

GIUDITTA FRANCI, FEDERICO SELVI

# *Analisi sperimentale delle risposte della vegetazione erbacea forestale ai principali drivers del cambiamento climatico globale*



## *1. Introduzione*

Fra gli impatti maggiori dei cambiamenti climatici vi è la forte influenza che questi esercitano sugli ecosistemi forestali. Il clima è uno dei fattori maggiormente in grado di condizionare il metabolismo fotosintetico e quello respiratorio della pianta e della comunità, così come altri fondamentali processi delle foreste che sono legati a temperatura, radiazione solare e regime di umidità (THOMPSON *et al.*, 2009). In conseguenza ai cambiamenti climatici, gli ecosistemi forestali potrebbero subire profonde alterazioni dovute al superamento della tolleranza fisiologica delle specie a certi fattori. Le foreste, inoltre, hanno una profonda influenza sul clima a scala regionale, connessa con la loro estensione, biomassa e complessità (BERTRAND *et al.*, 2011). Questa connessione esistente fra il clima e le foreste impone il mantenimento e la conservazione della resilienza degli ecosistemi forestali, che si identifica con un fattore cruciale di mitigazione e adattamento al cambiamento climatico (THOMPSON *et al.*, 2009). Gli ecosistemi forestali possono rispondere in maniera diversa agli stress cui sono sottoposti. Questo dipende dalla capacità delle foreste di far fronte ai fattori di disturbo, la quale a sua volta dipende dalla struttura, dalla composizione tassonomica e dalla diversità di tratti funzionali mostrata dalle specie della comunità (THOMPSON *et al.*, 2009). Oltre alla diversità biologica, gioca quindi un ruolo fondamentale la diversità funzionale, ovvero quella diversità data da caratteristiche strutturali ed ecofisiologiche,

molte delle quali fissate geneticamente, proprie di ciascuna specie, che influenzano l'efficienza e il funzionamento delle foreste (GILLIAM, 2007). Per quanto riguarda le foreste temperate la maggior parte della biodiversità è contenuta nello strato erbaceo, componente fondamentale di questo tipo di ecosistema, ricca di diversi tratti funzionali, che ha rapporti di sinergia e competizione con lo strato arboreo e contribuisce alla produzione di lettiera e alla produzione primaria netta (GILLIAM, 2007). A scala globale si assiste ad una perdita di biodiversità che avviene a un ritmo sempre più crescente (HARRISON *et al.*, 2010). All'interno degli ecosistemi forestali è lo strato erbaceo che più subisce questa perdita di biodiversità, presentando un tasso di estinzione ben più elevato rispetto alle specie degli altri strati ed essendo quello con la maggior ricchezza in termini di specie (HOOPER, 2012). Infatti, la media fra i dati di diversi studi, indica che per ogni tre specie arboree ce ne sono circa sei erbacee, quindi da solo lo strato erbaceo contribuisce all'80% della ricchezza biologica di una foresta (GILLIAM, 2007). Proprio per questo motivo, le specie rare dello strato erbaceo risultano indicatori di biodiversità più efficaci ai fini di una gestione che miri alla conservazione, rispetto a quelli scelti nello strato arboreo. Indagando il ruolo che le specie erbacee rivestono nella complessità e nella funzionalità di una foresta, un aspetto fondamentale è quello del "linkage", ovvero della "connessione" esistente fra lo strato inferiore e quelli superiori. Le interazioni fra queste componenti influenzano

direttamente la composizione dello strato arboreo, per esempio attraverso dinamiche di competizione fra le erbe e gli alberi allo stadio di semenzale (GILLIAM, 2007). Alcuni studi dimostrano come molte delle risposte a variabili ambientali dello strato erbaceo e arboreo siano legate a parametri simili ma con una diversa velocità di risposta (SAXE, 2001). Lo strato erbaceo risulta più sensibile ai cambiamenti ambientali, reagendo in maniera più immediata rispetto a quello arboreo che risponde agli stessi cambiamenti su un orizzonte temporale ben più lungo. È lecito quindi attuare un confronto fra le risposte dei due strati al fine di sviluppare previsioni riguardanti alcune dinamiche degli ecosistemi forestali (GILLIAM, ROBERTS, 2003). La raccolta dei dati per questo lavoro è stata effettuata all'interno dell'area scientifica della foresta di Aelmoeseneiebos nell'ambito di un vasto progetto di ricerca dell'Università di Ghent in Belgio. Lo scopo principale è quello di prevedere le tendenze dinamiche e le risposte degli ecosistemi forestali temperati a fronte degli scenari di cambiamento climatico globale, soprattutto in termini di diversità e composizione specifica. Il progetto, articolato su più livelli, prende il nome di “*PastForward: Developing trajectories of temperate forest plant communities under global change: combining hindsight and forecasting*” (<https://pastforward.ugent.be/>). Questo studio, nello specifico, riguarda i risultati ottenuti dai dati raccolti durante il primo dei quattro anni in cui si è svolto un grande esperimento multifattoriale, parte integrante del progetto. L'obiettivo dell'esperimento è di definire i fattori che guidano i cambiamenti nella composizione delle comunità vegetali nelle foreste temperate sotto l'influenza del cambiamento climatico (DE FRENNE *et al.*, 2009). Attraverso l'applicazione di trattamenti sperimentali che manipolano fattori ecologici quali la temperatura e la luce disponibile su differenti comunità vegetali, è possibile analizzare le risposte di tali comunità al cambiamento delle variabili ambientali in termini di copertura, composizione e mortalità. Sono state quindi indagate le risposte dello strato

erbaceo alle variazioni dei due fattori abiotici chiave del cambiamento climatico, che incidono direttamente sulla vita di tutte le piante: luce e temperatura. Per valutare come i trattamenti di luce, temperatura, luce e temperatura congiuntamente, influenzino lo sviluppo delle specie erbacee del sottobosco forestale, sono state analizzate le risposte a tali variazioni in termini di: 1) copertura %, 2) processi di senescenza. Le risposte ai trattamenti sono state analizzate a livello di comunità, gruppi funzionali e singole specie. I gruppi funzionali considerati nell'esperimento sono: *ancient forest species*, strettamente legate alla presenza della foresta, a carattere sciafilo e con scarse capacità ricolonizzatrici; specie rapide colonizzatrici ombri-tolleranti, che si distinguono per le loro strategie di dispersione e propagazione particolarmente efficaci; specie nitrofile, legate alla presenza di nitrati nel suolo e con esigenze intermedie rispetto agli altri fattori ecologici (VERHEYEN, HERMY, 2004).

