

## IT01-T ECOSISTEMI D'ALTA QUOTA

### Autori

Angela Stanisci<sup>1</sup>, Maurizio Cutini<sup>2</sup>, Bruno Petriccione<sup>3</sup>, Graziano Rossi<sup>4</sup>, Chiara Calderaro<sup>1</sup>, Maria Laura Carranza<sup>1</sup>, Valter De Cecco<sup>5</sup>, Ludovico Frate<sup>1</sup>, Carmen Giancola<sup>1</sup>, Luciano Di Martino<sup>6</sup>, Michele Di Musciano<sup>5</sup>, Roberto Tognetti<sup>7</sup>, Jean-Paul Theurillat<sup>8</sup>, Alessandro Bricca<sup>2</sup>, Andrea De Toma<sup>2</sup>, Anna Rita Frattaroli<sup>5</sup>, Marco Iocchi<sup>2</sup>, Marco Malavasi<sup>9</sup>, Flavio Marzialetti<sup>1</sup>, Andrea Scolastri<sup>2</sup>, Marcello Tomaselli<sup>10</sup>, Simone Orsenigo<sup>4</sup>, Francesco Porro<sup>4</sup>, Maurizia Gandini<sup>4</sup>, Michele Carbognani<sup>10</sup>, Alessandro Petraglia<sup>10</sup>, Matteo Gualmini<sup>10</sup>, Thomas Abeli<sup>2</sup>

### Affiliazione

<sup>1</sup> Università degli Studi del Molise, Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Pesche (Isernia).

<sup>2</sup> Università degli studi Roma Tre, Dipartimento di Scienze, Viale G. Marconi 446, Roma.

<sup>3</sup> Reparto Carabinieri Biodiversità, Castel di Sangro, L'Aquila.

<sup>4</sup> Università di Pavia, Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente, Via S. Epifanio 14, 27100 Pavia, Italia.

<sup>5</sup> Università dell'Aquila, Dipartimento di Medicina clinica, sanità pubblica, scienze della vita e dell'ambiente, Via Vetoio, L'Aquila.

<sup>6</sup> Majella Seed Bank, Parco Nazionale della Majella, Località Colle Madonna, Lama dei Peligni (Chieti).

<sup>7</sup> Università degli Studi del Molise, Dipartimento di Agricoltura, Ambiente e Alimenti, Campobasso.

<sup>8</sup> Centre Alpien de Phytogéographie, Fondation J.-M. Aubert, Champex-Lac, Switzerland .

<sup>9</sup> University of Life Sciences (CULS), Faculty of Environmental Sciences, Department of Applied Geoinformatics and Spatial Planning, Czech Prague (Czech Republic).

<sup>10</sup> Università di Parma, Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale, Parco Area delle Scienze 11/a, 43124 Parma, Italia.

**DEIMS.ID:** <https://deims.org/70b5c2bd-b0c3-4132-8988-f527893bfa42>

**Tipologia di ecosistema:** terrestre

**Referente Macrosito:** Angela Stanisci

### Siti di ricerca:

Appennino Centro-Meridionale:

Majella-Matese, **IT01-001-T**

Appennino Centrale:

Velino-Duchessa, **IT01-002-T**

Appennino Centrale:

Gran Sasso, **IT01-003-T**

Appennino Settentrionale, **IT01-004-T**



*Paesaggio appenninico d'alta quota*

Come citare questo capitolo: Stanisci A., Cutini M., Petriccione B. *et al.* (2021). IT01-T Ecosistemi d'alta quota, p. 65-99. DOI: 10.5281/zenodo.5584729. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

---

## Descrizione del macrosito e delle sue finalità

È costituito da ecosistemi terrestri di alta quota della catena montuosa degli Appennini, che si presentano come “isole” orografiche nel Mediterraneo centrale collocate lungo la dorsale appenninica.

In particolare, comprende aree permanenti di monitoraggio ecologico a lungo termine distribuite nei tre settori geografici dell'Appennino:

1. **Appennino settentrionale:** le aree permanenti di monitoraggio sono collocate lungo un gradiente altitudinale che va dal limite del bosco alla vegetazione alpina (1800-2120 m), inserite nella rete mondiale del progetto GLORIA (GLObal Research Initiative in Alpine ecosystems); altre aree permanenti sono dedicate al monitoraggio della copertura nevosa e delle popolazioni locali di specie a rischio.
2. **Appennino centrale:** le aree di ricerca più antiche sono ubicate sul Gran Sasso d'Italia e sul M.Velino installate rispettivamente nel 1986 e nel 1993, in ambiente di tundra e praterie primarie di alta quota. Dal 2001 poi si sta svolgendo il monitoraggio ecologico del piano alpino del massiccio della Majella, secondo il protocollo metodologico del progetto mondiale GLORIA, le aree permanenti sono collocate secondo un gradiente altitudinale che va dal limite altitudinale superiore della mugheta alle praterie primarie di alta quota (2400-2730 m). Inoltre, nel sito della Majella si stanno studiando l'anatomia del legno e la dendrocronologia del faggio e del pino mugo. Dal 2005 anche sul gruppo montuoso Velino-Duchessa vi sono delle aree di monitoraggio lungo 2 transetti altitudinali disposti rispettivamente lungo le pendici sud-occidentali di M.te Morrone (1800-2141 m, Montagna della Duchessa, Lazio) e dell'allineamento M.te Sevice-M.te Velino (1800-2487 m, Massiccio del Velino, Abruzzo).
3. **Appennino meridionale:** dal 2007 vi sono due aree di ricerca incluse nella rete del progetto GLORIA sui crinali dei massicci montuosi del Matese (1900-2050 m).

Le tematiche di ricerca riguardano l'analisi dei trend di temperatura e precipitazioni ed i loro effetti ecologici, la diversità e l'abbondanza di specie di flora vascolare e di avifauna, i cambiamenti nella struttura e nella composizione degli habitat di interesse comunitario, cambiamenti di uso del suolo, la biologia riproduttiva e l'ecologia della germinazione di specie di piante vascolari a rischio di estinzione, l'ecoinformatica attraverso l'utilizzo di database vegetazionali, i cambiamenti globali, la durata della copertura nevosa, la decomposizione organica a livello del suolo, l'accrescimento radiale e l'anatomia del legno del pino mugo e del faggio.

## Abstract

The macro-site includes the following research sites along the Apennine mountain range:

LTER\_EU\_IT\_022 – Central and Southern Apennine: Majella-Matese

LTER\_EU\_IT\_025 – Central Apennine: Velino-Duchessa

LTER\_EU\_IT\_024 – Central Apennine: Gran Sasso

LTER\_EU\_IT\_023 – Northern Apennine

It consists of “orographic islands” with high elevation vegetation in central Mediterranean basin, along the Apennines mountain range. It includes permanent plots where long term ecological monitoring is carried out. They are distributed in the three geographical sectors of Apennines:

**Northern Apennines:** the permanent plots are placed between the timberline zone and the alpine belt (1800-2120 m); they are included into the worldwide network of GLORIA project (GLObal Research Initiative in Alpine ecosystems). Other permanent plots are devoted to the monitoring of snow cover and of the populations of vascular plants at extinction risk.

**Central Apennines:** the oldest permanent plots are located at Gran Sasso d'Italia (since 1986) and at Mt.Velino (since 1993), in alpine tundra and primary grasslands. Since 2001 the ecological

---

monitoring of the alpine belt in Majella national Park started, according to the standardized methodological protocol of the worldwide network GLORIA; the plots are placed along an elevation gradient between dwarf shrublands and tundra vegetation (2400-2730 m). Moreover, the wood anatomy and dendrochronology of beech and mountain pine are being studied. Since 2005, in M.ts Velino and Duchessa other permanent plots are monitored along two separate elevation transects on the southwestern slopes of M.te Morrone (1100-2141 m a.s.l., Montagna della Duchessa, Lazio) and M.te Sevice-M.te Velino (1100-2487 m a.s.l., Velino massif, Abruzzo), including grasslands, open beech forest, timberline and high elevation vegetation.

**Southern Apennines:** since 2007 other permanent plots are monitored in Matese mountains (1800-2000 m a.s.l.), included into the worldwide network GLORIA, and characterised by ridges grasslands.

The research topics concern: temperature and precipitation trends and their ecological effects, vascular plant and birds diversity and abundance, structure and composition changes of EC habitats, land use changes, population biology and germination ecology of vascular plants at extinction risk, ecoinformatics through the use of vegetation database, global change, duration of snow cover, litter decomposition, tree-ring growth and wood anatomy of mountain pine and beech.

## Appennino centro-meridionale: Majella-Matese

### Autori

Angela Stanisci<sup>1</sup>, Chiara Calderaro<sup>1</sup>, Maria Laura Carranza<sup>1</sup>, Valter De Cecco<sup>2</sup>, Ludovico Frate<sup>1</sup>, Carmen Giancola<sup>3</sup>, Luciano Di Martino<sup>2</sup>, Michele Di Musciano<sup>4</sup>, Roberto Tognetti<sup>5</sup>

### Affiliazione

<sup>1</sup> Università degli Studi del Molise, Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Pesche (Isernia).

<sup>2</sup> Majella Seed Bank, Parco Nazionale della Majella, Località Colle Madonna, Lama dei Peligni (Chieti).

<sup>3</sup> Giardino della Flora Appenninica di Capracotta (Isernia).

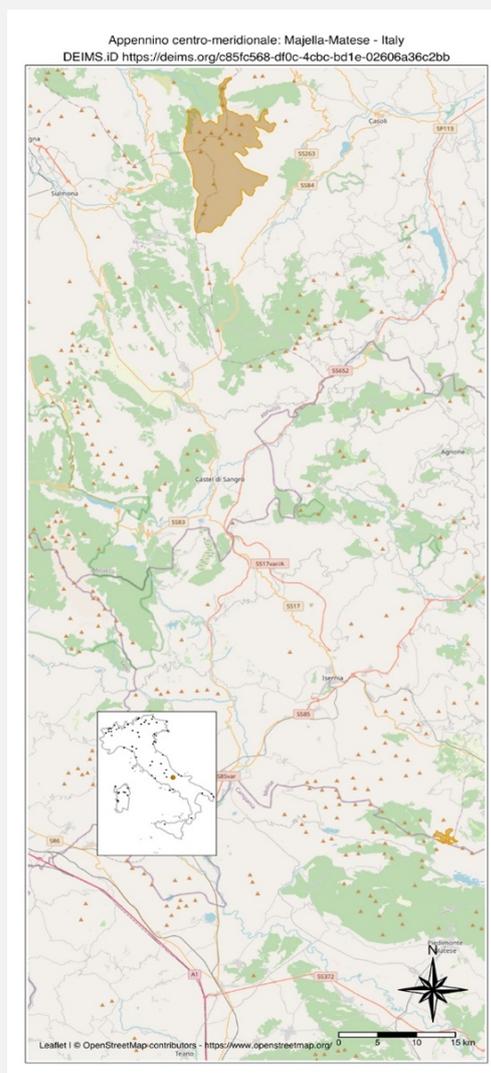
<sup>4</sup> Università dell'Aquila, Dipartimento di Medicina clinica, sanità pubblica, scienze della vita e dell'ambiente, Via Vetoio, L'Aquila.

<sup>5</sup> Università degli Studi del Molise, Dipartimento di Agricoltura, Ambiente e Alimenti, Campobasso.

**Sigla:** IT01-001-T

**DEIMS.ID:** <https://deims.org/c85fc568-df0c-4cbc-bd1e-02606a36c2bb>

**Responsabile del sito:** Angela Stanisci



## Descrizione del sito e delle sue finalità:

Le aree dove viene svolto il monitoraggio ecologico a lungo termine sono situate nella parte sommitale del massiccio della Majella, che raggiunge con M. Amaro la sua massima elevazione (2794 m s.l.m.), e dei Monti del Matese, la cui vetta più alta è M. Miletto (2040 m s.l.m.).

I siti di ricerca del massiccio della Majella sono inclusi nel territorio del Parco Nazionale della Majella, del S.I.C. IT7140203 (Majella) e della ZPS IT7140129, mentre i siti di ricerca dei Monti del Matese sono invece inclusi nel Parco Nazionale del Matese e nel S.I.C./Z.P.S. IT7222287 con denominazione “La Gallinola-Monte Miletto-Monti del Matese”.



Fig. 1 - Parco Nazionale della Majella (Foto Giovanni Pelino)

Sul massiccio della Majella, tra i 2400 e i 2750 m s.l.m., sono presenti molteplici esempi di morfologie glaciali e persistono condizioni climatiche di tipo periglaciale, con temperatura media annua dell'aria di +3°C. Il suolo è coperto da neve da metà settembre a metà giugno. Il paesaggio fisico in alta quota è modellato da morfologie glaciali e dai depositi ad esse associate e dalle morfologie carsiche superficiali. A seconda delle diverse geoforme, il piano alpino è composto da un mosaico vegetazionale formato da praterie primarie (*Seslerion apenninae*, *Arabidion coeruleae*, *Viola magellensis*-*Cerastion thomasi*), praterie compatte di dolina (*Salicion herbaceae*, *Ranunculo-Nardion*) o dalla vegetazione frammentata e

discontinua dei ghiaioni e delle rupi (*Linario-Festucion dimorphae*, *Saxifragion australis*) (Blasi *et al.* 2003; Biondi *et al.* 2009).

Per quanto riguarda i Monti del Matese, per effetto delle secolari ed intensive pratiche silvo-pastorali le formazioni arbustive subalpine sono state eliminate e la faggeta risulta, dunque, a diretto contatto, nel suo limite altitudinale superiore, con prati-pascolo continui (*Phleo ambiguus*-*Bromion erecti*) o con la vegetazione di rupi e ghiaioni (*Festucion dimorphae*, *Saxifragion australis*). Le vette più elevate, tra i 1800 e i 2000 metri, sono ricoperte da praterie primarie discontinue (*Festucion violaceae*, *Seslerion apenninae*) (Giancola *et al.* 2008).

Il monitoraggio ecologico a lungo termine viene svolto in 64 aree permanenti collocate nel piano alpino del massiccio della Majella e nel piano altomontano dei Monti del Matese.

Le principali attività di monitoraggio periodico riguardano: la diversità e l'abbondanza di specie di piante vascolari, la temperatura a livello del suolo, la decomposizione della lettiera e la dinamica del carbonio del suolo, lo studio dendrocronologico e dendroanatomico delle mughete e faggete.

Il monitoraggio dei dati termometrici e della diversità delle piante vascolari viene svolto nell'ambito delle attività del progetto a scala mondiale GLORIA (GLOBAL Research Initiative in Alpine ecosystems – <https://www.gloria.ac.at>). Le temperature al suolo vengono registrate automaticamente ogni ora dal 2001 tramite data-loggers e periodicamente i dati vengono analizzati e pubblicati. Il censimento e la valutazione della copertura e abbondanza delle specie di piante vascolari presenti nelle aree permanenti avviene invece ogni 4-7 anni, nello stesso periodo per tutti i siti altomontani europei della rete GLORIA, per consentire di analizzare i dati in modo congiunto e fornire delle informazioni aggiornate e complessive sugli effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi altomontani europei (Pauli *et al.* 2012).

