

Ecologia della duna: ritmo fenologico delle specie psammofile

L. Gratani, M.F. Crescente & L. Varone

Dipartimento di Biologia Vegetale, Università "La Sapienza", P.le A. Moro 5, I-00185 Roma: e-mail: loretta.gratani@uniroma1.it

Abstract

Phenological trend of psammophilous species. The phenological behaviour of the most representative species of the psammophilous vegetation was analysed in two traits of the litoral coast: the dune system inside the Presidential Estate of Castelporziano (S-SW of Rome) and inside the Circeo National Park (S-SE of Rome). Phenological observations were carried out on *Cakile maritima* Scop., *Agropyron junceum* (L.) Beauv., *Sporobolus pungens* (Schreber) Kunth, *Cyperus kalli* (Forsskål) Murb., *Ammophila littoralis* (Beauv.) Rothm., *Ononis variegata* L., *Pancreatium maritimum* L., *Eryngium maritimum* L., *Calystegia soldanella* (L.) R.Br., *Crucianella maritima* L. and *Anthemis maritima* L. The influence of air temperature and rainfall on phenology was analysed; air temperature influenced in particular the beginning of the vegetative activity and the relative growth rate (RGR). The growth of the species happened in late winter, flowering in spring followed by fruiting. A new vegetative activity was monitored in autumn. The phenological trend of the psammophilous vegetation seemed to be an adaptative strategy to the climatic stresses of this environment. The forecast increase of air temperature and the conversion of natural landscapes, including coastal zones, might produce a global change in the structure and functioning of the ecosystems, including species extinctions, in particular of those most sensitive to changing environmental factors.

Key words: air temperature, climate, phenology, psammophilous vegetation.

Riassunto

L'andamento fenologico delle specie più rappresentative della vegetazione psammofila è stato analizzato in due tratti della costa laziale: il sistema dunale all'interno della Tenuta presidenziale di Castelporziano (S-SW di Roma) ed il Parco Nazionale del Circeo (S-SE di Roma). Le osservazioni fenologiche sono state condotte su *Cakile maritima* Scop., *Agropyron junceum* (L.) Beauv., *Sporobolus pungens* (Schreber) Kunth, *Cyperus kalli* (Forsskål) Murb., *Ammophila littoralis* (Beauv.) Rothm., *Ononis variegata* L., *Pancreatium maritimum* L., *Eryngium maritimum* L., *Calystegia soldanella* (L.) R. Br., *Crucianella maritima* L. ed *Anthemis maritima* L. È stata analizzata l'influenza della temperatura e della piovosità sull'andamento fenologico; la temperatura dell'aria determina in particolare l'inizio del periodo di attività vegetativa ed il tasso relativo di crescita (RGR). L'attività vegetativa inizia alla fine dell'inverno, la fioritura in primavera e la fruttificazione in estate. Un secondo periodo di attività vegetativa si verifica in autunno.

Il ritmo fenologico rappresenta una risposta adattativa delle specie ai fattori ambientali. L'aumento dei livelli di antropizzazione può produrre alterazioni nella struttura della vegetazione con conseguenze sul funzionamento delle specie più sensibili.

Parole chiave: clima, fenologia, temperatura dell'aria, vegetazione psammofila.

Introduzione

Le dune sabbiose costituiscono un caso esemplare di ambiente dove l'azione di forze fisiche, chimiche e meccaniche consente esclusivamente l'affermazione di specie altamente specializzate. La sabbia è un aggregato incoerente di particelle di dimensioni variabili, comprese tra 2 e 0.063 mm, caratterizzato da una scarsa capacità di ritenzione idrica e da una notevole differenza di temperatura e di umidità fra gli strati superficiali e quelli sottostanti (Gratani *et al.*, 1982; Gratani, 1987). La sabbia delle dune è caratterizzata da un modesto contenuto di sostanza organica (~0.19 %) e di nutrienti (K, Na, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu < 1 %) (Gratani *et al.*, 1982). I fattori climatici che maggiormente incidono sulle specie psammofile sembrano essere, in estate, la scarsa disponibilità idrica associata alle elevate temperature, alla forte irradianza e all'azione dei venti carichi di salsedine, e, in inverno, le basse temperature (Gratani & Crescente, 1995). Inoltre, durante tutto