## 2. Materiali e metodi

### 2.1 Disegno sperimentale e scelta delle specie

*Aelmoeseneiebos* è una foresta situata nella provincia delle Fiandre orientali, tra l'urbanizzata area di Ghent e quella delle Ardenne fiamminghe, gestita dall'Università di Ghent, che ne ha fatto un'area di studio. Per l'esperimento sono state assemblate 12 comunità vegetali artificiali, ognuna costituita da 5 specie erbacee scelte da un pool di 15 specie diffuse nelle foreste temperate decidue europee e reperite in vivai della zona. Le comunità sono materialmente rappresentate da “unità sperimentali”, ciascuna delle quali è formata da 4 individui per ciascuna delle 5 specie, quindi da 20 individui. L'unità sperimentale consiste in una “cassetta” di 31,5 cm x 46,5 cm e profonda 20 cm, riempita di suolo, in cui sono state messe a dimora le piantine in 20 celle definite da una griglia a maglia geometrica di 4 x 5 posti. L'assegnazione di ciascuna piantina nelle celle della griglia è stata determinata casualmente. (Fig. 1)

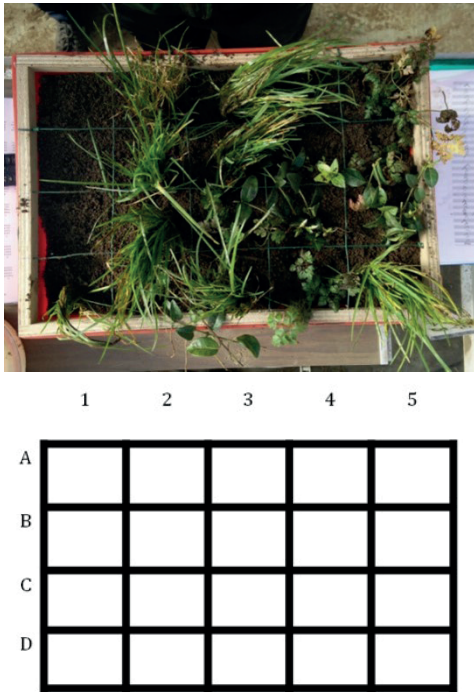


Figura 1 - Unità sperimentale: ciascuna delle 5 specie che compone la comunità viene piantata 4 volte in posizione casuale.

Le unità sperimentali sono state poste all'interno dell'area scientifica della foresta, raggruppate per 4 a formare i "plot". Sono stati costituiti 48 plot, sui quali sono stati effettuati i trattamenti. 12 plot sono stati sottoposti al trattamento di temperatura, 12 a quello di luce e 12 a temperatura e luce insieme. 12 plot non sono stati sottoposti a trattamento, con la funzione di "plot controllo" (fig. 2).



Figura 2 - Unità sperimentali raggruppate per 4 a formare un plot.

Sono state scelte specie ampiamente distribuite nelle foreste temperate europee ed appartenenti a tre gruppi ecologico-funzionali distinti: 6 *ancient forest species* (*Galium odoratum* (L.) Scop., *Carex sylvatica* Hudson, *Hyacinthoides non-scripta* (L.) Chouard ex Rothm., *Anemone nemorosa* L., *Polygonatum multiflorum* (L.) All. e *Vinca minor* L.), 6 specie rapide colonizzatrici ombri – tolleranti (*Ajuga reptans* L., *Glechoma hederacea* L., *Geranium robertianum* L., *Hedera helix* L., *Ranunculus ficaria* L. e *Poa nemoralis* L.) e 3 specie nitrofile (*Poa trivialis* L., *Urtica dioica* L., *Aegopodium podagraria* L.) (tab. 1).

Comunità	Gruppo 1	Gruppo 1	Gruppo 2	Gruppo 2	Gruppo 3
1	Galodo	Polmul	Ajurep	Hedhel	Poatriv
2	Carsyl	Hyanon	Gleched	Ajurep	Aegpod
3	Hyanon	Anenem	Poanem	Gleched	Aegpod
4	Carsyl	Polmul	Ajurep	Ranfic	Poatriv
5	Carsyl	Polmul	Gerrob	Hedhel	Aegpod
6	Anenem	Vinmin	Poanem	Gerrob	Poatriv
7	Hyanon	Carsyl	Hedhel	Gleched	Urtdio
8	Vinmin	Galodo	Ranfic	Ajurep	Aegpod
9	Anenem	Hyanon	Gerrob	Poanem	Poatriv
10	Polmul	Vinmin	Gerrob	Ranfic	Urtdio
11	Vinmin	Galodo	Poanem	Hedhel	Urtdio
12	Anenem	Galodo	Gleched	Ranfic	Urtdio

Tabella 1 - Le 12 comunità artificiali usate nell'esperimento e composizione specifica di ciascuna (5 specie di cui: 2 *ancient forest species*, 2 specie colonizzatrici, 1 specie nitrofila).

## 2.2 I trattamenti

I plot sono stati sottoposti al trattamento della temperatura nelle diverse combinazioni: temperatura (T) e temperatura + luce (T + L). Ciascuna attiva su 12 plot.

Il trattamento Temperatura (T) è stato applicato con l'utilizzo di Open Top Chambers (OTCs) alti 75 cm, che simulano il riscaldamento dello strato erbaceo di circa 1,5° C. Gli OTCs sono piccole serre di Plexiglas traslucido con le pareti inclinate e aperte superiormente, che hanno la funzione di riscaldare passivamente un piccolo plot di vegetazione catturando la radiazione solare e applicando una protezione dal vento (DE FRENNE *et al.*, 2015) (fig.3).





Figura 3 - Trattamento temperatura (T) su singolo plot.

Il trattamento Luce (L) è stato applicato installando sui plot lampade 2 x 18 W a 75 cm da terra. Il tempo di illuminazione è stato regolato in funzione delle ore di luce solare, andando ad aumentarne la disponibilità giornaliera. Tale trattamento simula la luce disponibile sotto una copertura arborea scarsa (DE FRENNE *et al.*, 2010). Di seguito sono riportati i dati relativi alla PAR (Photosynthetic Active Radiation) misurata sui plot (tab. 2, fig. 4 e fig. 5).

