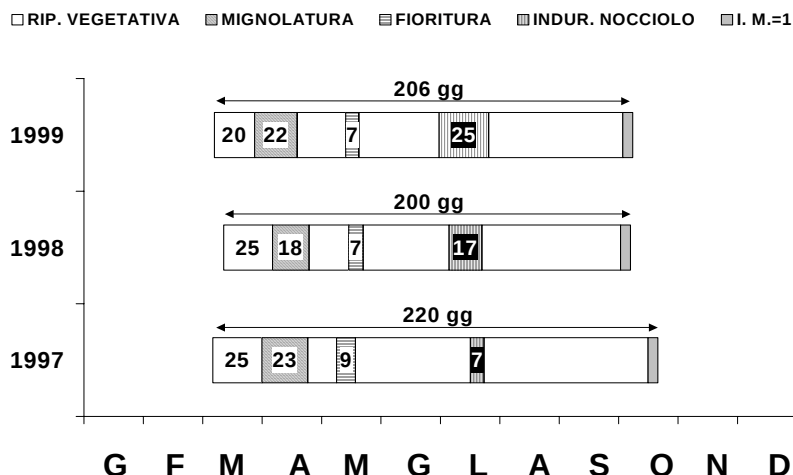


Figura 1 - Fenologia dell'olivo in Italia: dati medi ottenuti nel triennio 97-99 su 17 varietà coltivate in sette aree.

L'ampiezza di tale intervallo è risultata variabile dai 200 giorni del 1998 ai 220 giorni del 1997. Quest'ultimo dato è conseguente ad una maggior durata del periodo compreso tra la fioritura e l'inizio dell'invaiaitura. Le singole fenofasi hanno generalmente manifestato una variabilità della loro epoca di comparsa e della loro durata alquanto limitata tra gli anni. La durata della fase di indurimento del nocciolo ha, viceversa, evidenziato forti differenze nel triennio.

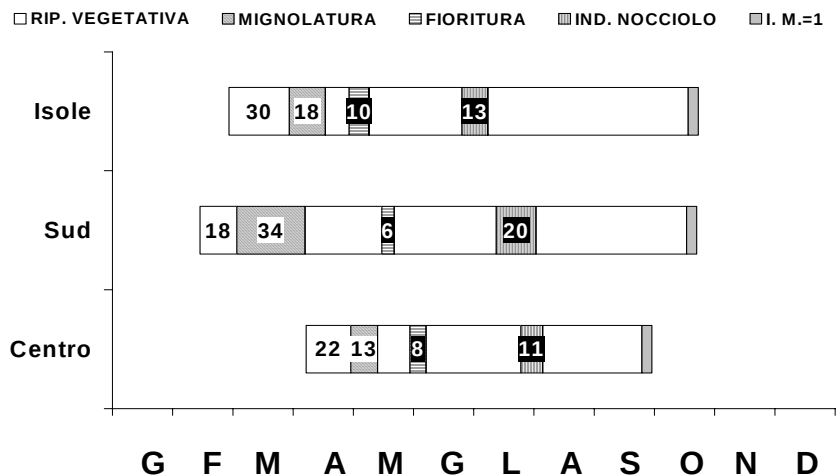


Figura 2 - Fenologia dell'olivo in macroaree italiane: dati medi ottenuti nel triennio 97-99 su 17 varietà.

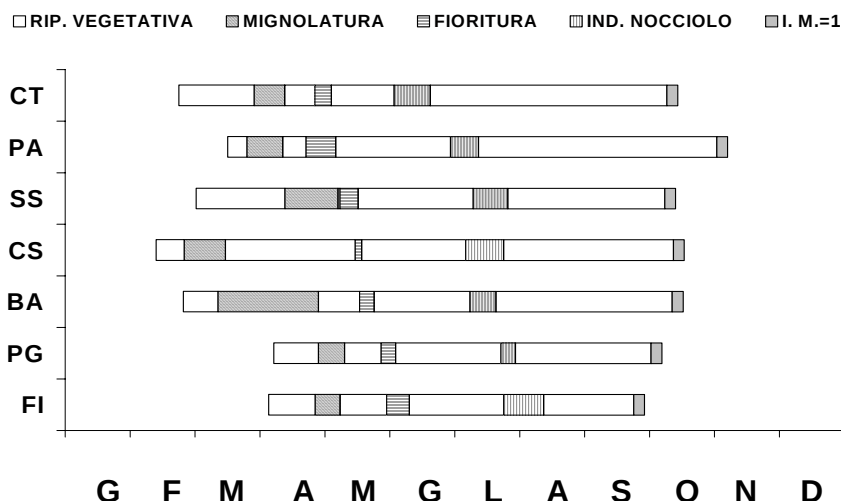


Figura 3 - Fenologia della varietà Carolea.

Le osservazioni sulla fenologia dell'olivo, distinta per macroaree geografiche, hanno evidenziato nell'Italia centrale (Firenze e Perugia) una riduzione marcata del periodo compreso tra la ripresa vegetativa e l'inizio della invaiatura. Questo intervallo è durato mediamente 167 giorni nel Centro Italia, 229 giorni nelle Isole e 242 nel Sud. Questa brevità del ciclo fenologico nel Centro Italia è stata determinata da un ritardo nel germogliamento e da un anticipo dell'avvio della colorazione delle drupe (Fig. 2). La ripresa vegetativa è, infatti, avvenuta prima nel Sud (Cosenza e Bari), quindi nell'Italia insulare (Palermo, Catania e Sassari) e infine nell'Italia Centrale. Un simile andamento è stato osservato per la fase della mignolatura. Le fasi di fioritura e di indurimento del nocciolo hanno mostrato un avvio precoce nelle Isole, e successivo nel Meridione e nel Centro Italia. Viceversa, l'inizio dell'invaiatura è stato rilevato già dalla fine di settembre negli oliveti del Centro Italia, e quindi, nella seconda decade di ottobre, al Sud e nelle Isole.

La figura 3, relativa alla fenologia della varietà Carolea nei 7 oliveti sperimentali, conferma la tendenza di una riduzione del periodo germogliamento-invaiatura nel passaggio dall'Italia centrale al Meridione, alle Isole e, soprattutto, alla Sicilia. Le differenze osservate sono, infatti, risultate minime tra Firenze e Perugia (rispettivamente 169 e 174 giorni), mentre a Bari, Palermo e Catania la varietà Carolea ha richiesto per lo svolgimento di tale intervallo un arco temporale di 226 giorni. L'area in cui questa cultivar ha mostrato la più precoce ripresa vegetativa ed una maggiore durata dell'intervallo compreso tra questa fase e l'invaiatura è stata quella di Cosenza, dove questa varietà risulta diffusa da secoli. Nel Nord Sardegna il ciclo fenologico della Carolea è risultato intermedio tra quello descritto per il Centro e ed il Sud Italia.

Il comportamento fenologico di una varietà di origine non italiana, quale la Picholine, mostrato nella figura 4, risulta nel Centro Italia analogo a quello descritto per la varietà Carolea, con un numero totale di giorni compresi nel periodo tra il germogliamento e l'invaiatura risultati pari, rispettivamente, a 172 a Firenze e 182 a Perugia. Negli

ambienti più caldi è risultata assai più marcata la tendenza all’allungamento del ciclo, che è risultato variabile tra i 221 giorni di Sassari e i 285 di Catania.

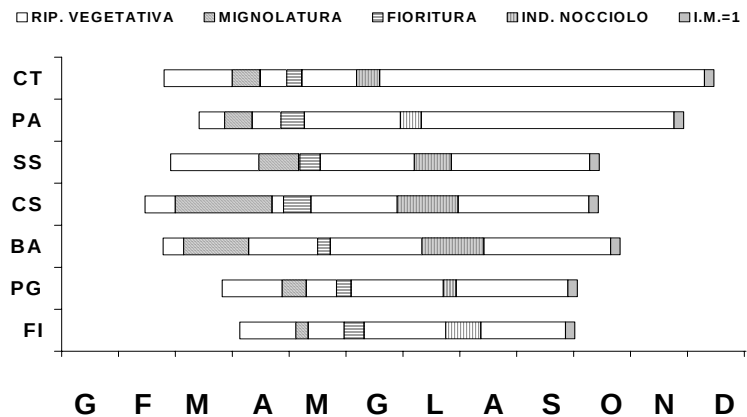


Figura 4 - Fenologia della varietà Picholine.

Il diverso grado di adattamento all’ambiente da parte dei genotipi è stato confermato dai numerosi confronti varietali effettuati nelle distinte aree. A titolo esemplificativo si riportano i dati ottenuti in Sardegna su cinque varietà, di cui una, la Bosana, di antica introduzione e assai diffusa nella provincia di Sassari. Questa varietà è risultata tra quelle a ciclo più precoce, similmente alla Carolea ed alla Picholine. Al contrario, l’altra varietà di origine sarda (cv. Manna) diffusa nel sud dell’Isola, ha richiesto per l’intervallo germogliamento - invaiatura un numero maggiore di giorni (218). Una maggior lunghezza di tale periodo, pari a 231 giorni, è stata osservata nella varietà Coratina, che ha mostrato l’avvio del germogliamento già dalla prima decade di febbraio (Fig. 5).

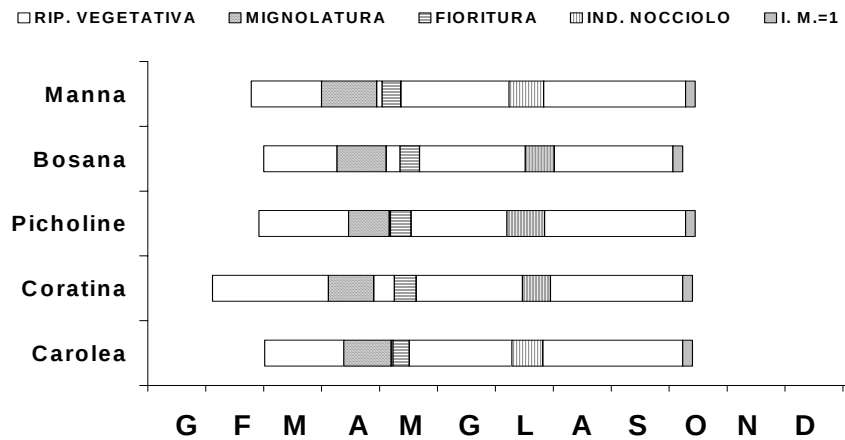


Figura 5 - Fenologia dell’olivo nell’area di Sassari.

In
tutte le

aree a confronto le fasi fenologiche sono state studiate con diversi livelli di approfondimento e, per quanto riguarda la ripresa vegetativa, è stato distinto il germogliamento nelle gemme laterali ed apicali. La ripresa vegetativa è avvenuta, generalmente, prima sulle gemme apicali e successivamente in quelle laterali.

Confrontando due ambienti distinti del Paese, il germogliamento dalle gemme apicali è stato osservato nel 1998 con quasi due mesi di differenza tra gli oliveti di Perugia e di Sassari (Tabelle 2 e 3). Similmente, anche la ripresa vegetativa dalle gemme laterali ha manifestato precocità nelle aree più calde, ma questi diversi risultati tra gli ambienti a confronto sono apparsi fortemente dipendenti dal genotipo. Così, mentre nella cv. Carolea le differenze tra le due aree nell'epoca di tale germogliamento sono state pari a 23 giorni, la cv. Coratina ha avviato questa fase a fine gennaio in Sardegna e ai primi di aprile in Umbria.

Tabella 2. Ripresa vegetativa delle gemme apicali e laterali. Perugia, 1998.

Ripresa vegetativa	Carolea	Coratina	Picholine	Frantoio	Moraiolo
Gemme apicali	9 marzo	16 marzo	9 marzo	11 marzo	25 marzo
Gemme laterali	30 marzo	2 aprile	30 marzo	2 aprile	13 aprile
Differenza (gg)	21	17	21	22	19

Tabella 3. Ripresa vegetativa delle gemme apicali e laterali. Sassari, 1998.

Ripresa vegetativa	Carolea	Coratina	Picholine	Bosana	Manna
Gemme apicali		Fase conclusa ai primi di gennaio			
Gemme laterali	7 marzo	28 gennaio	1 marzo	1 marzo	28 febbraio

Conclusioni

Questa indagine ha consentito una prima descrizione comparativa della fenologia dell'olivo in Italia. I dati ottenuti mostrano una forte influenza ambientale nella manifestazione delle fenofasi, con una durata del periodo compreso tra la ripresa vegetativa e l'inizio dell'invasatura che tende a contrarsi nelle aree con temperature medie inferiori. Similmente, le fasi della fioritura e dell'indurimento del nocciolo tendono a manifestarsi anticipatamente nelle zone più calde, mentre, viceversa, il viraggio di colore delle drupe, si osserva prima negli ambienti più freddi. I risultati ottenuti nel corso dell'indagine hanno fornito, quindi, indicazioni sulla fenologia di 17 genotipi valide ai fini di una più razionale scelta varietale. Tali conoscenze dei processi evolutivi e degli stadi di sviluppo che nell'olivo ciclicamente determinano le dinamiche del ciclo di fruttificazione e di accrescimento della vegetazione, hanno anche contribuito alle scelte gestionali finalizzate all'ottenimento di una produzione economicamente valida (Chessa et al., 2000; Nieddu et al., 2000; Briccoli Bati et al., 2002; Ferrara et al., 2002; Fiorino et al. 2002).

Queste conoscenze fenologiche, integrate con quelle relative alle altre variabili dell'ecosistema oliveto rappresentano, pertanto, uno strumento utile al raggiungimento di molteplici finalità che, a livello aziendale s'identificano nelle scelte riguardanti le modalità d'attuazione delle tecniche di produzione e protezione delle colture. Infine, le informazioni fenologiche acquisite, relazionate ai dati meteorologici immessi nel database realizzato dall'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria, rappresentano una base conoscitiva indispensabile per gli ulteriori studi sulle relazioni tra genotipo ed ambiente e per la definizione di modelli matematici utili alla coltura.

Bibliografia

Bernati E., Botarelli L., Nieddu G., Pasquini A., Sirca C., Tomasi D., 1999. Scale di riconoscimento fenologico. In: Collana di Agrofenologia, Volume 1 "Aspetti generali delle osservazioni agrofenologiche". S.E.A., Roma, : 19-47.

Briccoli Bati C., Filippucci B., Monardo D., 2002. Bioclimatology of olive: effects of climatic conditions on flower biology. *Acta Horticulturae* 586: 493-496.

Chessa I., Sirca C., Nieddu G., 2000. Variabilità nella fenologia del germoplasma di olivo della Sardegna. Atti V Convegno Nazionale Sulla Biodiversità. Caserta. 156-161.