l'anno, la sabbia sollevata dal vento determina un'azione di abrasione, soprattutto a carico dell'apparato epigeo. L'effetto dei fattori di stress, in particolare del vento, della salsedine e della carenza di nutrienti nel substrato, diminuisce all'aumentare della distanza dalla zona afitoica, consentendo, verso l'entroterra, un aumento di biodiversità e di densità delle specie vegetali.

L'ecosistema della duna può essere considerato ad elevata vulnerabilità, sia per le caratteristiche intrinseche che per gli elevati livelli di pressione antropica che si riscontrano lungo la maggior parte dei litorali italiani e che incidono sulla presenza, distribuzione e densità delle specie presenti. Le specie psammofile vengono definite alofite poiché si sviluppano su un substrato ricco di sali e quindi fisiologicamente arido. Si tratta di un gruppo eterogeneo di specie, in quanto le loro modalità di adattamento sono varie. Le graminacee, come ad esempio *Agropyron junceum* (L.) Beauv. e *Ammophila littoralis* (Beauv.) Rothm., si moltiplicano frequentemente per via vegetativa, sviluppando estesi

apparati radicali sia orizzontalmente che verticalmente e, minacciate continuamente di seppellimento, prolungano indefinitamente i loro rizomi in palchi successivi, imbrigliando la sabbia e svolgendo un ruolo determinante nel processo di consolidamento della duna (Gratani, 1987). Altre specie, come ad esempio *Cakile maritima* Scop., mostrano un elevato contenuto di acqua nei tessuti, che consente tassi sufficientemente alti di fotosintesi associati ad un controllo stomatico elevato (Gratani *et al.*, dati non pubblicati). Altre specie accumulano ioni sodio nelle loro cellule o li espellono attraverso peli ghiandolari.

L'obiettivo del presente studio è stato quello di definire il ritmo fenologico delle specie psammofile.

Materiali e Metodi

Area di studio

In tale ambito vengono sintetizzati gli studi condotti sulla vegetazione psammofila dagli Autori (Gratani *et al.*, 1982; Gratani *et al.*, 1983; Gratani *et al.*, 1986; Gratani & Crescente, 1995; Gratani *et al.*, dati non pubblicati). Le ricerche, in particolare, hanno riguardato le dune presenti all'interno della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (S-SW di Roma, provincia di Roma) e quelle lungo il cordone litoraneo, nei pressi del Lago di Sabaudia, all'interno del Parco Nazionale del Circeo (S-SE di Roma, provincia di Latina).

Caratteristiche climatiche delle aree di studio

La quantità annuale delle precipitazioni e la temperatura media dei mesi più freddi collocano l'area occupata dalla Tenuta Presidenziale di Castelporziano nella regione xeroterica (sottoregione termomediterranea / mesomediterranea) con termotipo mesomediterraneo inferiore ed ombrotipo secco superiore / subumido inferiore, con precipitazioni annuali comprese tra 593 e 811 mm, temperatura media minima del mese più freddo tra 3.7 e 6.8°C e temperatura media annuale compresa tra 15.0 e 16.4°C (Blasi, 1994). Il Parco Nazionale del Circeo si colloca nella regione xeroterica (sottoregione mesomediterranea) con termotipo mesomediterraneo inferiore ed ombrotipo subumido superiore, con precipitazioni annuali comprese tra 842 e 966 mm, temperatura media minima del mese più freddo tra 3.6 e 5.5°C e temperatura media annuale tra 14.5 e 16.1°C (Blasi, 1994).