Trattamento	PAR
Controllo	8.9
L	28.8
T+L	27.4

Tabella 2 - Valori di PAR ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ) media misurati sui plot sottoposti ai trattamenti L e T + L.



Figura 4 - Trattamento luce (L) su singolo plot.



Figura 5 - Trattamento temperatura e luce congiuntamente (T + L) su plot.

### 2.3 La raccolta dei dati

Durante il periodo da maggio a ottobre 2016 sono state misurate in campo le seguenti variabili risposta:

1. Percentuale di copertura di ogni specie all'interno delle unità sperimentali, stimata con metodo visivo;
2. Grado di senescenza di ciascuna specie all'interno delle unità sperimentali, valutato secondo 6 classi che identificano lo stadio fenologico:
  - Classe 0: pianta non emergente (per bulbose e rizomatose);
  - Classe 1: pianta in stadio vegetativo;
  - Classe 2: pianta in stadio riproduttivo;
  - Classe 3: pianta con segni di senescenza;
  - Classe 4: pianta morta;
  - Classe 5: pianta mancante (per piante perenni non bulbose o rizomatose).

È stata inoltre misurata la PAR con l'utilizzo di Skye Spectrosense PAR Quantum sensor, a 20 cm da terra sui diversi plot al fine di verificare il cambiamento nell'apporto di luce al suolo in quelli su cui era attivo il trattamento.

### 2.4 Analisi dei dati

I dati sono stati elaborati col fine di mettere in evidenza le risposte alla variazione dei fattori ambientali a livello di comunità, gruppi funzionali e specie.

Per quanto riguarda i dati di copertura % in risposta ai trattamenti, impiegando il software R sono stati prodotti: i boxplot che descrivono la distribuzione dei dati a

livello di comunità, di comunità “media” (ovvero considerando le 12 comunità come una unica), di gruppo funzionale e di specie. Sono stati poi calcolati i valori medi e le relative deviazioni standard della copertura % e prodotti gli istogrammi dei valori medi. Utilizzando un modello misto, è stato poi analizzato l’effetto dei trattamenti sulla risposta delle comunità in termini di copertura. Questo tipo di modelli si basa su due componenti: quella fissa, che in questo caso è una regressione della copertura totale in funzione del tempo e quella casuale, che nel presente studio sono le comunità con composizione specifica variabile. In questo modo è stato possibile valutare la risposta generale delle comunità ai tre trattamenti, indipendentemente dalla loro particolare composizione specifica che rappresenta un fattore “random”. Per quanto riguarda gruppi funzionali e specie è stata effettuata l’analisi della varianza per valutare la significatività dei dati.

Per quanto riguarda i dati di frequenza delle classi di senescenza in risposta ai trattamenti, in R sono stati prodotti i seguenti grafici: istogramma di frequenza a livello di ciascuna comunità, di comunità “media” (considerando le 12 comunità una unica), di gruppo funzionale, istogramma di frequenza a livello di specie. Al fine di valutare la significatività statistica dei dati e verificare che la relazione fra le risposte ai trattamenti ottenute in termini di classi di danno non siano casuali, è stato effettuato il Test del Chi Quadrato ( $\chi^2$ ).

### 3. Risultati

#### 3.1 Copertura percentuale (%)

##### 3.1.1 Risposte ai trattamenti a livello di comunità

In Figura 6 si possono osservare i valori di copertura percentuale medi delle 12 comunità in risposta a ciascun trattamento (luce (L), temperatura (T) e temperatura + luce (T + L)), rispetto al controllo (no trattamento). Si può notare come le comunità

1, 2, 3, 9, 10, 11 e 12 mostrino una copertura media minore rispetto al controllo, in risposta al trattamento T, mentre le comunità 5 e 10 in risposta al trattamento L. Tutte le comunità hanno una copertura media % maggiore rispetto al controllo, in risposta a T + L.

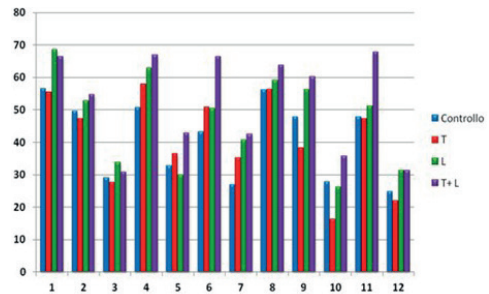


Figura 6 - Valori di copertura % medi a confronto delle 12 comunità in risposta a ciascun trattamento.

Dato che in termini di gruppi funzionali le comunità hanno tutte la stessa composizione (2 ancient forest species, 2 specie rapide colonizzatrici ombri - tolleranti, 1 specie nitrofila) è stata osservata la variazione della copertura %, in risposta ai diversi trattamenti, considerando le 12 comunità come una unica comunità “media” (fig.7).

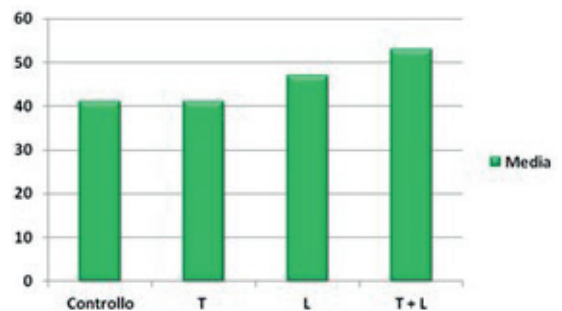


Figura 7 - Valori di copertura % medi della comunità “media”

Di seguito è riportata la rappresentazione grafica dei risultati ottenuti dal modello misto, in cui è possibile osservare come con l'effetto dei trattamenti T + L e L la percentuale di copertura si mantenga più elevata rispetto a quella del controllo nel corso del tempo. Mentre non ci sono differenze significative fra la percentuale di copertura registrata per il controllo e quella registrata in risposta al trattamento T (fig. 8).