Ferrara E., Papa G., Lamparelli F., 2002. Evaluation of olive germplasm in Apulia region: biological and technological characteristics. *Acta Horticulturae* 586: 159-162.

Fiorino P., Pasquali G., Mancuso S., 2002. Le fasi fenologiche dell'olivo (*Olea europea* L.) nella Toscana interna: dati fenologici e modelli di crescita. Convegno Internazionale olivicoltura Spoleto: 356-360.

Nieddu G., Sirca C., Chessa I., 2000 - Variabilità fenotipica del germoplasma di olivo della Sardegna. Atti IV Convegno Nazionale Biodiversità Alghero: (II), 239-242.

COMPORTAMENTO FENOLOGICO IN VITIS VINIFERA L.

Diego Tomasi D¹, Massimo Gardiman¹, Mirella Giust¹, Lorenzo Corino², Alvaro Standardi³, Maurizio Micheli³, Generoso De Angelis⁴, Giovanni Nieddu⁵, Rosario Di Lorenzo⁶

1 - M.i.P.A.F. - Istituto Sperimentale per la Viticoltura – Conegliano

2 - M.i.P.A.F. - Istituto Sperimentale per la Viticoltura – Sezione di Asti

3 - Università di Perugia - Istituto Coltivazioni Arboree

4 - Regione Lazio

5 - Università di Sassari - Dipartimento di Economia e Sistemi Arborei

6 - Università di Palermo - Istituto Coltivazioni Arboree

Introduzione

La successione fenologica nella vite si evidenzia con il germogliamento, la fioritura, l'allegagione, l'invaiaitura, la maturazione e la caduta delle foglie; fenomeni il cui manifestarsi è fortemente legato al patrimonio genetico varietale e alle condizioni climatiche del sito di coltura.

Lo studio delle relazioni tra clima e fenologia è argomento affrontato già agli inizi del secolo da Bonnet e Vidal e intorno agli anni '40 dal Puppo a Conegliano, ma se da un lato vi è la chiara evidenza dei legami tra temperatura dell'aria e del terreno, piovosità, radiazione solare ed evento fenologico, dall'altro vi è la difficile comprensione dei meccanismi fisiologici che regolano il fenomeno.

Attualmente gli studi fenologici sono ancora di grande attualità oltre che per l'indubbio interesse scientifico anche per la possibilità di mettere a punto modelli matematici in grado di prevedere il verificarsi fenologico sulla base dell'andamento stagionale. Questi modelli potrebbero poi trovare pratica applicazione nel valutare l'introduzione di nuove varietà in areali non ancora investiti alla coltura, in studi di zonazione, in piani di miglioramento dell'organizzazione aziendale.

Molti sono ancora i contributi scientifici che gli studi fenologici devono dare per una sempre più approfondita interpretazione delle relazioni varietà-clima-fenologia, e per questo sempre più ampie e coordinate devono essere le ricerche; il Progetto Finalizzato "Phenagri" è stato pensato e impostato proprio su queste linee guida.

Materiali e metodi

Il gruppo di lavoro per lo studio fenologico del genere "Vitis" è stato organizzato, nell'ambito del Progetto Finalizzato Phenagri, in 4 unità operative (Istituto Sperimentale per la Viticoltura, Università di Perugia, Palermo, Sassari) cui hanno fatto capo 6 punti di osservazione dislocati sul territorio nazionale.

Il sub-progetto è entrato nella sua fase operativa nel mese di Gennaio 1997, ed in tale data è iniziato il rilevamento dei dati meteorologici indispensabili per verificare i legami tra clima e risveglio vegetativo e successive fasi di sviluppo. In ogni vigneto, o nelle immediate vicinanze, era infatti presente una stazione meteo per il rilevamento di temperatura, pioggia, umidità dell'aria e radiazione solare.

Per ogni vigneto è stata predisposta una scheda riportante tutte le informazioni riguardanti le tecniche di conduzione, lo stato del vigneto, il sito e il tipo di terreno, al fine di correggere l'evento fenologico da eventuali interferenze non dovute al clima.

Per il rilevamento delle date fenologiche è stato seguito un protocollo comune (Botarelli L. et al., 1999) su cui riportare l'inizio, il 50, il 100% dell'evento; ciò è stato fatto per il germogliamento, la fioritura e l'invaiaura. Le osservazioni sono state effettuate su almeno 5 ceppi medi per varietà. Dal momento dell'invaiaura si è registrata la curva di maturazione del grappolo con un campionamento settimanale e la relativa determinazione del contenuto in zuccheri, acidità totale, pH, acido malico e tartarico. Al momento della vendemmia sono state inoltre determinate la produzione per ceppo ed il peso medio del grappolo.

Tutti i dati raccolti sono confluiti nella banca dati del Progetto.

Delle 16 varietà previste 8 sono state seguite in tutte le stazioni per tutto il triennio (tab. 1), e solo di queste si riferirà in questo contributo.

I dati relativi alla stazione di Palermo, riguardano la sola annata 1997 e pur non rivestendo grande significatività vengono comunque riportati nelle tabelle a solo scopo orientativo.

Risultati

L'espressione fenologica risente di un evidente effetto dovuto al genotipo che viene influenzato in diversa misura dall'ambiente (località-annata). La fig. 1 riporta, come media degli 8 vitigni comuni, le epoche fenologiche e la loro durata nelle diverse stazioni: l'effetto località è più che mai evidente, ed infatti un confronto tra le date di germogliamento nei diversi siti, evidenzia la maggior precocità delle stazioni di Sassari, Asti e Latina rispetto a Perugia e Conegliano (tab. 2). E' da rimarcare che le condizioni termiche delle tre annate sono state piuttosto particolari ad Asti, con temperature primaverili alquanto elevate che hanno senza dubbio influenzato in maniera evidente il risveglio vegetativo e favorito una certa precocità di germogliamento in tutte le varietà presenti in questa stazione.

Per quanto riguarda i singoli vitigni lo Chardonnay è risultato, in tutte le stazioni, la varietà più precoce. Come media delle tre annate le prime piante hanno iniziato a germogliare a 75 giorni giuliani a Sassari e a 96 a Conegliano, mentre hanno completato questa fase fenologica (stadio D del Baggioolini, 08 della scala BBCH) a 85 gg a Sassari e 102 a Conegliano. Viceversa il Cabernet sauvignon è stato sempre il più tardivo e le prime aperture delle gemme sono state osservate a 94 gg a Sassari e 110 a Conegliano, mentre il germogliamento è stato completato a 103 gg a Sassari e 117 a Perugia.

La fioritura (stadio I del Baggioolini, 65 della scala BBCH) si è manifestata per prima nella stazione di Sassari (144 gg) ed in seguito a Latina, Asti e Conegliano, Perugia (rispettivamente 152, 154, 159 gg) (tab. 2).

Nelle tre annate e nelle varie stazioni in media i vitigni a fiorire per primi sono stati il Pinot b. e lo Chardonnay (148 gg), mentre i più tardivi sono risultati il Sauvignon e il Cabernet sauvignon (156 gg). L'intervallo assoluto tra la prima e l'ultima fioritura (Pinot b. a Sassari e Sauvignon a Perugia) è stato di 24 gg.

La data di invaiaura coincide con l'inizio del fenomeni della maturazione, che sono facilmente individuabili nei vitigni a bacca rossa, nei quali l'acino acquista colore,

mentre sono più difficilmente riconoscibili nelle varietà a bacca bianca, dove l'indizio più sicuro è il rammollimento dei tessuti.

Per un giudizio più obiettivo della fase in cui inizia l'accumulo zuccherino, il confronto basato sul contenuto zuccherino (°Brix) raggiunto ad una data comune, diventa più attendibile.

Le varietà che per prime hanno raggiunto la fase di invaiatura (stadio M del Baggiolini, 81 della scala BBCH) sono state Chardonnay, Pinot bianco e Sauvignon (213, 218, 218 gg), mentre Sangiovese, Cabernet sauvignon e Cabernet franc hanno evidenziato questo fenomeno alla seconda metà di agosto (rispettivamente 224, 226, 227 gg). Considerando tutte le stazioni e il complesso delle varietà, i giorni intercorsi tra l'invaiatura più precoce a quella più tardiva sono stati circa 30.

Le località ad invaiatura più anticipata sono state Sassari e Latina seguite da Conegliano ed Asti; Perugia è stata invece in media la più tardiva. Il momento in cui l'accumulo zuccherino negli acini ha raggiunto i 18 °Brix è stato mediamente più precoce a Sassari (227 gg) e, progredendo all'aumentare della latitudine, è avvenuto dopo 250 gg a Conegliano (tab. 2).

Oltre che dal momento in cui un evento fenologico si compie, un'altra informazione viene dal numero di giorni intercorsi tra le diverse fasi. Ciò è importante in quanto non sempre una certa data fenologica si manifesta con lo stesso anticipo o ritardo di quella precedente.

Così ad esempio nelle diverse stazioni, i vitigni che sono germogliati più tardi (Cabernet sauvignon, Cabernet franc), alla successiva fioritura hanno evidenziando un intervallo germogliamento-fioritura più breve rispetto alle altre varietà.

Nelle varie località i giorni trascorsi tra germogliamento e fioritura sono variati da 48 a Conegliano fino a 57 ad Asti, mentre quelli da fioritura ad invaiatura sono oscillati in misura minore variando in media da un minimo di 68 a Conegliano e Latina fino ad un massimo di 73 a Sassari (tab. 2).

Per quanto riguarda le varietà e prendendo come esempio Cabernet sauvignon e Riesling renano, l'intervallo germogliamento-fioritura è variato da 42 a 50 gg per la varietà rossa e da 48 a 59 gg per quella bianca. I giorni dalla fioritura all'invaiatura sono invece oscillati tra 67 e 73 per il Cabernet, e tra 65 e 72 per il Riesling, periodo risultato quindi con minor oscillazioni rispetto a quello del germogliamento-fioritura.

Studi di ereditabilità hanno infatti evidenziato che l'intervallo fioritura-invaiatura è un solido carattere genetico e quindi con bassa sensibilità ambientale; ciò sta a significare che a una data epoca di fioritura, si può prevedere con buona attendibilità la data di invaiatura. Questo si può notare anche dall'analisi delle correlazioni esistenti tra le varie fasi fenologiche (tab. 3) in cui l'epoca di fioritura è risultata maggiormente correlata all'invaiatura di quella del germogliamento.

L'effetto che hanno i livelli termici, ed in particolare la temperatura massima, sull'avvio e sul completamento delle fasi fenologiche è evidenziato dalle correlazioni esistenti (tab. 4): una elevata temperatura massima durante il mese di marzo favorisce un anticipo di germogliamento, ma per quanto più sopra riportato quest'anticipo potrebbe poi sfumare con la fioritura e l'invaiatura.

Da uno studio precedente (Calò et al., 1994), era emersa la possibilità di legare le temperature massime alla lunghezza dell'intervallo germogliamento-fioritura.

L'attendibilità di tale proposta è stata verificata utilizzando i dati provenienti dalle diverse stazioni: nella tabella 5 sono riportate le differenze tra la durata dell'intervallo germogliamento-fioritura osservato e quello calcolato secondo gli algoritmi per le varietà Riesling renano e Chardonnay, relative ad alcune località ed annate. I metodi di calcolo hanno dimostrato in generale una buona accuratezza nella stima della durata di questo intervallo.

Come ultima considerazione, si riporta che, dal confronto dei principali dati fenologici registrati nel triennio 1997-1999 con quelli del Progetto Finalizzato Miglioramento Qualitativo della Viticoltura relativi al triennio 1987-1990 (Calò et al., 1993), si può evidenziare un leggero anticipo delle fasi, particolarmente evidente nelle località settentrionali (tab. 6). Questo può essere interpretato come una conseguenza del cambiamento climatico in atto nel decennio.

Tab. 1 - Elenco delle varietà in osservazione nelle stazioni per l'intero triennio.

	Asti	Conegliano	Perugia	Latina	Sassari	Palermo
Barbera	+	+	+	-	+	-
Cabernet franc (*)	+	+	+	+	+	-
Cabernet sauvignon (*)	+	+	+	+	+	+
Cannonau	-	+	-	-	+	+
Chardonnay (*)	+	+	+	+	+	+
Garganega	-	+	+	+	+	-
Malvasia di Candia	+	+	+	-	+	+
Merlot (*)	+	+	+	+	+	+
Moscato bianco	+	+	+	-	+	-
Pinot bianco (*)	+	+	+	+	+	+
Riesling renano (*)	+	+	+	+	+	-
Sangiovese (*)	+	+	+	+	+	+
Sauvignon (*)	+	+	+	+	+	+
Trebbiano toscano	+	+	+	+	+	+
Vermentino	+	+	+	+	+	-
Vernacia di S. Gimignano	-	+	-	-	+	-

(*) Presenti in tutte le località.

Tab. 2 – Date fenologiche (giorni giuliani) e durata degli intervalli (giorni).

Media annate 1997-1999 e delle 8 varietà comuni.

Stazione	germogliamento	fioritura	invaiaitura	18°Brix	germ-fior	fior-inv
Asti	97	154	224	240	57	70
Conegliano	106	154	222	250	48	68
Perugia	107	159	228	237	52	69
Latina	100	152	220	236	52	68
Sassari	95	144	217	227	49	73
Palermo (*)	88	146	203	214	58	57

(*) Solo annata 1997

Tab. 3 - Coefficienti di correlazione significativi per $p < 0.05$ tra le epoche delle varie fasi fenologiche (tutte le varietà, tutte le stazioni, 1997-1999).

	Fioritura	Invaiaura	gg per 18°Brix	gg per 20° Brix	Raccolta
Germogliamento	0.57	0.50	-	-	-
Fioritura		0.71	0.42	0.40	0.46
Invaiaura			0.61	0.74	0.65
gg per 18°Brix				0.94	0.61
gg per 20°Brix					0.74

Tab. 4 - Coefficienti di correlazione significativi per $p < 0.05$ tra le epoche delle varie fasi fenologiche e temperature massime tra marzo e giugno (tutte le varietà, tutte le stazioni, 1997-1999).

	T Max marzo	T Max aprile	T Max maggio	T Max giugno
GER inizio	- 0.68			
GER completo	- 0.60	- 0.36		
FIO inizio	- 0.57	- 0.36	- 0.38	
FIO completa		- 0.38		
INV inizio	- 0.51			
INV completa			- 0.46	- 0.41
gg per 18°Brix	-0.60	- 0.50		- 0.43
gg per 20°Brix	-0.52	- 0.39		

Tab. 5 – Alcuni esempi di durata dell'intervallo germogliamento-fioritura (giorni) osservato e calcolato secondo Calò A. et al., 1994.