Analisi fenologica e fenometrica

Lo studio fenologico è stato condotto sulle seguenti specie: *Cakile maritima* Scop., *Agropyron junceum* (L.) Beauv., *Sporobolus pungens* (Schreber) Kunth, *Cyperus kalli* (Forsskål) Murb., *Ammophila littoralis* (Beauv.) Rothm., *Ononis variegata* L., *Pancreatium maritimum* L., *Eryngium maritimum* L., *Calystegia soldanella* (L.) R.Br., *Crucianella maritima* L. ed *Anthemis maritima* L. Per ogni specie, nel corso dell'anno, è stata rilevata la periodicità e la lunghezza delle seguenti fenofasi: attività vegetativa, antesi, fruttificazione e senescenza (Gratani *et al.*, 1982; Gratani *et al.*, 1983; Gratani *et al.*, 1986; Gratani & Crescente, 1995; Gratani *et al.*, dati non pubblicati).

Per ogni specie è stata determinata l'altezza massima raggiunta e calcolato il tasso relativo di crescita (RGR, cm giorno⁻¹), in accordo a Beadle (1985).

Analisi statistica

I test statistici sono stati effettuati utilizzando il software Statistica, Statsoft (USA).

Differenze tra i tratti considerati sono state determinate mediante l'analisi della varianza (ANOVA) ed il test di Tukey per comparazioni multiple.

L'analisi di regressione semplice è stata condotta per testare la correlazione tra la durata del periodo di crescita e le variabili climatiche (pioggia=P; temperatura massima=T_{max}; temperatura minima=T_{min}; temperatura media=T_m).

I tratti fenologici, strutturali e fenometrici considerati sono stati sottoposti all'Analisi delle Componenti Principali (PCA) per valutare i principali fattori determinanti le differenze dei tratti stessi nelle specie considerate, in accordo a García – Plazaola *et al.* (2000).

Risultati

Analisi fenologica

I risultati dell'analisi fenologica relativi al sito di Castelporziano evidenziano, per la maggior parte delle specie, l'inizio dell'attività vegetativa alla fine dell'inverno, favorita dall'aumento della temperatura dell'aria, che si stabilizza alla fine di Febbraio intorno a 10°C (temperatura media). Le fasi di antesi e fruttificazione si osservano mediamente tra Aprile e Agosto. All'inizio dell'estate, l'aumento delle temperature (T_m=20°C, T_{max}=25.8°C), associato alla

forte irradianza ($2000 \mu\text{mol}$ di fotoni $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ed alla scarsa disponibilità idrica (umidità del suolo=6%), determina l'inizio della fase di senescenza.

Esaminando singolarmente le specie si mettono in evidenza differenze nel ritmo fenologico. In particolare, *Cakile maritima* e *Ammophila littoralis* iniziano l'attività vegetativa a metà Febbraio, *Anthemis maritima*, *Agropyron junceum*, *Pancreatium maritimum*, *Eryngium maritimum*, *Cyperus kalli* e *Ononis variegata* fra la fine di Febbraio e gli inizi di Marzo. La fioritura e la fruttificazione si verificano mediamente fra Aprile e Agosto. *Anthemis maritima* presenta la fase di fruttificazione più lunga (fine Maggio–fine Luglio), mentre *Pancreatium maritimum* ed *Eryngium maritimum* mostrano il periodo di fruttificazione più breve. Per tutte le specie si evidenzia un'avanzata fase di senescenza nel periodo Giugno–Luglio. La ripresa vegetativa autunnale inizia fra Settembre e Ottobre (*Agropyron junceum*, *Ammophila littoralis*, *Anthemis maritima*, *Ononis variegata*, *Pancreatium maritimum* ed *Eryngium maritimum*) e prosegue per tutte le specie fino a Dicembre.

Differenze climatiche interannuali possono determinare variazioni del ritmo fenologico, soprattutto per quanto riguarda l'inizio dell'attività vegetativa. In particolare, dal confronto dei rilievi effettuati in anni caratterizzati da condizioni climatiche diverse (Gratani *et al.*, 1986; Gratani & Crescente, 1995), è stato osservato che diminuzioni di 1°C delle temperature medie minime ritardano l'inizio dell'attività vegetativa di una settimana in *Agropyron junceum*, *Ammophila littoralis* ed *Anthemis maritima*.

