

Giornata di studio su:

Fenologia vegetale in Italia:  
attualità e prospettive

Firenze, 15 giugno 2007



## Fitofenologia: inquadramento e profilo storico

### INTRODUZIONE

Per definire la fenologia sono state coniate varie definizioni, tra cui la più efficace e completa è forse quella proposta dal Comitato di Fenologia US/IBP: «la fenologia è la scienza che studia il ritmo temporale di fenomeni biologici ricorrenti negli organismi, le loro cause (fattori biotici e abiotici) e le interrelazioni tra fasi della stessa o di differenti specie».

Innanzitutto viene definito l'oggetto delle osservazioni: i fenomeni biologici periodici, articolati in diverse fasi (fenofasi) e visti nella loro dimensione temporale. Questa prima parte della definizione appartiene alla *fenologia descrittiva*: l'osservazione dei fenomeni rappresenta comunque il primo gradino della conoscenza per la fenologia come per qualunque scienza della natura.

La ricerca delle relazioni tra le fenofasi e i fattori esterni o interni che governano le manifestazioni fenologiche invece, appartiene più propriamente alla *fenologia scientifica*: questa fase del processo conoscitivo, per produrre risultati, da un lato esige l'applicazione di metodologie rigorose nel trattamento dei dati e dall'altro impone precisi criteri anche nei metodi di rilevamento.

Dai risultati della fenologia scientifica poi si possono sviluppare conoscenze utili in diversi campi applicativi (sanità, agricoltura, ambiente): *fenologia applicata*.

La *fitofenologia* è quella branca della fenologia che si occupa dei ritmi stagionali delle piante.

Un ricercatore moderno che svolge studi fitofenologici, dopo una prima fase di raccolta di osservazioni sui ritmi vegetali (in natura o in condizioni

\* Dipartimento di Biologia E.S., Università degli Studi di Bologna

controllate), prosegue la ricerca analizzando i dati rilevati in rapporto a fattori endogeni ed esogeni, individuandone le reciproche relazioni: tali relazioni permettono di elaborare modelli interpretativi che possono essere usati per spazializzazioni, previsioni e varie applicazioni.

Le tappe storiche della Fenologia (e della Fitofenologia) sembrano un po' ripercorrere questo processo conoscitivo: dalle antichissime serie di annotazioni sulle date delle fioriture o dei raccolti, si passa, dal Rinascimento in poi, allo studio dei fattori ambientali che sembrano influenzare le variazioni della comparsa delle fenofasi: nel Settecento viene posto seriamente il problema dei metodi e dei criteri di rilievo e contemporaneamente nasce la modellistica fenologica. Nel XIX e XX secolo si assiste a un grande sviluppo degli studi fenologici e delle loro applicazioni cartografiche, si usano metodi di elaborazione statistica dei dati e si ottengono significativi progressi nelle previsioni fenologiche, mediante modelli numerici sempre più sofisticati.

#### LE ORIGINI DELLA FENOLOGIA

La fenologia descrittiva probabilmente è nata nelle primitive società agricole, con annotazioni sui cambiamenti della vegetazione e delle coltivazioni con le stagioni: anche se è verosimile che di queste prime osservazioni non sia rimasta traccia.

Le grandi civiltà circummediterranee (Egitto, Mesopotamia), ma anche le civiltà asiatiche (Cina) ci hanno lasciato testimonianze di osservazioni fenologiche effettuate migliaia di anni fa (Schwartz, 2003): alcune tra le più antiche registrazioni scritte di eventi fenologici su piante e animali provengono dalla Cina (XI secolo a.C.) e sempre dalla Cina ci è pervenuto un antichissimo esempio di calendario fenologico (VIII secolo a.C.).

Anche i Romani si servivano di calendari fenologici; tra gli scienziati e i pensatori dell'antichità classica si può ricordare la particolare attenzione rivolta ai ritmi fitofenologici dal grande Plinio: «Floret prima omnium amygdala mense januario... ab ea proximae florent armeniaca dein tuberes et precoces» (*Naturalis historia*, 77 d.C.).

