

RISULTATI PRELIMINARI DELL'APPLICAZIONE DI UN MODELLO UNIFICATO PER LA SIMULAZIONE DEL GERMOGLIAMENTO DI SPECIE ARBOREE SPONTANEE

Spanna F.¹, Sanna M.², Fossa V.³, Caramiello R.³

¹Regione Piemonte - Settore fitosanitario – Sez. Agrometeorologia, federico.spanna@regione.piemonte.it

²Centro di Competenza per l'Innovazione in campo Agroambientale (Agroinnova), mattia.sanna@unito.it

³Dipartimento di Biologia Vegetale – Università di Torino, rosanna.caramiello@unito.it

Abstract

L'obiettivo del presente lavoro è quello di esporre i risultati ottenuti in seguito all'applicazione del modello fenologico, proposto da Chuine (2000), alle specie arboree autoctone del Parco fluviale del Po e considera in particolare i fabbisogni termici per il superamento della dormienza e per il germogliamento. Il modello è stato applicato sulle specie arboree presenti nel Giardino Fenologico "C. Allioni" allestito presso il Parco delle Vallere a Moncalieri (TO).

Il modello scelto mira a fornire una previsione della data di apertura delle gemme utilizzando i dati di temperatura della zona considerata. Esso viene denominato *modello unificato*, dal momento che accorpa diversi modelli precedentemente elaborati, e si definisce mediante una serie di parametri specie-specifici, dalla stima dei quali è possibile risalire ai fabbisogni in caldo e in freddo (*forcing e chilling units*) della specie presa in esame. La stima dei parametri del modello si rivela piuttosto complessa a causa della sua non-linearità, ed è pertanto necessario ricorrere ad una procedura di ottimizzazione nota come *Simulated Annealing Method*, la quale si dimostra efficiente allorché, come in questo caso, la funzione dei minimi quadrati presenta numerosi minimi locali.

Introduzione

La fenologia vegetale, cioè lo studio del periodico verificarsi delle diverse fasi biologiche nelle piante e della relazione di tali cicli con le condizioni climatiche, riveste un ruolo fondamentale nell'elaborazione di modelli di simulazione di ecosistemi, tanto su scala regionale, quanto su scala globale. I modelli fenologici per le piante vengono utilizzati per simulare la durata e la collocazione temporale del loro periodo di crescita e per prevederne la risposta, in termini di capacità produttiva, ai cambiamenti climatici. Tali modelli si basano sostanzialmente sull'assunzione che la crescita delle gemme sia influenzata inizialmente da un periodo caratterizzato da basse temperature, le cosiddette *chilling temperatures*, che determina l'interruzione dello stato di dormienza. Una volta soddisfatto questo fabbisogno in freddo, il germogliamento potrà avvenire allorché le temperature successive, le *forcing temperatures*, siano state tali da soddisfare completamente il fabbisogno in caldo della pianta.

Il presente lavoro riguarda le fasi dello sviluppo legate al risveglio vegetativo, facendo uso del modello unificato proposto da Chuine (2000). Tale modello, che risulta racchiudere in sé alcuni dei più comuni modelli fenologici elaborati in precedenza, permette di ottenere una stima diretta del tipo di risposta della pianta alle *chilling temperatures* ed alle *forcing temperatures*, del periodo durante il quale queste ultime influenzano la crescita delle gemme, della relazione tra la quantità di unità di caldo necessaria per il germogliamento, le *forcing units*, e l'entità delle *chilling units*, e dei parametri specifici di specie.

Materiali e metodi

I modelli fenologici più largamente impiegati nella simulazione dei cicli vegetativi delle piante partono da due presupposti fondamentali. Il primo è che il germogliamento sia regolato dalla temperatura, risultando essere indotto da un periodo di *chilling temperatures* seguito da

un periodo di *forcing temperatures*. In secondo luogo si assume che sussista una relazione di proporzionalità tra il fabbisogno in freddo e il fabbisogno in caldo, tale per cui tanto maggiore è l'ammontare di *chilling units* accumulate, tanto minore sarà la quantità di *forcing units* necessarie per il germogliamento.