Il confronto con il Circeo evidenzia per questo sito uno slittamento di circa una settimana per quanto riguarda l'inizio dell'attività vegetativa e di 3-4 giorni per quella riproduttiva (Fig. 1).

RGR

I risultati relativi al tasso relativo di crescita (RGR) mostrano una variabilità fra le specie considerate (Fig. 2). *Calystegia soldanella* è la specie con il più basso RGR (0.025 ± 0.002 cm giorno $^{-1}$, valore medio dei due siti), seguita da *Cakile maritima* (0.033 ± 0.001 cm giorno $^{-1}$, valore medio dei due siti); *Pancreatium maritimum* è quella con il più alto RGR (0.064 ± 0.0004 cm giorno $^{-1}$, valore medio dei due siti).

Le specie considerate mostrano un RGR più elevato al Circeo (0.046 ± 0.011 cm giorno $^{-1}$, media di tutte le specie) rispetto a Castelporziano (0.045 ± 0.009 cm giorno $^{-1}$, media di tutte le specie).

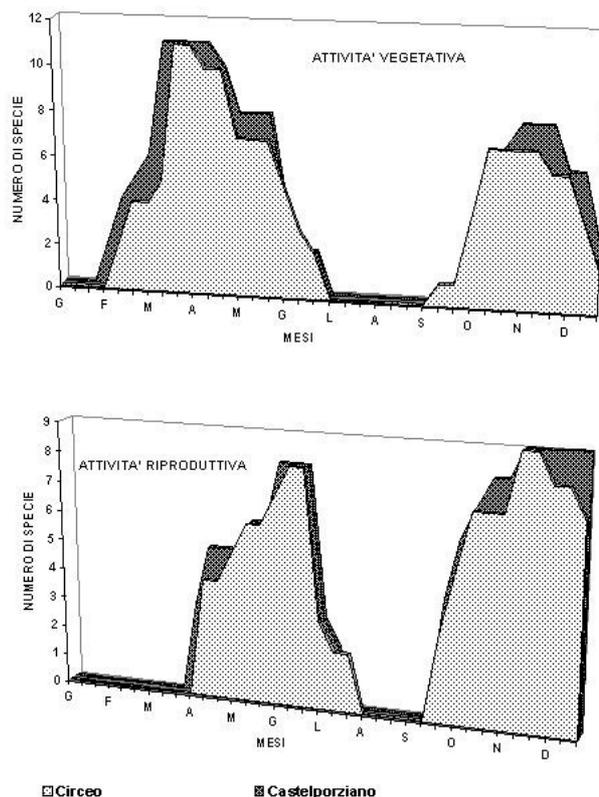


Fig. 1 - Diagrammi sinfenologici per i siti considerati. Sull'asse delle ascisse è riportato il numero di specie che presentano la stessa fenofase

Analisi statistica

L'analisi di regressione ha evidenziato per le specie considerate una significativa ($p < 0.05$) correlazione tra la durata del periodo di crescita e la temperatura dell'aria (Tab. 1). In particolare il periodo di crescita è correlato alla T_m ($R=0.39$), alla T_{min} ($R=0.36$) e alla T_{max} ($R=0.34$). La pioggia non influenza, invece, significativamente ($p > 0.05$, $R=0.22$) la durata del periodo di crescita.

Tutti i tratti considerati (fase di attività vegetativa, fioritura, fruttificazione, senescenza), altezza ed RGR, sono stati sottoposti alla PCA per raggruppare le specie considerate in relazione alle variabili maggiormente discriminanti (Fig. 3).