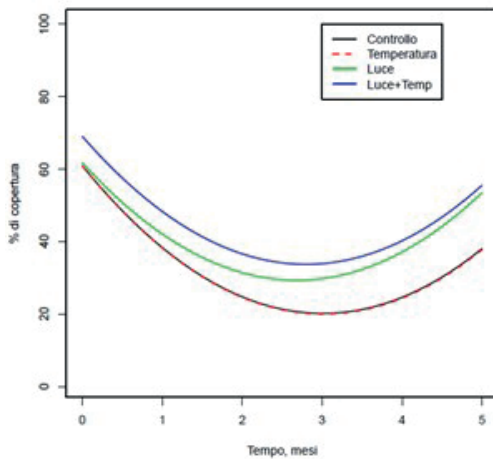


Figura 8 - Rappresentazione grafica dei risultati ottenuti dal modello misto

### 3.1.2 Risposte ai trattamenti a livello di gruppo funzionale

In Figura 9 è possibile osservare a confronto le risposte ai trattamenti dei tre gruppi funzionali in termini di copertura percentuale. Si può notare come i valori di copertura percentuale aumentino in risposta ai trattamenti L e T + L per i tre gruppi funzionali.

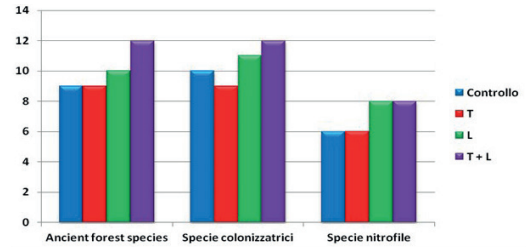


Figura 9 - Valori di copertura % medi a confronto dei tre gruppi funzionali in risposta a ciascun trattamento

L'analisi della varianza mette in luce l'assenza di differenze significative nel tipo di risposta che i tre gruppi funzionali attuano a seguito dei tre trattamenti. I gruppi rispondono sostanzialmente nello stesso modo: il trattamento T non ha nessun effetto; il trattamento L ha un effetto positivo, ma non forte; il trattamento T + L ha un forte effetto positivo.

### 3.1.3 Risposte ai trattamenti a livello di specie

In Figura 10 è possibile osservare a confronto le risposte ai trattamenti delle 15 specie in termini di copertura percentuale.

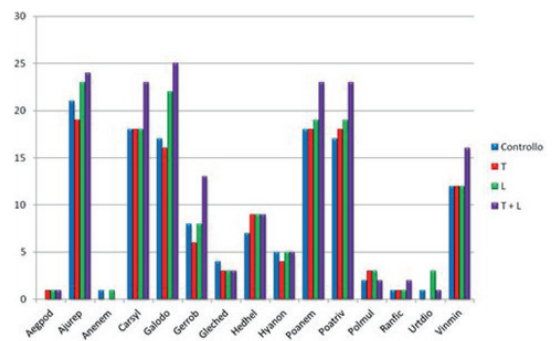


Figura 10 - Valori di copertura % medi delle 15 specie in risposta a ciascun trattamento

L'analisi della varianza effettuata considerando l'effetto generale dei trattamenti sulle singole specie ha dato un risultato statisticamente significativo

(<0,001). Le specie attuano risposte diverse a seguito dei tre trattamenti (fig. 11 e fig. 12.).

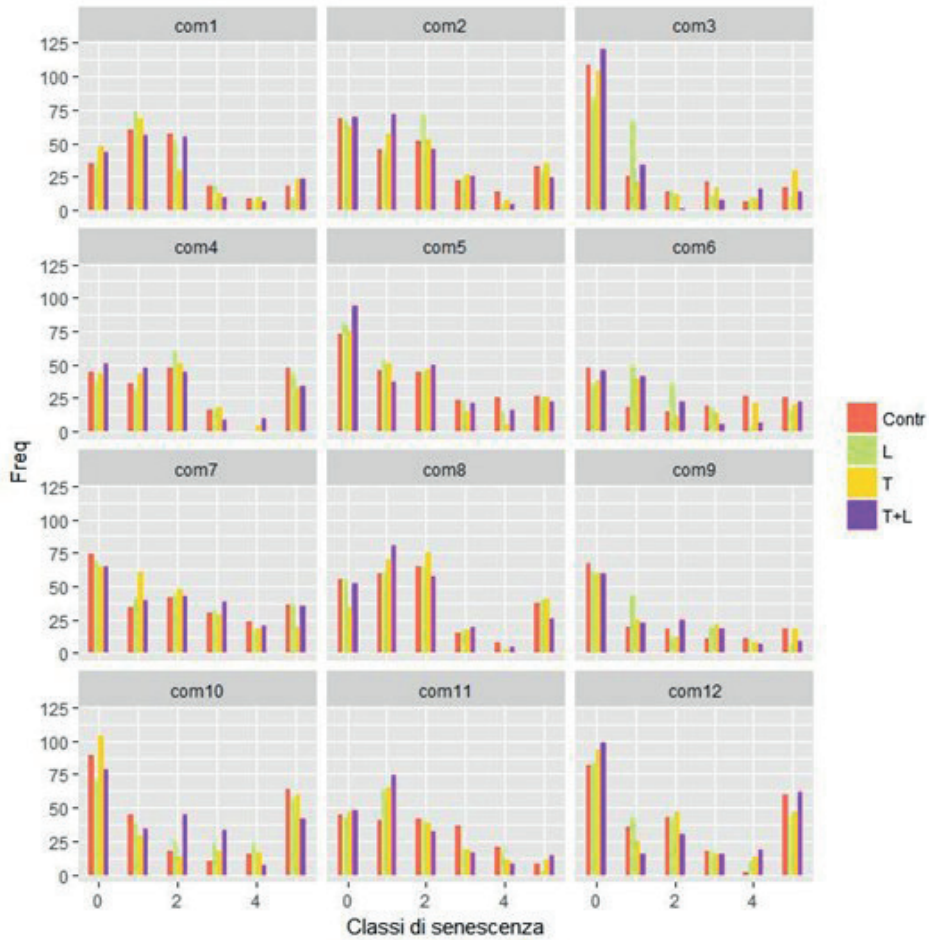


Figura 11 - Frequenze delle classi di senescenza per ciascuna comunità in risposta ai trattamenti