Antiche e lunghissime serie di osservazioni sono state registrate per motivi religiosi o economici: la fioritura del ciliegio, che avviene in concomitanza di un'importante festa religiosa, a Tokyo è stata registrata dal nono secolo dopo Cristo fino ai nostri giorni, mentre in Francia, in Borgogna, sono state annotate le date della vendemmia del Pinot nero dal 1370: alcune di queste lunghe serie di dati sono state utilizzate da ricercatori moderni per ricostruire le fluttuazioni climatiche (Arakawa, 1955; Zhu, 1973; Chuine et al., 2004).

## LE ORIGINI DELLA FENOLOGIA SCIENTIFICA

In Europa, dopo i secoli del Medio Evo, con il moltiplicarsi nelle università delle cattedre di botanica, dei giardini botanici e degli erbari, avviene un generale ritorno di interesse per le scienze naturali e in varie sedi iniziano a essere effettuate osservazioni fenologiche con ottica scientifica (Zurigo, Cracovia). A questo riguardo, tra gli studiosi rinascimentali, merita una particolare attenzione lo svizzero Konrad Gessner (*Gesnerus*), letterato, linguista, medico e naturalista, che operò a Zurigo nella prima metà del XVI secolo: in una sua opera minore (*De stirpium collectione* pubblicata postuma nel 1587) è contenuto il primo rapporto dettagliato (180 pagine) sul risveglio vegetativo, sulle fioriture e le fruttificazioni di 1250 piante, tra alberi, arbusti ed erbe (Greene, 1983).

Per un reale avanzamento delle scienze fenologiche bisogna attendere però il XVII secolo con l'opera di White, Marsham e soprattutto di Linneo e Reaumur.

In questo secolo, in Inghilterra ha grande sviluppo la fenologia descrittiva: Gilbert White (a Selborne, Hampshire) e William Markwick (a Battle, Sussex) registrarono gli eventi stagionali di più di 400 piante e animali nel corso di 25 anni (1768 - 1793); inoltre, nel 1736, per merito di Robert Marsham, ha inizio una lunghissima serie di osservazioni fenologiche effettuate a Norwich (Norfolk) in Inghilterra, sul ciclo vegetativo e riproduttivo di numerose specie spontanee sia legnose che erbacee: le osservazioni vennero continuate dai suoi discendenti fino al 1947: queste preziose serie storiche sono state analizzate da autori contemporanei (Sparks & Carey, 1995) per ricostruire le fluttuazioni fenologiche degli ultimi due secoli.

## IL CONTRIBUTO DI LINNEO

Il grande naturalista svedese Carlo Linneo (1707-1778), nella sua instancabile opera di indagine e classificazione della natura, si interessò anche agli aspetti bioritmici e fenologici dei viventi, le cui manifestazioni egli metteva in relazione ai fattori geografici e al clima: «i venti freddi, l'ombra, il suolo umido, l'altitudine, ritardano la schiusura delle gemme, mentre le posizioni riparate la anticipano» (*Vernatio arborum*, 1753).

L'interesse di Linneo per l'effetto dei fattori climatici sulle piante, si concretizzò tra l'altro nella realizzazione di serre per la coltivazione sperimentale di piante esotiche, dotate dei primi preziosissimi termometri in gradi centigradi, per la ri-