Le variabili maggiormente correlate al primo asse sono risultate RGR e la fase di fioritura (correlazione positiva per il primo parametro e negativa per il secondo), mentre le variabili maggiormente correlate al secondo asse sono la senescenza, la fruttificazione e l'attività vegetativa (per queste ultime due variabili la correlazione è risultata negativa). I due assi spiegano il

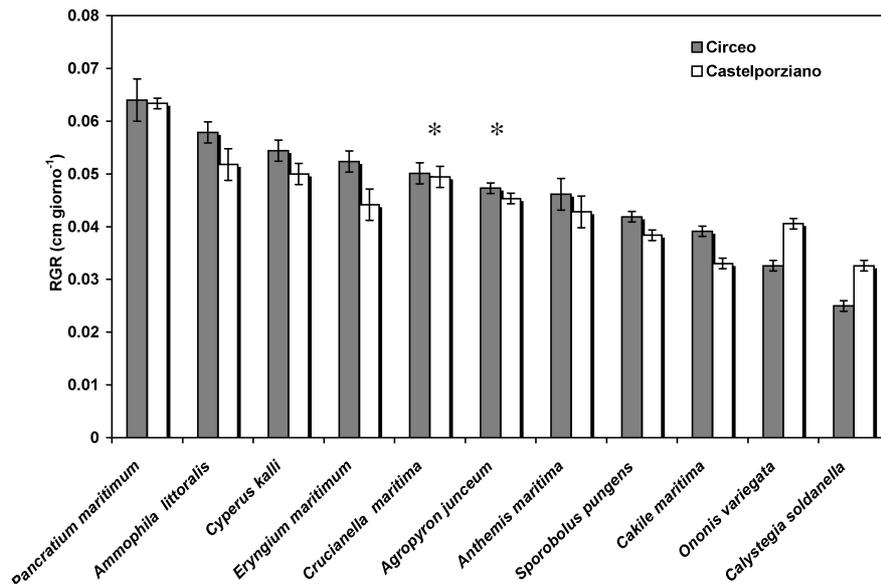


Fig. 2 - Tasso relativo di crescita (RGR) per le specie considerate nei due siti. All'interno dello stesso sito le differenze interspecifiche sono sempre significativamente differenti (ANOVA, $p < 0.05$). Le differenze intraspecifiche tra i due siti sono sempre significativamente differenti, eccetto* (ANOVA, $p > 0.05$)

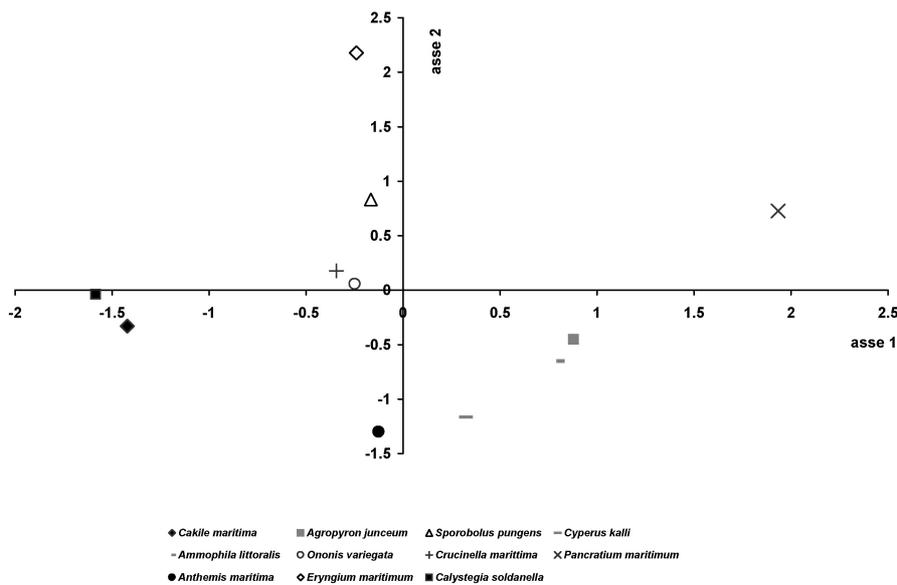


Fig. 3 - Analisi delle Componenti Principali (PCA) effettuata utilizzando le variabili fenologiche (fase di attività vegetativa, fioritura, fruttificazione, senescenza), altezza e RGR. L'asse 1 comprende il 35% della varianza totale, l'asse 2 il 29%. Le variabili maggiormente correlate al primo asse sono: RGR e fase di fioritura. Le variabili maggiormente correlate al secondo asse sono: la senescenza, la fruttificazione e l'attività vegetativa

