

PHOTOPLANT

TECHNICAL DISSEMINATION FACT SHEET

A cura di:

Dott.ssa Martina Tarascio

Prof. Thomas Abeli

Prof.ssa Lisa Brancaleoni

Prof. Renato Gerdol

Dott.ssa Anna Cazzavillan

Questo lavoro è stato supportato dal Progetto di Ricerca di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN) del Ministero dell'Università e della Ricerca italiano, finanziato dall'Unione Europea - Next Generation EU "PHOTOPLANT: risposta degli ecosistemi artici e alpini all'interazione fotoperiodo-clima nel contesto dei cambiamenti climatici", coordinato dall'Università di Pavia, Master CUP F53D23004120006

PHOTOPLANT – Technical dissemination fact sheet

A cura di Martina Tarascio e Thomas Abeli

Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente – Università degli Studi di Pavia

Lisa Brancaleoni, Anna Cazzavillan e Renato Gerdol

Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Prevenzione – Università degli Studi di Ferrara

Citazione consigliata: Tarascio M., Brancaleoni L., Cazzavillan A., Gerdol, R., Abeli T., 2026.

Photoplant technical dissemination fact sheet, 2026.

URL: <https://photoplant.unipv.it/it/risultati-e-pubblicazioni/>

Febbraio 2026

Sommario

1. RIASSUNTO OPERATIVO	2
2. ABSTRACT	3
3. INTRODUZIONE	4
3.1 Il ruolo del fotoperiodo	4
3.2 Gli ecosistemi alpini	4
3.3 Servizi ecosistemici e pressioni	5
4. ATTIVITA' SVOLTE.....	6
4.1 Set-up sperimentale.....	6
5. RISULTATI.....	9
5.2 Copertura totale	9
5.3 Biomassa	9
5.4 Gas Exchange	10
5.5 Carbonio totale fogliare	10
6. CONSEGUENZE SULLA GESTIONE.....	11
6.1 Gestione	11
6.2 Ripristino	12
6.3 Limitazioni e proposte di miglioramento	13
7. GLOSSARIO	14
8. BIBLIOGRAFIA	15

1. RIASSUNTO OPERATIVO

Il progetto PHOTOPANT ha indagato il ruolo del fotoperiodo nel modulare la risposta delle comunità vegetali artico-alpine al cambiamento climatico, con particolare riferimento alle implicazioni per il ripristino ecologico. Mediante un esperimento di common garden condotto in ambiente alpino, zolle di vegetazione di valletta nivale provenienti dall'Artico e dalle Alpi sono state sottoposte a un disegno sperimentale che ha combinato due regimi fotici (fotoperiodo naturale di 16 h e fotoperiodo prolungato di 24 h) e due condizioni termiche (ambientale e riscaldamento passivo tramite Open-Top Chambers). La risposta delle comunità è stata valutata attraverso misure di biomassa, copertura vegetale, scambi gassosi ed allocazione di carbonio fogliare. I risultati evidenziano una forte dipendenza dalla provenienza geografica: le zolle alpine hanno mostrato una risposta migliore rispetto a quelle artiche in tutti i trattamenti. La copertura vegetale è risultata particolarmente elevata nelle zolle alpine rispetto a quelle artiche, con effetti secondari sia del fotoperiodo sia del riscaldamento simulato. Nel complesso, i risultati indicano che l'adattamento locale rappresenta un fattore chiave nella risposta delle comunità vegetali alle nuove condizioni climatiche, mentre il fotoperiodo, pur influenzando specifici processi fisiologici, gioca un ruolo secondario rispetto alla provenienza. Tali evidenze supportano l'importanza di considerare l'origine del materiale vegetale nelle strategie di ripristino e suggeriscono una possibile applicazione di ecotipi alpini in contesti soggetti a riscaldamento e a regimi di luce prolungata.