	Cabernet sauvignon			Riesling renano		
	osservato	calcolato	differenza	osservato	calcolato	differenza
Asti 1997	51	53	+ 2	58	56	- 2
Asti 1998	49	50	+ 1	61	57	- 4
Conegliano 1997	43	44	+ 1	55	56	+ 1
Conegliano 1998	44	48	+ 4	43	47	+ 4
Conegliano 1999	38	43	+ 5	47	54	+ 7
Perugia 1997	38	42	+4	56	62	+ 6
Latina 1999	49	51	+ 2	40	35	- 5
Sassari 1997	50	51	+ 1	61	56	- 5
Palermo 1997	38	37	- 1			

Tab. 6 - Confronto dei dati PHENAGRI (1997-1999) con i dati Progetto Finalizzato Miglioramento Qualitativo della Viticoltura (1987-1990).

	Germogliamento				Fioritura				Invaiatura				Germ. – Fio.				Fio. - Invaiatura			
	Nord Ovest	Nord Est	Centro	Sardegna	Nord Ovest	Nord Est	Centro	Sardegna	Nord Ovest	Nord Est	Centro	Sardegna	Nord Ovest	Nord Est	Centro	Sardegna	Nord Ovest	Nord Est	Centro	Sardegna
1987 1990	102	109	108	96	160	162	159	148	226	232	231	220	58	53	51	52	66	70	72	72
1997 1999	97	106	104	95	154	154	155	144	224	222	224	217	57	48	51	49	70	68	69	73
Diff.	-5	-3	-4	-1	-6	-8	-4	-4	-2	-10	-7	-3	-1	-5	0	-3	+4	-2	-3	+1

Bibliografia

Botarelli L., Brunetti A., Pasquini A., Zinoni F. (1999). Aspetti generali delle osservazioni agrofologiche. Collana di Agrofologia, vol. 1. Progetto Finalizzato Phenagri. MiPAF. Roma. pp. 19-47.

Calò A., Costacurta A., Tomasi D., Biscaro S., (1993). La fenologia della vite in rapporto alle condizioni ambientali. Atti Convegno “Studio degli Ambienti”, Asti 14-15 Luglio.

Calò A., Tomasi D., Costacurta A., Biscaro S., Aldigheri R. (1994). The effect of temperature thresholds on grapevine (*Vitis* sp.) bloom: an interpretative model. Riv. Vitic. Enol., 1: 3-14.

FENOLOGIA E POLLINOSI

Franco Zinoni, Andrea Ranzi, Fabiana Scotto, Roberta Renati

ARPA Emilia-Romagna, Servizio Meteorologico Regionale - Area Agrometeorologia e Territorio

Premessa

La ricerca realizzata nell'ambito del progetto PHENAGRI è stata finalizzata allo sviluppo di modelli previsionali della concentrazione in aria dei pollini delle principali famiglie allergeniche, causa di conseguenze sanitarie nell'area padana.

La dispersione in aria di polline è condizionata dallo stadio fenologico delle piante (fioritura) e dalle condizioni meteorologiche: la precipitazione abbate la concentrazione pollinica in aria mentre il vento facilita la dispersione di aerosol a grandi distanze. I fattori locali sembrano comunque assumere un aspetto predominante sulla concentrazione pollinica prevalente di un'area e quindi la messa a punto di modelli fenologici della fioritura di famiglie allergeniche costituisce un valido ausilio alla previsione del rischio.

Lo studio è stato condotto utilizzando i dati rilevati in Emilia Romagna con campionatori volumetrici nel periodo 1987-2001, analizzando la distribuzione statistica dei pollini (calendari pollinici) e mediante la determinazione di relazioni matematico-statistiche tra la presenza dei pollini allergenici e l'andamento climatico.

Materiali e metodi

La fenologia delle specie coltivate e spontanee viene affrontata, da anni da un punto di vista qualitativo e quantitativo con modelli più o meno complessi che determinano il tasso di sviluppo delle specie in relazione alle condizioni ambientali.

Particolarmente utilizzato è il metodo dei gradi giorno, ampiamente descritto da Robertson (1983), che consente per le varie specie di determinare la soglia di sviluppo e la sommatoria di calore necessaria per il completamento delle diverse fasi fenologiche.

Questo metodo, basandosi su analisi statistiche, fornisce prestazioni adeguate alle esigenze solo se è disponibile una notevole quantità di osservazioni, sia meteorologiche che fenologiche; la situazione migliore è costituita dalla disponibilità di serie storiche prolungate negli anni e dalla disponibilità di dati raccolti in diverse situazioni ambientali.

Per il seguente studio sono stati utilizzati 15 anni di dati pollinici rilevati dalla rete di monitoraggio di ARPA Emilia Romagna, a partire dal 1987. La rete è costituita da 11 campionatori ubicati prevalentemente in ambito urbano (mod. Lanzoni VPPS 2000) nei seguenti siti: Piacenza, Parma, Reggio Emilia, Modena, Vignola, Bologna, Ferrara, Ravenna, Forlì, Cesena e Rimini. Per quanto riguarda i dati agrometeorologici sono stati utilizzati quelli derivati dalla rete meteorologica regionale e quelli interpolati nei punti di collocazione dei campionatori pollinici. I dati agrometeorologici considerati per la previsione sono: la precipitazione cumulata, i giorni piovosi, la somma gradi giorno a diverse soglie (0, 2.5, 5, 7.5, 10 °C), la radiazione globale cumulata, il bilancio idrico climatico, il surplus idrico superiore a 50 mm, il surplus idrico superiore a 100 mm, il

deficit idrico superiore a 50 mm e il deficit idrico superiore a 100 mm.

L'analisi statistica è stata applicata alle date di superamento delle soglie di 1, 5, 10, 30, 100 pollini/m³, considerando la somma gradi giorno con la soglia a minor CV e la Stepwise con le restanti variabili per l'analisi dei residui. L'analisi dei dati è stata eseguita utilizzando il software "STATISTICA" della StatSoft. L'evoluzione giornaliera dei pollini a ciclo iniziato viene invece prevista utilizzando due diversi criteri:

l'uso della rete neurale, messa a punto in questa fase per la stima dei pollini di maggior interesse nell'area considerata, appartenenti alla famiglia delle graminacee;

la costruzione dei calendari pollinici, specifici per località e famiglia.

La previsione e la comunicazione del rischio si basa inoltre sulla messa a punto di un sistema di organizzazione dei dati rilevati presso i centri di monitoraggio regionale e la loro analisi e divulgazione. Il sistema è stato realizzato, in forma sperimentale, utilizzando il software Excel 2000 della Microsoft, e le funzioni macro di Visual Basic per la realizzazione di maschere per l'inserimento e l'elaborazione dei dati.

Risultati

La variabilità dei dati pollinici

I siti di monitoraggio della rete ARPA sono collocati prevalentemente in aree ad elevata urbanizzazione, che vanno da ambienti a clima prevalentemente continentale (Piacenza e Parma) alle zone della costa romagnola (Rimini, Ravenna), dalla pianura centrale (Ferrara) alla pedecollina (Vignola). Questa diversa collocazione ambientale comporta differenze di comportamento allergologico, con concentrazioni che si distinguono in modo significativo sia per periodo di comparsa, sia per concentrazione massima delle diverse famiglie polliniche.

Per evidenziare il diverso comportamento dei pollini di Graminacee rilevati nel periodo di funzionamento della rete, è stata utilizzata la Cluster Analysis applicata alle date di superamento della soglia media (>10 pollini/metrocubo di aria) e della soglia alta (>30 pollini/metrocubo di aria) nei diversi siti di rilevamento regionale. I risultati hanno dimostrato che, in ambito regionale, si distinguono aree relativamente omogenee: per esempio, per la soglia media si individuano due gruppi: Gruppo 1 (Piacenza, Bologna, Ravenna, Parma, Ferrara, Forlì) e Gruppo 2 (Cesena, Rimini, Vignola, Modena, Reggio Emilia) che non rispettano la distribuzione geografica dei siti e sono parzialmente diverse in relazione alla soglia considerata. In tale situazione un modello previsionale basato sull'impiego di dati agrometeorologici può sortire risultati efficaci solo se i valori delle variabili meteorologiche rispecchiano la differenza osservata in merito alla rilevazione pollinica, oppure se la differenza tra i vari siti può essere esplicitata da un opportuno coefficiente empirico.

I calendari pollinici

Per realizzare i calendari provinciali e regionali sono state analizzate le concentrazioni polliniche giornaliere per 15 anni di dati relativamente a 19 famiglie botaniche, ovvero: Betulacee, Composite, Corilacee, Fagacee, Graminacee, Oleacee, Plantaginacee, Urticacee, Cupressacee/Taxacee, Chenopodiacee/Amarantacee, Polygonacee, Euphorbiacee, Myrtacee, Ulmacee, Platanacee, Aceracee, Pinacee, Salicacee,

Ciperacee.

Per ogni famiglia sono stati realizzati i calendari pollinici per singolo sito di monitoraggio e il calendario regionale. In un secondo momento verranno realizzati per ogni sito/famiglia i calendari annuali.

La previsione basata su modelli statistici

La data di superamento di soglie prefissate, derivate in parte delle soglie di transizione tra le diverse classi quantitative di pollini aerodispersi adottata dall'Associazione Italiana di Aerobiologia (AIA) è stata oggetto di previsione utilizzando modelli statistici regressivi basati sull'uso della tecnica Stepwise.

Le date di superamento previste dai modelli regressivi permettono mediamente di dimezzare l'errore della previsione rispetto all'impiego del semplice calendario pollinico.

Un esempio di regressione, calcolata per la famiglia di Graminacee, soglia di superamento di 5 e di 30 pollini/metrocubo di aria (media mobile di ordine 7) utilizzando come variabili indipendenti i predittori sopra descritti, ha permesso di evidenziare una correlazione significativa tra la concentrazione pollinica e le seguenti variabili: radiazione solare, sommatoria termica (soglia zero gradi), longitudine e giorni piovosi, con un R^2 rispettivamente di 0,596 e 0,668.

Il modello regressivo può essere impiegato allo stesso modo dei modelli agrometeorologici utilizzati per la previsione delle fasi fenologiche, all'interno del programma operativo DIC.

L'uso delle reti neurali per la previsione giornaliera

Il modello di rete neurale utilizzato è di tipo Multilayer Perceptron. Le reti neurali possono essere considerate come tecniche di regressione parametriche non lineari. La non linearità è dovuta alla funzione di attivazione di ogni cellula della rete, solitamente di tipo sigmoideale. La tipologia di tale struttura distribuisce le informazioni fra le varie cellule, amplificando o riducendo ogni singolo contributo per mezzo della matrice dei pesi. Questa distribuzione delle informazioni conferisce a queste procedure una tolleranza migliore all'errore o alla mancanza di dati di input rispetto ad altre tecniche di regressione. Queste caratteristiche rendono le reti neurali particolarmente adatte nelle situazioni in cui ci sono relazioni non lineari fra le variabili e quando la dinamica del fenomeno oggetto di studio non è così chiara. Per contro questo sistema di tipo "blackbox" può presentare problemi nell'interpretazione dei risultati forniti dalla rete.

Un altro svantaggio possibile è che le prestazioni potrebbero non essere affidabili in situazioni molto differenti da quelle contenute nell'insieme di dati di addestramento.

Abbiamo inserito, come dati di input, dati agrometeorologici, con una componente autoregressiva di ampiezza temporale pari a sette giorni. La procedura di addestramento della rete neurale è stata implementata sulla storia pollinica di una stazione di riferimento (Bologna) e testata su 1 anno pollinico non inserito nel set di allenamento, ma proveniente dallo stesso sito. Ulteriori prove sono state effettuate per anni sconosciuti sia nello stesso sito che in altri siti vicini (Modena, Reggio Emilia), ottenendo in entrambi i casi risultati analogamente soddisfacenti.

Possiamo sottolineare tre fatti:

il nostro interesse principale doveva simulare correttamente l'andamento dei pollini all'inizio della stagione pollinica. Nelle situazioni analizzate questo obiettivo è stato raggiunto;

la rete sottostima spesso il valore massimo. Ciò è un problema non ancora risolto. Un motivo possibile può risiedere nell'assenza di variabili importanti per la previsione (vento, umidità relativa). Tuttavia, per una comunicazione preventiva di efficacia al soggetto allergico, potrebbe essere non così importante predire esattamente il livello quantitativo dei picchi;

le previsioni non dipendono da fattori legati strettamente al sito.

Per esaminare se il modello fosse adatto a uno dei principali scopi prefissati, cioè la previsione di superamento di soglie prefissate, sono state scelte 4 soglie arbitrarie (10, 20, 50 e 100) ed è stato calcolato l'errore, come giorni di ritardo o anticipo. I risultati indicano che gli errori medi non eccedono mai 2 giorni, con un valore accettabile di 4.

Conclusioni

Questa ricerca determina un valore aggiunto dei dati agrometeorologici in un settore diverso dall'applicazione classica nei campi della difesa e della produzione delle colture, privilegiando l'aspetto della salute e della qualità nella vita degli addetti all'attività agricola, ma non solo.

La ricerca di relazioni tra clima e dispersione dei pollini, non presenta particolari innovazioni sotto l'aspetto scientifico, ma nel complesso consente di realizzare strumenti operativi importanti e di sviluppare un sistema di riferimento per successive iniziative.

La messa a punto di nuovi strumenti operativi, avvalendosi della notevole quantità di dati rilevati in Emilia Romagna (11 punti di monitoraggio operativi da 15 anni unitamente ad altri due centri relativamente più "giovani"), l'organizzazione dei dati secondo uno schema data base e lo studio sull'ottimizzazione della rete di monitoraggio, costituiscono un prodotto complesso, con metodologie e risultati di interesse per nuove iniziative nel campo della ricerca applicata e dei servizi.

La presente ricerca è complementare ad un progetto di miglioramento interno dei servizi forniti dall'ARPA dell'Emilia Romagna "SINA-Reti di monitoraggio" e indirizzato sia agli specialisti allergologi che alla diffusione di massa.

All'interno del presente progetto sono stati organizzati i dati pollinici rilevati in Emilia Romagna negli ultimi 15 anni e sono stati sviluppati sistemi previsionali basati sulla realizzazione di calendari pollinici, sull'impiego di modelli statistici (modelli regressivi) e sull'uso di reti neurali. I predittori, come nel caso della fenologia tradizionale, sono costituiti dalle classiche variabili agrometeorologiche. I risultati del presente progetto hanno permesso di migliorare il sistema di rilevazione – previsione – comunicazione del rischio in ambito aeroallergenico attualmente in uso in Emilia Romagna.