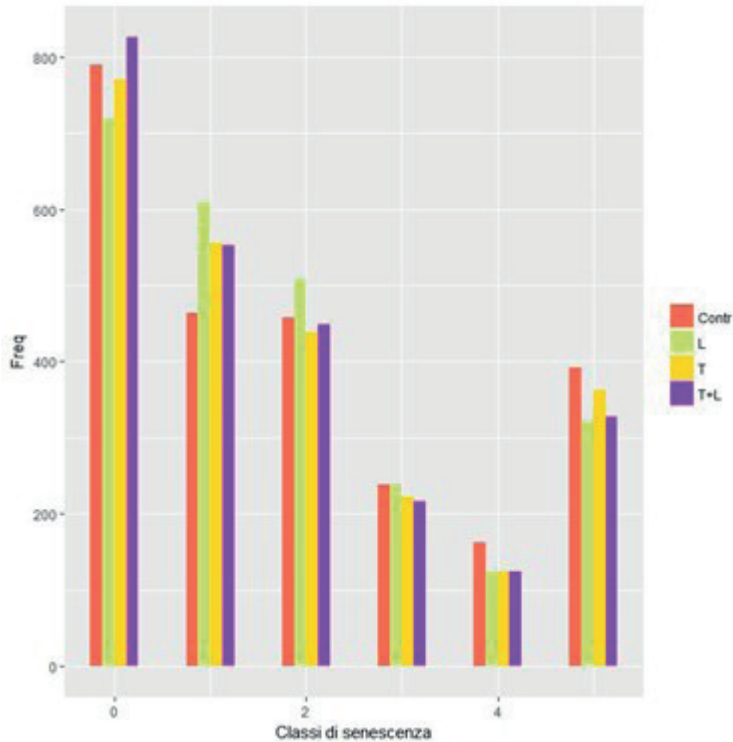


Figura 12 - Frequenze delle classi di senescenza in risposta ai trattamenti, considerando le 12 comunità come una unica comunità "media".

### 3.2 Classi di senescenza

#### 3.2.1 Risposte ai trattamenti a livello di comunità

Di seguito sono riportate le frequenze delle classi di senescenza per ciascuna comunità in risposta ai trattamenti.

La classe più rappresentata è la 0 (piante non emergenti, bulbose e rizomatose), in cui si osserva un numero di frequenze minore in risposta ai trattamenti L e T e un numero di frequenze maggiore in risposta al trattamento T + L. Per la classe 1 (stadio vegetativo) si osserva un numero di frequenze nettamente maggiore rispetto al controllo, in risposta

ai tre trattamenti e in particolare in risposta al trattamento L. La classe 2 (stadio riproduttivo) e la classe 5 (pianta mancante, specie non bulbose e rizomatose) hanno frequenze intermedie. In classe 2 si nota un aumento delle frequenze in risposta al trattamento L.



### 3.2.2 Risposte ai trattamenti a livello di gruppo funzionale

Di seguito sono riportate le frequenze delle classi di senescenza per i tre gruppi funzionali (ancient forest species, specie

rapide colonizzatrici ombri – tolleranti e specie nitrofile) in risposta ai trattamenti.

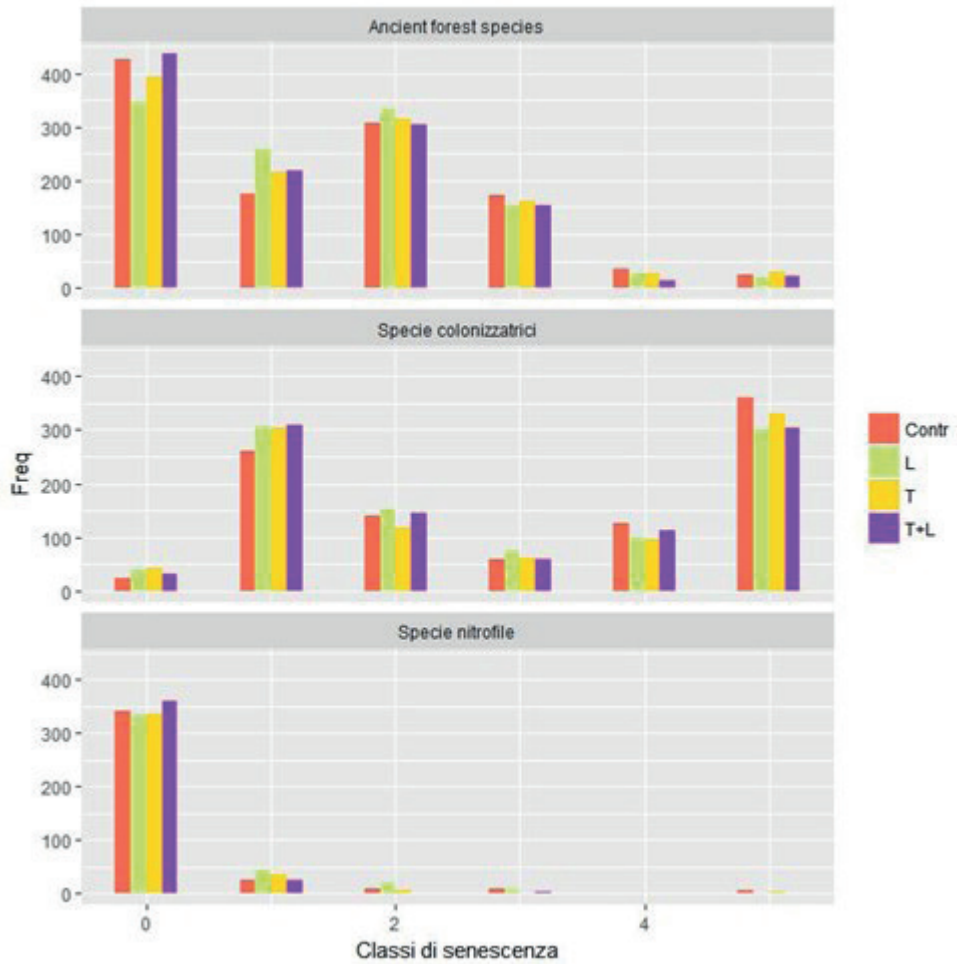


Figura 13 - Frequenze per classe di senescenza dei gruppi funzionali in risposta ai trattamenti.

### 3.2.3 Risposte ai trattamenti a livello di specie

Di seguito sono riportate le frequenze delle classi di senescenza di ciascuna specie in risposta ai trattamenti.