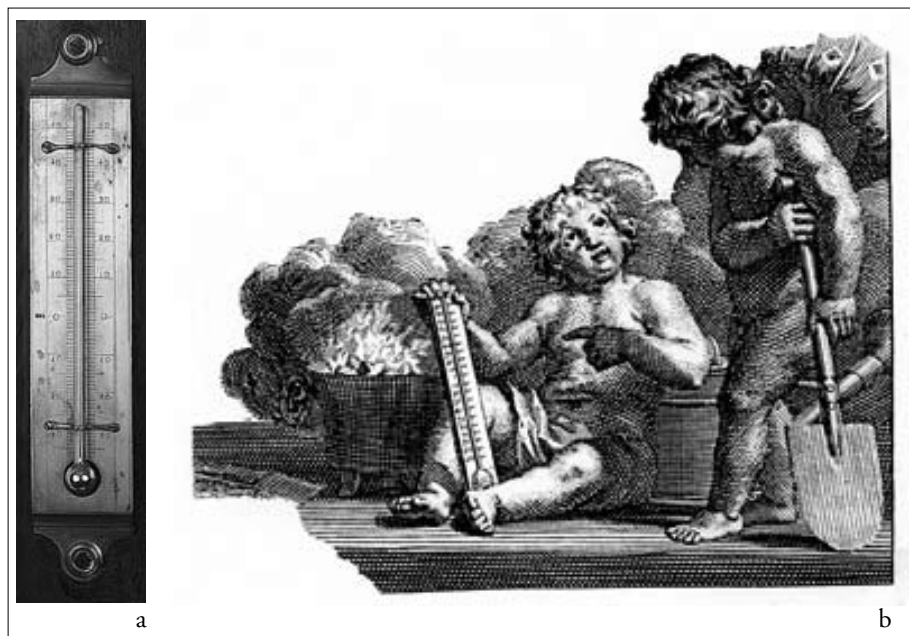


Fig. 1 a. Termometro in gradi centigradi appartenuto a Linneo (foto dal Museo Linneano di Uppsala): il suo primo termometro, probabilmente simile a questo, lo fece costruire a Stoccolma nel 1745. b. Particolare dell'illustrazione che ornava il frontespizio dell'opera *Hortus Cliffortianus* (1737), dove due putti simboleggiano il colloquio tra due anime della orticoltura, quella tradizionale pratica (putto con la vanga) e quella innovativa scientifica (putto con il termometro in gradi centigradi).

levazione costante della temperatura (fig. 1). Nel frontespizio della famosa opera linneana – *Hortus Cliffortianus* (1737) – un putto mostra un termometro graduato in base alla scala escogitata dal giovane naturalista svedese, dove lo zero segna il punto di congelamento e il centesimo grado quello dell'evaporazione. Tale sistema di misurazione della temperatura sarà poi associato al nome di Celsius, benché quest'ultimo abbia pubblicato la sua proposta solo nel 1742, fissando inoltre a 0 °C il punto di ebollizione e a 100 °C quello di solidificazione dell'acqua.

Affascinato dai bioritmi circadiani ebbe l'idea di realizzare un orologio fatto di piante (*Horologium florum*) in cui le ore del giorno sono scandite dall'apertura o chiusura dei fiori di diverse specie. L'orologio è basato su una scelta di specie indicatrici affidabili (fiori "*Aequinoctiales*", che cioè hanno tempi fissi di apertura e chiusura) escludendo quelle con ritmi variabili con il clima ("*Meteorici*") o con la latitudine ("*Tropici*", influenzati dalla lunghezza del giorno).

Si interessò però anche alle manifestazioni stagionali della natura e realizzò un dettagliato calendario (*Calendarium florum*, 1756), basato su osservazioni ef-

Fig. 2 Tabella riassuntiva contenente le date di emissione fogliare di varie specie legnose registrate in 18 diverse località dell'Europa settentrionale per tre anni consecutivi (dal 1750 al 1752): si tratta indubbiamente del primo esempio di rete di rilevamento fenologico realizzata con criteri scientifici. Nelle ultime righe in basso sono riportate anche le date delle principali fasi di sviluppo delle colture di orzo (da "Vernatio arborum", Linneo 1753).

fettuate a Uppsala sulla fenologia delle piante, aggiungendo accurate notazioni sul clima. Vari studiosi in seguito si cimentarono nella realizzazione di calendari fenologici: G.A. Scopoli ne realizzò uno in Slovenia (*Calendarium Florae Carniolicae*, 1761) e così altri autori nel corso del secolo successivo. Scrive G. Bertoloni nel suo "Calendario di Flora Bolognese per l'anno 1873": «Il grande Linneo per il primo colle proprie osservazioni immaginò quel calendario di Flora, che doveva essere il regolatore delle operazioni agricole nel freddo clima svedese, Lamarck lo fece per la Francia, e mio padre (A. Bertoloni), siccome altri botanici per l'Italia». Il citato calendario, ispirato a quello di Linneo, di cui i Bertoloni erano grandi estimatori, comprende dettagliate osservazioni fenologiche della flora spontanea dei dintorni di Bologna, in un anno climaticamente anomalo (1873) a causa di un inverno estremamente mite, accompagnate dalla raccolta di campioni raccolti in un erbario fenologico. G. Bertoloni annota tra l'altro