2. ABSTRACT

The PHOTOPANT project investigated the role of photoperiod in modulating the response of Arctic-Alpine plant communities to climate change, with particular attention to the implications for ecological restoration. Through a common garden experiment conducted in an alpine environment, swards of snow valley vegetation from the Arctic and the Alps were subjected to an experimental design that combined two photic regimes (natural 16-h photoperiod and extended 24-h photoperiod) and two thermal conditions (environmental and passive heating via Open-Top Chambers). Community response was assessed through biomass and vegetation cover measurements. The results highlight a strong dependence on geographic origin: Alpine swards showed a better response than Arctic patches in all treatments. Vegetation cover was particularly high in Alpine swards compared to Arctic patches, with secondary effects of both photoperiod and simulated warming. Overall, the results indicate that local adaptation is a key factor in plant communities' response to new climate conditions, while photoperiod, while influencing specific physiological processes, plays a secondary role compared to provenance. This evidence supports the importance of considering the origin of plant material in restoration strategies and suggests a possible application of alpine ecotypes in contexts subject to warming and prolonged light regimes.

3. INTRODUZIONE

3.1 Il ruolo del fotoperiodo

Il fotoperiodo è un importante fattore ecologico che regola i processi fisiologici e fenologici delle piante, ma è stato finora poco considerato negli studi sull'effetto del cambiamento climatico sulla flora e vegetazione e sulle implicazioni per il ripristino degli habitat. Esso è particolarmente rilevante nel confronto tra ecosistemi artici e alpini, che hanno climi simili ma fotoperiodi molto diversi: in estate, per periodi variabili a seconda della latitudine, l'Artico riceve luce per 24 ore, mentre alle medie latitudini la durata del giorno si attesta all'incirca a 16 ore, con conseguenze sulla durata della stagione vegetativa e sulle pressioni selettive.

Il riscaldamento climatico favorirà la migrazione delle piante verso nord, ma il fotoperiodo, un segnale fisso indipendente dal clima, potrebbe limitarla, poiché molte specie regolano fioritura, crescita e senescenza in base alla durata del giorno. Alcune specie, pur sopravvivendo a nuove latitudini, potrebbero non riuscire a riprodursi o a non completare il loro ciclo vitale. Inoltre, l'interazione tra fotoperiodo, temperatura e disponibilità idrica influenzerà in modo diverso le risposte delle diverse specie in ambienti artici e alpini: il fotoperiodo lungo favorisce lo sviluppo dei germogli, quello corto delle radici, modificando anche la tolleranza alla siccità.

Poiché circa metà delle specie artico-alpine è sensibile al fotoperiodo, le differenze nella risposta alla luce possono alterare la competizione tra specie, la produttività delle comunità vegetali e i servizi ecosistemici ad essi associati, come il l'assorbimento di carbonio, la ritenzione idrica, il pascolo e il turismo. Ne deriva che i modelli di sequestro del carbonio e le pratiche di ripristino ambientale risultano parzialmente incompleti quando non considerano il fotoperiodo, rendendo necessarie nuove ricerche su questo fattore.

3.2 Gli ecosistemi alpini

Tra gli ecosistemi alpini di particolare rilievo ai fini del Progetto, le praterie e le vallette nivali risultano di particolare interesse.

Le praterie alpine sono ecosistemi erbaceo naturali situati al di sopra del limite forestale nelle montagne alte, caratterizzati da una copertura continua o estesa di graminoidi (Poaceae, Cyperaceae, Juncaceae, ecc.) e altre piante erbacee adattate a condizioni climatiche rigide (basse temperature, vento forte, stagione vegetativa breve). Queste comunità vegetali si sviluppano su pendii, conche o ampi declivi dove gli alberi non possono crescere e rappresentano una componente tipica delle praterie e degli ambienti alpini ad alta quota. In ambiente alpino, la flora caratteristica di questi ambienti è rappresentata da varie specie dei generi *Poa*, *Carex*, *Juncus*, *Dryas*, *Gentiana*, *Alchemilla*, *Anthyllis*, *Draba*, *Helianthemum*, *Pulsatilla* e molti altri.