Bibliografia

- Robertson G.W., 1983. Weather-based mathematical models for estimating development and ripening of crops. WMOTN 180, 99 pp.
- Baum, E.B. and Haussler, D.: 1988, What size net gives valid generalization?, *Neural Computation*, 1, pp.151-60.
- Chakraborty, K., Mehrotra, K., Mohan, C.K., Ranka, S.: 1992, Forecasting the Behavior of Multivariate Time Series Using Neural Networks, *Neural Networks*, 5, 961-970
- Frenguelli, G. and Bricchi, E.: 1998, The use of the pheno-climatic model for forecasting the pollination of some arboreal taxa, *Aerobiologia*, 14,39-44.
- Hann, T.H. and Steurer, E.: 1996, Much ado about nothing? Exchange rate forecasting: Neural Networks vs. linear models using monthly and weekly data, *Neurocomputing*, 10, 323-339.
- Moseholm, L., Weeke, E., Petersen, B.N.: 1987, Forecast of pollen concentration of Poaceae (grasses) in the air by time series analysis, *Pollen and Spores*, 29, 305-322.
- Norris-Hill, J.: 1998, A method to forecast the start of the Betula, Platanus and Quercus pollen season in North London, *Aerobiologia*, 14,165-170.
- Puppi Branzi, G. and Zanotti, A.L.: 1992, Estimate and mapping of the activity of airborne pollen sources, *Aerobiologia*, 8, 69-74.
- Rumelhart, D.E., McClelland, J.L. and the PDP Research Group: 1986, *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*, Vol. 1, Cambridge: MIT Press.
- Stark, P.C., Ryan, L.M., McDonald, J.L., Burge, H.A.: 1997, Using meteorological data to predict daily ragweed levels, *Aerobiologia*, 13,177-184.
- Tiao, G.C. and Tsay, R.S.: 1989, Model specification in multivariate time series, *Journal of the Royal Statistical Society: B* 51, 157-213.
- Weigend, A.S., Huberman, B.A., Rumelhart, D.E.: 1991, Generalization by weight elimination with application to forecasting, *Advances in Neural Information Processing Systems*, 3, 875-882.

SPECIE GUIDA FENOLOGICAMENTE PREDITTIVE DEL COMPORTAMENTO DELLE COLTURE

Francesca Chiesura Lorenzoni

Università di Padova - Dipartimento di Biologia

Introduzione

Questo studio è stato condotto nell'ambito del progetto "Fenologia per l'Agricoltura" del Ministero delle Politiche Agricole (MiPAF) iniziato nel 1997, e riguarda l'individuazione di specie-guida fenologicamente predittive il comportamento delle colture.

Scopo della ricerca è stato quindi cercare e monitorare alcune entità che nello svolgimento del loro ciclo biologico potessero prevedere il comportamento di specie di interesse agrario.

La coltura a cui si è fatto riferimento è stata prevalentemente il frumento, ma nel Veneto-Friuli Venezia Giulia, si è seguito anche il mais, per la sua sempre crescente importanza nell'alimentazione del bestiame, che la fa spesso preferire dagli agricoltori, dato anche il maggior reddito che comporta.

Specie guida

Si sono scelte ed utilizzate per questo studio, come possibili specie guida, piante arbustive e/o arboree (prevalentemente spontanee ma in alcuni casi ormai naturalizzate e largamente presenti nella flora italiana) perché generalmente risultano più semplici da riconoscere per gli operatori agricoli e più facilmente reperibili lungo i fossati o le varie siepi campestri che caratterizzano la campagna veneta, o i muretti a secco che al Sud accompagnano e delimitano i coltivi e di presenza più stabile e duratura, rispetto alle erbacee che possono facilmente scomparire e/o ricomparire negli anni a seguito delle pratiche agricole e dei vari trattamenti.

Bisogna però sottolineare il fatto che in molte zone, anche della pianura padana, le siepi, già importanti nel Medioevo come confine e ostacolo invalicabile per il bestiame, vengono sistematicamente distrutte per permettere un più rapido ed ampio raggio d'azione per le macchine agricole; in alcuni casi invece esse vengono mantenute ma così drasticamente potate da non permettere, perlomeno per un certo periodo, rilevamenti fenologici. La loro importanza ecologica, sia per la produttività che per la stabilità degli ecosistemi di cui sono parte integrante (Paoletti, Lorenzoni, 1983), comincia però a ridestare un certo interesse, anche in relazione alle indicazioni della Comunità Europea per un'agricoltura più ecocompatibile, non solo in campo scientifico ma anche fra i gestori e gli operatori agricoli.

Le specie scelte come guida, le coltivazioni di riferimento, gli anni e le stazioni dove si sono effettuati i rilievi fenologici, con frequenza settimanale o decadale (in Salento), sono riportati in tabella 1.

Specie (Salento e Sicilia)	Butera (RG)	Cannole (LE)
<i>Anemone hortensis</i> L.		1998-2000
<i>Calicotome infesta</i> (Presl.) Link		1998-2000
<i>Cistus creticus</i> L. subsp. <i>eriocephalus</i>		1998-2000
<i>Cistus salvifolius</i> L.		1998-2000
<i>Diploaxis tenuifolia</i> (L.) DC.	1998-2000	1998-2000
<i>Diploaxis erucoides</i> (L.) DC.	1998-2000	1998-2000
<i>Pirus amigdaliformis</i> L.		1998-2000
<i>Prunus spinosa</i> L.		1998-2000
<i>Quercus calliprinos</i> Webb		1998-2000
<i>Ranunculus bullatus</i> L.		1998-2000
<i>Triticum durum</i> L.cvr ofanto		1997-1998
<i>Triticum durum</i> L.cvr simeto		1998-2000

Tabella 1

Specie (Veneto e Friuli Venezia Giulia)	Borso del Grappa (TV)	Caneva (TV)	Maerne (VE)	Mandria (PD)	Maserà (PD)	Monseli ce (PD)	Mo o (T
Acer campestre L. Oppio	1998- 2000	1998- 2000					
Acer negundo L. Acero americano							
Alnus glutinosa (L.) Gaertner Ontano	1998- 2000	1998- 2000	1999- 2000				19 200
Celtis australis L. Bagolaro	1998- 2000						
Cornus sanguinea L. Sanguinella	1998- 2000	1998- 2000	1999- 2000	1997- 1999	1997- 1998	1997- 1999	
Corylus avellana L. Nocciolo		1998- 2000	1999- 2000	1997- 1999		1997- 1999	19 200
Euonymus europaeus L. Berretto da prete	1998- 2000	1998- 2000			1997- 1998		19 200
Frangula alnus Miller Frangola - Alno nero							19 200
Platanus hybrida Brot. Platano		1998- 2000					
Robinia pseudacacia L. Robinia - Falsa acacia		1998- 2000		1997- 1999	1997- 1998		19 200
Sambucus nigra L. Sambuco comune	1998- 2000	1998- 2000	1999- 2000	1997- 1999	1997- 1998	1997- 1999	19 200
Ulmus minor L. Olmo		1998- 2000			1997- 1998		
Triticum aestivum L. • vr. <i>Francia</i> (Villorba) • vr. <i>Centauro</i> (Pernumia) •vr. <i>Pandas</i> (Morgano)							19 200

Juglans regia L. Noce						1997- 1999	
Zea mays L. ssp. indentata	1998- 2000	1998- 2000	1999- 2000				19 200

E' stata anche messa a punto, per lo studio delle specie erbacee e infestanti di riferimento, una scheda di monitoraggio per il rilevamento ed il controllo della loro periodicità sia all'interno della coltura, che tra le colture che si susseguono nel tempo nello stesso coltivo.

Questa scheda (Maugeri, Valenziano, Chiesura Lorenzoni) è stata presentata e discussa nel Convegno Palinologia Fenologia e Produzione, tenutosi a Treviso, nel giugno del 1999.

Le osservazioni riportate sulle schede e attinenti queste problematiche riguardano le varie fasi di:

- plantula
- vegetazione fino all'inizio della riproduttiva
- fioritura (inizio, durata, termine)
- fruttificazione (inizio, durata, termine)
- durata del periodo di secchezza, cioè il periodo in cui la pianta ormai del tutto secca permane eretta sul suolo e disperde i suoi semi (=periodo di disseminazione). La lunghezza di questo periodo può rivestire particolare importanza per la colonizzazione delle specie.

I dati rilevati e le osservazioni compiute hanno portato all' inquadramento geomorfologico e climatico di ogni stazione e per ciascuna delle specie monitorate, incluse le coltivate, e per ciascuna stazione:

- una breve descrizione delle caratteristiche morfologiche utili all'utente per la sua individuazione;
- una descrizione del comportamento fenologico suffragata dall'andamento delle fenofasi riportate in singole schede e da una documentazione fotografica che individua e inquadra molte delle entità nella specifica fenofase;
- grafici e tabelle che evidenziano la settimana di comparsa nei vari anni delle varie fenofasi e la durata in giorni di ogni fenofase;
- tabelle che riportano le correlazioni tra fenofasi delle specie spontanee e colture mettendone in evidenza le correlazioni (ad esempio la prevalenza di foglie decolorate nella chioma del Sambuco è correlabile al periodo di raccolta del granoturco ma non predittiva).
- tabelle e grafici di confronto tra il comportamento fenologico di ciascuna delle specie spontanee e il comportamento di quella coltivata.

Ciclo vegetativo		Ciclo riproduttivo	
V01	Gemme in riposo	R01	Boccioli o amenti presenti ma poco sviluppati

V02	Gemme rigonfie prossime alla schiusura	R02	Boccioli prossimi alla schiusura, rigonfi, con petali visibili; amenti sviluppati ma immaturi
V03	Gemme rigonfie insieme a gemme aperte con foglioline ripiegate	R03	Boccioli rigonfi e fiori aperti; Amenti immaturi e amenti che liberano polline
V04	Gemme appena aperte insieme a foglioline giovani con lembo disteso	R04	Piena fioritura: boccioli, fiori aperti, fiori sfioriti, amenti che liberano polline
V05	Foglie giovani a lembo disteso	R05	Inizio sfioritura: fiori aperti e fiori appassiti; amenti che liberano polline e amenti esauriti
V06	Foglie giovani insieme a foglie adulte	R06	Completa sfioritura: fiori appassiti; amenti che non rilasciano più polline
V07	Foglie adulte	R07	Allegagione: inizio ingrossamento ovari
V08	Inizio della decolorazione fogliare	R08	Inizio fruttificazione: ovari ingrossati e pochi frutti immaturi
V09	Foglie prevalentemente decolorate	R09	Frutti evidenti ma in prevalenza immaturi
V10	Inizio disseccamento foglie	R10	Culmine della fruttificazione
V11	Foglie prevalentemente disseccate	R11	Frutti in parte caduti, degenerati o secchi
V12	Inizio caduta foglie	R12	Presenza di soli frutti residui
V13	Foglie prevalentemente cadute		
V14	Pianta completamente spoglia		

Tab. 2: Fenofasi rilevate secondo la metodologia proposta per le Angiosperme legnose caducifoglie.

Triticum L.		Zea mays L.	
		<i>Semina (Sm)</i>	- periodo compreso tra semina ed emergenza
Emergenza (E)	- comparsa prima foglia dal terreno	Emergenza (E)	- uscita 1° foglia dal terreno, eretta ma chiusa
Accestimento (A)	- stadio 3°- 4° foglia e comparsa germogli secondari		
Levata (L)	- inizio allungamento internodi	Foglie distese (Fg d)	- numero foglie distese
Botticella (B)	- ingrossamento ultima guaina fogliare	Levata (L)	- distensione internodi
Spigatura (S)	- fuoriuscita spiga dalla guaina fogliare	Comparsa pennacchio (C p)	- comparsa infiorescenza M dall'ultima foglia
Fioritura (F)	- fuoriuscita antere	Emissione polline (E pl)	- se scossa la pianta rilascia polline
		Comparsa sete (C s)	- fuoriuscita stili
		Senescenza sete (S s)	- apice degli stili bruno e consistenza pagliosa
		Ingrossamento cariossidi (I c)	- aumento volume spiga, cariossidi bianche
Maturazione lattea (M l)	- massimo volume granello	Maturazione lattea (M l)	- massimo volume spiga e cariossidi
		Maturazione cerosa (M c)	- consistenza a pastosa
Maturazione gialla (M g)	- granello duro e di colore giallo	Maturazione fisiologica (M f)	- evidenza punto nero

Tab. 3: Protocolli di rilevamento per le specie coltivate considerate: Triticum (scala Zadoks) e Zea mais

Discussione e conclusioni

Le osservazioni condotte sembrano suggerire la validità di alcune entità come specie guida fenologicamente predittive.

E' importante però rilevare che le specie con maggiore potenzialità previsionale non sono quelle che mostrano il numero più elevato di corrispondenze temporali nel confronto con quella coltivata, bensì quelle che con le proprie fenofasi hanno saputo anticiparne il comportamento.

Eventuali sfasamenti nella successione delle fenofasi delle diverse specie indagate sono però significativi se si verificano con sufficiente anticipo dal raggiungimento dello stadio di interesse della coltura, per consentire agli agricoltori una opportuna programmazione economica e di scelta. L'anticipo di una settimana non può certo permettere interventi tempestivi circa le operazioni colturali.

Questa eventualità però non è sempre facile da riconoscere e la sua effettiva efficacia dovrebbe essere monitorata per numerosi anni.

Frumento

Le specie che sembrano aver manifestato una maggior importanza predittiva e con un anticipo di qualche settimana sulle fenofasi del frumento sono: nocciolo (*Corylus avellana* L.) e ontano comune [*Alnus glutinosa* (L.) Gaertner].

Il **nocciolo** infatti seguito nel suo ciclo fenologico nella stazione di Villorba (TV) in relazione a *Triticum aestivum* L. dalla semina del 96 alla mietitura del 99, ha manifestato nell'ambito della fase riproduttiva, un ritardo di una settimana nella sfioritura degli amenti (fase R05), che nel 98 si presenta all'ottava settimana, mentre nel 99 alla nona; ritardo protrattosi anche nelle altre fasi e che potrebbe risultare predittivo sul ritardo di una settimana della fioritura del frumento (che compare alla diciannovesima settimana nel 98 e alla ventesima nel 99), ritardo che anche nel frumento si protrae nelle fasi successive.