che in pieno gennaio fiorirono piante ad antesi primaverile come *Viola odorata*, *Veronica hederifolia*, *Erodium cicutarium*, *Salvia pratensis*, *Trifolium pratense*, *Achillea millefolium*, *Anemone hortensis*, *Daucus carota*.

Tornando a Linneo, la sua ricerca fenologica più interessante è forse quella oggetto della dissertazione *Vernatio arborum* (1753) in cui sono esposti i risultati di una campagna triennale di rilevamenti fenologici sull'emissione delle foglie di una ventina di alberi e arbusti in 18 diverse località del Nord Europa (fig. 2): si tratta del primo esperimento di rete fenologica internazionale, realizzata con un preciso protocollo riguardante la scelta delle stazioni di rilievo (le stazioni dovevano essere rappresentative della campagna circostante per suolo e condizioni climatiche), la fenofase da rilevare («per vernatione arborum intelligimus statum illum, quo arbores... gemmas explicare et folia erumpere occipiunt») e il metodo di rilevazione (viene registrata la data di comparsa della fenofase, negli stessi alberi per tre anni consecutivi); a questo riguardo Linneo annota: «Potevamo forse stabilire regole più precise, però se queste non fossero seguite in tutti i casi, i dati non sarebbero omogenei».

Anche da questo breve sunto risulta evidente l'impostazione rigorosamente scientifica che distingue le ricerche di Linneo dalle osservazioni, sia pur valide, degli studiosi precedenti.

#### LA NASCITA DEI MODELLI FENO-CLIMATICI

René-Antoine Ferchault de Réaumur accademico delle Scienze di Parigi, noto per i suoi studi sulla temperatura, studiò le relazioni tra temperatura ambientale e fenofasi. Réaumur per primo scoprì che le fioriture avvengono quando la somma delle temperature ambientali dei mesi precedenti raggiunge un determinato valore e formalizzò in termini matematici tali relazioni (1735) nel modello delle sommatorie termiche. Il grande naturalista francese M. Adanson (1750), modificò il modello di Réaumur, introducendo il concetto di soglia termica: in questo caso le sommatorie vengono calcolate trascurando le temperature inferiori a 0 °C.

$$t \text{ (} t = \text{giorno dell'anno } t_0 = \text{data di inizio della sommatoria) } \\ L = \int_{t_0} (T - T_0) dt \text{ (} T = \text{temperatura media giornaliera } T_0 = \text{temperatura soglia) }$$

Questo modello, con alcune modifiche e varianti, è stato largamente applicato con successo fino a oggi, per effettuare previsioni fenologiche sulla base dell'andamento meteorologico dell'annata in corso.



## LO SVILUPPO DELLE RETI DI MONITORAGGIO FENOLOGICO TRA '700 E '800

Dopo le esperienze di Linneo, a partire dalla fine del XVIII secolo vengono istituite le prime reti di rilevamento su grandi territori, al fine di monitorare gli eventi fenologici nella loro dimensione spaziale oltre che temporale (Lieth, 1974): la *Societas Meteorologica Palatina*, a Mannheim istituisce la prima rete fenologica centro-Europea (1781-1792).

A metà del secolo successivo entrano in attività la rete fenologica Russa, organizzata dalla *Società Geografica Russa* (dal 1850, con più di 600 osservatori), la rete Inglese, facente capo alla *Royal Met. Society* (dal 1857) e quella Statunitense, attiva in 33 stati tra il 1851 e il 1859, con osservazioni su 86 specie, tra piante, uccelli e insetti (*Smithsonian Institution*).