Il modello unificato utilizzato nel presente lavoro, come dimostrato da (Chuine 2000), deriva da altri tra i quali citiamo lo Spring Warming Model (Cannell & Smith, 1983), il Sequential Model (Sarvas, 1974; Hänninen, 1987; Kramer, 1994), il Parallel Model (Landsberg, 1974; Hänninen, 1987; Kramer, 1994) e l'Alternating Model (Murray *et al.*, 1989; Cannell & Smith, 1983; Kramer, 1994), che ne sono sostanzialmente dei casi particolari. Il modello unificato è definito, in sintesi, da tre assunzioni:

1. l'effetto delle *forcing temperatures* sulla crescita è determinato mediante la funzione $CF_f(0, b_f, c_f; x_t)$;
2. l'effetto delle *chilling temperatures* sulla crescita è determinato mediante la funzione $CF_c(a_c, b_c, c_c; x_t)$;
3. sussiste la relazione $F^* = we^{kC}$, $w > 0, k < 0$.

La forma della funzione CF è data dall'espressione:

$CF(a, b, c; x) = 1/e^{a(x-c)^2 + b(x-c)}$, mentre F^* rappresenta la quantità di *forcing units* necessaria per il germogliamento e C la totalità di *chilling units* accumulate. La variabile x_t infine indica la temperatura media rilevata il giorno t.

Il modello suesposto risulta essere non lineare nei parametri specie-specifici che lo definiscono ed è perciò necessario ricorrere ad un algoritmo di ottimizzazione che prende il nome di *Simulated Annealing Method* e che si dimostra particolarmente efficiente allorché, come nel caso in esame, la funzione dei minimi quadrati presenta numerosi minimi locali. (Si ricordi che la funzione dei minimi quadrati è data dalla formula

$$f = \sum_i (\text{dato}^{\text{teo}}_i - \text{dato}^{\text{oss}}_i)^2.$$

L'algoritmo Simulated Annealing è una metodologia di ricerca altamente adatta per qualunque problema di ottimizzazione non convessa e fonda le sue basi nella statistica meccanica. Il suo nome infatti deriva dal principio termodinamico sulla base del quale i metalli, portati allo stato fluido mediante riscaldamento ad alte temperature, vengono poi riportati, in seguito a raffreddamento graduale, allo stato cristallino. Tale principio si definisce come segue: l'energia E di un sistema in equilibrio termico alla temperatura T risulta essere distribuita secondo la distribuzione di probabilità di Boltzmann, $\text{Prob}(E) \approx \exp(-kT)$, dove k è la costante di Boltzmann.

Si assume inizialmente che un dato insieme di valori per i parametri del modello si possa considerare come uno stato termodinamico S di un sistema e che la funzione dei minimi quadrati sia assimilabile all'energia di tale sistema. La gamma dei possibili stati del sistema viene analizzata attraverso una transizione casuale dallo stato S_1 allo stato S_2 secondo la seguente regola. Indicata con ΔE la differenza tra l'energia allo stato S_2 e l'energia allo stato S_1 , se $\Delta E < 0$ allora si accetta la configurazione S_2 , se invece $\Delta E > 0$ la configurazione S_2 viene accettata con probabilità $\text{Prob}(\Delta E) \approx \exp(-kT)$. Il parametro T viene progressivamente diminuito nel corso della procedura ed è proprio tale diminuzione a determinare la convergenza del sistema verso lo stato di minima energia (Press *et al.*, 1989), cosa che quindi equivale a minimizzare la funzione dei minimi quadrati.

I dati fenologici sono stati rilevati per 4 anni con valutazioni settimanali secondo quanto indicato in Puppi Branzi & Zanotti (1998) su alcune specie arboree tra cui *Acer negundo*, *Aesculus x carnea*, *Alnus glutinosa*, *Platanus orientalis*, *Quercus robur*. I dati meteo provengono da una stazione, afferente alla rete agrometeorologica della Regione Piemonte, posta all'interno del giardino fenologico.

La procedura di ottimizzazione utilizzata nell'applicazione del Simulated Annealing Method è stata derivata dall'algoritmo di Metropolis (Metropolis *et al.*, 1953). È stato quindi progettato un programma in linguaggio C che implementasse tale algoritmo.

Naturalmente la struttura del programma prescinde tanto dal modello fenologico preso in considerazione, quanto dai dati che sono l'oggetto dell'elaborazione numerica. Di conseguenza la sua utilizzabilità supera quello che è il particolare obiettivo del presente lavoro.