64% della varianza totale (35% l'asse 1 e 29% l'asse 2) e consentono di identificare i seguenti raggruppamenti: il primo raggruppamento è costituito da *Pancratium*, che presenta valori positivi sia del primo che del secondo asse ed è la specie con il più alto RGR (0.064 ± 0.001 cm giorno⁻¹), il più breve periodo di fioritura (16 ± 1 giorni), un breve periodo di attività vegetativa (87 ± 1 giorni) ed un periodo di senescenza mediamente lungo (53 ± 2 giorni). Il secondo raggruppamento è costituito da *Agropyron junceum*, *Ammophila littoralis* e *Cyperus kalli*, caratterizzate da valori positivi del primo asse e negativi del secondo, corrispondente a valori più bassi di RGR (0.051 ± 0.004 cm giorno⁻¹), valori più alti di

fioritura (55 ± 2 giorni), associati a un periodo più lungo di attività vegetativa (115 ± 8 giorni) ed un periodo di senescenza più breve (32 ± 6 giorni), rispetto al primo gruppo; *Agropyron junceum* ed *Ammophila littoralis* hanno valori più elevati di RGR e della durata della fase di senescenza, rispetto a *Cyperus*. Un terzo raggruppamento è costituito da *Anthemis maritima*, *Cakile maritima* e *Calystegia soldanella*, caratterizzate da valori negativi sia del primo che del secondo asse, ovvero un più basso RGR (0.036 ± 0.008 cm giorno⁻¹) ed un periodo più lungo di fioritura (101 ± 3 giorni) associati ad un periodo di attività vegetativa più lungo (99 ± 5 giorni) ed uno più breve di senescenza (32 ± 3

Tab. 1 - Analisi di regressione tra la durata del periodo di crescita (A, y) e la temperatura media (T_m , x), minima (T_{min} , x), massima (T_{max} , x) dell'aria e la pioggia (P, x).

* = $p < 0.05$; n.s. = no significativa

y - x	Equazione	R
A - T_m	$y = -0.6234x + 13.382 + 42.527$	0.39*
A - T_{min}	$y = 0.2243x - 4.772 + 131.56$	0.36*
A - T_{max}	$y = -0.6234x + 13.382 + 42.527$	0.34*
A - P	$y = -0.0027x + 0.3409 + 100.88$	0.22 n.s.

giorni); *Anthemis maritima* la specie con il più alto RGR e *Calystegia soldanella* quella con il più basso.

Un quarto gruppo è costituito da *Eryngium maritimum*, *Sporobolus pungens*, *Ononis variegata* e *Crucianella maritima*, che presentano valori negativi del primo asse e positivi del secondo; sono caratterizzate da valori di RGR (0.044 ± 0.002 cm giorno⁻¹) più alti rispetto al terzo gruppo, un periodo più breve di fioritura (88 ± 9 giorni), un breve periodo di attività vegetativa (60 ± 5 giorni) ed una fase di senescenza più prolungata (57 ± 5 giorni).

Discussione

La letteratura degli ultimi anni evidenzia alterazioni del ciclo fenologico di specie di ecosistemi diversi, in relazione all'aumento globale della temperatura, in particolare in quelle regioni caratterizzate da un consistente periodo di aridità (Piñol *et al.*, 1998; Peñuelas & Boada, 2003). Il monitoraggio della risposta delle specie alla variazione dei fattori climatici e dell'efficienza nell'uso delle risorse, finalizzata all'accumulo di biomassa, può essere fatto attraverso l'analisi fenologica, poiché variazioni nella periodicità e nella lunghezza delle fenofasi possono consentire di evidenziare precocemente sintomi di stress, come ad esempio una senescenza precoce o un'alterata produzione di biomassa (Gratani & Crescente, 2005).