---

Gli studi sulla decomposizione della materia organica e sulla dinamica del carbonio del suolo vengono svolti nell'ambito della rete mondiale di ricercatori associati al consorzio TeaComposition (<https://teacomposition.org/>). Anche in questo caso il prelievo di campioni di materia organica in decomposizione e di suolo vengono prelevati periodicamente e in modo congiunto per consentire analisi comparative tra diversi gruppi montuosi del pianeta (Djukic *et al.* 2018).

Studi dendrocronologici su pino mugo, unici sulla catena Appenninica, sono stati condotti a partire dal 2008. A questi sono stati associati studi di dendroclimatologia, utilizzando i dati meteorologici forniti dal Servizio Idrografico e Mareografico di Pescara (Palombo *et al.* 2014). Contemporaneamente è stata condotta un'attenta analisi storica dei cambiamenti di uso del suolo, mediante ricerche storiche ed elaborazione di carte sulla dinamica vegetazionale del pino mugo (Palombo *et al.* 2013). Studi di anatomia del legno sono stati condotti sulla formazione del legno di compressione nel pino mugo, specie fortemente influenzata dalla quantità di neve a terra e dal numero di giorni con precipitazioni nevose.

In aggiunta sono state analizzate le dinamiche di vegetazione di pino mugo e faggio nell'ecotono subalpino in risposta a fattori di disturbo (quali siccità, pascolo, tagli) e agli effetti dei cambiamenti climatici in ambiente forestale Mediterraneo nel Parco Nazionale della Majella. Questo ecosistema di transizione che domina le alte quote del massiccio presenta in questa parte d'Appennino Centrale il limite latitudinale del suo areale di distribuzione. Il cambiamento climatico e di uso del suolo (quest'ultimo derivato dall'abbandono dei sistemi silvo-agro-pastorali) influenza le dinamiche spaziotemporali tra il bosco di faggio e la vegetazione prostrata con pino mugo (Calderaro *et al.* 2014).

Le dinamiche di vegetazione in queste zone ecotonali possono avere un effetto negativo sulla distribuzione spaziale e sulla sopravvivenza delle specie erbacee rare o endemiche, influenzando così l'aspetto, la struttura e la produttività dell'ecotono subalpino del Parco Nazionale della Majella.

Sono inoltre in corso analisi dendroanatomiche su due transetti altitudinali di faggio attraverso le quali sarà possibile individuare e capire le relazioni tra gli accrescimenti annuali e le caratteristiche anatomiche del legno, in particolar modo le caratteristiche idrauliche e strutturali del legno, così come l'influenza delle condizioni climatiche sulla crescita e la funzionalità delle piante (Calderaro 2019).

In queste aree vengono svolte anche altre ricerche che forniscono un contributo all'aumento delle conoscenze sui cambiamenti ecologici a lungo termine, tra queste l'analisi dei cambiamenti degli aspetti strutturali e funzionali degli ecosistemi di alta quota attraverso l'uso dei dati vegetazionali presenti nel database VIOLA (Stanisci *et al.* 2016a; Evangelista *et al.* 2016a). VIOLA è un archivio informatizzato di 1800 rilievi fitosociologici effettuati in Appennino centrale negli ultimi 50 anni, ed è collegato ad altri database internazionali e nazionali come GIVD (Global Index of Vegetation-Plot Database, <http://www.givd.info/ID/EU-IT-019>), l'European Vegetation Archive (EVA, [www.euroveg.org](http://www.euroveg.org)) e l'Italian vegetation database (VegItaly, [www.vegitaly.it](http://www.vegitaly.it)). Questo approccio di studio ecologico viene chiamato ecoinformatica, e consente di analizzare una grande mole di dati ecologici riferiti ad epoche diverse e di valutare gli effetti del cambiamento di uso del suolo e dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi altomontani dagli anni '50 ad oggi (Frate *et al.* 2018).

Inoltre in questi ultimi anni si è dedicata un'ulteriore attenzione allo studio delle strategie di dispersione delle specie di piante vascolari d'alta quota (Di Musciano *et al.* 2018) e alle caratteristiche morfologico-funzionali che determinano le capacità di acquisizione e conservazione delle risorse nelle piante di alta quota, al fine di comprendere quali siano le strategie di adattamento delle comunità vegetali delle vette al cambiamento climatico.

Altro argomento trattato è quello dell'ecologia della germinazione per le specie d'alta quota (Di Cecco *et al.* 2017; Di Martino *et al.* 2014; Frattaroli *et al.* 2013). Ogni specie ha requisiti specifici per la germinazione e questi sono spesso sconosciuti per le specie endemiche. La definizione dei protocolli di germinazione, in particolare per le specie caratterizzate da piccole popolazioni e per le quali mancano dati, potrebbe essere un passo importante per il miglioramento delle strategie di conservazione. A questo scopo, 7 specie vegetali presenti nell'allegato II della direttiva Habitat, tra cui 2 d'alta quota (*Androsace mathildae* e *Adonis distorta*) sono oggetto del progetto LIFE Floranet, che ha l'obiettivo di

produrre dei protocolli di germinazione, riprodurre *ex situ* le piante ed effettuare azioni di re-stocking in natura, oltre a conservare *ex situ* sia i semi che le piante riprodotte.

## Risultati

Le analisi dei dati della temperatura hanno evidenziato un aumento significativo della temperatura media annuale di 1,7°C negli ultimi 50 anni (Evangelista *et al.* 2016b). Inoltre nell'ultimo secolo sono stati registrati un aumento della temperatura media di 2,87°C in primavera e di 4,38°C in inverno, ed un aumento della temperatura media delle minime in estate di 3,17°C (Dai *et al.* 2017).

Le temperature registrate a livello del suolo hanno rilevato un aumento pari a 0.76°C in 7 anni (Gottfried *et al.* 2012). Inoltre si è riscontrato che le esposizioni orientali e meridionali oltre ad essere quelle più calde ospitano un più alto numero di specie di flora vascolare (Winkler *et al.* 2016).

Dai dati raccolti su flora e vegetazione sono emerse delle variazioni significative nella composizione e nella struttura degli ecosistemi di alta quota. In particolare è stato registrato un fenomeno chiamato «termofilizzazione», riscontrato anche in altre aree montuose del pianeta (Gottfried *et al.* 2012). Esso consiste nell'aumento dell'abbondanza di specie che preferiscono temperature più miti (termofile) nelle vette e nello spostamento verso quote più elevate delle piante tipiche delle praterie che si sviluppano nella fascia del limite superiore del bosco. A causa del progressivo aumento delle temperature, queste specie riescono a spingersi e a crescere a quote più elevate, entrando in competizione diretta con la vegetazione delle vette. Queste specie termofile hanno una distribuzione centrata nei piani bioclimatici montano e subalpino (a quote inferiori del piano alpino). Sul massiccio della Majella gli habitat di alta quota che hanno subito una maggiore “termofilizzazione” sono le praterie discontinue degli altopiani sopra i 2500 m (habitat di interesse comunitario con codice 8120) e le mughete (habitat di interesse comunitario con codice 4070) (Frate *et al.* 2018; Calabrese *et al.* 2018).

Inoltre si è registrato in questi ecosistemi un aumento significativo di specie con alta capacità di propagazione vegetativa, come le erbacee cespitose (alcune graminacee), le piccole legnose (camefite suffruticose), e le specie erbacee con una fioritura ritardata (emicriptofite rosulate), che sembrano favorite dall'aumento delle temperature e dell'allungamento della stagione vegetativa (Stanisci *et al.* 2016b). È stato poi osservato un aumento delle specie più esigenti per la disponibilità di nutrienti, anche questo favorito da un miglioramento nel processo di turnover dei nutrienti nel suolo grazie all'allungamento della stagione favorevole (Evangelista *et al.* 2016b).

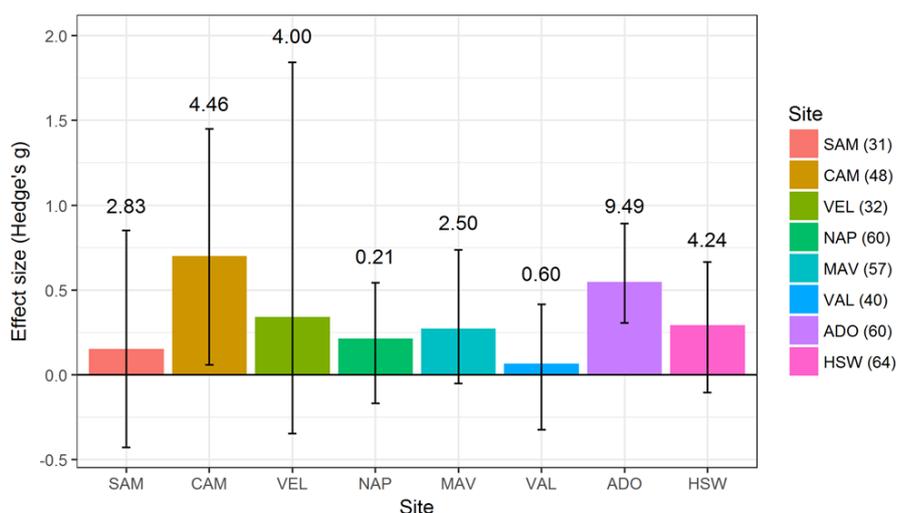


Fig. 2 - EFFETTO GREENING: incremento della copertura della vegetazione in alta quota in alcuni siti ILTER altomontani dell'Appennino e delle Alpi, misurato con il metodo median effect sizes (Hedge's g), le barre mostrano l'intervallo di confidenza al 95% e i numeri si riferiscono al cambiamento medio in percentuale. Le sigle si riferiscono a: SAM – Appennino meridionale, Matese; CAM-Appennino centrale, Majella; VEL – Appennino centrale, Velino; NAP-Appennino tosco-emiliano; MAV-Alpi sud-occidentali, Monte Avic; VAL – Alpi Vallesi-Entremont, Svizzera; ADO – Alpi orientali, Dolomiti; HSW – Alpi orientali, Hochschwab. I numeri tra parentesi corrispondono al numero di aree permanenti dove viene svolto il monitoraggio ecologico per ciascun sito (da Rogora *et al.* 2018)

---

Come è stato riscontrato in altre montagne europee, si sta in generale verificando un processo di greening in alta quota, che consiste nell'aumento della copertura vegetazionale degli ambienti sommitali (Rogora *et al.* 2018), che è stato associato al riscaldamento climatico.

Dalle analisi del cambiamento di copertura del suolo, nell'area di contatto tra faggeta e arbusteto a pino mugo, nell'ecotono subalpino del Parco Nazionale della Majella, è stata dimostrata un'espansione della muggheta rispettivamente verso quote superiori, con l'invasione degli ecosistemi sopra al limite della vegetazione arborea, soprattutto dove il terreno è poco profondo e roccioso, sia verso quote inferiori con l'occupazione di superfici idonee allo sviluppo del faggio (Dai *et al.* 2017). Questi movimenti sono dovuti sia al progressivo abbandono delle pratiche agro-silvo pastorali che ad un aumento delle temperature. Allo stesso tempo il faggio si espande verso quote superiori sfruttando le zone d'ombra offerte dalla muggheta e la sua diffusione è principalmente influenzata dalle alte temperature. Dalle analisi dendroclimatologiche emerge infatti che le temperature primaverili ed estive e le precipitazioni estive hanno influito sulla crescita radiale di entrambe le specie. In dettaglio, le temperature primaverili ed estive hanno influito negativamente sugli accrescimenti anulari del faggio, fatta eccezione per il sito di faggio posto alla quota maggiore (2127 m s.l.m.); dove le temperature primaverili influenzano positivamente la crescita, mentre le temperature estive hanno negativamente influenzato la crescita del pino mugo.

La struttura e la funzione di queste foreste secondarie riflettono i cambiamenti successionali indotti da una complessa combinazione di disturbi naturali ed antropici (Calderaro *et al.* 2014).

L'abbandono delle attività antropiche ed un progressivo aumento delle temperature probabilmente trasformeranno questo paesaggio nuovamente. L'insieme di questi fattori insieme alla gestione forestale dell'area protetta, possono innescare processi dinamici nella vegetazione finalizzati al recupero della naturalità delle formazioni vegetali.

## Prospettive future

Tutte le ricerche in corso sono state condotte grazie al supporto logistico e tecnico-scientifico del personale dell'ente Parco Nazionale della Majella e al supporto economico-finanziario e scientifico dei coordinatori della rete europea di monitoraggio ecologico del progetto GLORIA. Questa rete di enti che collaborano tra loro consente di rendere sostenibile la continuità di queste ricerche nel breve e medio termine, sia sul piano delle risorse umane che finanziarie.

Inoltre vi è un'ampia risonanza dei risultati che via via si raggiungono, in quanto questi vengono pubblicati in sinergia con altri ricercatori europei su riviste scientifiche di alto livello e diffusione.

Ciò nonostante, resta fondamentale poter contare sul supporto istituzionale anche a livello nazionale e fare un ulteriore sforzo di divulgazione e condivisione sul tema degli effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi altomontani italiani, che forniscono fondamentali servizi ecosistemici al genere umano.

## Abstract

Since 2001, in Majella National Park the ecological monitoring is carried out according to the standardized methodological protocol of the worldwide network GLORIA, along an elevation gradient between dwarf shrublands and tundra vegetation. Moreover, the wood anatomy and dendrochronology of beech and mountain pine are being studied. We observed an increase of mean temperature of +1,7°C in the last 50 years, and +2,87°C in winter and +4,38°C in spring.

Results showed significant changes in species composition and structure of high elevation ecosystems, mainly due to a thermophilization process. The alpine grasslands and the mountain pine bushes are experiencing a greening effect which consists of the expansion of warm-adapted species. Moreover, the mountain pine bushes are expanding towards the upper beech forest limit and the alpine belt.

---

Our long term ecological research has been possible thanks to funds provided by foreign countries and partially by EC funds. A national financial contribution would ensure the continuity of ecological data provision useful for assessing the adaptation and mitigation actions to face global warming effects.

## Appennino centrale: Velino-Duchessa

### Autori

Maurizio Cutini<sup>1</sup>, Jean-Paul Theurillat<sup>2</sup>, Bruno Petriccione<sup>3</sup>, Alessandro Bricca<sup>1</sup>, Michele Di Musciano<sup>4</sup>, Andrea De Toma<sup>1</sup>, Anna Rita Frattaroli<sup>4</sup>, Marco Iocchi<sup>1</sup>, Marco Malavasi<sup>5</sup>, Flavio Marzioletti<sup>6</sup>, Andrea Scolastrì<sup>1</sup>

### Affiliazione

<sup>1</sup> Università degli studi Roma Tre, Dipartimento di Scienze, Viale G.Marconi 446, Roma.