Nell'ambito delle praterie alpine, le vallette nivali sono habitat caratterizzati da una lunga persistenza del manto nevoso, che determina una stagione vegetativa molto breve e condizioni ambientali più estreme. Esse ospitano comunità vegetali altamente specializzate, dominate da

specie erbacee e suffruticose adattate a basse temperature, ritardo fenologico e suoli frequentemente saturi d'acqua. A seconda della morfologia del terreno e del più o meno prolungato innevamento si possono rilevare diversi tipi di comunità vegetali con diverse specie dominanti; tipologie tutte ascrivibili alla classe *Salicetea herbaceae* diffusa sulle catene montuose meridionali quali Alpi, Pirenei, Carpazi, Balcani fino agli Appennini. Dal punto di vista conservazionistico, le vallette nivali rivestono un'elevata importanza poiché accolgono numerose specie artico-alpine microterme e taxa con distribuzione frammentata, risultando particolarmente vulnerabili alle variazioni climatiche che alterano la durata della copertura nevosa. La riduzione del periodo di innevamento comporta una trasformazione della composizione floristica e una possibile perdita di specie specializzate, rendendo questi habitat indicatori sensibili del cambiamento climatico e priorità per le strategie di monitoraggio, tutela e ripristino/mitigazione.

3.3 Servizi ecosistemici e pressioni

Le praterie montane rappresentano habitat di elevato valore ecologico e socio-economico, in quanto ospitano una ricca biodiversità floristica e svolgono importanti funzioni ecosistemiche, quali la regolazione idrologica, la protezione del suolo e il supporto alle attività agro-pastorali tradizionali. Ad esempio, i nardeti ricchi di specie (*Nardus stricta* grasslands) costituiscono un habitat di interesse comunitario prioritario (H6230) ai sensi della Direttiva Habitat, poiché combinano un'elevata diversità vegetale con una lunga storia di gestione pastorale estensiva. Questi sistemi sono strettamente legati alla produzione di servizi ecosistemici e di prodotti tipici di qualità, come formaggi di alpeggio a denominazione protetta, il cui valore economico dipende direttamente dal mantenimento delle pratiche tradizionali e della composizione floristica delle praterie. Le principali pressioni su tali habitat includono l'abbandono del pascolo, che favorisce l'avanzata di arbusti e specie competitive, con conseguente riduzione della biodiversità, e l'intensificazione delle pratiche agricole, che riduce la diversità floristica e altera la struttura del cotico erboso. Le vallette nivali, pur condividendo alcune pressioni con le praterie montane, risultano maggiormente vulnerabili al cambiamento climatico, che modifica la durata della copertura nevosa, il regime termico e la disponibilità idrica del suolo, influenzando direttamente la composizione floristica e la dinamica fenologica delle specie specializzate che le compongono. A tali fattori si sommano pressioni di origine antropica quali la realizzazione di infrastrutture turistiche (piste da sci, impianti di risalita), la costruzione di invasi per l'innevamento artificiale, il calpestio e il pascolo non regolato, che determinano compattazione del suolo, alterazione del microclima e frammentazione degli habitat. L'interazione tra cambiamento climatico e disturbi locali può accelerare la sostituzione delle specie presenti con altre più competitive, compromettendo la funzione delle vallette nivali come rifugi per taxa artico-alpini e riducendone il valore conservazionistico. Per tali ragioni, questi habitat sono considerati prioritari nelle strategie di conservazione e richiedono approcci gestionali integrati che tengano conto sia delle pressioni climatiche globali sia degli impatti diretti delle attività umane.

4. ATTIVITA' SVOLTE

4.1 Set-up sperimentale

Le attività sperimentali previste dal progetto PRIN2022 PHOTOPLANT sono state finalizzate a comprendere le implicazioni dell'effetto combinato di fotoperiodo e temperatura per la tutela e la gestione della vegetazione di valletta nivale. La sperimentazione si è svolta presso il Giardino Botanico Alpino Bruno Peyronel (2290 m s.l.m.)(Fig. 1,2), scelto come sito sperimentale per l'elevata analogia climatica con gli ambienti naturali di provenienza delle zolle, essendo il giardino botanico alpino più alto d'Europa.

Qui, è stato allestito un common garden sperimentale consistito in un disegno fattoriale completo che ha combinato due diversi fotoperiodi (naturale, di circa 16 ore di luce, e prolungato a 24 ore tramite apposite lampade collegate a pannelli fotovoltaici, in modo da simulare le condizioni fottiche artiche)(Fig. 3) e due regimi termici (condizioni ambientali e riscaldamento passivo mediante Open-Top Chambers). Studiando questo fenomeno a medie latitudini è stato possibile simulare scenari analoghi a quelli previsti per l'Artico nel prossimo futuro.