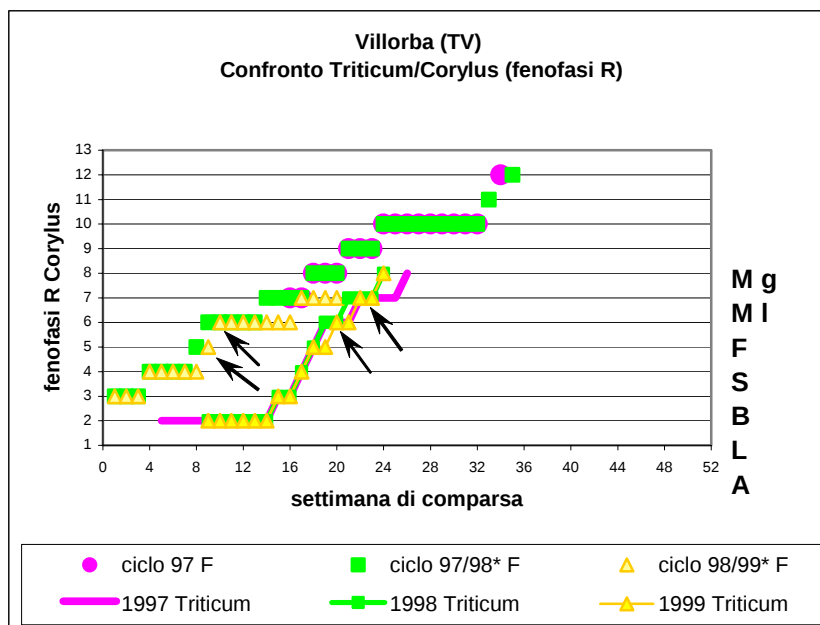


Fig. 1:
Confronto
dei cicli
fenologici
fra
Corylus e
Triticum
nella
stazione di
Villorba.
Semina
Triticum:
25/10/96.

L'**ontano**, seguito nel suo ciclo fenologico nella stazione di Morgano (TV), sempre in relazione a *Triticum aestivum*, dalla semina del 97 alla mietitura del 2000, ha mostrato nel suo ciclo vegetativo un ritardo di una settimana nell'inizio delle fasi V03, V05, V06 (rispettivamente gemme rigonfie con gemme aperte, foglie giovani a lembo disteso, foglie giovani insieme a foglie adulte) nell'anno 2000 rispetto al 99. Lo stesso ritardo di una settimana è apprezzabile in tutto il ciclo di Triticum, che nel 2000 si presenta posticipato di una settimana rispetto al 99. Si nota inoltre che la fase V03 si presenta nel 99 alla 12° settimana e la levata si presenta tre settimane dopo alla 15°, l'anno successivo (2000) V03 si presenta alla 13° e la presenza di foglie distese sempre 3 settimane dopo alla 16°; uguale regolare distanza si ritrova anche fra le fasi V05 e la fioritura. Risulta ancora evidente che negli anni di rilevamento la fase V03 (gemme rigonfie insieme a gemme aperte con foglioline ripiegate) inizia sempre tre settimane prima della levata del frumento, così come la fase V05 (foglie giovani a lembo disteso) rispetto alla spigatura.

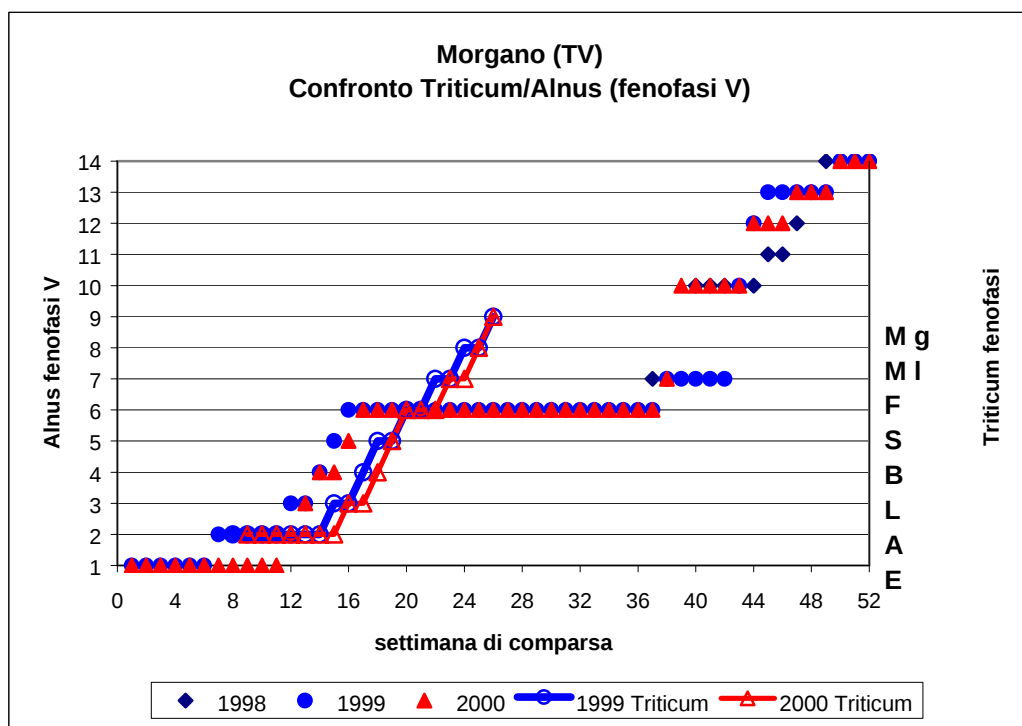


Fig. 2: Confronto fra i cicli fenologici di Alnus e Triticum nella stazione di Morgano.

Risultano così indicative sul comportamento del frumento le fenofasi riproduttive del **nocciolo** ed in particolare l'inizio della sfioritura degli amenti maschili (R 05) sulla fioritura (F) e spigatura del frumento (S) e per quanto riguarda l'**ontano** tutte le fenofasi vegetative dal primo manifestarsi della schiusura delle gemme (V02) fino alla completa presenza di foglie ormai adulte su tutto il ciclo del frumento.

Non sono state invece individuate caratteristiche di predittività in *Acer negundo* L. (acero americano), *Cornus sanguinea* L. (sanguinello), *Euonymus europaeus* L. (berretto da prete), *Frangula alnus* L. (alno nero), *Ulmus minor* L. (olmo), anche se molte mostrano alcune buone correlazioni con il ciclo del frumento.

L'osservazione sul comportamento di alcune infestanti annue del grano a Villorba (TV) (in particolare *Papaver rhoeas* L., *Ranunculus arvensis* L., *Fumaria officinalis* L., *Stellaria media* L., *Vicia sativa* L., *Alopecurus miosuroides* L., *Avena fatua* L., *Avena sterilis* L.) divise poi in di- e mono-cotiledoni non ha dato risultati interessanti circa la predittività. Il loro ciclo, e soprattutto quello delle monocotiledoni, segue infatti pari passo quello del frumento a parte il più rapido passaggio da fase di levata a quello di spigatura (che non ha permesso la registrazione dello stadio di botticella).

Specie arboree arbustive ed erbacee sono state monitorate anche in Salento sempre in relazione al comportamento del frumento.

I due gruppi di specie mostrano ovviamente comportamenti diversi. Le erbacee, come del resto anche il frumento seguono quasi pedissequamente i ritmi imposti dalle condizioni climatiche; le arboree arbustive presentano invece date di ripresa correlate a situazioni pedoclimatiche precedenti: richiedono infatti una soglia termica primaverile di 10° C ed una sufficiente riserva idrica nel terreno per poter avviare le nuove fasi vegetative e le concludono quasi rapidamente per potersi ritrovare con foglie già completamente sviluppate e adattate a fronteggiare l'aridità estiva (Messerli, 1951). Avviene anche in queste specie una ripresa autunnale che non è un tentativo di un secondo periodo di vegetazione, quanto piuttosto la conclusione del ciclo ontogenetico dopo la fase estiva, che porta alla completa maturazione dei frutti ed alla disseminazione. I ritmi endogeni tuttavia durante questa seconda ripresa si manifestano con fioriture autunnali che spesso non comportano impollinazione e maturazione di altri frutti. E' il caso ad esempio di *Pyrus amygdaliformis* L. nel quale è stata rilevata una sporadica fioritura autunnale ma anche di *Quercus calliprinos* Webb dove la formazione di un secondo ciclo di amenti è abbastanza normale.

La correlazione dei ritmi di queste specie legnose con quelli del frumento evidenzia - oltre ad una certa sincronia nelle fasi riproduttive del cereale - una certa sincronia anche tra fenofasi del cereale (soprattutto le riproduttive) e fasi delle essenze legnose, correlazione riferita però ogni anno a specie diverse. Dati questi non certo utilizzabili per funzioni di predittività. Una corretta interpretazione del comportamento del grano richiede però la conoscenza dell'andamento meteorologico: emergenza e accestimento dipendono infatti non dalla temperatura dalla quantità di precipitazioni autunnali; la loro scarsità come anche quella delle preprimaverili compromette notevolmente le fasi di levata e botticella che dipendono anche dall'aumento della temperatura. Antesi e spigatura sembrano influenzate da un modesto gradiente termico ma procedono più regolarmente se vi è disponibilità idrica.

La scarsità di precipitazioni ha reso inutile in Sicilia il monitoraggio delle specie erbacee (*Diplotaxis eruroides* L. e *Diplotaxis tenuifolia* L.) in riferimento al frumento esso infatti segue ormai solo i ritmi della pioggia arrivando anche a fiorire all'inizio o anche in pieno inverno e facendo così anche calare nettamente la sua resa a valori inferiori a quelli della Puglia.

Mais

Nocciolo e **ontano** sembrerebbero possedere capacità previsionali con largo anticipo anche nei riguardi del mais; anche altre specie però presentano queste caratteristiche: *Sambucus nigra* L., *Cornus sanguinea* L., *Robinia pseudoacacia* L. e molto probabilmente *Platanus hybrida* Brot.

L'**ontano** in particolare, monitorato a Borso del Grappa in relazione a *Zea mays* (ssp. indentata) dal '98 al 2000, mostra nel 2000 un ritardo di più settimane per le fasi vegetative (V03, V04, V05, V06) rispetto al '99; cui corrisponde uno slittamento analogo nel ciclo di *Zea mays*, dove le fasi di levata e comparsa del pennacchio si presentano posticipate di una settimana nel 2000 rispetto al '99. V04, V05 e V06 compaiono diverse settimane prima della levata e comparsa del pennacchio, e risultano quindi predittive sul ritardo di quelle del mais.

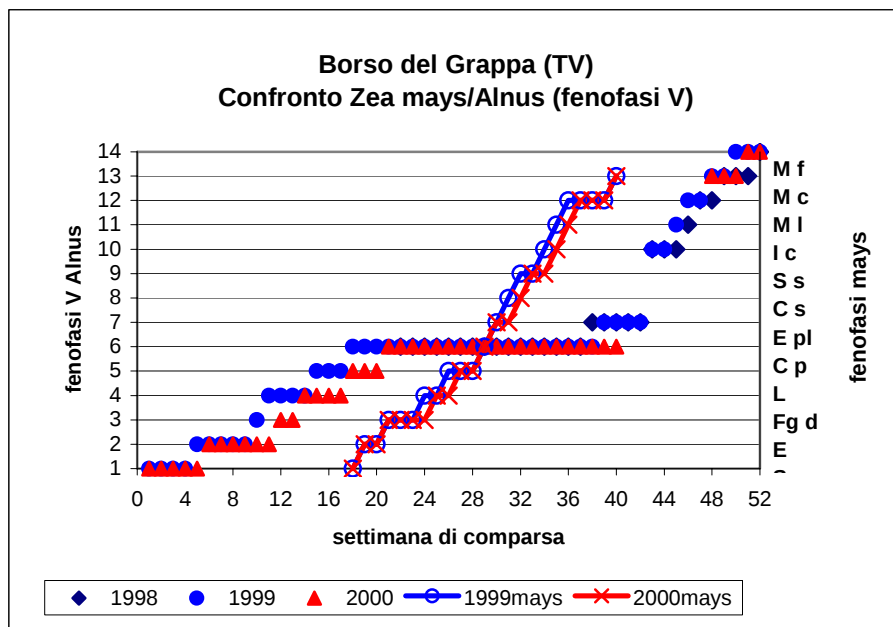


Fig. 3: Confronto fra cicli fenologici di *Zea mays* e *Alnus* nella stazione di Borso del Grappa.

Il ciclo vegetativo del nocciolo e in particolare le fasi comprese tra la distensione del lembo nelle giovani foglie e la presenza di foglie completamente adulte (V05, V06, V07) risultano predittive sul comportamento de mais.

La sfioritura degli amenti soprattutto maschili del nocciolo (R06) come anche di quelli femminili dell'ontano sembra inoltre correlabile con il momento di semina del mais, con corrispondenti ritardi nelle due fasi.

Analogo comportamento nei riguardi del mais sembra presentare nella zona di Borso (TV) anche il Sambuco nero; ritardi nelle prime fasi del ciclo vegetativo del 2000 sembrano predittivi su quelli della specie coltivata, in particolare le fasi comprese tra il rigonfiamento delle gemme e la comparsa di foglie adulte tra quelle giovani (da V02 a V06) sulla levata sulla comparsa del pennacchio e sulle seguenti.

Le ultime fasi di distensione delle foglie (V06) e la presenza di foglie ormai tutte adulte (07) si mostrano predittive sulle fenofasi riproduttive del mais (fioritura, allegagione e fruttificazione) in *Cornus sanguinea*, *Robinia pseudacacia* e *Platanus hybrida*. Le informazioni su questa ultima specie molto diffusa in Veneto e Friuli andrebbero però ricontrollate perché riferite ad individui di un'unica stazione (Caneva/PN) di cui pochi hanno presentato il ciclo riproduttivo.

L'andamento delle fasi vegetative di più specie arboree o arbustive sono risultate quindi predittive con largo anticipo per il ciclo riproduttivo del mais: nocciolo, ontano comune, sambuco, sanguinello, platano ibrido e robinia.

Non hanno mostrato invece caratteristiche di previsionalità *Ulmus minor* L., *Acer campestre* L., *Euonymus europaeus* L., *Celtis australis* L.