<sup>2</sup> Centre Alpien de Phytogéographie, Fondation J.-M. Aubert, Champex-Lac, Switzerland..

<sup>3</sup> Reparto Carabinieri Biodiversità, Castel di Sangro, L'Aquila.

<sup>4</sup> Università dell'Aquila, Dipartimento di Medicina clinica, sanità pubblica, scienze della vita e dell'ambiente, Via Vetoio, L'Aquila.

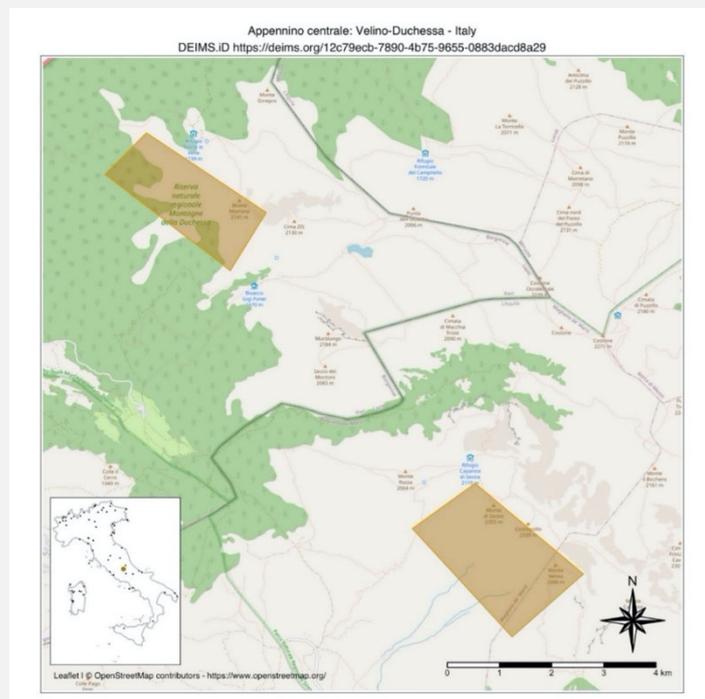
<sup>5</sup> University of Life Sciences (CULS), Faculty of Environmental Sciences, Department of Applied Geoinformatics and Spatial Planning, Czech Prague (Czech Republic).

<sup>6</sup> Università degli Studi del Molise, Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Pesche, Isernia.

**Sigla:** IT01-002-T

**DEIMS.ID:** <https://deims.org/12c79ecb-7890-4b75-9655-0883dacd8a29>

**Responsabile sito:** Maurizio Cutini



## Descrizione del sito e delle sue finalità:

Il sito è costituito dalle aree sommitali poste in corrispondenza del Monte Velino (2487 m s.l.m.) e del Monte Morrone (2147 m s.l.m.), rilievi carbonatici meso-cenozoici che ricadono rispettivamente all'interno dei Comuni di Magliano dei Marsi e Massa d'Albe (L'Aquila, Abruzzo) e Borgorose (Rieti, Lazio) nell'Appennino laziale-abruzzese. Dal punto di vista vegetazionale si configurano come aree rappresentative della zonazione altitudinale dei sistemi carbonatici appenninici, presentando ampie superfici caratterizzate dalla vegetazione della tundra alpina a *Silene exscapa*, dalle praterie discontinue a *Sesleria juncifolia*, da quelle continue a *Festuca rubra* subsp. *microphylla*, dalle praterie xerofitiche secondarie a *Bromopsis erecta* subsp. *erecta*, dai cespuglieti prostrati a *Juniperus communis* e



Fig. 3 - Area sommitale del Massiccio del Velino. Cima del M.te Morrone (2147 m s.l.m.) con il caratteristico paesaggio di alta quota con il limite della foresta a faggio, arbusteti a ginepro nano e mosaico tra praterie primarie e secondarie (Foto: Maurizio Cutini)

*Arctostaphylos uva-ursi* (Avena & Blasi 1980; Petriccione 1993, 1994). Alle alte quote il mosaico vegetazionale è caratterizzato dalla continua alternanza di comunità casmofitiche e glareicole, arricchito dalla presenza di endemiti presenti in popolazioni significative di notevole valore conservazionistico, come la rara *Adonis distorta*. La componente forestale è dominata da foreste a *Fagus sylvatica* con, a quote inferiori, fasi preforestali a *Corylus avellana*, *Ostrya carpinifolia* e *Quercus* sp. pl..

Il sito include diverse aree permanenti la cui installazione risale a periodi diversi. Nel 1993 sono state installate due aree permanenti (Velino A), nell'ambito della Rete di monitoraggio della Riserva Naturale Orientata Monte Velino, gestita dall'allora Corpo Forestale dello Stato, oggi Comando Carabinieri Tutela Biodiversità e Parchi, Reparto Biodiversità di Castel di Sangro (AQ) (Petriccione 2005), mentre, tra il 2005 e il 2009, sono state installate ulteriori 55 aree (Duchessa e Velino B) che rientrano nell'ambito



Fig. 4 - La piramide terminale che culmina con la cima del M.te Velino (2487 m s.l.m.), tra le cime più alte dell'Appennino centrale, caratterizzata da un tipico paesaggio di alta quota contraddistinto da tundra alpina, praterie primarie continue e discontinue e dalla vegetazione dei brecciai (Foto: Bruno Petriccione)

di un più ampio progetto di ricerca finanziato dal MIUR con l'obiettivo principale di studiare la variazione della diversità floristica lungo un significativo gradiente altitudinale in condizioni differenti di pattern vegetazionali (*Elevation gradient of vascular plant distribution in the Central Apennines: diversity patterns and potential impact of global change*) (Theurillat *et al.* 2007). Il progetto ha previsto il monitoraggio a medio e lungo termine della diversità floristica anche fuori dai limiti del sito LTER con ulteriori 112 altre aree

permanenti. Grazie a questa rete di aree permanenti, organizzate all'interno di due transetti contigui in ambito appenninico, i settori sommitali sono rientrati all'interno della rete LTER Italia (Fig. 5).

Il programma di ricerca a lungo termine prevede una raccolta dei dati basata su differenti cicli di monitoraggio. Nelle aree permanenti "Velino A" a partire dal 1993 vengono eseguiti rilevamenti della vegetazione con frequenza pluriennale (annuale dal 2008, su 300 m<sup>2</sup> per ogni area), mentre in quelle "Duchessa" e "Velino B", il monitoraggio ricorre ogni cinque anni (4 m<sup>2</sup> per ogni area).

Le indagini prevedono inoltre anche il monitoraggio dei caratteri climatici. Nell'estate del 2005 sono state installate quattro stazioni climatiche a intervalli regolari di 250 metri di altitudine (1208, 1468, 1714 e 1972 m s.l.m.) nel

trasetto altitudinale "Duchessa", e cinque stazioni allo stesso intervallo altimetrico (1207, 1482, 1728, 1978 e 2238 m s.l.m.) nel trasetto altitudinale "Velino B", nelle quali avviene il monitoraggio continuo della temperatura dell'aria e del suolo durante tutto l'anno, e delle precipitazioni meteoriche durante il periodo vegetativo Maggio-Settembre. Dal 2014, inoltre, il microclima delle due principali comunità biotiche di alta quota di

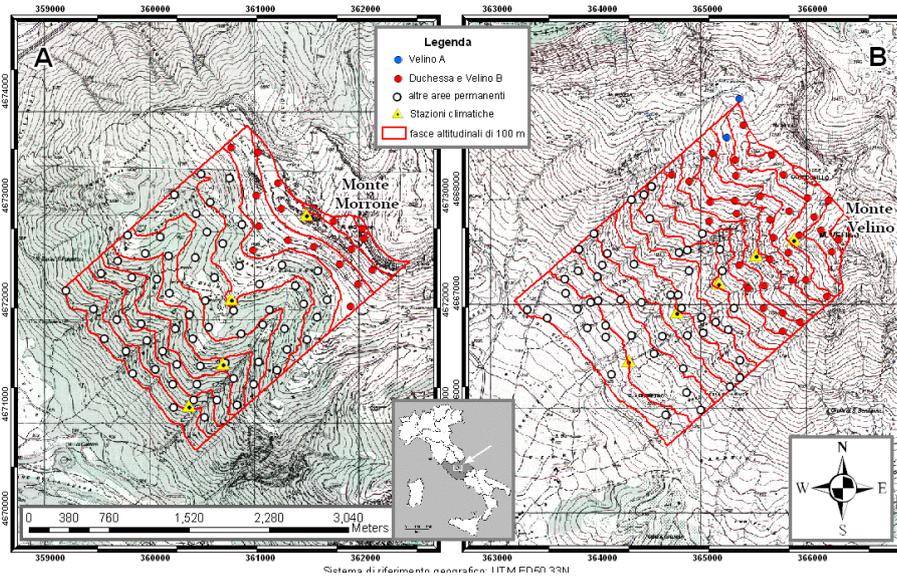


Fig. 5 - Localizzazione delle aree permanenti e delle stazioni climatiche installate nei trasetti altitudinali "Duchessa" (A) e "Velino" (B). Le aree permanenti collocate al di sopra dei 1800 m s.l.m. rientrano all'interno della rete LTER e sono rappresentate da cerchi blu (Velino A) e cerchi rossi (Duchessa e Velino B)

"Velino A" è studiato direttamente e con continuità, attraverso appositi sensori installati nel suolo che rilevano e memorizzano la misura della temperatura con frequenza oraria, secondo la metodologia internazionale GLORIA (Pauli *et al.* 2004). Nel 2018, sensori del tipo IButton sono stati installati in 17 aree permanenti di "Velino B" per registrare la temperatura del suolo, sempre con frequenza oraria.

Per quanto riguarda la componente biologica, negli ultimi anni sono state avviate indagini di ecologia funzionale a scala di comunità, relative ai contesti di prateria e forestali, studi relativi alla componente ipogea e analisi diacroniche a scala di paesaggio, che hanno quali scopi generali la conoscenza dei meccanismi funzionali e di trasformazione degli ecosistemi montani alle alte quote.

## Risultati



Risultati preliminari del monitoraggio climatico mostrano variazioni significative delle precipitazioni lungo il gradiente altitudinale, con l'esistenza di 1-2 mesi di aridità (e/o subaridità) durante il trimestre estivo anche per le stazioni climatiche delle quote più elevate. Tale evidenza supporta l'ipotesi che l'area appartenga alla regione Mediterranea, differentemente dalle classificazioni bioclimatiche correntemente in uso per l'Appennino centrale (Cutini *et al.* dati inediti). Tale ipotesi è ulteriormente confortata anche dalle percentuali significative del corotipo Mediterraneo s.l., dato emerso analizzando la consistenza floristica e i relativi spettri corologici misurati lungo il gradiente altitudinale e considerando i rilevamenti della vegetazione realizzati nei due trasetti (Theurillat *et al.* dati inediti) (Fig. 7).

Fig. 6 - Stazione climatica posta a 2238 m s.l.m. sul M.te Velino (Foto: Maurizio Cutini)

In particolare, dai primi 25 anni di osservazioni sulla vegetazione effettuate nelle aree permanenti di “Velino A”, emerge una chiara tendenza all’adattamento all’aridità delle comunità vegetali d’alta quota, nelle quali è in corso un processo di graduale degenerazione, con forte diminuzione delle specie adattate ai climi più freddi (es. *Trifolium thalii*) e l’aumento di quelle più termofile (es. *Trifolium pratense subsp. semipurpureum*).

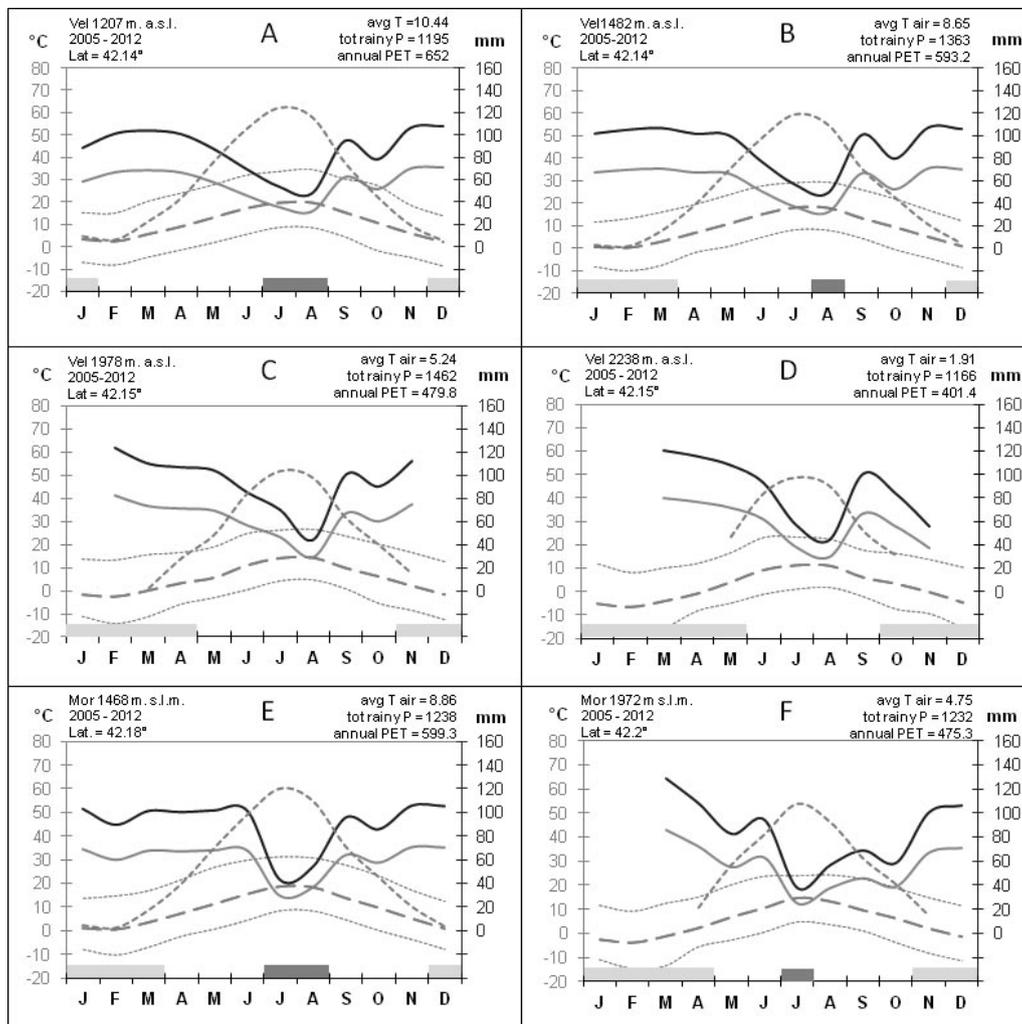


Fig. 7 - Diagrammi ombrotermici di alcune delle stazioni climatiche (A, B, C, D Velino; E, F Duchessa), in cui si notano gli andamenti mensili della temperatura dell'aria (media, massima e minima), le precipitazioni liquide (per  $P = 2T$  e  $P = 3T$ ) e l'evapotraspirazione (trattini stretti). In ascisse la banda in grigio-chiaro indica il periodo in cui la temperatura dell'aria è  $< 5^{\circ}\text{C}$  (condizione di non-crescita delle piante), mentre la banda in grigio-scuro il periodo di pre-aridità ( $2T < P < 3T$ )

Mentre nelle comunità vegetali resistenti e stress-tolleranti della tundra alpina lo stadio dinamico di fluttuazione appare costante nel tempo (Petriccione & Claroni 1996), il profondo turnover di specie osservato nelle comunità mesofitiche a *Festuca rubra subsp. microphylla*, fino a valori prossimi al 40-50% rispetto al numero totale di specie osservate in 25 anni, è dovuto all’aumento quantitativo delle specie vegetali più termofile, stress-tolleranti e xerofitiche ed alla parallela diminuzione di quelle più mesofitiche, competitive e microterme. Questo processo di degenerazione delle biocenosi è verosimilmente dovuto al generale riscaldamento in atto in tutte le aree montane di alta quota che, insieme all’aumento della variabilità climatica inter-annuale e degli eventi estremi ed alla sempre più frequente assenza di copertura nevosa, determinano un aumento dello stress ecologico. I primi dati

rilevati sul microclima delle stazioni di ricerca di “Velino A” confermano queste ipotesi, con frequenti inverni privi di continuità nel tempo nella copertura nevosa delle praterie mesofitiche (Fig. 8).