Il Giardino Botanico Alpino Bruno Peyronel presenta condizioni termiche, durata della stagione vegetativa e regimi di innevamento comparabili a quelli degli ecosistemi artico-alpini, rendendolo particolarmente idoneo a ospitare comunità di valletta nivale trasferite da contesti polari e alpini.



Figura 1 - Visione d'insieme del sito sperimentale presso il Giardino Botanico Alpino Bruno Peyronel



Figura 2 - Ingresso del Giardino Botanico Alpino Bruno Peyronel

Nel 2024 sono state raccolte zolle di vegetazione di valletta nivale in area artica (Ny-Ålesund, Svalbard) e in area alpina (Pale di San Martino, Dolomiti), selezionando comunità contenenti specie artico-alpine comparabili (in particolare *Salix* spp., *Bistorta vivipara*, *Silene acaulis* e *Saxifraga oppositifolia*). Le zolle sono state trasportate e messe a dimora presso il common



Figura 3 - Gruppo sperimentale di zolle nel trattamento a fotoperiodo prolungato tramite lampade ad accensione crepuscolare

garden in una valletta nivale, mantenendole all'interno di fuscelle per limitarne l'espansione laterale e facilitarne messa a dimora e successivo recupero, e adottando misure preventive per evitare contaminazioni genetiche (rimozione di fiori e frutti). La sperimentazione con misurazioni di diverse variabili (paragrafo 4.2) è avvenuta durante la stagione vegetativa 2025 permettendo di confrontare direttamente la risposta di zolle di diversa provenienza geografica sottoposte alle stesse condizioni ambientali, isolando gli effetti del fotoperiodo e della temperatura in un contesto ecologicamente realistico e climaticamente rappresentativo degli habitat di origine. Ad esperimento concluso, sono state ripristinate le iniziali condizioni del sito, rimuovendo la strumentazione (lampade di crescita e OTC), le zolle sperimentali e rimettendo a dimora le zolle autoctone di *Carex foetida*

precedentemente rimosse e coltivate ex situ per la durata dell'esperimento (Fig. 4,5).



Figura 4 - Rimozione delle zolle sperimentali



Figura 5 - Ripristino delle condizioni naturali del sito sperimentale con zolle locali

4.2 Dati raccolti

Durante la stagione sperimentale 2025 sono stati raccolti i seguenti dati:

Dati fenologici

- Copertura vegetale delle zolle, mediante acquisizione di immagini standardizzate delle zolle stesse per successive analisi tramite software di elaborazione delle immagini (ImageJ)(Fig. 6).
- Conteggio del numero di foglie in *Bistorta vivipara* e nelle graminacee.
- Valutazione della presenza/assenza e dello stadio riproduttivo di *Salix* spp. (infiorescenze maschili e femminili) e di *Bistorta vivipara*.

- Valutazione della presenza delle specie target all'interno delle zolle.

Dati di biomassa

- Determinazione della biomassa aerea fresca e secca delle zolle al termine dell'esperimento, mediante trasporto del materiale vegetale in laboratorio.
- Misura del carbonio totale (%) allocato nella biomassa fogliare.

Dati ecofisiologici

- Misure di scambi gassosi sulle zolle sperimentali (assimilazione fotosintetica e traspirazione).

Dati microclimatici

- Registrazione continua di variabili ambientali mediante *datalogger* (temperatura e potenziale osmotico del suolo).
- Download periodico dei dati dai sensori installati in campo.



Figura 6 - Acquisizione di immagini delle zolle sperimentali

5. RISULTATI

Al fine di indagare la risposta della comunità vegetale in esame e delle specie presenti nelle zolle, sono stati considerati la biomassa aerea, la copertura totale e parziale delle zolle e gli scambi gassosi, come misura di performance nei vari trattamenti.