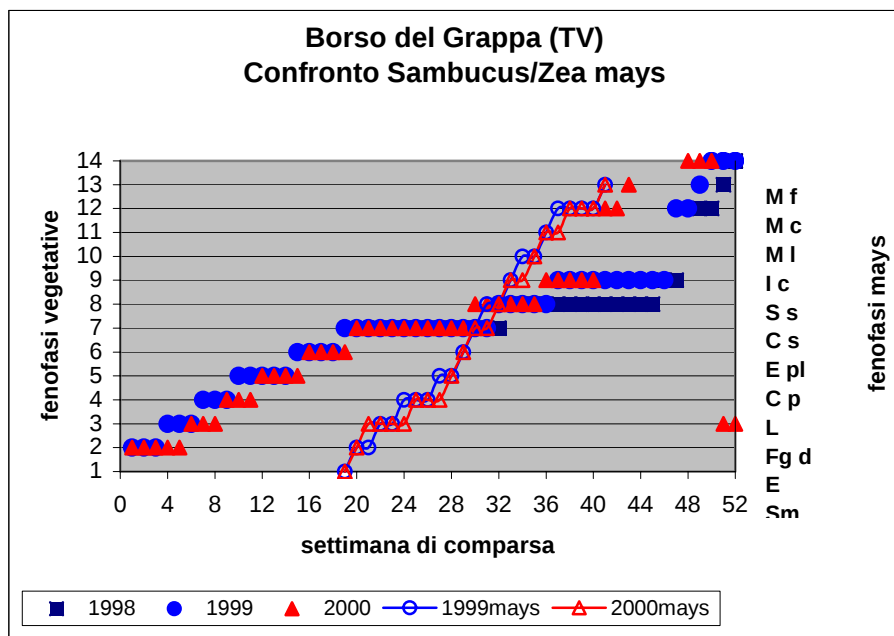


Fig. 4: Confronto fra cicli fenologici di Sambucus e Zea mays nella stazione di Borso del Grappa.

L'importanza del lavoro condotto consiste nel fatto che, pur nella brevità del periodo di ricerca ha permesso di individuare la potenzialità previsionale di alcune specie che sembrano anticipare con i loro ritmi quelli di altre; capacità che deve essere con pazienza controllata negli anni, e soprattutto in quelli dove l'andamento atipico delle stagioni induce ritmi atipici, che si discostano cioè dall'andamento medio degli anni precedenti e che possono quindi rivelarsi proficui nell'interpretazione dei fenomeni legati alla risposta delle specie di interesse agrario alle variazioni climatiche.

Questo monitoraggio dovrebbe continuare ancora a lungo quindi per poter far conoscere ed evidenziare meglio i ritmi esogeni delle varie specie.

I dati rilevati, oltre a mettere in evidenza la maggior validità e comodità delle specie arbustive ed arboree come predittive, a patto però che non vengano sottoposte a potature, mostrano anche che queste osservazioni sono più adeguate per il Nord e Centro Italia; al Sud invece sono le condizioni climatiche e soprattutto l'aridità che determinano (come del resto anche a Nord), evidenziano chiaramente e limitano i comportamenti del frumento.

Bibliografia

Messeri A., 1951 – Ritmi climatici e ritmi vegetativi. Nuovo Giorn. Bot. Ital., 58: 535-549.

Paoletti M. G. , Lorenzoni G. G., 1983 -- Il ruolo delle siepi negli agroecosistemi friulani. "Thalassia Salentina", 18: 459-479.

Puppi Branzi G., 1993 - Criteri per il rilevamento fenologico: Angiosperme. 29-40, in Procedure per il Rilevamento Fenologico nei Giardini Italiani a cura di Malossini - A. Bologna.

Hanno collaborato:

Bonaldo Romina, Giorato Marina

Accogli Rita, Conti Tiziana, Toniet Annaresi.

Si ringraziano:

Giuseppe Maugeri, Silvano Marchiori, Salvatore Valenziano.

SCALE FENOLOGICHE E PROTOCOLLI DI RILEVAMENTO

Lucio Botarelli

ARPA Emilia Romagna, Servizio Meteorologico Regionale – Area Agrometeorologia e Territorio

La ricerca in fenologia, come in qualsiasi altro campo, ha bisogno di dati certi ed affidabili. La costituzione di banche dati universalmente valide ed utili avviene infatti solo con la raccolta di informazioni fenologiche oggettive e comparabili.

Il rilievo in campo di tali informazioni avviene tramite delle chiavi o scale fenologiche, che consistono in una serie di descrizioni sintetiche degli stadi di sviluppo (fenofasi), tratti essenziali del ciclo vitale dell'individuo vegetale.

A prescindere dal tipo di scala adottata, l'osservazione fenologica (rilievo) sulle specie coltivate si basa sull'individuazione di stadi ben precisi rilevabili a vista o al tatto, senza solitamente operare interventi distruttivi sulla pianta.

Questa metodologia prevede l'individuazione di un numero contenuto di piante e l'osservazione del loro sviluppo fino alla fine del ciclo vegetativo e riproduttivo.

Purtroppo le attività di rilevazione fenologica effettuata su siti, specie e finalità di ricerca o di servizi diverse, seguono spesso protocolli comportamentali discordi risultando, quindi, poco comparabili.

Nell'ambito del Progetto Finalizzato Phenagri si è operata una rivisitazione delle scale fenologiche esistenti, confrontando quelle già disponibili ed in molti casi mettendone a punto delle altre, ritenute più idonee alle colture esaminate ed alle finalità del progetto.

Le scale prodotte, definite con la sigla PFP, sono comparabili con quelle maggiormente in uso e sono tratte dall'esperienza di campo, sviluppata nell'ambito delle reti regionali di rilevazione agrofenologica.

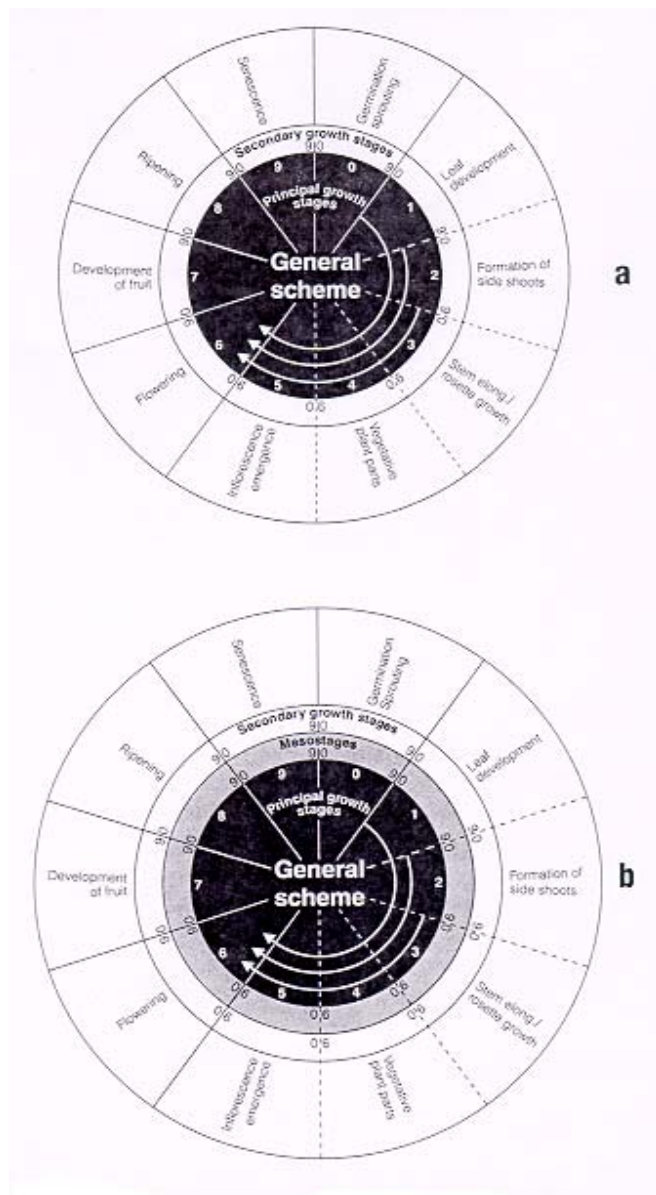
Si è dato particolare risalto alla recente scala BBCH: una scala centesimale, secondo il modello introdotto da Zadoks, strutturata per essere impiegata nella descrizione di tutte le specie mono e dicotiledoni, sia coltivate che non.

Di seguito si riporta lo schema così come presentato nella pubblicazione ufficiale della scala (AA.VV.,1997).

Una scala generale, come la BBCH, è applicabile sia alle colture agrarie che alle specie spontanee ed ha il vantaggio di poter essere utilizzata in modo standard per codificare fasi fenologiche, per l'archiviazione e l'elaborazione dei dati rilevati rendendo possibile o facilitando la comparazione tra le specie, anche tra quelle per le quali non è stata mai elaborata una scala specifica.

L'esame delle principali scale fenologiche ha permesso la compilazione di tabelle di comparazione nel tentativo fruttuoso di raggiungere una visione sinottica delle esperienze di rilievo fino ad ora condotte dalle diverse istituzioni ed enti, nonché di avviare il processo di unificazione nell'ambito della ormai universalmente riconosciuta scala BBCH.

Schema scala BBCH



Il lavoro di comparazione e di omogeneizzazione delle scale fenologiche è stato in realtà avviato da molto tempo e già Bauer et alii (1983) avevano prodotto delle tabelle di correlazione e di descrizione degli stadi delle principali scale fenologiche per i cereali.

Successivamente Harrell et alii (1993) hanno sviluppato un programma, denominato SCALES, atto alla comparazione tra le scale maggiormente in uso per il frumento, quali quella di Feekes (Large 1954), di Haun (Haun, 1973) e di Zadoks-Chang-Konzak (Zadoks et alii, 1974).

La scala BBCH è stata proposta come universale sin dalla sua presentazione (Lancashire et alii, 1991), ed ha visto crescere la sua diffusione fino ad approdare agli attuali riconoscimenti internazionali. Alla fine dello scorso millennio i lavori di Harrell et alii (1999), hanno permesso di omogeneizzare le scale BBCH e di Hanway (Ritchie et al., 1986) per mais e le colture da granella attraverso lo sviluppo di un nuovo programma SCALES 2.

L'applicazione in campo delle scale fenologiche avviene tramite la definizione ed uso di protocolli di rilevazione; tali protocolli mirano alla riduzione degli errori soggettivi e ad ottenere risultati rappresentativi e comparabili. Allo scopo sono utilizzate schede di rilevazione, normalmente accompagnate da note metodologiche per l'esecuzione dei rilievi. Nelle note delle schede sono definiti i principali criteri da rispettare per l'individuazione dell'azienda, dell'appezzamento e per la scelta dei siti e delle piante da osservare

all'interno dell'appezzamento. Le note sono normalmente integrate con iconografie e immagini fotografiche, che permettono di riconoscere in modo dettagliato lo stadio fenologico della pianta.

A tal proposito, in questi ultimi anni, si sono moltiplicate le tipologie di schede di rilevazione fenologica anche se, più o meno tutte, hanno utilizzato come base quelle messe a punto alla fine degli anni '80 dalla Regione Emilia Romagna (Barbieri R., Botarelli L., Salsi A., Zinoni F., 1989.)

Allo scopo di mettere un po' di ordine in questo settore, nell'ambito del P.F. Phenagri è stato dato l'avvio ad una collana di Agrofenologia che ha visto la pubblicazione di un primo volume intitolato "Aspetti generali delle osservazioni agrofenologiche". Attualmente è inoltre in preparazione un secondo volume dedicato interamente alla pubblicazione di immagini fotografiche rappresentative degli stadi fenologici di molte specie agrarie.

Nella realtà operativa le serie storiche di rilievi fenologici, anche se complete, possono essere inficiate nella qualità a causa dei frequenti cambiamenti del personale rilevante, della sua diversificata professionalità, e del tempo disponibile e dedicato ai rilievi. Questo comporta la necessità d'utilizzo di protocolli chiari e di facile utilizzo.

Nel Progetto Phenagri sono stati sviluppati protocolli di rilevazione finalizzati alla raccolta di dati utili per lo sviluppo e la taratura dei modelli agrofenologici. La cadenza dei rilievi e le modalità degli stessi, a partire dalla scelta dei campioni da osservare, sono stati guidati anche dalla disponibilità di personale specialistico dedicato alle attività di campo e dalle particolari dimensioni delle parcelle.

Purtroppo non è stata raggiunta facilmente un'uguaglianza d'azione in tutti i campi sperimentali e le informazioni raccolte nel primo anno di attività del progetto hanno dimostrato la difficoltà di operare in modo oggettivo e confrontabile, sebbene la preparazione ed addestramento dei rilevatori sia avvenuta nel rispetto di direttive univoche e condivise.

I protocolli operativi elaborati per Phenagri riguardano i rilievi fenologici e i rilievi biometrici adottati nelle prove sperimentali ed i criteri per la realizzazione di una rete per le osservazioni agrofenologiche. Entrambi gli argomenti sono descritti nel primo volume della citata collana agrofenologica.

Bibliografia

A.A.V.V., 1997: Compendium of growth stage identification keys for mono- and dicotyledonous plants. Extended BBCH scale. BBA, BSA, IGZ, IVA, AgrEvo, BASF, Bayer, Novartis.

Barbieri R., Botarelli L., Salsi A., Zinoni F., 1989. Guida alle rilevazioni agrofenologiche ed alla compilazione delle schede di rilevamento per le colture erbacee ed arboree. E.R.S.A., Bologna.

I GIARDINI FENOLOGICI IN ITALIA

Marco Fornaciari da Passano

Università degli Studi di Perugia - Dipartimento di Biologia vegetale e Biotecnologie Agroambientali

Introduzione

La nascita dei giardini fenologici, nell'accezione moderna, avviene intorno al 1953 con Erik Volkert, a cui segue il prof. Schnelle che, nel 1957, con la pubblicazione "Suggestion for the establishment of international gardens as a station in a network for international phenological observation" dà inizio alla costituzione della Rete dei Giardini Fenologici Internazionali (IPG).

L'obiettivo primario della Rete dei Giardini fenologici è quello di studiare importanza ed effetti del clima sul normale avvicinarsi dei fenomeni ciclici di sviluppo delle piante, con l'unica variabile della differenza di latitudine delle diverse stazioni.

Il primo giardino viene realizzato a Offenbach dove, nel 1959, iniziano i primi rilievi fenologici.

Con la crescente diffusione degli IPG si rende necessaria la disponibilità di materiale vegetale geneticamente omogeneo da distribuire ai nuovi giardini, a tal fine si iniziano a produrre esemplari clonati dalle stesse piante madri, presso l'Istituto di Genetica Forestale di Wachterbach, che dal 1964 diventa l'unico autorizzato a produrre i cloni per IPG.