L'organizzazione delle reti solitamente fa capo a strutture (società scientifiche, servizi) che si occupano di Meteorologia o Geografia, in Italia invece, le prime esperienze al riguardo nascono dall'iniziativa di singoli studiosi: A. Da Schio e D. Lampertico organizzano la prima rete fenologica in territorio italiano nel Veneto e in Emilia (1887).

## LE ORIGINI DELLA CARTOGRAFIA FENOLOGICA

L'idea di rappresentare gli eventi in modo cartografico, con linee di ugual data (isofane) è stata avanzata dall'americano De Witt alla fine del settecento (Zanotti, 1989), tuttavia la realizzazione della prima carta fenologica si deve al tedesco H. Hoffmann, fondatore della Rete Fenologica Europea (che resterà in attività fino al 1941), che nel 1881 pubblica la carta dell'inizio della primavera nell'Europa media, basata sulla fioritura di circa 90 specie in 240 stazioni: nella carta sono riportati i giorni di anticipo o ritardo rispetto a un sito di riferimento (Giessen) con linee che collegano punti di isoantesi. Altri esempi di cartografia fenologica si hanno con Staub nel 1882 (Ungheria), con Ziegler 1882 (dintorni Francoforte) e con Ihne nel 1885 (fioritura di *Syringa vulgaris* nell'Europa media).

## LA FENOLOGIA NEL XX SECOLO

Nel XX secolo vengono sviluppate le idee nate in epoche precedenti (modellistica e cartografia), che vengono perfezionate e potenziate anche grazie al progresso della tecnologia. Si sviluppa la *fenologia sperimentale*, che studia, in condizioni controllate, i meccanismi che stanno alla base dei bioritmi e la

*sinfenologia* che studia il ritmo globale delle comunità biologiche (Salisbury, 1916). Le raccolte di dati si realizzano con metodi oggettivi e standardizzati (Schirone, 1989; Malossini, 1993; Meier, 2003) e in parte in modo automatico da immagini tele-rilevate (Reed et al., 2003).

Nella seconda metà del secolo le analisi statistiche dei dati sono computerizzate, come pure le spazializzazioni (mappe fenologiche) e previsioni, che vengono effettuate con metodi numerici e modelli matematici (Lieth, 1974).

Le reti fenologiche, che rappresentano un sistema di controllo continuo dello “stato fenologico” del territorio nello spazio e nel tempo, vengono rivolte sia a scopi di ricerca che applicativi. I risultati delle analisi dei dati raccolti dalle reti, sono utilizzati per individuare gradienti fenologici geografici, formalizzati in termini numerici: un celebre esempio è quello di A. Hopkins, un entomologo americano, che formulò la seguente “*legge bioclimatica*” (1918 e 1938) per l’avanzamento della primavera nel territorio degli USA: 4 giorni di ritardo ogni grado di latitudine verso Nord, 1.25 giorni per ogni grado di longitudine verso est e 1 giorno ogni 30 metri di quota. In seguito altri modelli spaziali sono stati proposti per vari territori, fenofasi e specie (Lieth, 1974).

Per quanto riguarda il continente Europeo, in primo piano si pone la rete dei Giardini Fenologici Internazionali (IPG) in attività dal 1957, con una cinquantina di stazioni distribuite soprattutto in Europa centrale: i rilievi vengono eseguiti con una procedura standard su cloni di piante legnose (Schnelle e Volkert, 1964). Grazie ai dati raccolti da questa rete sono stati individuati i gradienti fenologici sul territorio Europeo: ad esempio l’inizio stagione vegetativa procede in media con una velocità di 3,1 g. per 100 m di quota, di 2,3 g. per 100 km di latitudine verso Nord e di 0,5 g. per 100 km di longitudine verso Est (Rötzer & Chmielewski, 2001).