5.2 Copertura totale

La copertura vegetale ha mostrato differenze marcate in funzione della provenienza geografica delle zolle, con valori nettamente superiori nelle zolle di origine alpina rispetto a quelle di origine artica lungo tutto il periodo di osservazione (Fig. 7). Nelle zolle alpine, la presenza di OTC ha determinato una riduzione della copertura rispetto alle condizioni senza OTC, evidenziando un effetto negativo del riscaldamento simulato sulla capacità di mantenere una copertura elevata, soprattutto in concomitanza di un fotoperiodo prolungato. Se nel regime fotico locale, infatti, le piante hanno mantenuto un andamento di crescita tipico, con un aumento e un picco estivi, seguiti da un declino verso fine stagione, sotto il regime di luce costante, le stesse comunità vegetali hanno mostrato una diminuzione nella copertura verde durante la stagione sperimentale, acuita dallo stress termico indotto dalle OTC. Al contrario, nelle zolle di origine artica la copertura si è mantenuta su valori molto bassi in tutti i trattamenti, mostrando variazioni limitate in risposta sia al fotoperiodo sia alla presenza di OTC, e rendendo dunque difficoltoso un confronto significativo tra trattamenti

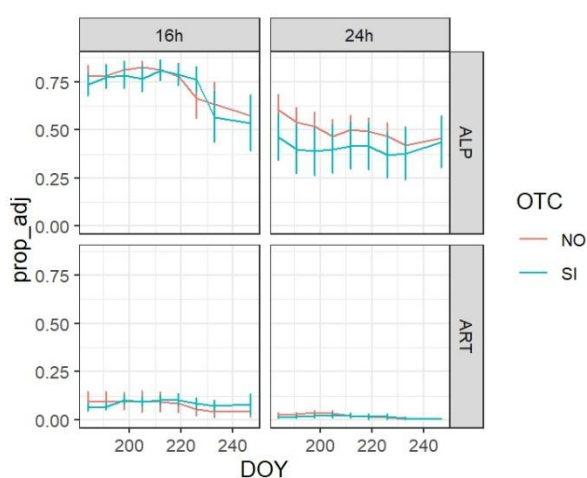


Figura 7 - risultati dell'analisi della copertura totale nelle zolle sperimentali

5.3 Biomassa

La risposta della biomassa al fotoperiodo è risultata fortemente dipendente dalla provenienza geografica delle zolle. Nelle zolle di origine artica, il fotoperiodo prolungato ha determinato una riduzione sia della biomassa fresca sia della biomassa secca rispetto alle condizioni di fotoperiodo naturale. Al contrario, nelle zolle di origine alpina il fotoperiodo prolungato non ha prodotto variazioni significative nella biomassa secca, mentre ha indotto un aumento della biomassa fresca (Fig. 8,9).

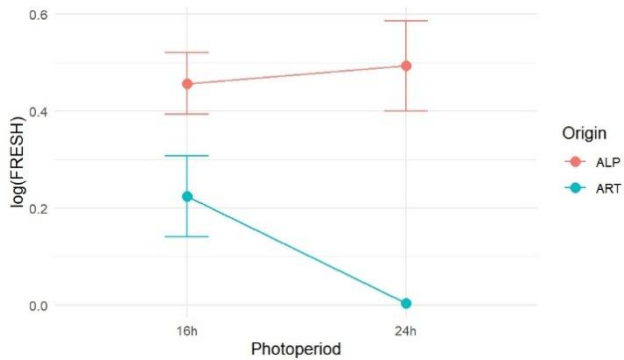


Figura 8 - risultati dell'analisi della biomassa fresca delle zolle sperimentali nei diversi trattamenti

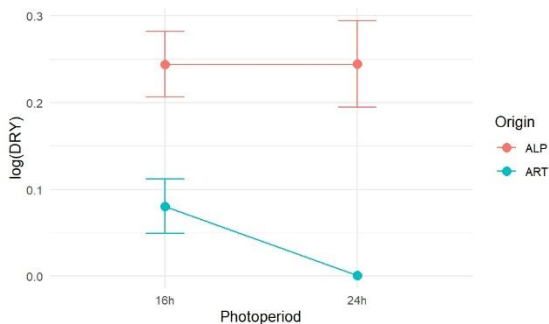


Figura 9 - risultati dell'analisi della biomassa secca delle zolle sperimentali nei diversi trattamenti