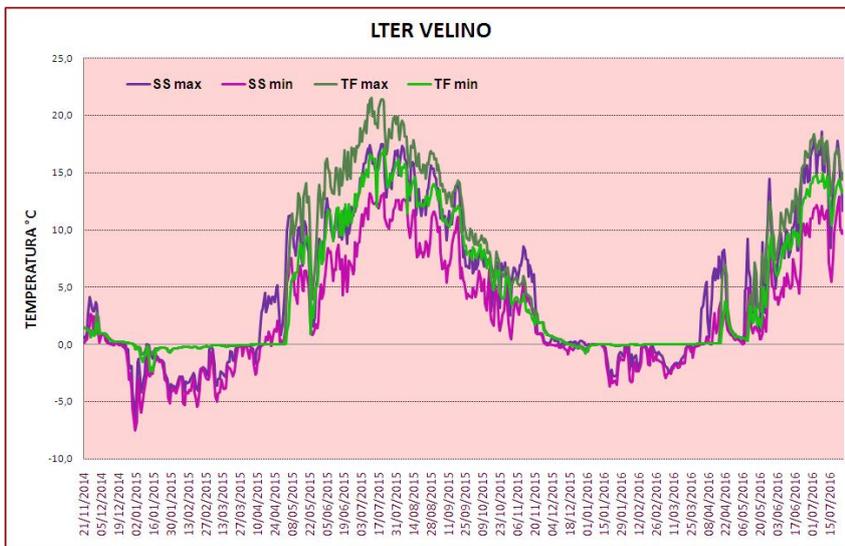


Fig. 8 - Cambiamenti stagionali ed annuali nella temperatura del suolo (profondità -10 cm) nella stazione di ricerca “Velino A” (SS: tundra alpina a *Silene exscapa*; TF: praterie continue a *Festuca rubra* subsp. *microphylla*), nel periodo novembre 2014 – luglio 2016

Ulteriori dati sulle strategie funzionali delle specie erbacee di alta quota, mostrano l'esistenza di piante soggette a forte stress, con strategie simili per la riproduzione sessuale (semi di piccole dimensioni) e per la crescita (bassa statura). Differente considerazione, invece, va fatta per i caratteri funzionali radicali. Aumentando la quota, infatti, le specie tendono ad aumentare la quantità di acqua immagazzinata nei loro organi ipogei. La coesistenza di specie in comunità soggette a forti stress ambientali, come avviene ad elevate altitudini, è presumibilmente dovuta alla

diversificazione di strategie ipogee, necessitando pertanto di ulteriori indagini per una comprensione dei meccanismi funzionali dell'ecosistema altomontano (Bricca 2018; Bricca *et al.* 2019).

Per quanto riguarda le comunità forestali, l'abbandono delle aree montane e la gestione selvicolturale ha determinato il carattere strutturale attuale delle faggete, modellando i caratteri floristici e i tratti funzionali della componente erbacea che ne rappresenta un buon indicatore. Le fustaie difatti conservano una ricchezza più elevata rispetto ai cedui, ospitando un maggior numero di entità diagnostiche dell'habitat di faggeta (codice 9210\* della Direttiva Habitat), elemento che ne rende necessaria una gestione e conservazione adeguate (Scolastri *et al.* 2014; Scolastri *et al.* 2017a, b). Le trasformazioni osservate a scala di paesaggio nell'ultimo trentennio hanno evidenziato per questo distretto evidenti segnali di riforestazione naturale in atto. Lo sviluppo centrifugo verso l'esterno della foresta e la formazione di nuovi nuclei stanno modificando fortemente il mosaico ecotonale alle alte quote, sottolineando la necessità di analizzare a differenti scale di osservazione le trasformazioni in atto (Malavasi *et al.* 2018). Tra queste possiamo annoverare le modificazioni e la 'riattivazione' del limite del bosco, le variazioni floristiche e strutturali indotte nelle comunità dell'ecotono subalpino foresta-arbusteto-prateria, la perdita/trasformazione degli habitat e gli effetti del pascolamento (o dell'abbandono) sui caratteri floristici e strutturali delle comunità. A conferma delle diverse evidenze che stanno emergendo dai differenti studi in corso nel sito LTER, l'ambiente montano risponde con rapide trasformazioni anche ai cambiamenti climatici globali, come emerso e documentato in letteratura per le montagne europee, risultato perfettamente in linea con le altrettante rapide trasformazioni della copertura vegetale nelle fasce montane e subalpine evidenziate anche per la catena appenninica. Tali variazioni possono essere interpretate entro il generale effetto dei cambiamenti climatici in ambito Mediterraneo, con variazioni diversificate in ambito locale in modo più o meno consistente (Rogora *et al.* 2018).

Infine, il sito LTER è stato anche teatro di speciali iniziative di Citizen science, svoltesi nell'ambito dei “Cammini di LTER Italia” (Bergami *et al.* 2018), organizzati sul Velino dal Comando Carabinieri Tutela Biodiversità e Parchi, con i suoi Reparti Biodiversità di L'Aquila e di Castel di Sangro. Per tre anni, il sito è stato raggiunto o attraversato dai Cammini LTER “Sugli Appennini Centrali dal Velino al Gran Sasso, l'avventura della biodiversità” (2015), “Il racconto della biodiversità dell'Appennino” (2016)

---

e “Camminiamo la biodiversità, sugli Appennini alla ricerca dell’ecologia” (2018). In queste occasioni, vi si è svolto un BioBlitz, durante il quale vere e proprie squadre di esperti, famiglie ed altri hanno lavorato e si sono divertiti insieme andando alla ricerca e identificando quante più specie possibile di piante, uccelli, mammiferi, rettili, insetti, funghi ed altri organismi. Il territorio esplorato dai partecipanti, nell’arco di dodici ore continuative, è stato in gran parte quello della stazione LTER, documentando complessivamente la presenza di numerosissime specie, con la partecipazione di molti esperti e di circa 60 persone.

## Prospettive future

Le attività svolte sono state realizzate all’interno della collaborazione tra il Laboratorio di Ecologia Vegetale dell’Università di Roma Tre, il Centre de Phytogéographie de Champex (Svizzera) e il Reparto Carabinieri Biodiversità di Castel di Sangro (AQ). Inoltre fondamentale è risultato l’apporto di diversi collaboratori del Lab. di Ecologia Vegetale (tesisti e dottorandi) che si sono succeduti nel tempo e il supporto logistico del personale gestore della Riserva Naturale Regionale Montagne della Duchessa (Rieti), grazie ai quali è stato possibile la raccolta dei dati climatici e vegetazionali in questi anni.

Grazie a protocolli standardizzati, alla definizione congiunta di obiettivi e alla condivisione dei dati raccolti, negli ultimi anni alcune ricerche sono state effettuate in collaborazione con altri siti della Rete, elemento che ha fornito importanti risultati, pubblicati recentemente su riviste internazionali. Gran parte dei dati raccolti fin d’ora all’interno del sito sono in corso di analisi e di pubblicazione. Tra i principali temi di ricerca sviluppati ed in corso di implementazione, si segnalano la caratterizzazione bioclimatica a scala locale e i cambiamenti del clima in atto in Appennino centrale, le variazioni della vegetazione lungo gradienti spaziali e temporali, la caratterizzazione funzionale della vegetazione di alta quota.

## Abstract

Mountain ecosystems are sensitive and reliable indicator of global climate changes as emerged for the European mountains. Many rapid changes in vegetation cover occurred also in the Apennine chain, can be interpreted within the general effect of climate changes in the Mediterranean area with local variations in a more or less consistent way.

The site Velino-Duchessa consists of two summit areas of the Lazio-Abruzzo Apennines, where monitoring studies are carried out on climate, soil and vegetation. In general the consistent rural exodus in the Central Apennines, which started after World War II and persisted over time, triggered the process of natural vegetation re-growth in the last decades. The abandonment of grazing activities promoted shrub encroachment and woodland advancement also at higher altitude. These evidences emphasize the need to analyze in detail the mountain landscape changes and vegetation transformations at the local scale.

From a climatic point of view the amount of precipitation detected shows significant variations along the elevation gradient, with 1-2 months of aridity and/or subaridity periods during the summer even at higher altitudes. This result supports the hypothesis that the Central Apennines belongs to the mediterranean bioclimatic region, differently from the current interpretation. Preliminary results on the functional traits of high altitude species, shows the stress effects that determines similar strategies for sexual reproduction (small seeds) and for growth (short stature). A different consideration can be made for belowground functional traits, that highlight the tendency to increase the amount of water stored in the hypogeal organs. Complete the picture of the different activities undertaken on the site, all the Citizen science initiatives as the naturalistic information and dissemination actions. In the last years, in fact, the local population have participated in the collection of naturalistic data, highlighting the importance of public participation in research activities and the need to advertise the results of monitoring outside the academic contexts.

## Appennino centrale: Gran Sasso d'Italia

### Autori

Bruno Petriccione

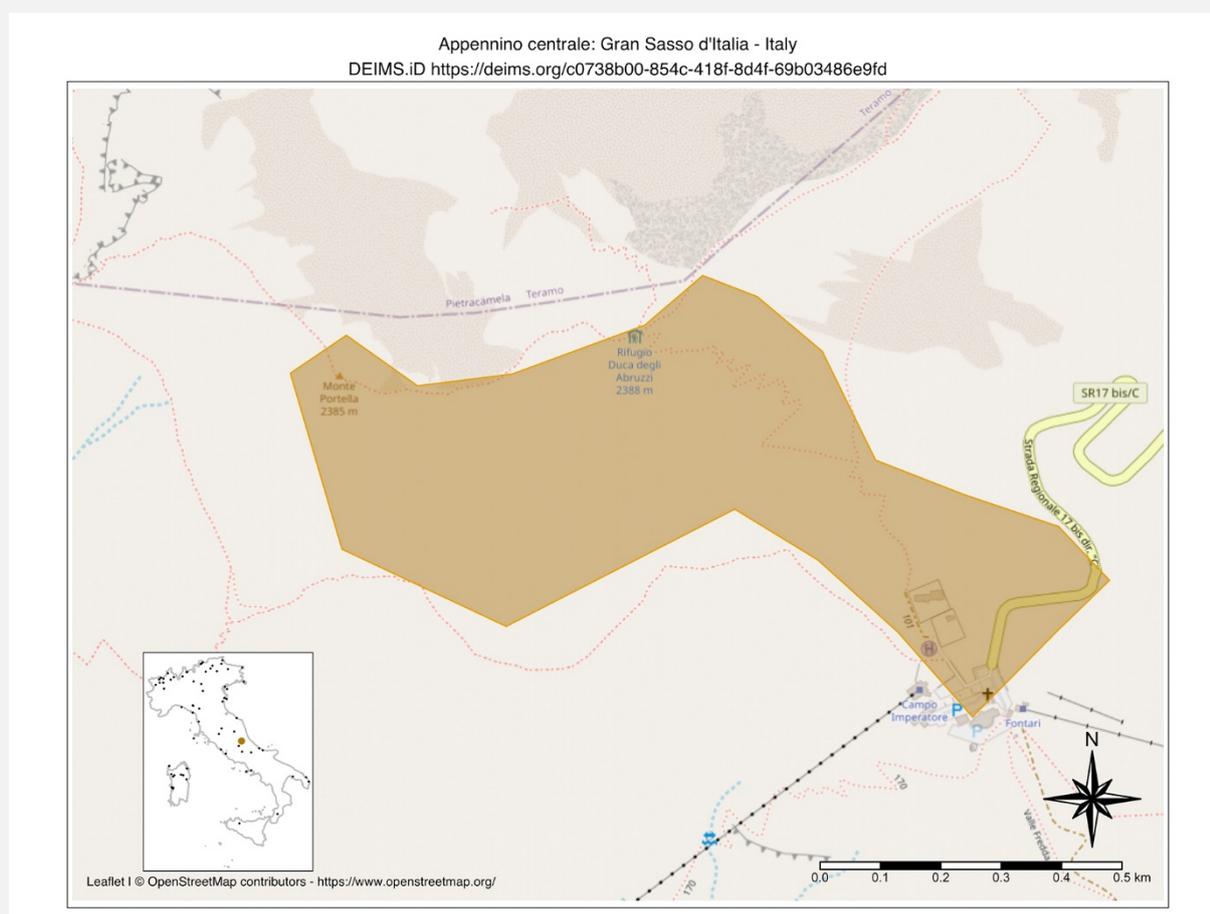
### Affiliazione

Reparto Carabinieri Biodiversità di Castel di Sangro (AQ).

**Sigla:** IT-01-003-T

**DEIMS.ID:** <https://deims.org/c0738b00-854c-418f-8d4f-69b03486e9fd>

**Responsabile sito:** Bruno Petriccione



---

## Descrizione del sito e delle sue finalità

Il sito LTER n. EU IT 01-003-T “Appennino Centrale: Gran Sasso d’Italia”, attivo dal 1985, è esteso 0.5 km<sup>2</sup> circa, con un’altitudine compresa tra 2130 e 2385 m s.l.m. (con coordinate 42 26 N di latitudine e 13 33 E di longitudine). Il massiccio del Gran Sasso d’Italia si trova negli Appennini Centrali, che raggiungono la loro massima elevazione proprio con la vetta del Gran Sasso (2914 m s.l.m.). Il sito di ricerca, uno dei più elevati in Italia, è protetto sia a livello nazionale (come Parco Nazionale), sia a livello europeo (in quanto parte della Rete Natura 2000 dell’Unione Europea), da oltre 20 anni. L’uso del suolo è lo stesso da 50-100 anni: le sole attività di un certo rilievo sono basate sugli sport invernali, l’alpinismo e, più recentemente, il turismo naturalistico, tutte attività con impatto molto basso sulle comunità vegetali.