Nacquero in seguito numerosi Giardini Fenologici in diverse nazioni del centro e del nord Europa che nel 1978 arrivarono a più di 60, anche se in seguito il numero si riduce drasticamente.

Sono passati circa venti anni dal primo progetto di realizzazione di un Giardino Fenologico sul territorio italiano, presso la base meteorologica di S.Pietro Capofiume (BO). L'obiettivo primario del progetto, nato in seno ad una collaborazione tra CNR e Dipartimento Attività Produttive, Agricoltura ed Alimentazione della Regione Emilia-Romagna, era quello di preparare una stazione di osservazione fenologica che potesse rappresentare l'Italia, fino ad allora assente, nella Rete Europea degli IPG (International Phenological Gardens).

Il giardino, quindi ha provveduto ad impiantare specie propagate e diffuse dall'IPG, a cui sono state affiancate specie largamente diffuse in Italia, come il Sanguinello, il Biancospino, il Nocciolo, ecc., creando così una sezione "italiana" accanto a quella "internazionale".

Il Giardino Fenologico

Il Giardino Fenologico è quindi, una stazione di osservazione di piante, scelte ad hoc, con determinate caratteristiche, messe a dimora e coltivate seguendo direttive comuni (A. Malossini 1993). In particolare sono del tutto evitati gli interventi dell'uomo (diserbo, irrigazione, concimazione, ecc.), per evidenziare la risposta "naturale" delle piante alle condizioni climatico-ambientali.

L'osservazione ed il rilevamento delle fasi fenologiche, viene svolta da personale

preparato (fenologo) che con impegno costante e valutazione obiettiva è in grado di fornire un quadro preciso, riportato secondo schede di registrazione comuni a tutti i Giardini.

Le finalità di una rete fenologica si potrebbero quindi, distinguere in “scientifiche”, orientate verso una migliore conoscenza degli eventi biologici connessi alla manifestazione delle fenofasi ed alla ricerca di piante adatte a svolgere il ruolo di indicatori biologici, e in “applicative”, concernenti in modo particolare le modalità di utilizzo delle piante indicatrici.

I campi di applicazione riguardano l'agricoltura, la selvicoltura, il monitoraggio ambientale e la salute dell'uomo. In agricoltura e selvicoltura per le piante di interesse agricolo e forestale, la valutazione dell'impatto delle variazioni del clima e del tipo di suolo sugli eventi fenologici, fornisce informazioni utilizzabili nella programmazione della gestione delle colture (rotazione, consociazione, ecc.). La calendarizzazione di pratiche colturali (concimazioni, diserbi, irrigazioni, ecc.) viene fatto tenendo conto dello stadio fenologico raggiunto dalle colture. La possibilità, per esempio, di zonazione bioclimatica è di notevole interesse negli studi in viticoltura. La scelta di varietà precoci o tardive in particolari condizioni climatiche (gelate), è oggi in olivicoltura la base per la realizzazione di impianti produttivi.

Nel monitoraggio ambientale l'utilizzo come bioindicatori, di piante particolarmente sensibili agli agenti inquinanti e l'osservazione delle modificazioni dei ritmi biologici, fornisce indicazioni sugli agenti chimico-fisici di origine non naturale, come gas, particelle inquinanti e radiazioni, dispersi nell'ambiente in cui la pianta cresce e con cui interagisce costantemente.

Riguardo la salute dell'uomo, le osservazioni fenologiche si affiancano a quelle sui fitoallergeni aerodispersi (pollini, spore funginee), responsabili di patologie respiratorie largamente diffuse. La previsione dell'inizio della fioritura di una specie allergenica, permette a medici e pazienti di programmare in modo migliore le terapie connesse, dando un allarme efficace alla popolazione, riducendo notevolmente un problema sociale, dovuto alle assenze dal lavoro dei soggetti allergopatici.

Costituzione del Giardino Fenologico

Le operazioni preliminari per la costituzione di un Giardino Fenologico sono comuni a quelle che normalmente occorrono per un giardino ornamentale e comunque rientrano in quelle pratiche, ormai consolidate, necessarie per la messa a dimora di alberi ed arbusti, con alcuni particolari accorgimenti, considerato lo scopo.

Scelta del sito

Anche se spesso trascurata, vuoi per mancanza di alternative o di elementi conoscitivi, la scelta del sito è di importanza fondamentale per poter essere rappresentativo dell'area di insediamento della stazione. Altro aspetto fondamentale nella scelta del sito riguarda le caratteristiche chimico fisiche del terreno, di cui bisogna tener conto. Una errata valutazione potrebbe portare ad un mancato attecchimento di alcune piante, o a risposte anomale delle piante in terreni molto sciolti o, al contrario, eccessivamente argillosi che potrebbero provocare problemi simili a quelli provocati da eccesso o deficit idrico.

Ultimo, ma non meno importante, aspetto da considerare riguarda la giacitura e l'esposizione del sito, studiare il comportamento di una pianta su un versante collinare

esposto a nord o della stessa su un versante esposto a sud, ha, evidentemente, una valenza differente.

Preparazione del terreno

Dopo l'analisi chimico-fisica del suolo d'impianto, indispensabile sia per la documentazione del giardino che per individuare e correggere eventuali anomalie, si procede con le pratiche agronomiche normalmente richieste per la messa a dimora di specie arboree ad arbustive, e dettate dalle singole situazioni.

Sesto d'impianto

La disposizione e l'orientamento delle piante nel Giardino Fenologico seguono regole precise, comuni a tutti i giardini.

Le file vanno orientate Est-Ovest e nelle file più a Sud andranno messe a dimora le piante arbustive con uno sviluppo verticale contenuto, seguite verso Nord, da quelle ad accrescimento maggiore e da quelle arboree, questo per evitare l'ombreggiamento interfila.

La distanza tra le file è di 6m, mentre le piante sulla fila vanno messe a 3m, se arbustive e a sviluppo limitato, o a 6m se arboree. Il sesto d'impianto sarà del tipo a quinconce.

Ogni specie deve essere presente, per poter eseguire le osservazioni fenologiche, in 3 esemplari, è però quasi indispensabile predisporre per la messa a dimora di 5/6 esemplari per specie, per far fronte ad eventuali sostituzioni.

Epoca di trapianto

Le specie arboree caducifoglie vengono normalmente trapiantate dalla fine di ottobre alla fine di marzo, le specie sempreverdi da ottobre a novembre o da marzo ad aprile, quando cioè il terreno è umido ma non gelato, per le conifere, invece, si aspetta l'inizio della primavera.

Gli arbusti, in generale meno esigenti, si possono trapiantare, evitando i periodi in cui il terreno è gelato, da ottobre a marzo per quelli a foglia caduca, e fino ad aprile per quelli sempreverdi.

Consigliabile è anche la protezione delle piantine, con materiali diversi, contro l'azione del vento e degli animali.

Irrigazione

La presenza di un impianto di irrigazione, magari del tipo a goccia, è necessaria durante i primi 2-3 anni, per superare i momenti di deficit idrico e non compromettere l'attecchimento e lo sviluppo delle piantine. Superata la fase di affrancamento bisognerà sospendere definitivamente l'irrigazione, poiché renderebbe vano il confronto con i vari dati meteorologici.

Gestione del Giardino Fenologico

Essendo lo scopo del Giardino Fenologico quello di monitorare il comportamento

naturale di individui di specie indicatrici in relazione all'ambiente in cui vivono, queste dovrebbero essere lasciate crescere il più possibile in modo naturale e non necessiterebbero quindi di particolari cure colturali, tuttavia spesso i Giardini si trovano in ambienti fortemente antropizzati, ad agricoltura intensiva molto sviluppata, dove si rendono necessarie alcune cure colturali.

Lavorazioni e concimazioni

In un Giardino Fenologico a regime il terreno viene tenuto inerbito, tra le file, e sfalcato periodicamente per mantenerne l'accessibilità durante tutto l'anno, mentre sulla fila vengono eseguite lavorazioni leggere, è consigliabile talvolta una lavorazione su tutta la superficie al momento dell'impianto e per il primo anno.

Le concimazioni non verranno effettuate se non al momento dell'impianto o per compensare carenze che compromettano un normale sviluppo delle piante.

Potatura e trattamenti antiparassitari

Gli unici interventi di potatura richiesti nella gestione del Giardino sono i tagli per asportare parti secche o fonte di inoculo di infezioni. Nelle specie arboree è consigliabile la spollonatura fino ad un metro di altezza.

Per i trattamenti parassitari il discorso è piuttosto complesso poiché di norma non dovrebbero essere eseguiti, ma visto che i Giardini sono spesso inseriti in aree ad agricoltura intensiva o vicino ad aree urbane, i trattamenti diventano necessari.

Specie Indicatrici

Le specie presenti in tutti i Giardini Fenologici Italiani sono state ottenute per talea da piante madri conservate nel Giardino Fenologico di San Pietro Capofiume (Bologna), le tre specie di salici sono state inviate dal servizio meteorologico tedesco e quindi comuni anche agli IPG (International Phenological Gardens) che consente l'iscrizione alla Rete Fenologica Internazionale.

Le specie indicatrici comuni presenti nei Giardini Fenologici Italiani sono:

- *Cornus mas* L.
- *Cornus sanguinea* L.
- *Crataegus monogyna* Jacq.
- *Corylus avellana* L.
- *Ligustrum vulgare* L.
- *Olea europea* L.
- *Robinia pseudoacacia* L.
- *Sambucus nigra* L.
- *Salix acutifolia* Willd.
- *Salix viminalis* L.
- *Salix smithiana* Willd.

Misura dei parametri meteorologici

Indispensabile per le varie applicazioni dei dati fenologici, ai fini della modellistica di crescita e sviluppo delle piante, è la disponibilità di dati meteorologici. Il Giardino Fenologico dovrà essere necessariamente affiancato da una stazione meteorologica, sempre che non ne esista già una vicino, da cui attingere per le diverse misurazioni.

La configurazione base della stazione meteorologica, in grado di raccogliere i dati relativi all'area in cui è stato impiantato il Giardino, dovrà, inizialmente comprendere i sensori precipitazione, temperatura ed umidità. Per l'ubicazione della stazione vanno seguite le disposizioni dettate dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale.

Criteri per il rilevamento fenologico

I rilievi fenologici devono essere effettuati seguendo alcuni criteri informativi di base. Il rilevamento deve essere eseguito in modo tale da rappresentare la sequenza degli eventi fenologici nei suoi tratti essenziali; deve permettere, ad esempio, di rappresentare l'andamento della fioritura o dello sviluppo vegetativo di una specie in una determinata stazione di rilevamento (Giardino Fenologico).

Il rilevamento deve rispondere a criteri di obiettività per permetterne il confronto con dati provenienti da diversi rilevatori, si deve adottare, quindi, una metodologia di rilevamento che non dia spazio a interpretazioni soggettive da parte del rilevatore.

Il rilevamento deve permettere di valutare la variabilità fenologica intraspecifica per poter sottoporre i dati rilevati ad elaborazioni statistiche. I rilievi vanno quindi eseguiti con i metodi ed i criteri della fenologia quantitativa, che permette di registrare quanti individui della stessa specie (fenoidi) mostrano una data fenofase.

Chiavi di rilevamento

Le fenofasi vengono registrate mediante le chiavi fenologiche riportate sulle schede di rilevamento. Le chiavi fenologiche descrivono sinteticamente le varie fasi di un evento fenologico come la fioritura e la fruttificazione o il ciclo di sviluppo delle foglie.

Schede di rilevamento nei Giardini Fenologici

Le schede di rilevamento in uso presso i Giardini Fenologici Italiani sono state appositamente elaborate e via via perfezionate da una commissione di esperti appartenenti al "Gruppo di Lavoro per i Giardini Fenologici Italiani" e adottano chiavi di tipo sequenziale con fenofasi consecutive, e sono predisposte per effettuare le osservazioni sui singoli individui (fenoidi). Ogni scheda si riferisce ad una singola pianta di cui riporta la specie, la posizione all'interno del giardino e l'anno di rilevamento. In testa alla scheda è riportata la chiave di rilevamento con le diverse fenofasi sinteticamente descritte. Le fenofasi vegetative sono contrassegnate dalla lettera V e sono 14, mentre le fenofasi riproduttive sono contrassegnate dalla lettera R e sono 12.

La scheda è costituita da 36 righe, dove sono riportate le 14 fasi vegetative e le 12 riproduttive, e da 52 colonne, suddivisione settimanale dell'anno solare.

La compilazione della tabella consiste nell'apposizione di un simbolo nella casella che risulta dalla colonna corrispondente alla settimana del rilevamento, alla cui testa vi è una casella apposita per la data, e dalla riga che rappresenta la fenofase osservabile su quella pianta in quella data; ovviamente sono riportabili più fasi contemporaneamente. Il simbolo di rilievo usato è " X " ma per le fasi riproduttive di piante con fiori unisessuali si usano simboli diversi: " O " per i fiori e le infiorescenze femminili e " | " per i fiori e le infiorescenze maschili.

La cadenza del rilevamento è settimanale, anche se per particolari esigenze ed in momenti delicati, come ad esempio la deiscenza delle antere e l'inizio della pollinazione, qualora si vogliano ottenere dati più accurati, i rilevamenti possono essere condotti ad intervalli ridotti, in funzione delle esigenze, si possono eseguire anche rilievi ogni 48 ore, chiaramente annotandoli su schede differenti.