A livello nazionale, in Inghilterra si consolida la rete preesistente e in Germania un grande numero di stazioni fenologiche, coordinate dal DWD (Deutschen Wetterdienst) raccoglie una messe enorme di dati: alcune stazioni sono attive da oltre un secolo e per la fioritura del melo si dispone di una serie ininterrotta di dati dal 1896. Anche in molti altri paesi europei (Svizzera, Austria, Olanda, Slovenia, Estonia, etc.) si insediano consistenti reti di monitoraggio fenologico per lo più organizzate dai Servizi Meteorologici Nazionali (Menzel, 2003).

#### LA FENOLOGIA IN ITALIA

Nel XX secolo in Italia si riscontra un ritorno di interesse per la fenologia, anche se si fatica a recuperare il ritardo rispetto al resto d’Europa, soprattutto in campo organizzativo (Lorenzoni, 1988).

Tra i molti studiosi che hanno portato contributi in questa disciplina, merita una particolare menzione il botanico Alessandro Marcello che negli “anni Trenta” diede nuovo impulso alla fenologia italiana con ricerche sin-fenologiche sulle fitocenosi e con innovative proposte metodologiche: ideò un efficace metodo di rilevamento degli stadi di fioritura basato su un codice binario (boccioli, fiori aperti e fiori sfioriti sono indicati con un + in caso di presenza e con uno 0 in caso di assenza).

Per quanto riguarda la flora spontanea, la prima importante serie di rilevamenti fenologici nazionali è stata svolta nell’ambito della Rete Fenologica Italiana con il coordinamento di M. Minio dal 1922 al 1936 e in seguito con il coordinamento di A. Marcello dal 1953 al 1965, mentre a livello regionale, la serie di dati più significativa è quella della rete del Trentino coordinata da G. Dalla Fior e attiva per un quarantennio dagli anni Venti fino ai primi anni Sessanta (Lorenzoni, 1988).

Nella seconda parte del secolo la serie di dati continuativi più lunga è stata quella raccolta nel Lazio, da G. Montelucci a Guidonia, 1960-1982 (Cenci e Ceschia, 2000).

In Emilia-Romagna, dagli anni Ottanta in poi, sono state attivate singole stazioni fenologiche, ma anche reti locali di monitoraggio per la realizzazione di mappe (Puppi & Zanotti, 2005).

In questo periodo si è intensificata nuovamente l’attività di ricerca in campo fenologico con l’istituzione di Giardini Fenologici e l’attivazione di campagne di rilevamento a fini speciali.

Nel 1982 venne istituito il primo Giardino Fenologico Italiano a S. Pietro Capofiume (BO) secondo i criteri dell’IPG (International Phenological Gardens) e il secondo fu istituito a Oristano nel 1985: in seguito ne furono aggiunti altri, fino a costituire la rete di una quindicina di siti distribuiti sul territorio nazionale (Fornaciari da Passano, 2002).

Negli ultimi decenni si è sviluppata soprattutto la ricerca fenologica applicata all’agricoltura, anche grazie ai finanziamenti di alcuni progetti nazionali (IPRA, PHENAGRI).

## CONCLUSIONI

Attualmente l’interesse scientifico e applicativo della fenologia continua a crescere soprattutto a livello internazionale: negli ultimi anni infatti sono stati attivati vari progetti continentali e globali. Una particolare attenzione viene rivolta alla previsione degli impatti dei cambiamenti climatici sui ritmi sta-

gionali delle fitocenosi e sulla fenologia delle colture: poiché a questo scopo sono indispensabili estese reti di rilevamento e lunghe serie storiche di dati comparabili, molta parte dello sforzo è di tipo organizzativo ed è orientato verso l'integrazione delle reti di rilevamento a livello continentale (NPN, EPN, etc.) o globale (GPN) e il recupero critico di dati pregressi.

#### RIASSUNTO

Viene presentato un *excursus* storico delle conoscenze fenologiche, dalle loro antiche origini fino ai nostri giorni. Il percorso si svolge dall'antichità e il medio evo, quando la storia naturale di piante e animali era più vicina alla letteratura che alla scienza, attraverso il '500, epoca della rinascita delle scienze naturali con la istituzione delle cattedre di botanica, degli orti botanici e degli erbari, fino alla nascita della fenologia scientifica nel '700 con Linneo e Reaumur e ai suoi successivi sviluppi in scienza moderna.