Il clima è Mediterraneo-montano (Petriccione 2005), con una temperatura media annua di 3.7°C, precipitazioni medie annue di 1170 mm, picchi di precipitazione in primavera ed autunno, assenza di periodi di aridità estivi, ma periodi prolungati ed estremi di gelo per 5-6 mesi all’anno. La copertura nevosa dura più di 6 mesi all’anno, ma localmente, ove la neve è spazzata via dal vento ed i pendii sono particolarmente acclivi, intensi fenomeni crionivali caratterizzano il suolo per quasi tutto l’anno. La media delle temperature massime mensili non è molto alta (17.4°C), mentre quella delle minime mensili è molto bassa (-8.9°C).

I primi rilevamenti effettuati sulla stazione nel 1986 si devono ad ampi studi sulle praterie basifile di alta quota a *Sesleria tenuifolia* degli Appennini Centrali avviati dal Dipartimento di Biologia Vegetale dell’Università di Roma “La Sapienza”. Successivamente, la stazione è stata riattivata nell’ambito del Sistema di monitoraggio ambientale del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga, istituito dal Dipartimento di Scienze Ambientali dell’Università dell’Aquila nel 1993. Dal 1999, poi, il Corpo Forestale dello Stato ha ripreso i rilevamenti, potenziandoli, nell’ambito della costituenda Rete LTER Italia. Dal 2017 tutte le attività sono condotte dal Comando Tutela Biodiversità e Parchi dell’Arma dei Carabinieri, attraverso il personale specializzato dei Carabinieri Forestale, il cui referente è il Tenente Colonnello (ecologo) Bruno Petriccione.

Il rilevamento fitosociologico della vegetazione è effettuato dal 1986, con frequenza pluriennale, e dal 2008 con frequenza annuale. Il monitoraggio delle comunità ornitiche, inoltre, è effettuato dal 2006, con frequenza settimanale. Oltre a disporre di puntuali dati microclimatici, registrati nella stagione vegetativa del 1990 (Bruccheri *et al.* 1994), sono disponibili dati climatici giornalieri di precipitazione e temperatura dell’aria a partire dal 1942, registrati in una stazione standard localizzata proprio presso il sito. A partire dal 2013, il microclima delle due principali comunità biotiche del sito è studiato direttamente e con continuità, attraverso appositi sensori installati nel suolo che rilevano e memorizzano la misura della temperatura con frequenza oraria, secondo la metodologia internazionale GLORIA (Pauli *et al.* 2004). Inoltre, il sito dispone di puntuali dati nivometrici, registrati a partire dal 1988 nell’ambito del Programma NEVEMONT del Corpo Forestale dello Stato (e dal 2017 dell’Arma dei Carabinieri).

Il sito di ricerca, che comprende comunità biotiche primarie di alta quota poste oltre il limite naturale degli alberi, nelle fasce altitudinali Alpina e Mediterranea alto-montana (Petriccione & Persia 1995), è basato su due *cluster plot* per il rilevamento della vegetazione (comprendenti ognuno tre aree permanenti di 100 m<sup>2</sup> ciascuna), entrambi posizionati sul versante SE del Monte Portella, caratterizzati da due distinte comunità biotiche, costituite per la maggior parte da specie vegetali perenni con accentuati adattamenti all’aridità e al freddo, particolarmente resistenti ma con bassi valori di resilienza. I rilevamenti sull’avifauna sono effettuati su tutta l’area, ma in particolare in quella posta tra l’Osservatorio astronomico e il primo dei due cluster plot. Le due comunità sono le seguenti (Petriccione 1994): (1) praterie di altitudine xerofitiche primarie (*Pediculari elegantis-Seslerietum tenuifoliae*, corrispondente all’habitat “6170 – Alpine and subalpine calcareous grasslands”, protetto dalla Direttiva Habitat dell’Unione Europea n. 92/43/CEE), con copertura vegetale e nevosa discontinua, su pendii ripidi con accentuata scalinatura dovuta ad intensi fenomeni crionivali frequenti tutto l’anno, suolo

superficiale e con pH basico; (2) praterie di altitudine mesofitiche primarie (*Luzulo italiacae-Festucetum macratherae*, corrispondente all'habitat prioritario "6230\* – Species-rich Nardus grasslands, on siliceous substrates in mountain areas and submountain areas in Continental Europe", protetto dalla Direttiva Habitat dell'Unione Europea n. 92/43/CEE), su pendii sub-pianeggianti, con copertura vegetale continua e permanenza del manto nevoso per 6-8 mesi/anno, suolo profondo ed umificato con pH acido.

## Risultati

La tendenza al riscaldamento climatico a livello globale è confermata ed esaltata dai dati relativi alla stazione LTER del Gran Sasso (Petriccione & Bricca 2019): la temperatura media annua è aumentata di 1.7°C negli ultimi 65 anni, corrispondente ad un aumento medio per decade di +0.26°C. Tale valore è più che doppio rispetto allo stesso valore a livello globale (+0.7°C negli ultimi 60 anni e +0.1°C per decade, IPCC 2014), e molto vicino quello previsto di +2.0°C per l'anno 2100 (IPCC 2014).

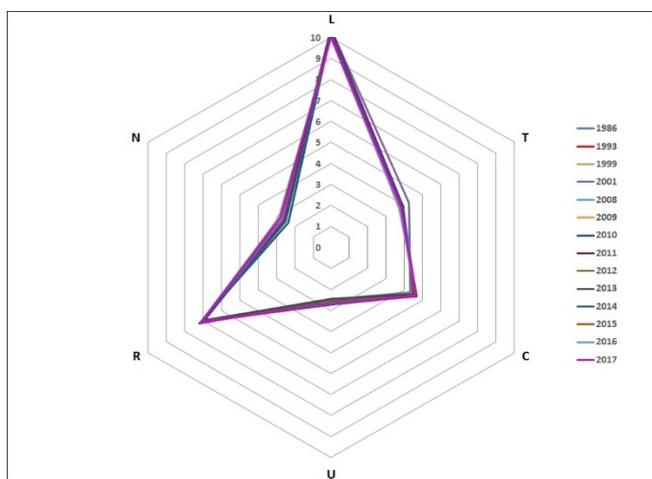


Fig. 9 - Cambiamenti nell'ecogramma durante il periodo 1986-2017 per le praterie xerofitiche del *Pediculari-Seslerietum* presso il sito Gran Sasso d'Italia LTER (L: disponibilità di luce, T: Comportamento termofilo, C: gradiente continentale, U: umidità del suolo, R: gradiente pH, N: disponibilità di azoto)

composizione di specie vegetali delle biocenosi, rispetto al numero totale di specie osservate durante gli anni. Mentre il numero totale di specie vegetali è aumentato in tutte le comunità, in quelle mesofitiche è completamente scomparso il 20% di quelle più sensibili. Questi risultati confermano quelli preliminari forniti da Petriccione (2012) per i primi 18-25 anni di osservazioni allo stesso sito LTER.

I significativi cambiamenti delle caratteristiche morfo-funzionali delle specie, osservati in entrambe le comunità, sono interpretabili come effetto della diminuzione della copertura nevosa e dell'aumento della temperatura e dello stress da aridità. Quelli osservati nelle life strategies (sensu Grime 2006), con un aumento significativo della strategia ruderale, sono caratteristici di comunità con frequenti eventi di

Questo eccezionale riscaldamento verificato nelle aree alpine, insieme alla riduzione delle precipitazioni totali e di quelle nevose, all'aumento della variabilità climatica inter-annuale e degli eventi estremi ed alla sempre più frequente assenza di copertura nevosa, sono le cause che in combinazione tra loro determinano un aumento dello stress ecologico, e quindi il profondo turnover di specie osservato negli ultimi 30 anni in tutte le biocenosi studiate, anche se più marcato nelle comunità mesofitiche. Sono stati chiaramente verificati un aumento quantitativo delle specie vegetali più termofile, stress-tolleranti e xerofitiche ed una parallela diminuzione di quelle più mesofitiche, competitive e microterme. In sintesi, è stato osservato un cambiamento del 50-80% nella

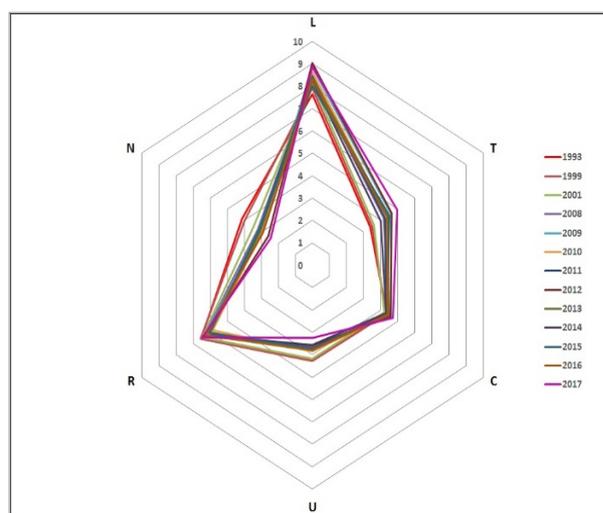


Fig. 10 - Cambiamenti nell'ecogramma durante il periodo 1993-2017 per le praterie mesofile *Luzulo-Festucetum* presso il sito Gran Sasso d'Italia LTER (L: disponibilità di luce, T: Comportamento termofilo, C: gradiente continentale, U: umidità del suolo, R: gradiente pH, N: disponibilità di azoto)

---

disturbo, che portano nel tempo a rapidi cambiamenti ed a uno stato di degenerazione. L'analisi degli ecogrammi (sensu Pignatti 2005), che consente di analizzare la variazione combinata e nel tempo dei principali parametri di nicchia ecologica di ogni comunità, conferma la correlazione tra le tendenze all'aumento della temperatura e dell'aridità ed i cambiamenti osservati nella sensibile comunità mesofitica. I risultati ottenuti consentono di escludere ogni eventuale effetto sulla vegetazione del cambiamento nell'uso del suolo o dell'accumulo di azoto nel suolo. L'analisi degli indicatori biologici dimostra che il fattore chiave dei cambiamenti ecologici avvenuti ed in corso nelle biocenosi alpine studiate è l'aridità, connessa con l'azione combinata dell'aumento della temperatura, della diminuzione delle precipitazioni e dell'assenza di copertura e di precipitazioni nevose. Le due comunità studiate reagiscono in modo diverso a questi fattori abiotici: (1) le praterie xerofitiche (*Pediculari-Seslerietum*), con elevata resistenza e ben adattate a condizioni di aridità, gelo e drastiche escursioni termiche, mostrano cambiamenti nel tempo molto lenti o addirittura assenti; (2) le praterie mesofitiche, con bassa resistenza e non adattate a condizioni di aridità e gelo, mostrano invece cambiamenti rapidi e di grande entità, con forti aumenti dei valori di copertura delle specie vegetali con strategia ruderale e stress-tollerante, ed una parallela diminuzione delle specie precedentemente dominanti, sostituite dall'invasione e dall'espansione di quelle più opportuniste. Lo stadio di fluttuazione tipico di queste comunità vegetali alpine primarie sembra tendere verso uno stadio dinamico di degenerazione, con un'importante disgregazione della comunità dovuta al deterioramento delle connessioni ecologiche presenti al suo interno: come nelle Alpi Centrali, questo processo può portare ad un vuoto ecologico o ad uno stato di squilibrio nelle biocenosi (Cannone, Pignatti 2014), con conseguente potenziale estinzione delle specie più sensibili, almeno a livello locale. In conclusione, i risultati ottenuti consentono di affermare che: (a) le comunità vegetali stanno cambiando nel tempo in modo statisticamente significativo, dirigendosi verso uno stato di squilibrio; (b) le specie stanno rispondendo in modo diverso, alterando così le connessioni ecologiche preesistenti nelle comunità; (c) esiste una correlazione statisticamente significativa tra i cambiamenti delle caratteristiche delle comunità e i cambiamenti dei regimi termici e climatici previsti ed osservati. Ulteriori osservazioni nei prossimi decenni sono comunque necessarie, per confermare le ipotesi di relazione causa-effetto tra i cambiamenti climatici ed i cambiamenti nelle comunità vegetali e per escludere con certezza eventuali sconosciute fluttuazioni naturali.

Le ricerche in corso sulle tendenze in atto nella vegetazione (composizione e struttura) e nelle variazioni di temperatura ad alta quota forniranno nel tempo dati preziosi ed aggiornati su quanto sta accadendo negli ecosistemi di montagna, fornendo così solide basi scientifiche per orientare le politiche locali di protezione delle specie e degli habitat minacciati.

Il sito LTER è stato anche teatro di speciali iniziative di *citizen science*, svoltesi nell'ambito dei "Cammini di LTER Italia" (Bergami *et al.* 2018), in collaborazione con l'Università degli Studi del Molise e con l'Ente del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga. Per tre anni di seguito, il sito è stato raggiunto o attraversato dai Cammini LTER "Sugli Appennini Centrali dal Velino al Gran Sasso, l'avventura della biodiversità" (2015), "Il racconto della biodiversità dell'Appennino" (2016) e "Biodiversità in azione sull'Appennino". In queste occasioni, vi si è svolto un *BioBlitz*, durante il quale vere e proprie squadre di esperti, famiglie, studenti, insegnanti ed altri hanno lavorato e si sono divertiti insieme andando alla ricerca e identificando quante più specie possibile di piante, uccelli, mammiferi, rettili, insetti, funghi ed altri organismi. Il territorio esplorato dai partecipanti, nell'arco di dodici ore continuative, è stato in gran parte quello della stazione LTER, documentando complessivamente la presenza di oltre 500 specie, con la partecipazione di 10 esperti e di circa 100 persone.

## Prospettive future

L'accumulo nel tempo delle informazioni chiave sulla composizione e la struttura delle comunità vegetali di alta quota oggetto delle ricerche, insieme a quelle relative al relativo microclima, che già oggi, a trent'anni dal suo avvio, costituisce un patrimonio di conoscenza di valore inestimabile, diverrà sempre più prezioso man mano che la serie storica aumenterà ancora di dimensione, consentendo di comprendere sempre meglio quanto sta accadendo agli ecosistemi di alta quota degli Appennini. Tale

---

accresciuta comprensione sarà una base preziosa per guidare le misure di conservazione degli habitat e delle specie minacciati dai cambiamenti climatici, oggi tutelati a livello nazionale dai Parchi e dalle Riserve e a livello sovranazionale dalla Direttiva habitat dell'Unione Europea.

## **Abstract**

Since 1986, vegetation monitoring of alpine plant communities has been performed at the Gran Sasso d'Italia LTER site in the Central Apennines, through phytosociological relevés and abundance and coverage estimation of the vascular flora at fine scale. The monitoring activities for abiotic parameters regard air and soil temperatures, rainfall, analysis of historical series of climate data, snowfall and snow cover persistence.