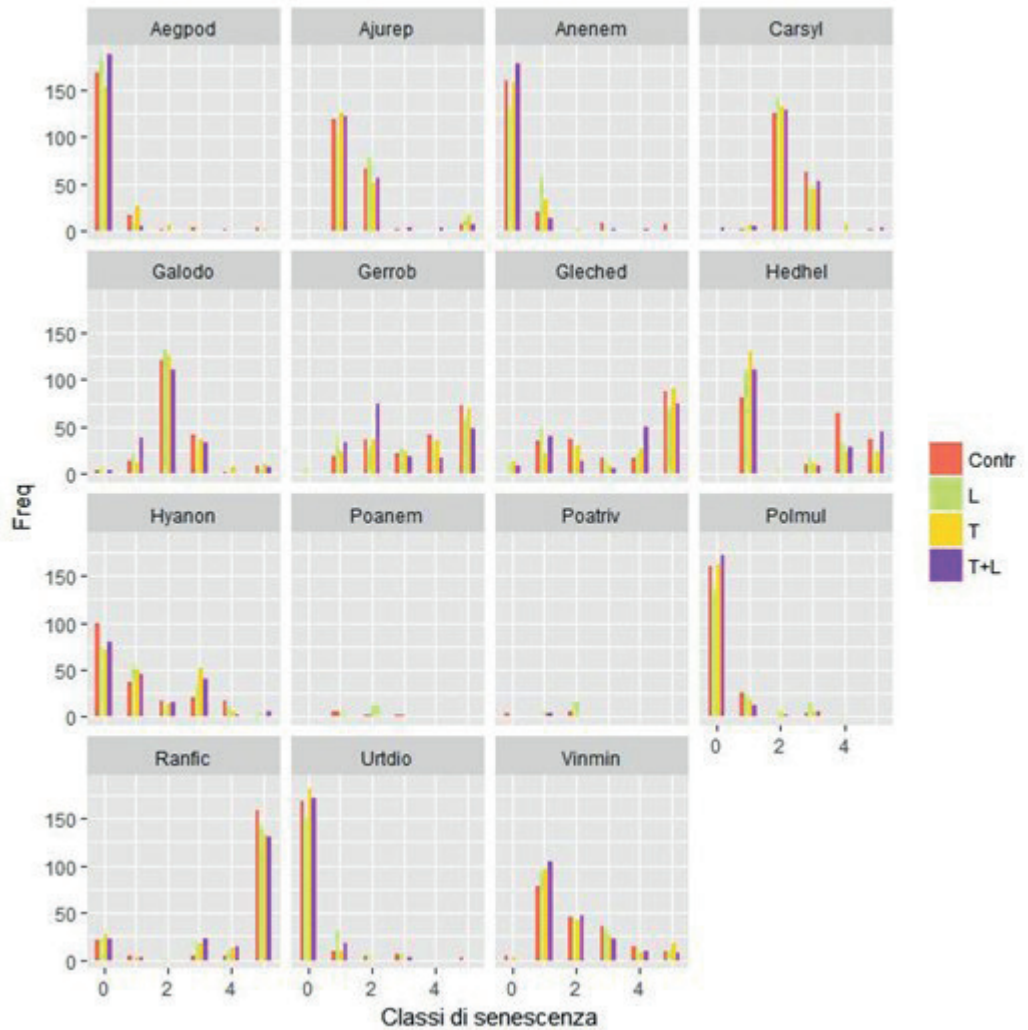


Figura 14 - Frequenze per classe di senescenza di ciascuna specie in risposta ai trattamenti.

#### 4. Discussioni

Le comunità hanno risposto ai trattamenti in maniera variabile, ovvero non si è osservata una tendenza unica nel tipo di risposte messe in atto da queste. Quello che è stato osservato in termini di copertura percentuale è che, mediamente, hanno risposto al trattamento L con un aumento che va dal 6% sino al 13% circa. Per quanto riguarda il trattamento T, le risposte in termini di copertura percentuale variano da una comunità all'altra: per più della metà di queste si è registrata una minor percentuale di copertura (circa il 10% in meno), mentre le altre hanno mostrato una copertura percentuale maggiore o di poco invariata. Quando però ad un aumento della temperatura viene associato un apporto maggiore di luce disponibile al suolo la situazione cambia visibilmente. In risposta al trattamento T + L si è infatti osservata una tendenza ben definita delle comunità nel mostrare percentuali di copertura anche maggiori di quelle osservate in risposta al trattamento L (fino al 20% rispetto al controllo).

La temperatura è uno dei principali fattori ad influenzare il tasso di crescita e di sviluppo delle piante, che è strettamente legato a tale componente ambientale. Inoltre, ogni specie possiede uno specifico range di temperatura rappresentato da un minimo, un ottimo e un massimo. Le risposte messe in atto dalle comunità osservate nell'ambito di questo lavoro, sembrano essere in linea con le precedenti ricerche. Infatti, studi effettuati in ambienti controllati sull'aumento della temperatura, hanno dimostrato che questo influisce sullo sviluppo fenologico delle piante, senza però andare ad incidere sulla produzione di biomassa, se comparate con altre sottoposte a temperature "normali". Inoltre è stato osservato che, per la maggior parte delle specie, lo stadio vegetativo tollera range di temperatura più elevati rispetto

a quelli dello stadio riproduttivo (HATFIELD, PRUEGER, 2015). A proposito dell'influenza della temperatura sugli stadi fenologici andiamo adesso a trattare le tendenze messe in luce dalle risposte delle comunità in termini di grado di senescenza.

In media il numero delle frequenze della classe 1 (stadio vegetativo) è aumentato in risposta ai trattamenti: ovvero ad un aumento di temperatura ed in particolar modo di luce, corrisponde un aumento del numero degli individui in stadio vegetativo. Sullo stadio riproduttivo si è osservato invece un effetto negativo dato dalla concomitanza di luce e temperatura e in particolar modo dall'aumento della sola temperatura, a cui corrisponde una diminuzione degli individui in stadio riproduttivo. Questo effetto negativo del trattamento T sul numero di individui in stadio riproduttivo è determinato dai processi metabolici delle piante. L'aumento della temperatura infatti favorisce l'impiego nell'accrescimento vegetativo delle sostanze prodotte con la fotosintesi, con una conseguente diminuzione dell'efficienza riproduttiva. Gli effetti dell'aumento della temperatura a lungo termine potrebbero quindi indurre segni di senescenza precoce dovuti all'investimento energetico per l'accrescimento e una inibizione delle capacità riproduttive delle specie, con un conseguente rischio per l'efficienza della loro dispersione (NOODEN, 1996).