L'analisi fenologica differenzia inoltre la capacità adattativa di specie che si sviluppano nello stesso ambiente e consente di fare previsioni sulla possibile presenza delle specie nel loro areale di distribuzione, in considerazione del cambiamento climatico.

In generale, i fattori climatici che incidono maggiormente sul ritmo fenologico sono la disponibilità idrica e la temperatura dell'aria, in particolare la temperatura minima che incide sull'inizio dell'attività vegetativa e quella massima che determina la sua

conclusione (Gratani & Crescente, 2005). La disponibilità idrica è determinante per selezionare la produttività delle specie che caratterizzano i sistemi delle zone aride del globo, incluso il Bacino del Mediterraneo (Piñol *et al.*, 1998; Peñuelas & Boada, 2003; Gratani & Crescente, 2005). I risultati hanno messo in evidenza l'inizio di tale attività, per tutte le specie, alla fine dell'inverno (fine Febbraio - inizio Marzo), quando il rischio di danni da basse temperature (temperatura media minima $\geq 5^\circ\text{C}$) sulla porzione epigea è più limitato, e quando le temperature medie si stabilizzano intorno ai 10°C . Fra le specie considerate, *Cakile maritima* ed *Anthemis maritima* sembrano essere le meno sensibili alle basse temperature, e ciò è confermato dal precoce inizio dell'attività vegetativa. L'influenza della temperatura nel determinare l'inizio dell'attività vegetativa è evidente anche dalla comparazione dei risultati ottenuti in anni diversi ed è stato osservato che differenze di 1°C nelle temperature minime determinano un ritardo di circa una settimana nell'inizio dell'attività vegetativa.

La temperatura ha una incidenza anche sul tasso relativo di accrescimento (RGR) e al Circeo si osservano valori significativamente più elevati di RGR rispetto a quelli misurati a Castelporziano. Tale risultato può essere spiegato dalle condizioni climatiche del Circeo che presenta temperature minime a Febbraio più basse (3.7°C) rispetto a quelle misurate a Castelporziano (4.7°C), con un ritardo dell'inizio dell'attività vegetativa, che si conclude tuttavia nello stesso periodo di Castelporziano, in risposta alle elevate temperature ($T_{max} = 26^\circ\text{C}$). Si evidenzia quindi al Circeo una tendenza a concentrare la crescita in un periodo più breve rispetto a Castelporziano.

I risultati hanno, inoltre, evidenziato un aumento dell'RGR dalle dune embrionali verso l'interno; si osservano infatti valori maggiori di RGR in particolare in: *Ammophila littoralis*, *Cyperus kalli* e *Pancratium maritimum*.

Il tasso relativo di sviluppo è un indice che consente la comparazione fra specie anche nello stesso ambiente di sviluppo, è un parametro stabile ed è specie-specifico (Tardieu *et al.*, 1999; Castro-Díez *et al.*, 2003). Valori elevati di RGR sono vantaggiosi in ambienti caratterizzati da elevati livelli di stress, come quello in studio (Gratani, 1995), e spiegano la maggiore biomassa di *Pancreatium maritimum* (1.54 g m⁻²) rispetto a quella ad esempio di *Calystegia soldanella* (0.05 g m⁻²) (Gratani *et al.*, 1982, 1983).