A comparative analysis of changes in species composition, life forms, life strategies and morpho-functional types allowed recognition of dynamical processes (fluctuation and degeneration) and an increase in stress- and drought-tolerant and ruderal species, probably linked to a general process of climate change.

A trend of variation forced by increasing drought was recorded in high-mountain plant communities, normally within a dynamic fluctuation process. There has been a 50-80% change in species composition with respect to the total number of species observed over the years. Whereas the total number of species has increased in all communities, in high-mountain mesic grassland, 20% of sensitive species have completely disappeared. Early signs of a degeneration process were already discernible after seven years: such signs are more evident in snow-dependent communities, with a quantitative increase in more thermophilic and drought-tolerant species and a parallel decrease in more mesic, cryophilic and competitive species. In particular, the following phenomena have been recorded in high-mountain mesic grassland, in agreement with predicted or observed phenomena in other Alpine or Arctic areas: (a) coverage increase (or appearance) of ruderal and stress- and drought-tolerant species; (b) coverage decrease (or disappearance) of cryophilic, mesic and competitive species.

These short-term changes could lead, in the medium- or long-term, to a disgregation process affecting the high elevation plant communities of the Apennines (including the local extinction of most of the cold-adapted species), due to their very low resilience. The phenomena described may be linked to the observed climate change which occurred during the last century (in particular in the last 50 years) in the Apennines, consisting mainly, in the mountains, of a strong reduction in the duration of snow-cover and an increase in mean and minimum annual temperatures.



---

## Descrizione del sito e delle sue finalità

Il sito “LTER\_EU\_IT\_023” è composto dall’insieme di diverse aree di studio disposte su sette cime degli Appennini settentrionali, compresi tra il Monte Lesima a nord-ovest (in Lombardia) ed il Corno delle Scale a sud-est (in Emilia-Romagna). Le cime (in ordine di quota crescente: Cima di Foce a Giovo, Cima di Pian Cavallaro, Alpe di Mommio, Monte Casarola, Monte la Piella, Monte Prado, Monte Cusna) sorgono nella regione più elevata degli Appennini settentrionali e sono caratterizzate da vegetazione di alta quota. Più precisamente, esse si collocano nel distretto appenninico Tosco-Emiliano, all’interno delle aree protette del Parco Regionale Alto Appennino Modenese e del Parco Nazionale dell’Appennino Tosco-Emiliano.

In questo sito sono incluse alcune cime la cui altezza eccede i 2000 m s.l.m., tra cui il Monte Cusna, il più alto con i suoi 2120m, e il Monte Prado, alto 2054 m. Tutti i siti di studio sono posizionati oltre il limite del bosco, che localmente corrisponde al limite superiore delle foreste di faggio, compreso circa tra i 1700 e i 1800 m s.l.m.. La vegetazione del sito è quindi quella tipica delle fasce subalpine ed alpine di questa regione.

La vegetazione della fascia subalpina è caratterizzata dalla presenza di vaccinieti (brughiere a mirtilli), composti principalmente da *Vaccinium myrtillus* e *Vaccinium gaultherioides* (*Vaccinium-Hipericetum richeri*, Pirola & Corbetta 1971). Salendo di quota, ed entrando nella fascia alpina, i vaccinieti vengono progressivamente sostituiti da praterie alpine dominate da *Brachypodium genuense* e *Nardus stricta* (Tomaselli 1994; Ferrari and Piccoli 1997) e dalle comunità dei substrati poco evoluti (Rossi 1994), ricche di specie tipicamente alpine.

La vegetazione all’interno dell’area di studio risulta essere molto interessante da un punto di vista fitogeografico: a causa degli eventi climatici legati ai cicli glaciali del Pleistocene, e per la posizione geografica a cavallo tra l’Italia continentale e quella peninsulare, l’area risulta essere molto ricca di specie, tra cui spiccano varie entità d’interesse, in quanto popolazioni isolate o poste al loro margine di distribuzione meridionale (quasi 500 specie sono state censite in questa regione) (Tomaselli 1970; Alessandrini *et al.* 2003; Gentili *et al.* 2006). Per questa ragione quest’area può essere considerata, in virtù della sua marginalità e ricchezza specifica, un “hotspot” per la conservazione della biodiversità nell’Europa meridionale (Thuiller *et al.* 2005).

All’interno del sito sono stati disposti nel corso del tempo, a partire dalla fine degli anni ’90 del secolo scorso, un totale 90 plot permanenti per il monitoraggio a lungo termine della vegetazione, di singole specie vegetali d’interesse e per la raccolta di dati abiotici. Questi plot possono essere suddivisi in due gruppi, sulla base del momento in cui furono istituiti e degli scopi per cui furono inizialmente pianificati.

Il primo gruppo, composto da 26 plot georeferenziati dislocati tra il Monte Cusna, il Monte la Piella e il Monte Prado, fu instaurato nel 1999 per il monitoraggio della copertura nevosa nell’area e dello stato di conservazione/efficienza riproduttiva di alcune specie target (*Carex foetida*, *Vicia cusnae*, *Alopecurus alpinus*, *Leucanthemopsis alpina*, *Senecio incanus*, *Silene suecica*). A livello di dati pregressi, nelle stazioni del M. Prado e M. Cusna si dispone anche della cartografia del ritiro della neve al suolo (scala 1:5000) del 1978 e 1988.

In questi stessi plot a partire dal 2001 si iniziarono a raccogliere anche dati riguardanti la temperatura del suolo, misurata a intervalli regolari orari tramite l’utilizzo di data-logger seppelliti a pochi centimetri di profondità. Successivamente, dal 2013, iniziò anche una campagna di raccolta dati sul potenziale osmotico del terreno, misurata durante il periodo estivo. I plot fissi in quest’area di studio vengono censiti annualmente, per la raccolta dati sulla vegetazione presente e per scaricare i dati climatici raccolti dai data-logger.

I rimanenti 64 plot permanenti per la raccolta di dati floristici e termo-climatici furono posizionati nel 2001 nei siti di ricerca di Cima di Foce a Giovo, Cima di Pian Cavallaro, Alpe di Mommio e Monte Casarola. Questi quattro siti di ricerca costituiscono aree permanenti appartenenti non solo alla Rete

LTER, ma anche alla rete europea e mondiale del progetto di raccolta dati a lungo termine GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine environments); i plot fissi qui presenti sono stati disposti seguendo le direttive esplicitate nelle linee guida di quest'ultimo progetto (Pauli *et al.* 2015; [www.gloria.ac.at/methods](http://www.gloria.ac.at/methods)): i plot sono stati posizionati lungo un gradiente altitudinale, partendo dalla zona del limite del bosco (1700m s.l.m. sulla cima di Foce al Giovo) fino alla zona di ecotono subalpina/alpina (2000m s.l.m. sulla cima del Monte Casarola). Su ognuna delle quattro cime sono presenti 16 plot fissi, disposti in quattro gruppi da quattro plot di 1m<sup>2</sup> x 1m<sup>2</sup> orientati a seconda dei punti cardinali. Per ogni plot sono stati raccolti dei dati floristico-quantitativi in tre diverse sessioni di raccolta dati, svoltesi rispettivamente nel 2001, nel 2008 e nel 2015. Nello specifico, oltre alla ricchezza in taxa, sono state registrate le coperture percentuali di ogni singola specie all'interno di ogni plot.

Inoltre, su ogni versante delle quattro cime, sempre a partire dal 2001, vengono raccolti dati sulla temperatura a livello del suolo, tramite l'utilizzo di data-logger seppelliti sotto pochi centimetri di terreno. Come per i data-logger utilizzati all'interno del primo gruppo di plot descritto, anche quest'ultimi registrano la temperatura a intervalli orari. A partire dal 2002, i dati climatici così raccolti vengono scaricati e controllati a intervalli di 2-3 anni. Infine, durante l'estate 2017, si è svolto un esperimento per studiare e quantificare i processi di decomposizione della materia organica nei suoli di alta montagna; sono quindi state seppellite sulle quattro cime inserite nel progetto GLORIA delle bustine di tè per un'intera stagione vegetativa a circa 10cm di profondità. Le bustine di tè, una volta trascorso il tempo necessario, sono successivamente disseppellite e trasportate in laboratorio per le analisi necessarie a stimare il tasso di decomposizione della materia organica contenuta.

La raccolta dati svoltasi nel sito LTER dell'Appennino Settentrionale a partire dal 1999 e la conseguente attività di ricerca sono state svolte principalmente da ricercatori dell'Università di Parma e dell'Università di Pavia, a cui recentemente si è aggiunta anche quella di Roma tre. Oltre a queste due Università, hanno comunque partecipato altri enti, coinvolti direttamente nella raccolta dati oppure per supporto logistico, quali L'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPA), il Parco Regionale Alto Appennino Modenese, il Parco Nazionale dell'Appennino Tosco-Emiliano, e l'ISAC-CNR di Bologna (con particolare riferimento alla stazione meteorologica insita sul Monte Cimone "O. Vittori").

## Risultati

Nel corso dei 20 anni di monitoraggio all'interno del sito LTER – Appennino settentrionale, sono stati effettuati 3 rilevamenti della vegetazione a diverse scale di dettaglio sulle quattro cime incluse all'interno della rete GLORIA, e sono state raccolte, a intervalli annuali, dettagliate informazioni sullo stato di salute e sulla dinamica di popolazione di sei specie d'interesse.

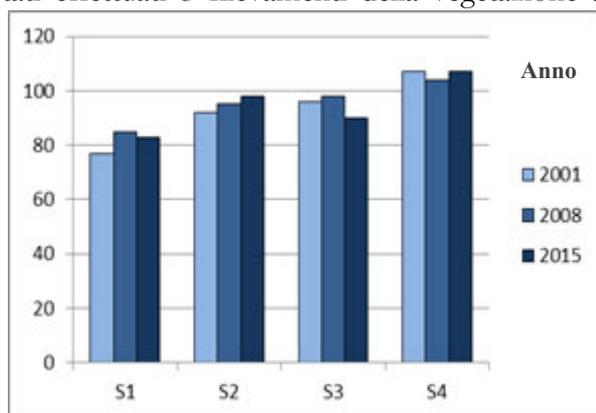


Fig. 11 - Ricchezza specifica delle quattro cime componenti il sito di monitoraggio GLORIA (Porro *et al.* 2019)

I dati raccolti seguendo il protocollo stabilito dal progetto GLORIA dall'Università di Parma e dall'Università di Pavia sono stati inclusi in tre pubblicazioni riguardanti l'andamento della vegetazione negli ambienti alpino a scala

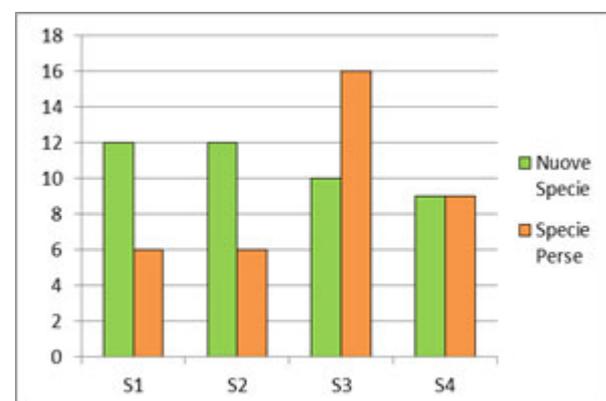


Fig. 12 - Numero di nuove specie censite e numero di specie non più ritrovate sulle 4 cime del sito di monitoraggio GLORIA nel 2015 rispetto al 2001 (Porro *et al.* 2019)

internazionale (Pauli *et al.* 2012), nazionale (Rogora *et al.* 2018) e locale (Porro *et al.* 2019; Tesi di Dottorato di ricerca di F. Porro). Il lavoro svolto all'interno di questo sito LTER ha infatti permesso di quantificare i cambiamenti a livello di ricchezza specifica in specie vegetali, le variazioni in termini di abbondanza delle specie presenti (espressa in termini di copertura % delle singole specie all'interno dei plot) e la perdita di biodiversità vegetale. I risultati ottenuti per questo sito, una volta integrati con quelli provenienti da altre aree di studio della rete LTER e GLORIA si sono rivelati particolarmente utili per quantificare ed interpretare i cambiamenti della Flora e della Vegetazione attualmente in atto negli ambienti alpini, la cui biodiversità è oggi gravemente minacciata sia dall'impatto antropico che dalle conseguenze del riscaldamento globale. Gli scenari futuri sulla biodiversità degli ambienti naturali previsti per il 21esimo secolo indicano infatti che l'ambiente alpino è destinato a ridursi in estensione e, conseguentemente, molte specie tipiche di questi luoghi andranno incontro ad estinzioni locali (Thuiller *et al.* 2005), mentre nuove specie, spesso termofile e generaliste, colonizzeranno queste stesse aree,

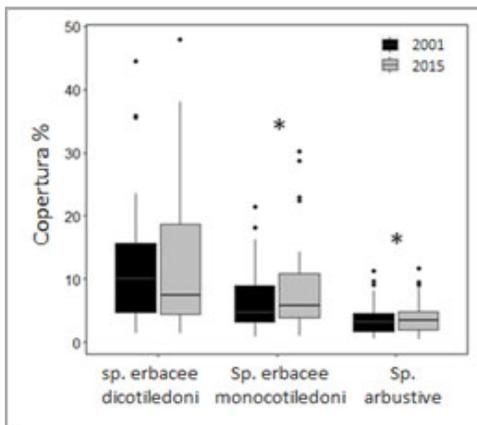


Fig. 13 - I boxplot riportano la copertura relativa di tutte le specie delle tre principali forme biologiche presenti nell'area di studio per il 2001 e 2015. Variazioni significative nella copertura sono evidenziate da asterischi (Porro *et al.* 2019)

precedentemente a loro inadatte. Nello specifico, per il sito LTER\_EU\_IT\_023 si è già osservato un aumento nella ricchezza specifica all'interno dell'area monitorata per il progetto GLORIA (passata da 154 sp. nel 2001 a 159 nel 2015 a livello di intera area di studio; vedi Fig. 11 per le variazioni di ricchezza specifica nelle quattro cime), dovuto in particolare ad una migrazione di nuove specie provenienti da quote inferiori disproporzionata e concentrata nelle 2 cime più basse "S1" ed "S2", più facili da colonizzare. In contemporanea all'ingresso di nuove specie nell'area di studio si è osservata anche la scomparsa di specie a livello locale, come riportato in Fig. 12. Anche per le specie scomparse si può osservare un gradiente legato alla quota: in questo caso, le sparizioni si sono concentrate maggiormente nelle cime più alte e più fredde "S3" ed "S4".

Di pari passo all'aumento generalizzato dei livelli di ricchezza specifica, si sono osservati anche un aumento della

copertura media delle singole specie (Porro *et al.* 2019; Rogora *et al.* 2018) e una diminuzione della biodiversità dell'area dovuta principalmente all'aumento di specie, in particolare erbacee monocotiledoni ed arbustive, divenute progressivamente e significativamente più abbondanti e dominanti all'interno delle comunità vegetali studiate (vedi Fig. 13).