Considerazioni finali

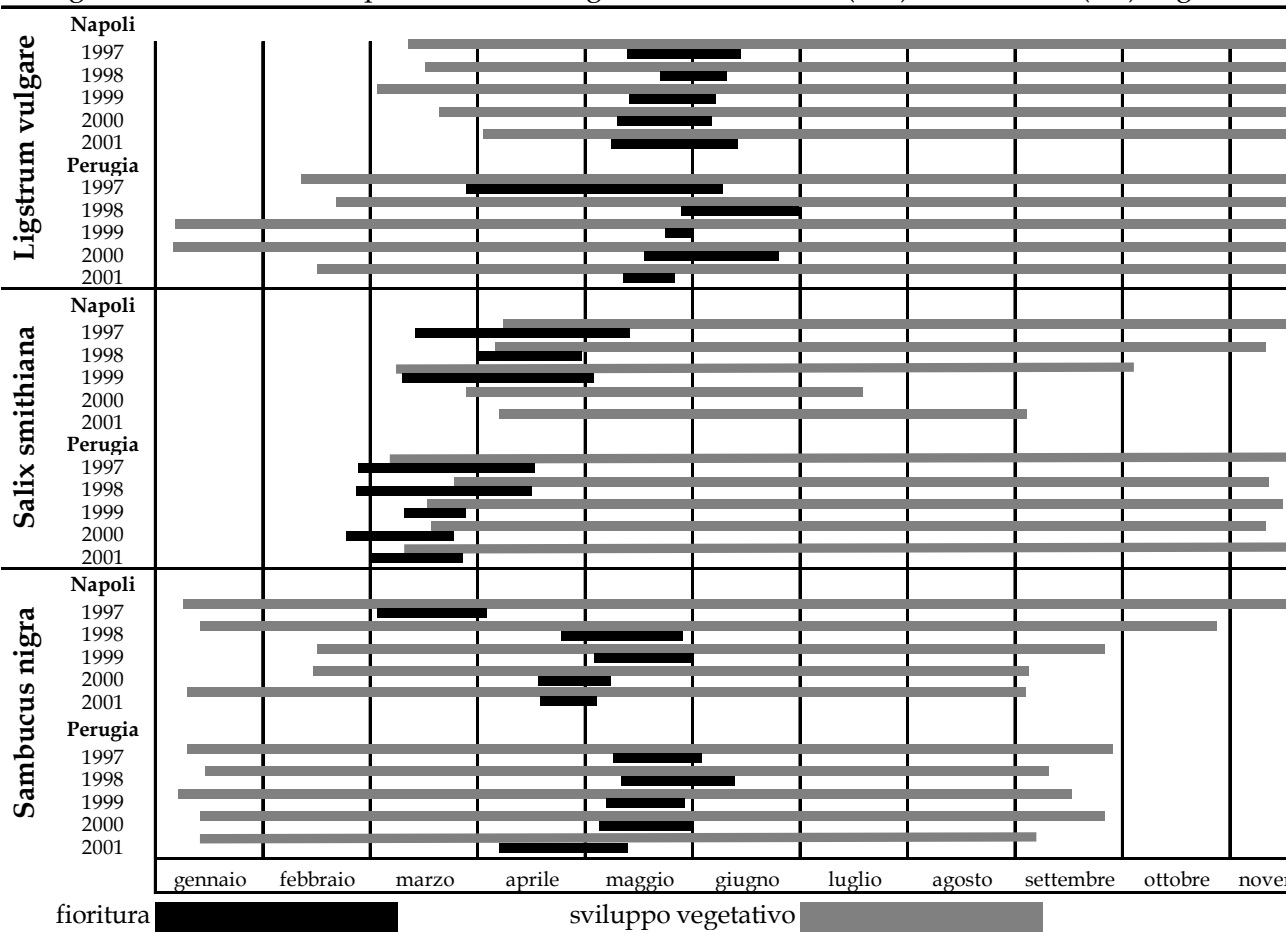
Anche l'esperienza italiana mette in luce la validità delle osservazioni fenologiche come strumento di monitoraggio ambientale, essendo le piante in grado di rispondere con comportamenti facilmente decodificabili agli stimoli estremamente complessi del clima e del suo cambiamento. Clima inteso non soltanto come misurazione di eventi meteorologici talvolta eccezionali, ma nella sua complessità in relazione alle diverse variabili ambientali (fotoperiodo etc).

Dall'attività svolta in questi anni emerge la difficoltà nel dare continuità alle osservazioni, pratica che prescinde da ogni automazione e richiede quindi un costante impiego di risorse umane, e la necessità di maggiore integrazione tra le diverse realtà di studio al fine di incrementare il grado di omogeneità nelle valutazioni.

Bibliografia

Malossini A. 1993. Procedure per il rilevamento fenologico nei giardini italiani. Regione Emilia-Romagna. Bologna.

Fenogramma relativo a tre specie rilevate nei giardini di Gussone (NA) e Fontanella (PG) negli anni 1



LA FENOLOGIA COME INDICATORE DEL COMPORTAMENTO DI TRE DIVERSI PORTAINNESTI DELLA VITE IN VAL DI MAGRA (SP)

Beatrice Pesenti Barili¹, Giovanni Mattei², Antonia Pantera², Diego Guidotti³, Roberto Barichello¹

1 - Centro di Agrometeorologia Applicata Regionale (C.A.A.R.), Sarzana (SP)

2 - Tecnici a contratto

3 - Aedit s.r.l.

Il portainnesto è un fattore che influenza lo stato vegeto-produttivo della vite: interviene nella regolazione della nutrizione idrico-minerale e nel controllo ormonale. Per questi motivi influisce sul rapporto fra crescita e fruttificazione in modo talmente rilevante da originare variazioni significative nei vari stadi di sviluppo della vite.

Il Centro di Agrometeorologia Applicata Regionale (C.A.A.R.) si è interessato ad approfondire l'influenza che la fenologia può avere su tre distinti portainnesti (SO4 – Kober 5BB – 1103P) innestati sul vitigno Vermentino clone VCR1.

Fase principale	Subfase	Valore fase
Gemme	Gemme riposo invernale	1,33
	Rigonfiamento gemme	1,66
	Gemme cotonose	2,00
Germoglia-mento	Punte verdi	2,25
	Apertura gemme	2,50
	Foglie distese	2,75
	Germogli lunghi 10 cm	3,00
Fioritura	Grappoli visibili	3,20
	Grappoli separati	3,40
	Bottoni fiorali separati	3,60
	Fioritura	3,80
	Allegagione	4,00
Fruttificazione	Mignolatura	4,33
	Sviluppo grappolo	4,66
	Chiusura grappolo	5,00
Maturazione	Invaiatura	5,33
	Maturazione	5,66
	Inizio caduta foglie	6,00

Attraverso l'anticipo o il ritardo delle principali fasi fenologiche (germogliamento – fioritura – fruttificazione e maturazione) si è così potuto differenziare il comportamento fenologico e produttivo del vitigno in combinazione con tre diversi portainnesti.

Sono stati pertanto eseguiti rilievi fenologici dalla metà del mese di marzo fino alla metà del mese di settembre a cadenza settimanale individuando la fase fenologica principale e la relativa subfase (fase fenologica secondaria).

La scala fenologica utilizzata, riportata nella tabella, è quella elaborata a livello nazionale nell'ambito del Progetto “Phenagri”.

La fenologia è in grado di segnalare il diverso comportamento dei tre portainnesti dall'inizio del ciclo vegetativo fino alla fioritura, come è evidenziato dalla tabella. Il portainnesto S04 confrontato con 1103P e Kober 5BB ha determinato un anticipo delle prime fasi fenologiche, come ci si aspetta da un portainnesto di contenuta vigoria. All'estremo il 1103P presenta un ritardo nella manifestazione delle fasi, mentre il Kober 5BB evidenzia un comportamento intermedio. Dalla fioritura in avanti non esistono più differenze significative tra i tre portainnesti: l'intervallo *fioritura – invaiatura* risulta costante come numero di giorni nelle tre combinazioni studiate.

Questo studio ci dimostra la validità del monitoraggio fenologico come strumento per la calibrazione di scelte agronomiche nell'ambito di un ambiente definito. In questo senso la fenologia può suggerire l'uso di determinati portainnesti adattabili a specifiche situazioni climatiche contribuendo a realizzare la zonazione viticola, ossia l'ottimizzazione del rapporto tra vitigno e ambiente.

IL CENTRO DI MONITORAGGIO DI ROMA TOR VERGATA

Alessandro Travaglini, Anna Mazzitelli, Donatella Leonardi, Silvia Silvestri, Monica Castorina, Maria Grilli Caiola

Università degli Studi di Roma Tor Vergata - Dipartimento di Biologia

Presentazione del Centro e delle sue attività.

Il Centro di Monitoraggio Aerobiologico di Tor Vergata è attivo dal 1996, e gestisce tre stazioni a Roma: RM5 con sede a Roma sud, presso l'Università di Tor Vergata (zona Tuscolana-Casilina), RM6, con sede a Roma nord (zona Cassia), presso l'Ospedale San Pietro Fatebenefratelli, RM7 con sede a Roma sud-est (zona EUR), presso l'Ospedale Sant'Eugenio. La collocazione geografica dei tre campionatori permette di monitorare aree con differente microclima e composizione floristico vegetazionale. L'area metropolitana è infatti caratterizzata da 14 riserve naturali che ospitano circa 50 tipi di vegetazione diversi e tra questi 13 tipi di bosco. Pertanto la composizione dell'aerospora dei tre campionatori riflette la diversa composizione vegetazionale della città e dei suoi dintorni.

Settimanalmente vengono conteggiati i granuli pollinici campionati nelle tre stazioni. Viene poi effettuata la trasmissione dei dati del monitoraggio all'Associazione Italiana di Aerobiologia e della diffusione in rete degli stessi. A questo scopo è stato creato un sito web, nella cui home page viene settimanalmente aggiornato un bollettino sulla presenza del polline allergenico nella città di Roma. Tale bollettino viene inoltre settimanalmente stampato e diffuso negli ambulatori di allergologia degli ospedali S. Pietro e Policlinico di Tor Vergata. Il bollettino fornisce un'indicazione sulla concentrazione del polline, espressa come "alta", "media" o "bassa" facendo riferimento alle tabelle diffuse da A.I.A., e un'indicazione sulla tendenza per la settimana successiva, basandosi sui dati storici e su osservazioni fenologiche. Ultimamente è stato attivato un link che permette di contattare l'Ambulatorio di Allergologia della Cattedra di Allergologia e Immunologia Clinica dell'Università di Roma Tor Vergata, con cui il Centro di Monitoraggio collabora, e tramite posta elettronica stabilire un contatto con i medici.

Nonostante sia ancora in via di sperimentazione il servizio ha già fornito prospettive interessanti. L'indirizzo web del sito è: www.uniroma2.it/biologia/polline.

Il sito web comprende anche pagine dedicate alla descrizione delle piante di interesse allergenico e del loro polline, alla metodica di monitoraggio e gli strumenti utilizzati, e informazioni sulle altre attività del Centro.

Il Centro di Monitoraggio di Roma Tor Vergata si avvale inoltre delle seguenti attività ed eccellenze:

1. Studi morfologici sul polline mediante Microscopia Elettronica a Scansione.
2. Studio delle molecole allergeniche del polline, localizzazione, purificazione, caratterizzazione.

3. Una recente convenzione stipulata tra il Centro di Monitoraggio di Roma Tor Vergata e l'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria (UCEA) permetterà di studiare le differenze nella concentrazione del polline aerodiffuso alle diverse quote e i movimenti nell'atmosfera. L'UCEA dispone di un campionatore di polline posto all'altezza di 45 m dal suolo. Confrontando i dati di tale campionatore con quelli di un campionatore posto a livello del suolo al Foro di Traiano si intende cercare una correlazione tra la concentrazione di polline rilevata dai campionatori posti ad altezza standard, 15-20 mt secondo le indicazioni A.I.A., e le concentrazioni a livello del suolo, che sono di interesse immediato per gli allergopatici.

RUOLO DELL'AEROBIOLOGIA NEL MONITORAGGIO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Tedeschini Emma, Frenguelli Giuseppe

Università degli studi di Perugia - Dipartimento di Biologia Vegetale e Biotecnologie Agroambientali.

Negli ultimi anni si è assistito a livello mondiale ad un continuo innalzamento medio della temperatura. E' il surriscaldamento del pianeta che ha fatto scaturire quel fenomeno preoccupante e irreversibile noto come "effetto serra"; tutto questo è ancora più grave e allarmante se pensiamo che è accompagnato da un generale cambiamento nella quantità delle precipitazioni, in molte zone ridotte e concentrate in brevi periodi e che sovente si scaricano in violenti temporali con conseguenti frequenti fenomeni alluvionali.

Questa situazione è purtroppo ben conosciuta anche in Italia dove negli ultimi 20 anni (1982-2001) la temperatura media annuale è aumentata di circa 0,6 °C comparati con i valori medi del periodo 1960-1990 e dove spesso ai danni dovuti alla siccità si susseguono catastrofiche frane per le piogge violente e abbondanti.

Le piante sono eccellenti bio-indicatori e in zone a clima temperato dove le stagioni sono chiaramente differenziate, la vegetazione sincronizza i propri ritmi di crescita con l'alternanza delle stagioni. La fenologia di molte piante arboree ed erbacee che crescono in questo clima è principalmente condizionata dalla temperatura dell'aria, anche se la disponibilità di acqua e il fotoperiodo possono influenzare alcune fasi dello sviluppo.

Quindi ci siamo chiesti: come rispondono le piante a questi cambiamenti climatici?

In questo lavoro abbiamo analizzato la fase fenologica della fioritura ovvero l'emissione di polline di alcuni taxa anemofili, tipici della flora locale, la cui variabilità negli anni è principalmente condizionata dalla temperatura dell'aria. Per questo, nel tentativo di esaminare l'entità e l'impatto delle variazioni di temperatura sulla pollinazione di alcuni taxa, i dati di 20 anni (1982-2001) di monitoraggio pollinico sono stati analizzati e comparati con i valori di temperatura media dello stesso periodo.

Queste analisi, hanno permesso di evidenziare che la maggiore variabilità riguarda due dei parametri che descrivono la fioritura: la data di inizio "beginning of pollination" e la durata "duration of pollination".

Per quei taxa la cui fioritura è invernale o inizio primaverile, il parametro più significativamente variabile è "il beginning of pollination" con un'elevata deviazione standard, che invece è molto più bassa per le fioriture di tarda primavera. La maggiore variabilità è stata riscontrata nell'inizio fioritura del genere *Pinus* con un range di variazione di 40 giorni, seguito dai generi *Platanus* e *Salix* con più di 30 giorni, mentre è risultata di solo 19 giorni per *Castanea*.

L'altro parametro pollinico, che si è dimostrato essere un buon indicatore dei cambiamenti climatici avvenuti negli anni, è la durata della pollinazione "duration of pollination" che, per i generi *Corylus*, *Alnus*, *Ulmus* a fioritura invernale e per il *Pinus*, ha mostrato una grande variabilità e una conseguente elevata deviazione standard. Correlando negli anni, i dati relativi alla lunghezza in giorni del periodo di pollinazione si è potuto verificare che, i generi *Ulmus*, *Populus*, la famiglia delle Graminacee, e ancora i generi *Pinus*, *Olea* e *Castanea*, negli anni più caldi, presentano una pollinazione più corta di 6-12 giorni, ovvero una contrazione della stagione pollinica che si conclude prima rispetto agli anni più freddi.

Altro comportamento è stato registrato per la famiglia delle Urticacee, per la quale l'aumento delle temperature ha evidentemente enfatizzato la naturale tendenza alle rifioriture, infatti, abbiamo potuto verificare un incremento medio di 20 giorni nella durata della stagione di pollinazione, incremento determinato sia dall'anticipo di inizio fioritura.