Quello che sembra emergere dall'analisi dei dati è che il solo aumento della temperatura non induce particolari effetti né sulla percentuale di copertura né sui processi di senescenza delle comunità, o per meglio dire, una finestra di tempo come una sola stagione vegetativa risulta troppo ristretta per poter osservare delle tendenze nel tipo di risposta messe in atto dalle comunità. Inoltre, mentre la luce influisce positivamente sulla produzione di biomassa, anche in concomitanza di un aumento di temperatura, la fenologia

appare influenzata negativamente dalla concomitanza di questi due fattori, andando ad incidere in particolare sullo stadio riproduttivo delle comunità.

I risultati delle analisi condotte sulle risposte delle comunità, non hanno evidenziato una tendenza comune agli effetti dei tre trattamenti. Ciò è avvenuto nonostante che la composizione delle comunità, in termini di gruppi funzionali, fosse la stessa. Questo risultato fa ipotizzare che tale diversità nel tipo di risposta sia dovuta al variare delle specie all'interno dei tre gruppi funzionali che le compongono, quindi una risposta specie specifica, legata al genotipo.

Per quanto riguarda l'analisi delle risposte ai trattamenti a livello di gruppo funzionale si è delineata una tendenza simile per tutti e tre i gruppi. I tre gruppi hanno mostrato una risposta positiva, in termini di copertura, all'aumentare della disponibilità di luce e in particolar modo a luce e temperatura congiuntamente. Tuttavia l'aumento registrato è limitato. Un dato interessante è che sotto l'effetto di luce e temperatura separatamente le geofite mancanti sono numericamente inferiori, mentre aumentano in risposta al trattamento che le sottopone ad un aumento di luce e temperatura congiuntamente, come osservato a livello di comunità.

Le risposte attuate dalle singole specie hanno messo in luce quanto la composizione specifica guidi le tendenze delle comunità vegetali. Particolarmente degna di nota è la sensibilità ai cambiamenti delle variabili ambientali mostrata dalle geofite. In termini di copertura si è riscontrato un effetto negativo del trattamento T su alcune *ancient forest species* geofitiche quali: *Anemone nemorosa*, *Galium odoratum* e *Hyacinthoides non-scripta*. *Anemone nemorosa* ha inoltre mostrato una copertura minore anche in risposta al trattamento T + L. Il trattamento che sottopone congiuntamente ad un aumento di luce e temperatura le specie, ha

delineato una tendenza delle geofite a ridurre il numero di individui emergenti. Tale tendenza è stata osservata in *Aegopodium podagraria*, *Anemone nemorosa*, *Polygonatum multiflorum* e *Ranunculus ficaria*. Si è osservata, inoltre, una diminuzione degli individui in stadio riproduttivo, non solo fra le geofite ma in generale per tutte le specie. Le geofite sono un gruppo di piante il cui ciclo annuale è strettamente legato alla temperatura, proprio in virtù della loro forma biologica. Tale gruppo comprende specie perenni che trascorrono la stagione avversa sotto forma di fusti sotterranei trasformati come bulbi e rizomi. Tali organi, non appena registrano un lieve aumento della temperatura del suolo ed il fotoperiodo torna ad essere favorevole, rendono possibile la ripresa vegetativa producendo rapidamente germogli che emergono dal suolo e producono fiori. Questa loro particolare strategia che gioca d'anticipo sulla fogliazione dello strato arboreo è un fenomeno che mette in luce la profonda connessione fra lo strato arboreo e quello erbaceo, oltre che l'importanza della conservazione di questa particolare componente degli ecosistemi forestali, ricca di diverse forme biologiche e tratti funzionali. Il momento dell'emergenza è quindi per le geofite uno dei più delicati del loro ciclo che evidenzia come variazioni nel regime delle temperature potrebbe portare ad alterazioni da non sottovalutare in termini di conservazione.

In *Anemone nemorosa* e *Aegopodium podagraria* vi è una risposta abbastanza evidente al trattamento di luce e temperatura somministrate congiuntamente, che si manifesta con un aumento degli individui non emergenti dal suolo. La sensibilità di queste specie alle variazioni dei fattori ambientali potrebbe risultare interessante in un'ottica di monitoraggio dei cambiamenti climatici degli ecosistemi forestali.



## 5. Conclusioni

Questo studio mette in luce la sensibilità delle specie dello strato erbaceo forestale alla variazione di fattori ambientali chiave quali luce e temperatura, dimostrando l'esistenza di risposte che si verificano in una finestra temporale ristretta, il che evidenzia la sensibilità della vegetazione erbacea alle variazioni indotte. Queste piante, infatti, attuano risposte già in fase vegetativa, che delineano alcune tendenze che è fondamentale conoscere sia ai fini della loro conservazione sia per comprendere il tipo di cambiamenti in atto. Il fatto che le specie rispondano in maniera diversificata alle variazioni ambientali, con tendenze legate alla loro forma biologica e alle loro strategie di competizione o adattamento, sottolinea l'importanza di conservare la diversità genotipica delle specie erbacee forestali.

Quello che in definitiva è emerso dal presente lavoro è che alcuni gruppi di specie rispondono in maniera più chiara ed immediata rispetto ad altre. Questo è per esempio il caso del gruppo delle geofite il cui ciclo vitale è strettamente legato a temperatura e fotoperiodo. Per questo motivo tali specie potrebbero essere utilizzate come bioindicatori dei cambiamenti climatici, nel monitoraggio dello stato di salute delle foreste: su plot permanenti potrebbero essere esaminati gli stadi fenologici e la copertura delle geofite al fine di ottenere un valido indicatore dell'aumento delle temperature negli ambienti forestali. Inoltre, la temperatura è risultata il fattore che più incide sugli equilibri degli stadi fenologici delle specie della vegetazione forestale, inducendo una diminuzione del numero di individui in stadio riproduttivo dovuto al dispiego di sostanze investite nell'accrescimento vegetativo. Come dimostrato da precedenti studi, alterazioni nel regime di temperature durante questo delicato stadio può andare ad alterare la produzione di seme e i normali processi

di dispersione (HATFIELD, PRUEGER, 2015). A lungo termine l'aumento della temperatura potrebbe avere conseguenze negative sull'efficienza riproduttiva di queste specie. La luce è invece risultata una sorta di fattore di catalizzazione, che amplifica le risposte delle specie, come percentuale di copertura, all'aumento della temperatura.

In termini di gestione forestale lo studio delle dinamiche innescate dall'alterazione delle variabili ambientali nella vegetazione erbacea, risulta di elevata importanza nell'attuare scelte coerenti con gli obiettivi della conservazione degli ecosistemi forestali. La sensibilità di questa componente rispetto a quella arborea permette di comprendere in anticipo e forse più approfonditamente le tendenze dinamiche delle foreste temperate sotto l'influenza dei cambiamenti climatici.