La procedura d'inserimento dei dati infine è stata concepita per essere quanto più possibile semplice e flessibile in modo da poter eventualmente incrementare la quantità di dati a disposizione, attualmente relativi ad un arco di tempo di 3-4 anni, al fine di migliorare la precisione dei risultati ottenuti per ciascuna specie.

Risultati e Conclusioni

Risultati preliminari sono stati ottenuti utilizzando il modello per l'elaborazione dei dati meteorologici e fenologici relativi alle specie sopra citate, verificando che il modello unificato preso in esame può venire impiegato

per la simulazione delle prime fasi di sviluppo vegetativo. D'altra parte le funzioni matematiche che sono alla base del modello stesso e che quindi ne permettono la formalizzazione sono state usate sia per indagare la fase vegetativa dello sviluppo della pianta che la fase riproduttiva (Robertson, 1968; Landsberg, 1974; Sarvas, 1974; Cannell & Smith, 1983; Murray *et al.*, 1989; Hänninen, 1990; Kramer, 1994; Chuine *et al.*, 1999).

Risulta dunque evidente come il modello unificato possa essere uno strumento efficace nell'ambito dell'indagine fenologica e per questo motivo certamente meritevole di essere tenuto in considerazione per eventuali ricerche future.

Solo però avendo a disposizione lunghe serie di rilevamenti ed osservazioni in campo sarà possibile pervenire alla validazione ed alla calibrazione del metodo. Qualora si riuscisse inoltre ad eseguire la stima diretta del fabbisogno in freddo ed in caldo specifici per la specie vegetale considerata, si avrebbe anche la verifica della stima, eseguita dal modello, dei quantitativi di unità di freddo e di caldo necessari al vegetale per le sue prime fasi di sviluppo.

Bibliografia

- Cannell, M.G.R., & Smith, R.I. (1983). *Thermal time, chill days and prediction of budburst in Picea sitchensis*. *Journal of Applied Ecology*, 20, 951-963.
- Chuine, I., Cour, P., & Rousseau, D.D. (1998). *Fitting models predicting dates of flowering of temperate-zone tree using simulated annealing*. *Plant, Cell and Environment*, 21, 455-466.
- Chuine, I., Cour, P., & Rousseau, D.D. (1999). *Selecting models to predict the timing of flowering of temperate trees: Implications for tree phenology modeling*. *Plant, Cell and Environment*, 22, 1-13.
- Hänninen, H. (1987). *Effects of temperature on dormancy release in woody plants: implications of prevailing models*. *Silva Fennica*, 21, 279-299.
- Hänninen, H. (1990). *Modelling bud dormancy release in trees from cool and temperate regions*. *Acta For. Fenn.* 213, 1-47.
- Kramer, K. (1994). *Selecting a model to predict the onset of growth of Fagus sylvatica*. *Journal of Applied Ecology* 31, 172-181.
- Landsberg, J.J. (1974). *Apple fruit bud development and growth: analysis and an empirical model*. *Ann. Bot.* 38, 1013-1023.
- Marsaglia G., Zaman, A. & Tsang, W.W. (1990). *Toward a universal random number generator*. *Statist. Probab. Lett.* 8, 35-39.
- Metropolis, N., Rosenbluth, A.W., Rosenbluth, M.N. & Teller, A.H. (1953). *Equation of state calculations by fast computing machines*. *J. Chem. Phys.* 21, 1087-1093.
- Murray, M.B., Cannell, M.G.R. & Smith, R.I. (1989). *Date of budburst of fifteen tree species in Britain following climatic warming*. *Journal of Applied Ecology* 26, 693-700.
- Press, W.H., Flannery, B.P., Teukolsky S.A. & Vetterling W.T. (1989). *Numerical recipes in Pascal*, p.759. Cambridge: Cambridge University Press.
- Puppi Branzi, G. & Zanotti, A.L. (1998). *Guida ai rilievi fenologici*. In *Progetto Finalizzato "Phenagri: Fenologia per l'Agricoltura"* coordinatore A. Brunetti, 9-13
- Robertson, G.W. (1968). *A biometeorological time scale for a cereal crop involving day and night temperatures and photoperiod*. *Int. J. Biometeorol.* 12, 191-223.
- Sarvas, R. (1974). *Investigations on the annual cycle of development of forest trees. Autumn dormancy and winter dormancy*. *Commun. Inst. For. Fenn.* 84, 101.