Data l'assenza di impatti antropici diretti significativi all'interno dell'area di studio, i cambiamenti

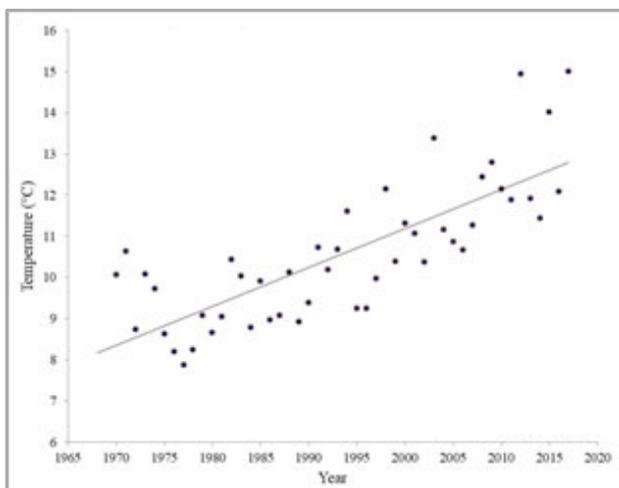


Fig. 14 - Temperatura media estiva dell'aria registrata al Monte Cimone, dal 1967 al 2017 dalla stazione meteorologica dell'ISAC-CNR di Bologna (Porro *et al.* 2019)

osservati dovrebbero essere effettivamente dovuti all'innalzamento delle temperature (Fig. 14) e al cambiamento dei regimi delle precipitazioni e di durata della copertura nevosa. Nel caso i trend osservati continuassero nel futuro prossimo, potrebbero concretamente portare ad una progressiva omogeneizzazione della flora (dovuta all'estinzione di specie tipicamente alpine e all'aumento di specie comuni e dominanti) e alla sostituzione della vegetazione alpina di quest'area da parte di nuove comunità comprendenti specie provenienti da quote inferiori.

Per far fronte a questo scenario, l'osservazione e lo studio focalizzato su singole specie target hanno permesso in primo luogo di

approfondire la loro ecologia e fenologia, al fine di comprendere le potenziali risposte delle loro popolazioni naturali in uno scenario di riscaldamento globale e, secondariamente, testare l'efficacia di possibili azioni quali l'utilizzo di tecniche di traslocazione per combattere la perdita di biodiversità e l'estinzione locale.

Dopo 10 anni dall'inizio del monitoraggio delle popolazioni delle 6 specie target (*Carex foetida*, *Vicia cusnae*, *Alopecurus alpinus*, *Leucanthemopsis alpina*, *Senecio incanus* e *Silene suecica*, quest'ultima già indicata come *Lychnis alpina*) fu realizzato un primo studio (Abeli *et al.* 2009) per testare la validità dei criteri IUCN atti a valutare il rischio di estinzione a livello regionale (cioè locale) di specie caratterizzate da popolazioni periferiche ed isolate dall'areale classico di distribuzione. I dati sulla dimensione delle popolazioni e del potenziale riproduttivo di *S. suecica*, *C. foetida* e *S. incanus* furono utilizzati come caso di studio e i risultati ottenuti portarono a proporre nuovi criteri per l'assegnazione di una specie in esame ad una determinata categoria di rischio.

I lavori successivi a questo primo studio si concentrarono principalmente sulla risposta delle popolazioni alle fluttuazioni della temperatura e della durata della copertura nevosa nel corso degli anni, oltre che a fenomeni climatici estremi quali le "Heatwaves". Da quanto emerso in Abeli *et al.* (2012b) la produzione di scapi fiorali annuale di *A. alpinus* and *V. cusnae* è negativamente influenzata da periodi di caldo intenso, come visibile in Fig. 15. Per quanto riguarda *C. foetida*, *S. incanus* e *S. suecica* sono invece state osservate risposte non uniformi ai trend climatici, il che conferma la teoria di una possibile e rapida variazione delle comunità vegetali alpine in risposta al cambiamento climatico (Abeli *et al.* 2012a). In particolare, *S. suecica* è risultata la specie che ha registrato il maggior declino nel corso del tempo di produzione annuale di scapi fiorali. Dopo 16 anni di monitoraggio, tutti i dati raccolti sulle popolazioni di queste sei specie furono inclusi in una review del 2015 incentrata sulla descrizione dei pattern evolutivi della flora tipica delle montagne sud-europee e mediterranee durante il quaternario e sul ruolo di queste aree come micro-rifugi per queste specie (Gentili *et al.* 2015). Infine i dati raccolti sulle popolazioni di *C. foetida* furono utilizzati per verificare, tramite l'uso di modelli predittivi, la possibilità e l'efficacia sia sul breve che sul medio-lungo termine, di attività di ricolonizzazione assistita (Ferrarini *et al.* 2016).

## Prospettive future

Attualmente, è in corso uno studio sull'ecologia di germinazione dei semi di varie specie tipiche dell'area di studio (Tesi di Dottorato di ricerca di F. Porro, Università di Pavia). Durante l'Agosto 2017 si svolse una campagna di raccolta di semi di diverse specie vegetali d'interesse nei pressi del sito LTER. I semi di 18 specie, selezionate in base alla loro dinamica di popolazione registrata dalle attività di monitoraggio portate avanti dal 2001, sono stati raccolti e sottoposti, a partire dall'autunno 2017 – primavera 2018, a diversi test di germinazione a differenti condizioni di temperatura e umidità, e a test di invecchiamento artificiale. Questi esperimenti sono stati svolti all'interno del laboratorio di ecologia di germinazione dei semi dell'Università di Pavia, abbinato alla Banca del Germoplasma Vegetale della medesima università. I test effettuati, oltre ad essere necessari per definire l'ecologia di germinazione di ciascuna specie (fornendo informazioni utili per eventuali attività di conservazione *ex situ* e di reintroduzione), hanno l'obiettivo di indagare, sperimentalmente in ambiente controllato, sull'impatto del riscaldamento globale sulla germinazione dei semi e sui primi stadi di vita delle specie in esame, nonché su quanto questo impatto possa influire sulle loro dinamiche di popolazione future. I risultati di questa ricerca sono attesi per il 2021.

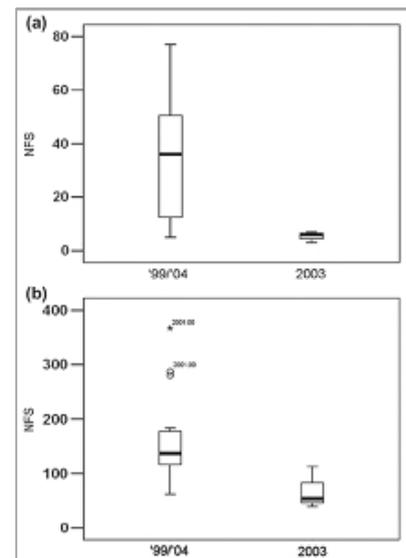


Fig. 15 - Numero di scapi fiorali di *Alopecurus alpinus* (a) e *Vicia cusnae* (b) contati in anni caratterizzati da fenomeni di caldo intenso ('03) e non ('99/'04) (Abeli *et al.* 2012b)

---

Per quanto riguarda le attività future pianificate all'interno del sito, un quarto monitoraggio della vegetazione sulle quattro vette GLORIA è previsto per il 2022, mentre i 26 plot istituiti per il monitoraggio delle sei specie d'interesse, continueranno ad essere visitati a cadenza annuale, finché possibile. Una seconda sintesi sullo stato delle popolazioni delle specie in esame è prevista nella seconda metà del 2019, a 20 anni esatti di distanza dall'inizio dell'attività di monitoraggio nel sito.

## Abstract

The "LTER\_EU\_IT\_023" site consists of several study areas located over the timberline on seven summits of the Northern Apennines (Italy), including two of the highest summits of the region, Mount Cusna and Mount Prado, both exceeding 2000m a.s.l..

The vegetation of the subalpine belt of this region is mainly constituted by dwarf shrub heaths dominated by *Vaccinium myrtillus* and *V. gaultherioides*, that, at higher altitudes, are progressively replaced by alpine grasslands dominated by *Brachypodium genuense* and *Nardus stricta*. True alpine vegetation like acidophytic and mesophytic alpine grasslands, and scree communities, grows only sparsely at the highest summit ridges.

Since this region is situated at the borderline between its vegetation is characterized by several species of phytogeographical interest, either because placed at the limit of their natural distribution, or because consist of isolated populations. Moreover, almost continental Italy and peninsular Italy, and it represents the southernmost limit of the Boreal vegetation in Italy, 500 plant taxa have been found in this region, that for these reasons, can be considered a key hotspot for plant biodiversity conservation in southern Europe.

In total, since 1999, 90 permanent plots for monitoring the alpine vegetation and the population dynamics of six alpine plant species of interest (*Carex foetida*, *Vicia cusnae*, *Alopecurus alpinus*, *Leucanthemopsis alpina*, *Senecio incanus*, *Silene suecica*) were established within the site above the timberline.

Qualitative and quantitative data about species richness, species abundance, or number of flowering and non-flowering individual of the species of interest, were collected regularly along with abiotic data, such as soil temperature and humidity, by two teams of researchers of the University of Pavia and the University of Parma, with the help recently provided by the University of Roma Tre. The data collected over the 20 years of monitoring activities contributed to the realization of 12 original scientific papers and a Ph.D. thesis, focused on investigating the impacts of climate change on the alpine vegetation of the area, and on the conservation activities to undertake for the most threatened species.

---

## Bibliografia citata

- Abeli T., Gentili R., Rossi G., Bedini G. & Foggi B. (2009). Can the IUCN criteria be effectively applied to peripheral isolated plant populations? *Biodiversity and conservation*, 18(14), 3877.
- Abeli T., Rossi G., Gentili R., Gandin M., Mondoni A. Cristofanelli P. (2012b). Effect of the extreme summer heat waves on isolated populations of two orophitic plants in the north Apennines (Italy). *Nordic Journal of Botany*, 30(1), 109-115.
- Abeli T., Rossi G., Gentili R., Mondoni A., & Cristofanelli P. (2012a). Response of alpine plant flower production to temperature and snow cover fluctuation at the species range boundary. *Plant Ecology*, 213(1), 1-13.
- Alessandrini A., Foggi B., Rossi G., Tomaselli M. (2003). La flora di altitudine dell'Appennino Tosco-Emiliano. Regione Emilia-Romagna, Assessorato Agricoltura, Ambiente e Sviluppo, pp. 329. Bologna.
- Avena G.C., Blasi C. (1980). Carta della vegetazione del Massiccio del Monte Velino. Appennino Abruzzese. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, pp. 18.
- Bergami C, L'astorina A, Pugnetti A (a cura di) (2018). I Cammini della Rete LTER-Italia. Il racconto dell'ecologia in cammino. CNR Edizioni.  
<http://www.lteritalia.it/publicaz./10.32018/978888080304-1>.
- Biondi E., Blasi C., Burrascano S., Casavecchia S., Copiz R., Del Vico E., Galdenzi D., Gigante D., Lasen C, (...), Zivkovic L. (2009). Italian Interpretation Manual of the 92/ 43/EEC Directive Habitats. <http://vnr.unipg.it/habitat/index.jsp>.
- Blasi C., Di Pietro R., Fortini P., Catonica C. (2003). The main plant community types of the alpine belt of the Apennine chain. *Plant Biosystems* 137: 83-110.
- Bricca A. (2018). Spatio-temporal functional variation of the sub-Mediterranean mountain grasslands. Doctoral School in Molecular, Cellular and Environmental Biology XXXI Cycle. University of RomaTre.
- Bricca A., Conti L., Tardella F.M., Catorci A., Iocchi M., Theurillat J.-P., Cutini M. (2019). Community assembly processes along a sub-Mediterranean elevation gradient: analyzing the interdependence of trait community weighted mean and functional diversity. *Plant Ecology* 220: 1139-1151.
- Bruculeri R., Petriccione B. (1994). Adattamenti e microclima delle comunità vegetali d'alta quota degli Appennini (Italia). *Rev. Valdotaïne Hist. Nat. suppl.* 48: 131-141.
- Calabrese V., Carranza M.L., Evangelista A., Marchetti M., Stinca A., Stanisci A. (2018). Long-Term Changes in the Composition, Ecology, and Structure of *Pinus mugo* scrubs in the Apennines (Italy). *Diversity* 10. DOI: 10.3390/d10030070.
- Calderaro C. (2019). Impact of climate change and disturbances on mountain forest ecosystems: the case study in Majella National Park, Central Apennine. PhD Thesis. University of Molise-University of Tuscia.
- Calderaro C., Palombo C., Fracasso R., Tognetti R., Marchetti M. (2014). Dinamiche di vegetazione di pino mugo e faggio nell'ecotono della treeline in risposta ai cambiamenti climatici e di uso del suolo sul massiccio della Majella. Proceedings of the second international congress of silviculture. Florence, November 26th - 29th. <http://dx.doi.org/10.4129/2cis-cc-din>.
- Cannone N., Pignatti S. (2014). Ecological responses of plant species and communities to climate warming: upward shift or range filling processes? *Clim. Change* 123: 201-214. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1065-8>.
- Dai L., Palombo C., Van Gils H., Rossiter D.G., Tognetti R., Luo G. (2017). *Pinus mugo* Krummholz Dynamics during Concomitant Change in Pastoralism and Climate in the Central Apennines. *Mt. Res. Dev.* 2017, 37, 75-86.