5.4 Gas Exchange

Gli scambi di CO₂ (μmol m⁻² s⁻¹) medi della stagione vegetativa sono risultati significativamente diversi tra zolle artiche ed alpine ($p < 0.0001$), tra zolle nei trattamenti con lampada e senza lampada ($p < 0.0001$), tra zolle nei trattamenti con e senza OTC ($p < 0.01$), e tra le zolle nel trattamento combinato con lampada ed OTC rispetto alle altre ($p < 0.01$). È stata registrata una differenza significativa tra le covariate ai trattamenti tra gli stessi, (1) la PAR ($p < 0.01$), (2) la temperatura del suolo ($p < 0.0001$) e (3) la copertura fogliare percentuale ($p < 0.0001$).

5.5 Carbonio totale fogliare

A fine stagione la biomassa fogliare disponibile per le zolle artiche era nettamente inferiore rispetto a quelle alpine e rappresentata esclusivamente da graminoidi. Inoltre, la biomassa fogliare di *Bistorta vivipara* a fine stagione non è stata sufficiente per effettuare un confronto tra trattamenti. L'allocazione di carbonio totale (%) fogliare non ha mostrato differenze significative tra trattamenti né per le graminoidi ($p = 0.22$), né per *Salix retusa* ($p = 0.34$), ma ha mostrato differenze significative tra taxa ($p < 0.0001$). In particolare, l'allocazione di carbonio è risultata nettamente maggiore per *Salix retusa*, intermedia per *Bistorta vivipara* e le graminoidi, e relativamente bassa per le altre specie presenti nelle zolle.

6. CONSEGUENZE SULLA GESTIONE

Secondo le più recenti proiezioni, gli effetti del cambiamento climatico interesseranno sia le medie sia le alte latitudini e non sono mitigabili su scala locale; di conseguenza, la gestione delle praterie alpine e delle vallette nivali deve necessariamente tener conto di un fattore non pienamente controllabile.

Tuttavia, i risultati ottenuti indicano che l'adattamento locale rappresenta un elemento chiave nella risposta delle comunità vegetali e deve essere considerato nelle valutazioni di impatto ambientale, nelle strategie di gestione, negli interventi di ripristino ecologico, inclusa la riqualificazione floristica e nei casi più estremi nella migrazione assistita di specie di interesse conservazionistico e/o economico.

I risultati sulla copertura indicano infatti un forte controllo dalla provenienza delle zolle, mentre gli effetti di fotoperiodo e OTC risultano secondari, confermando una risposta differenziata tra popolazioni alpine e artiche alle condizioni sperimentali. Le popolazioni alpine hanno performato meglio rispetto a quelle artiche, rafforzando l'ipotesi di un adattamento alle condizioni locali.

Analogamente, i risultati relativi alla biomassa suggeriscono un possibile impiego di ecotipi alpini in opere di ripristino anche ad alte latitudini.

Nel complesso, questi risultati evidenziano una risposta contrastante tra popolazioni artiche e alpine alle condizioni di luce prolungata, confermando l'importanza della provenienza nel modulare l'effetto del fotoperiodo sulla produzione di biomassa.

6.1 Gestione

La gestione delle praterie alpine e delle vallette nivali dovrebbe mirare alla riduzione delle pressioni locali che possono amplificare la vulnerabilità di questi ecosistemi al cambiamento climatico. In particolare, è necessario limitare gli impatti derivanti dalla realizzazione di infrastrutture turistiche e di servizio, quali piste da sci, impianti di risalita, strade e invasi per l'innervamento artificiale, che comportano alterazioni del suolo, modifiche del microclima e frammentazione degli habitat.

Un ulteriore elemento gestionale riguarda la regolazione del pascolo, che rappresenta un fattore ecologico importante per il mantenimento della biodiversità delle praterie montane ma deve essere calibrato con attenzione: livelli eccessivi di pressione pastorale possono determinare compattazione del suolo e perdita di specie sensibili, mentre l'abbandono delle pratiche pastorali può favorire la progressiva colonizzazione da parte di specie competitive o arbustive, con conseguente riduzione della diversità floristica.