#### ABSTRACT

An outline of the history of phenology, from the origins to the present days, is presented.

In ancient and medieval times there was little more to the natural history sciences than the literature, but that situation began to change during the 1500s, when professors of botany, botanical gardens and herbaria appeared; the scientific phenology, greatly developed in the last centuries, originate during the 1700s with Linnaeus and Reaumur.

#### BIBLIOGRAFIA

- ARAKAWA H. (1955): *Twelve centuries of blooming dates of the cherry blossoms at the city of Kyoto and its own vicinity*, «Pure and Applied Geophysics», 30 (1), pp.147-215
- CENCI C.A., CESCHIA M. (2000): *Forecasting of the flowering time for wild species observed at Guidonia, central Italy*, «Int. Journ. Biometeorol.», 44, (2), pp. 88-96.
- CHUINE I., YIOU P., VIOVY N., SEGUIN B., DAUX V., LE ROY LADURIE E. (2004): *Grape ripening as a past climate indicator*, «Nature», 432, pp. 289-290.
- FORNACIARI DA PASSANO M. (2002): *I giardini fenologici in Italia*, in Atti convegno: "Phe-nagri - Fenologia per l'agricoltura" UCEA, MiPAF dicembre 2002, pp. 159-165.
- GREENE, E. L. (1983): *Landmarks of botanical history*, Stanford University Press, Stanford, USA.
- LIETH H. (ed.) (1974): *Phenology and seasonality modeling*, Ecological studies 8, Springer, 444 pp.
- LORENZONI G.G. (1988): *Cento anni di Fenologia in Italia*, Volume celebrativo del Centenario della S.B.I., Biemmegraf, Macerata, pp. 809-820.

- MALOSSINI A. (ed.) (1993): *Procedure per il rilevamento fenologico nei Giardini Italiani*, Gruppo di Lavoro nazionale per i Giardini fenologici, R. Emilia-Romagna, Bologna, 64 pp.
- MEIER U. (2003): *Phenological growth stages*, in M.D. Schwartz (ed.), *Phenology: an Integrative Environmental Science*, Kluwer Ac. Pub., pp. 269-283.
- MENZEL A. (2003): *Europe*, in *Phenology: an Integrative Environmental Science*, M.D. Schwartz (ed.), Kluwer Ac. Pub., pp. 45-56.
- PUPPI G. & ZANOTTI A.L. (2005): *Un ventennio di ricerche fenologiche sulla flora spontanea del territorio bolognese*, «Informatore Botanico Italiano», 37 (1, parteB), pp. 682-3.
- REED B.C., WHITE M. & BROWN J.F (2003): *Remote Sensing Phenology*, in *Phenology: an Integrative Environmental Science*, M.D. Schwartz (ed.), Kluwer Ac. Pub, pp. 365-382.
- RÖTZER T. & CHMIELEWSKI F.M. (2001): *Phenological maps of Europe*, Climate research, 18, pp. 249-257.
- SALISBURY E.J. (1916): *The Hoak-Hornbeam woods in Herfordshire*, «J.Ecol.» 4, pp. 83-120.
- SCHNELLE F., VOLKERT E. (1964): *Internationale Phanologische Garten*, «Agric. Met.», 1, pp.22-29.
- SCHWARTZ M.D. (ed.) (2003): *Phenology: an Integrative Environmental Science*, Kluwer Ac. Pub, 564 pp.
- SPARKS T. H., & P. D. CAREY (1995): *The response of species to climate over two centuries: An analysis of the Marsham phenological record*, «J. Ecol.», 83, pp. 321-329.
- ZANOTTI A.L. (1989): *Metodi di cartografia fenologica*, in *Metodi di rilievo e di rappresentazione degli stadi fenologici*, B.Schirone (ed.), Quaderni metodologici, n. 12, CNR-IPRA, pp. 39-70.
- ZHU K. (1973): *A preliminary study on the climate fluctuation during the last 5000 years in China*, «Scientia Sinica», 16, pp. 226-256.