Il massimo sviluppo vegetativo nelle specie della duna è favorito dallo stabilizzarsi delle temperature intorno a 20°C e dalla maggiore disponibilità idrica nei mesi di Aprile-Maggio; questi fattori, associati ad un allungamento del fotoperiodo determinano in queste specie il fenomeno dell'antesi. La fruttificazione si verifica mediamente tra Aprile e Agosto. Nei mesi di estivi lo stress idrico, le elevate temperature associate all'elevata radiazione incidente determinano la fine dell'attività vegetativa. La fase di senescenza della porzione epigea inizia a Giugno, mese in cui tutte le specie presentano oltre il 60% di foglie secche. Alcune specie (*Ammophila littoralis*, *Anthemis maritima*, *Eryngium maritimum*, *Cyperus kalli*) conservano per tutta la stagione invernale la porzione secca, che svolge un ruolo di protezione per le gemme. Alla fine dell'estate l'aumento della disponibilità idrica ed il lieve abbassamento delle temperature (22°C, temperatura media di Settembre) consentono alla maggior parte delle specie una seconda ripresa vegetativa, che è comunque più breve rispetto a quella primaverile, a causa del sopraggiungere delle basse temperature, associate all'azione necrotizzante dei venti carichi di salsedine.

Il previsto aumento di temperatura legato al cambiamento climatico potrebbe selezionare le specie in relazione alla loro diversa sensibilità alla temperatura e alla loro capacità di accumulo della biomassa, favorendo alcune specie rispetto alle altre.

Bibliografia

- Beadle C.L., 1985. Plant growth analysis. In: Coombs J., Hall D.O., Long S.P., Scurlock J.M.O. (ed.) Techniques in bioproductivity and photosynthesis. Pergamon Press Ltd. Oxford: 20-40.
- Blasi C., 1994. Fitoclimatologia del Lazio. Fitosociologia 27: 1-56.
- Castro-Díez P., Montserrat-Martí G. & Cornelissen J.H.C., 2003. Trade off between phenology, relative growth rate, life form and seed mass among 22 mediterranean woody species. Plant Ecology 166: 117-129.
- García-Plazaola J.I., Hernández A. & Becerril J.M., 2000. Photoprotective responses to winter stress in evergreen Mediterranean ecosystems. Plant Biol. 2: 530-535.
- Gratani L., 1987. A critical approach to the problem of the vigour of *Ammophila littoralis* (Beauv.) Rothm. Ecol. Mediterr. 13: 53-60.
- Gratani L., 1995. Structural and ecophysiological plasticity of some evergreen species of the mediterranean maquis in response to climate. Photosynthetica 31: 335-343.
- Gratani L., Amadori M., Marinucci C. & Moriconi M., 1982. Study of the relations between biomass and specific cover in psammophile vegetation (Circeo National Park – Italy). Ann. Bot. 40: 97-106.
- Gratani L., Marinucci C., Amadori M. & Bruno F., 1983. Relationship between phytosociological table and biomass estimation of *Psammophilous* vegetation at Castelporziano (Rome) Italy. Acta Oecol-Oecol. Gener. 4: 307-314.
- Gratani L., Fiorentino E. & Fida C., 1986. Phenological behaviour as a function of temperature for several species of psammophilous vegetation. Ann. Jard. Bot. Madrid 43: 125-135.
- Gratani L. & Crescente M.F., 1995. Fenologia e stagionalità delle specie psammofile. Coll. Phytosoc. XXIV: 27-32.
- Gratani L. & Crescente M.F., 2005. Fenologia e cambiamenti climatici. In: Blasi C., (ed.) Stato della biodiversità in Italia. Palombi Editori: 119-122.
- Peñuelas J. & Boada M., 2003. A global change – induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). Glob. Chang. Biol. 9: 131-140.
- Piñol J., Terradas J. & Lloret F., 1998. Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. Clim. Chang. 38: 345-357.
- Tardieu F., Granier C. & Muller B., 1999. Modelling leaf expansion in a fluctuating environment: are changes in specific leaf area a consequence of changes in expansion rate? New Phytol. 143: 33-43.

Beadle C.L., 1985. Plant growth analysis. In: Coombs J., Hall D.O., Long S.P., Scurlock J.M.O. (ed.) Techniques in