Infine, risulta fondamentale mantenere condizioni idrologiche adeguate, evitando il sovrasfruttamento della risorsa idrica e le modificazioni artificiali del drenaggio che potrebbero compromettere il regime di umidità del suolo, elemento chiave per la persistenza delle

comunità di valletta nivale. Interventi di gestione efficaci dovrebbero quindi integrare la riduzione delle pressioni antropiche locali con il monitoraggio degli effetti del cambiamento climatico, che negli ecosistemi alpini e artici si manifesta attraverso variazioni nella durata del manto nevoso, nella temperatura e nella disponibilità idrica del suolo.

6.2 Ripristino

Le indicazioni derivanti dal progetto PHOTOPLANT sono particolarmente pertinenti nell'ambito del ripristino delle vallette nivali, dove l'arricchimento floristico costituisce uno strumento importante, soprattutto in ambienti degradati da pressioni antropiche come il pascolo. In questi casi, l'azione gestionale non dovrebbe concentrarsi esclusivamente sulla regolazione della pressione sugli habitat, ma soprattutto sul recupero attivo della comunità vegetale dopo la rimozione della causa di disturbo, attraverso interventi di risemina, trapianto e ripristino strutturale.

I risultati sperimentali evidenziano l'importanza dell'adattamento locale sulla performance delle specie e della comunità, mentre il fotoperiodo ha un ruolo marginale rispetto ad altri fattori ambientali. In altre parole, ecotipi e genotipi locali, adattati alle condizioni microclimatiche degli ambienti di provenienza, mostrano prestazioni migliori rispetto a popolazioni non locali.

Per il ripristino di queste comunità a lungo innevamento e più in generale di praterie alpine soggette a degrado alle medie latitudini, è quindi consigliato di mettere al primo posto come criterio di scelta del materiale vegetale (semi, piante, altri propaguli) la provenienza locale, valutando e confrontando le condizioni microclimatiche tra il sito di ripristino e il/i siti di approvvigionamento del materiale stesso.

Nel contesto dell'Alto Artico, la durata del giorno durante la stagione vegetativa, aumenterà l'intensità degli effetti negativi del cambiamento climatico eccedendo in alcuni casi la capacità di acclimatazione e (nel lungo periodo) di adattamento degli ecotipi nordici. Questo si evince dal crollo della performance registrato dalle zolle artiche a seguito del trapianto alla latitudine sperimentale di circa 45° Nord. Nelle condizioni sperimentali, il fotoperiodo ha avuto un effetto, ma in generale peggiorativo della performance anche quando il campione artico è stato sottoposto al fotoperiodo di 24 ore. L'attività fisiologica continua innescata dalla presenza costante di luce ha aumentato lo stress a carico delle specie, ampliando la differenza di performance tra le zolle locali e quelle artiche. Questo evidenzia che qualora, per effetto del riscaldamento si dovessero verificare nell'artico condizioni climatiche paragonabili a quelle delle montagne delle medie-latitudini, gli ecotipi locali potrebbero non essere in grado di reagire.

I risultati relativi alla scarsa produttività delle zolle artiche nel contesto più caldo dell'ambiente alpino mostrano anche come ampie aree di vegetazione artica legata alla lunga permanenza della neve potranno aumentare il rilascio di anidride carbonica.

Da qui la necessità di valutare attività di ripristino, *genetic rescue* e *assisted migration* mediante l'impiego di eco- o genotipi provenienti da aree più meridionali in contesti settentrionali, dal momento che il fotoperiodo non ne ha compromesso la performance in condizioni di stress. Tale approccio è analogo a quanto già adottato in ambito forestale, dove, nei rimboschimenti successivi ai tagli, si utilizzano sempre più frequentemente semi di provenienza meridionale, meglio adattati (anche in prospettiva) al clima futuro atteso nei siti di intervento.

6.3 Limitazioni e proposte di miglioramento

Tuttavia, la limitatezza spaziale e temporale della sperimentazione di PHOTOPANT impone cautela nell'adottare questo tipo di approccio, che certamente necessita di maggiori studi su ampia scala e per più stagioni vegetative.