### Ringraziamenti

Si ringrazia il Forest and Nature Lab di Ghent, che ha reso possibile questo studio, mettendo a disposizione la propria area sperimentale e le proprie risorse per la raccolta dei dati, nell'ambito del progetto di ricerca europea PastForward.

## BIBLIOGRAFIA

- BERTRAND R., LENOIR J., PIEDALLU C., RIOFRIO-DILLON G., RUFFRAY P., VIDAL C., PIERRAT J. C., GEGOUT J. C. 2011. *Changes in plant community composition lag behind climate warming in lowland forests*. Nature, Vol. 479: 517-520.
- DE FRENNE P., KOLB A., VERHEYEN K., BRUNET J., CHAMBRE-RIE O., DECOCQ G., DIEKMANN M., ERIKSSON O., HEINKEN T., HERMY M., JOGAR U., STANTON S., QUATAER P., ZINDEL R., ZOBEL M., GRAAE B. J. 2009. *Unravelling the effects of temperature, latitude and local environment on the reproduction of forests herbs*. Global Ecology and Biogeography, 18: 641-651.
- DE FRENNE P., RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ F., SCHRIJVER A., COMES D., HERMY M., VANGANSBEKE P., VERHEYEN K. 2015. *Light accelerates plant responses to warming*. Nature Plants.
- DE FRENNE P., SCHRIJVER A., GRAAE B., GRUWEZ R., TACK W., VANDELOOK F., HERMY M., VERHEYEN K. 2010. *The use of open-top chamber in forests for evaluating warming effects on herbaceous understorey plants*. Ecological Research,

25: 163-171.

GILLIAM, F. 2007. *The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems*. BioScience, 57: 845–858.

GILLIAM F., ROBERTS M. 2003. *Interactions between the herbaceous layer and overstory canopy of eastern forests*. The Herbaceous Layer in Forests of Eastern North America. 2nd edn, Oxford University Press, pp. 323-337.

HARRISON S., DAMSCHEN E., GRACE J. 2010. *Ecological contingency in the effects of climatic warming on forest herb communities*. PNAS, vol. 107, no. 45: 19362–19367.

HATFIELD J. L., PRUEGER J.H. 2014. *Temperature extremes: effect on plant growth and development*. Science Direct, vol. 10, part A.

HOOPER D., ADAIR C., CARDINALE B., BYRNES J., HUNGATE B., MATULICH K., GONZALEZ A., DUFFY J. E., GAMFELDT L., O'CONNOR M. I. 2012. *A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change*. Nature, 486: 105-108.

NOODEN L. D., HILLSBERG J. W., SCHNEIDER M. J. 1996. *Induction of leaf senescence in Arabidopsis thaliana by long days through a light-dosage effect*. Physiologia Plantarum 96: 491-495.

SAXE H., CANNELL M., JOHNSEN Ø., RYAN M., VOURLITIS G. 2001. *Tree and forest functioning in response to global warming*. New Phytologist, 149: 369–400.

THOMPSON I., MACKAY B. MCNULTY S., MOSSELER A. 2009. *Forest resilience, biodiversity and climate change*. A Synthesis of the Biodiversity, Resilience, Stability Relationship in Forest Ecosystems. Published by the Secretariat of the Convention on Biological Diversity, technical series no. 43.

VERHEYEN K., HERMY M. 2004. *Recruitment and growth of herb-layer species with different colonizing capacities in ancient and recent forests*. Journal of Vegetation Science 15: 125-134.

### Giuditta Franci

Dott.ssa Forestale, Firenze,  
Tel: 3331344775,

E-mail: giuditta.franci.89@gmail.com

### Federico Selvi

Professore Ordinario di Botanica ambientale  
e applicata, presso Scienze e Tecnologie Agrarie,  
Alimentari, Ambientali e Forestali (DAGRI),

Università degli Studi di Firenze,  
Piazzale delle Cascine 24, 50144,

Tel: 0552755853,

E-mail: federico.selvi@unifi.it

**PAROLE CHIAVE:** Risposte dello strato erbaceo, cambiamento climatico, fattori ecologici, foreste temperate

### RIASSUNTO

Lo scopo di questo studio è quello di esaminare le risposte di specie dello strato erbaceo delle foreste temperate europee alle variazioni di due fattori abiotici chiave del cambiamento climatico, che incidono direttamente sulla vita di tutte le piante: luce e temperatura. Lo studio si è basato sull'uso di comunità vegetali artificiali sottoposte a trattamenti di luce e temperatura crescente, al fine di verificare l'esistenza di una o più risposte a tali trattamenti da parte di comunità, singole specie e gruppi ecologico-funzionali, durante una stagione vegetativa. Questi gruppi sono quelli delle ancient forest species, delle specie rapide colonizzatrici e delle specie nitrofile. I risultati hanno mostrato che il trattamento di maggior effetto è quello dato da luce e temperatura congiuntamente, che portano all'aumento della copertura delle comunità e di molte specie. La sola temperatura tende a diminuire il numero di individui in stadio riproduttivo, prolungandone la fase vegetativa. Nel complesso tali risultati supportano l'importanza di alcuni gruppi di specie erbacee, come bioindicatori per il monitoraggio delle risposte degli ecosistemi forestali ai cambiamenti climatici.

**KEY WORDS:** Herbaceous species responses, climate change, ecological factors, temperate forests

### ABSTRACT

The aim of this study was to analyse the responses of some herbaceous species of European forests to variations of two major drivers of climate change that directly influence plant life: light and temperature. The study was based on the use of artificial plant communities that have been subject to treatments of increasing light and temperature. The responses of communities, functional groups and single species to the above treatments were examined during a vegetative season. The functional groups were: ancient forest species, fast colonizing, shade-tolerant species and nitrophilous species. The main results showed that the greater effect was driven by light and temperature together, which cause a significant increase in the percentage of cover in all communities and most species. The temperature treatment alone caused a decrease in the number of plants reaching the reproductive phase, thus a temporal extension of their vegetative phase. In terms of damages by herbivores the responses were non-significant. Summarizing, the results support the significance of the herbaceous layer, or at least of some groups of species, as bioindicators in the monitoring of forest ecosystems in the face of climate change.