7. GLOSSARIO

- *Assisted migration*: la colonizzazione assistita comporta il trasferimento di popolazioni di specie al di fuori della loro attuale distribuzione quando la loro capacità di sopravvivere nel loro habitat naturale di fronte ai futuri cambiamenti climatici è minacciata.
- *Common garden*: esperimento ecologico in cui popolazioni o comunità vegetali provenienti da aree geografiche diverse vengono coltivate nello stesso sito e sotto le stesse condizioni ambientali, al fine di confrontarne le risposte e distinguere gli effetti genetici da quelli ambientali.
- *Fotoperiodo*: Il fotoperiodo è la durata giornaliera della luce, un segnale ambientale stabile legato alla latitudine e determinato dall'inclinazione dell'asse terrestre. A differenza della temperatura, che varia in modo imprevedibile, il fotoperiodo segue un ciclo annuale regolare: è costante all'equatore (12 ore) e varia marcatamente alle alte latitudini.
- *Genetic rescue*: intervento di conservazione che consiste nell'introduzione intenzionale di individui provenienti da popolazioni geneticamente differenti all'interno di una popolazione piccola o isolata, con l'obiettivo di aumentare la diversità genetica, ridurre gli effetti della consanguineità e migliorare la fitness e la vitalità della popolazione stessa (Whiteley et al., 2015).
- *OTC*: un'open-top chamber (OTC) è una camera sperimentale aperta superiormente utilizzata in ecologia per simulare il riscaldamento climatico in situ su vegetazione naturale. Si tratta di una struttura passiva, solitamente con pareti trasparenti di plastica o plexiglass disposte attorno a un piccolo appezzamento di terreno, che intrappola il calore solare e aumenta la temperatura dell'aria e del suolo all'interno rispetto all'ambiente circostante, senza chiudere completamente la parte superiore. L'apertura in alto permette l'ingresso di luce, precipitazioni e lo scambio d'aria, riducendo gli effetti non naturali pur mantenendo una leggera elevazione termica utile per studiare le risposte delle piante al clima più caldo.
- *Praterie alpine*: formazioni vegetali erbacee tipiche dell'orizzonte alpino, situate al di sopra del limite del bosco, caratterizzate da una stagione vegetativa breve, temperature basse e da specie adattate a condizioni climatiche estreme, come gelate tardive, forte irraggiamento e vento.
- *Vallette nivali*: ambienti modellati dalla geomorfologia in modo tale da favorire una lunga permanenza del manto nevoso. La loro presenza è quindi legata a situazioni topografiche dove la neve si accumula e si scioglie tardivamente. Poiché è difficile identificarla solo sulla base delle forme del terreno, le vallette nivali vengono riconosciute soprattutto in base ai criteri floristici, cioè dalla presenza di specie vegetali tipiche degli ambienti con neve persistente, appartenenti in particolare alla classe *Salicetea herbaceae*.

8. BIBLIOGRAFIA

Björk, R. G., & Molau, U. (2007). Ecology of alpine snowbeds and the impact of global change. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 39(1), 34–43.

Dierssen, K. (1996). *Vegetation of Europe*. Blackwell Science, Oxford. (Capitoli su vegetazione nivale e *Salicetea herbaceae*).

Henry, G. H. R., & Molau, U. (1997). Tundra plants and climate change: the International Tundra Experiment (ITEX). *Global Change Biology*, 3(Suppl. 1), 1–9.

IUCN, S. (2013). *Guidelines for reintroductions and other conservation translocations*. Gland, Switzerland.

Körner, C., & Körner, C. (1999). *Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems* (Vol. 4). Berlin: Springer.

Pauli, H., Gottfried, M., & Grabherr, G. (2003). Effects of climate change on the alpine and nival vegetation of the Alps. *Journal of Mountain Ecology*, 7, 9–12.

Tarascio, M., Brancaleoni, L., Cazzavillan, A., Cutini, M., Gerdol, R., & Abeli, T. (2026). Photoperiod–Temperature Interactions in a Changing Climate: A Review of Plant Phenological Responses. *Journal of Biogeography*, 53(1), e70113.

Tomaselli, M. (1991). The snow-bed vegetation in the Northern Apennines. *Vegetatio*, 94(2), 177–189.

Whiteley, A. R., Fitzpatrick, S. W., Funk, W. C., & Tallmon, D. A. (2015). Genetic rescue to the rescue. *Trends in ecology & evolution*, 30(1), 42–49.