- 
- Di Cecco V., Di Musciano M., Gratani L., Catoni R., Di Martino L. and Frattaroli A.R. (2017). Seed germination and conservation of two endemic species from Central Apennines (Italy). *Plant Sociology* 54: 53-59.
- Di Martino S. Del Vecchio V., Di Cecco M., Di Santo A. Stanisci & A.R. Frattaroli (2014). The role of GA3 in the germination process of high-mountain endemic and threatened species: *Leontopodium nivale*, *Pinguicula fiorii* and *Soldanella minima* subsp. *samnitica* (central Apennines, Italy). *Plant Biosystems* 148 (6): 1231-1238. <http://dx.doi.org/10.1080/11263504.2014.980359>.
- Di Musciano M., Carranza M.L., Frate L., Di Cecco V., Di Martino L., Frattaroli A.R., Stanisci A. (2018). Distribution of Plant Species and Dispersal Traits along Environmental Gradients in Central Mediterranean Summits. *Diversity*, 10. DOI:10.3390/d10030058.
- Djukic I., Kepfer-Rojas S., Kappel Schmidt I., Steenberg Larsen K., Beier C., Berg B., Verheyen K., TeaComposition consortium (2018). Early stage litter decomposition across biomes. *Science of the Total Environment* 628-629: 1369-1394.
- Evangelista A., Frate L., Carranza M.L., Attorre F., Pelino G., Stanisci A. (2016b). Changes in composition, ecology and structure of high-mountain vegetation: a re-visitation study over 42 years. *AoB PLANTS* 8: plw004; DOI: 10.1093/aobpla/plw004.
- Evangelista A., Frate L., Stinca A., Carranza M.L., Stanisci A. (2016). VIOLA – The vegetation database of the central Apennines: Structure, current status and usefulness for monitoring Annex I EU habitats (92/43/EEC). *PLANT SOCIOLOGY*, vol. 53, p. 47-58, ISSN: 2280-1855. DOI: 10.7338/pls2016532/04.
- Ferrari C. & Piccoli F. (1997). The ericaceous dwarf shrublands above the Northern Apennine timberline (Italy). *Phytocoenologia*, 27 (1): 53-76.
- Ferrarini A., Selvaggi A., Abeli T., Alatalo J.M., Orsenigo S., Gentili R. & Rossi G. (2016). Planning for assisted colonization of plants in a warming world. *Scientific Reports*, 6.
- Frate L., Carranza M.L., Evangelista A., Stinca A., Schaminée J.H.J., Stanisci A. (2018). Climate and land use change impacts on Mediterranean high-mountain vegetation in the Apennines since the 1950s. *Plant Ecology & Diversity*, 11:1, 85-96, DOI: 10.1080/17550874.2018.1473521.
- Frattaroli A.R., Di Martino L., Di Cecco V., Catoni R., Varone L., Di Santo M. and Gratani L. (2013). Seed germination capability of four endemic species in the Central Apennines in Italy: relationship between seed size and germination capability. *Lazaroa* 34: 43-53.
- Gentili R., Bacchetta G., Fenu G., Cogoni D., Abeli T., Rossi G., Salvatore M.C., Baroni C., Citterio S. (2015). From cold to warm-stage refugia for boreo-alpine plants in southern European and Mediterranean mountains: the last chance to survive or an opportunity for speciation? *Biodiversity*, 16(4), 247-261.
- Gentili R., Rossi G., Dominione V. & Leonardi A. (2006). Valutazione dello status di conservazione di popolazioni isolate situate al limite dell'areale: il caso di *Juncus jacquinii* L. in Appennino Tosco-Emiliano (Italia). *Archivio Geobotanico*, 9, 57-68.
- Giancola C., Di Marzio P., Stanisci A. (2008). Gli habitat nelle aree d'alta quota in Molise. *Fitosociologia* 44 (2).
- Gottfried M., Pauli H., Futschik A., Akhalkatsi M., Barančok P., Alonso J. L. B., Coldea G., Dick J., Erschbamer B., Fernández Calzado M.R., Kazakis G., Krajčič J., Larsson P., Mallaun M., Merzoukia., Michelsen O., Moiseev D., Moiseev P., Molau U., Nagy L., Nakhutsrishvili G., Pedersen B., Pelino G., Puscas M., Rossi G., Stanisci A., Theurillat J.P., Tomaselli M., Villar L., Vittoz P., Vogiatzakis I., Grabherr G. (2012). Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. *Nature Climate Change* 2 (1): 111-115.
- Grime J.P. (2006). *Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties*. John Wiley & Sons, Toronto.

- 
- IPCC (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge Univ. Press, UK. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.
- Malavasi M., Carranza M.L., Moravec D., Cutini M. (2018). Reforestation dynamic after land abandonment: a trajectory analysis in Mediterranean mountain landscapes. *Regional Environmental Change* 18: 2459-2469.
- Palombo C., Battipaglia G., Cherubini P., Chirici G., Garfi V., Lasserre L., Lombardi F., Marchetti M., Tognetti R. (2014). Warming-related growth responses at the southern limit distribution of mountain pine (*Pinus mugo* Turra ssp *mugo*). *J Veg Sci* 25, 571-583. <https://doi.org/10.1111/jvs12101>.
- Palombo C., Chirici G., Marchetti M., Tognetti R. (2013). Is land abandonment affecting forest dynamics at high elevation in Mediterranean mountains more than climate change? *Plant Biosystems* 147, 1-1 <https://doi.org/11.080/112635042013772081>.
- Pauli H., Gottfried M., Hohenwallner D. (2004). *The GLORIA field manual. Multi-Summit approach*. European Commission, DG Research, EUR 21213, Office for Official Publications of the European Communities, European Commission, Luxembourg, pp. 85.
- Pauli H., Gottfried M., Dullinger S., Abdaladze O., Akhalkatsi M., Alonso J. L. B., Coldea G., Dick J., Erschbamer B., Calzado R. F., Ghosn D., Holten J. I., Kanka R., Kazakis G., Kollár J., Larsson P., Moiseev P., Moiseev D., Molau U., Molero Mesa J., Nagy L., Pelino G., Puşcaş M., Rossi G., Stanisci A., Syverhuset A.O., Theurillat J.-P., Tomaselli M., Unterluggauer P., Villar L., Vittoz P., Grabherr G. (2012). Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. *Science* 336: 353-355.
- Pauli H., Gottfried M., Lamprecht A., Niessner S., Rumpf S., Winkler M., Steinbauer K., Grabherr G. (2015). *The GLORIA field manual-standard Multi-Summit approach, supplementary methods and extra approaches*. GLORIA-Coordination, Austrian Academy of Sciences & University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna. Global Observation Research Initiative.
- Petriccione B. (1993). *Flora e vegetazione del massiccio del Monte Velino (Appennino Centrale) (con carta della vegetazione in scala 1:10.000)*. Collana Verde (Min. Risorse Agricole, Alimentari e Forestali) 92, pp. 267.
- Petriccione B. (1994). *Ecologia e fitogeografia delle praterie di altitudine a Sesleria tenuifolia degli Appennini (Italia)*. *Rev. Valdotaïne Hist. Nat. suppl.* 48: 287-296.
- Petriccione B. (1994). *Flora and vegetation mapping of Velino massif (Abruzzo - I): a data source for a scientific management of a Natural Reserve*. *Fitosociologia* 26: 189-199.
- Petriccione B. (2005). *Short-term changes in key plant communities of Central Apennines (Italy)*. *Acta Botanica Gallica* 152: 545-561. <https://doi.org/10.1080/12538078.2005.10515513>.
- Petriccione B. (2012). *Appennino Centrale: Gran Sasso d'Italia*. In: Bertoni R (ed.). *La Rete Italiana per la ricerca Ecologica a Lungo Termine (LTER-Italia): situazione e prospettive dopo un quinquennio di attività. 2006-2011*. ARACNE Editrice Roma 41-43. <http://www.ise.cnr.it/crypta/ebooks/La/20rete/20italiana/20LTER.pdf>.
- Petriccione B., Bricca A. (2019). *Thirty years of ecological research at the Gran Sasso d'Italia LTER site: climate change in action*. In: Mazzocchi MG., Capotondi L., Freppaz M., Lugliè A., Campanaro A. (Eds) *Italian Long-Term Ecological Research for understanding ecosystem diversity and functioning. Case studies from aquatic, terrestrial and transitional domains*. *Nature Conservation* 34: 9-39. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.34.30218>
- Petriccione B., Claroni N. 1996. *The dynamical tendencies in the vegetation of Velino massif (Abruzzo, Italy)*. *Doc. Phytosoc.* 16: 365-373.
- Petriccione B., Persia G. (1995). *Prodromo delle praterie di altitudine su calcare degli Appennini (classe Festuco-Seslerietea)*. *Atti Conv. Lincei* 115: 361-389.
- Pignatti S. (2005). *Valori di bioindicazione delle piante vascolari della flora d'Italia*. *Braun-Blanquetia* 39: 3-97. <http://www.scienzadellavegetazione.it/sisv/libreria/braun-blanquetia/BRBL39.pdf>.

- 
- Pirola A. & Corbetta F. (1971). I vaccinieti dell'alta Valle del Dardagna (Appennino Emiliano). *Not. Fitosoc.*, 6: 1-10.
- Rogora M., Frate L., Carranza M.L., Freppaz M., Stanisci A., Bertani I., Bottarin R., Brambilla A., Canullo R., Carbognani M., Cerrato C., Chelli S., Cremonese E., Cutini M., Di Musciano M., Erschbamer B., Godone D., Iocchi M., Isabellon M., Magnani A., Mazzola L., Morra di Cella U., Pauli H., Petey M., Petriccione B., Porro F., Psenner R., Rossetti G., Scotti A., Sommaruga R., Tappeiner U., Theurillat J.-P., Tomaselli M., Viglietti D., Viterbi R., Vittoz P., Winkler M., Matteucci G. (2018). Assessment of climate change effects on mountain ecosystems through a cross-site analysis in the Alps and Apennines. *Science of the Total Environment*, 624: 1429-1442.
- Rossi G. (1994). Carta della vegetazione del Monte Prado (Parco Regionale dell'alto Appennino Reggiano, Regione Emilia-Romagna) – Note illustrative. *Bot. Lab. Crittog. Univ. Pavia*, ser, 7(10), 3-24.
- Scolastri A., Bricca A., Cancellieri L., Cutini M. (2017b). Understory functional response to different management in the Mediterranean beech forest (Central Apennine, Italy). *Forest Ecology and Managements* 400: 665-676.
- Scolastri A., Cancellieri L., Iocchi M., Cutini M. (2017a). Old Coppice vs High Forest: the impact of beech forest management on plant species diversity. *Journal of Plant Ecology* 10 (2): 271-280.
- Scolastri A., Iocchi M., Cancellieri L., Cutini M. (2014). Patterns of floristic variation on a montane beech forest in the central Apennines (central Italy). *Plant Sociology* 51(2): 69-82.
- Stanisci A., Frate L., Morra Di Cella U., Pelino G., Petey M., Siniscalco C., Carranza M.L. (2016b). Short-term signals of climate change in Italian summit vegetation: observations at two GLORIA sites. *Plant Biosystems*. 150 (2): 227-235.
- Stanisci A., Evangelista A., Frate L., Stinca A., Carranza M.L. (2016a). VIOLA - Database of High Mountain Vegetation of Central Apennines. *Phytocoenologia* 46 (2): 231-232.
- Theurillat J.-P., Iocchi M., Cutini M., De Marco G. (2007). Vascular plant richness along an elevation gradient at Monte Velino (Central Apennines, Italy). *Biogeographia* 28: 149-166.
- Thuiller W., Lavorel S., Araújo M.B., Sykes M.T. & Prentice I.C. (2005). Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 102, 8245.
- Tomaselli M. (1994). The vegetation of summit rock faces, talus slopes and grasslands in the northern Apennines (N Italy). *Fitosociologia*, 26, 35-50.
- Tomaselli R. (1970). Note illustrative della carta della vegetazione Naturale potenziale d'Italia. *Minist. Agric. For., Roma: Collana Verde* 27.
- Winkler M., Lamprecht A., Steinbauer K., Hülber K., Theurillat J.-P., Breiner F., Choler P., Ertl S., GutiérrezGirón A., Rossi G., Vittoz P., Akhalkatsi M., Bay C., Benito Alonso J.-L., Bergström T., Carranza M.L., Corcket E., Dick J., Erschbamer B., Fernández Calzado R., Fosaa A.M., Gavián,R.G., Ghosn D., Gigauri K., Huber D., Kanka R., Kazakis G., Klipp M., Kollar J., Kudernatsch T., Larsson P., Mallaun M., Michelsen O., Moiseev P., Moiseev D., Molau U., Molero Mesa J., Morra di Cella U., Nagy L., Petey M., Puşcaş M., Rixen C., Stanisci A., Suen M., Syverhuset A.O., Tomaselli M., Unterluggauer P., Ursu T., Villar L., Gottfried M. and Pauli H. (2016). The rich sides of mountain summits – a pan-European view on aspect preferences of alpine plants. *J. Biogeogr.*, 43: 2261–2273. DOI: 10.1111/jbi.12835.

---

## Sitografia

PROGETTO GLORIA [https://www.gloria.ac.at/methods/multi\\_summits](https://www.gloria.ac.at/methods/multi_summits)

PROGETTO MEDIALPS <https://www.oeaw.ac.at/igf/information/news/article/the-project-medialps/>

PROGETTO NEXTDATA DATA LTER MOUNTAIN

<http://www.nextdataport.it/?q=en/content/wp-17-mountain-ecosystems-and-biodiversity>

RETE LTER ITALIA <http://www.lteritalia.it>

ENVIX-LAB UNIVERSITA' DEL MOLISE <http://envixlab.unimol.it/>

PARCO NAZIONALE DELLA MAJELLA <https://www.parcomajella.it/>

## Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni

### Riviste ISI

- Abeli T., Gentili R., Rossi G., Bedini G. & Foggi B. (2009). Can the IUCN criteria be effectively applied to peripheral isolated plant populations? *Biodiversity and conservation*, 18(14), 3877.
- Abeli T., Rossi G., Gentili R., Gandini M., Mondoni A. & Cristofanelli P. (2012b). Effect of the extreme summer heat waves on isolated populations of two orophytic plants in the north Apennines (Italy). *Nordic Journal of Botany*, 30(1), 109-115.
- Abeli T., Rossi G., Gentili R., Mondoni A. & Cristofanelli P. (2012a). Response of alpine plant flower production to temperature and snow cover fluctuation at the species range boundary. *Plant Ecology*, 213(1), 1-13.
- Calabrese V., Carranza M.L., Evangelista A., Marchetti M., Stinca A., Stanisci A. (2018). Long-Term Changes in the Composition, Ecology, and Structure of *Pinus mugo* scrubs in the Apennines (Italy). *Diversity* 10. DOI: 10.3390/d10030070.
- Chelli S., Marignani M., Barni E., Petraglia A., Puglielli G., Wellstein C., Acosta A.T.R., Bolpagni R., Bragazza L., Campetella G., Chiarucci A., Conti L., Nascimbene J., Orsenigo S., Pierce S., Ricotta C., Tardella F.M., Abeli T., Aronne G., Bacaro G., Bagella S., Benesperi R., Bernareggi G., Bonanomi G., Bricca A., Brusa G., Buffa G., Burrascano S., Caccianiga M., Calabrese V., Canullo R., Carbognani M., Carboni M., Carranza M.L., Catorci A., Ciccarelli D., Citterio S., Cutini M., Dalle Fratte M., De Micco V., Del Vecchio S., Di Martino L., Di Musciano M., Fantinato E., Filigheddu R., Frattaroli A.R., Gentili R., Gerdol R., Giarrizzo E., Giordani P., Gratani L., Incerti L., Lussu M., Mazzoleni S., Mondoni A., Montagnani C., Montagnoli A., Paura B., Petruzzellis F., Pisanu S., Rossi G., Sgarbi E., Simonetti E., Siniscalco C., Slaviero A., Stanisci A., Stinca A., Tomaselli M. & Cerabolini B.E.L. (2019). Plant-environment interactions through a functional traits perspective: a review of Italian studies, *Plant Biosystems*. DOI: 10.1080/11263504.2018.1559250.
- Ciaschetti G., Pirone G., Giancola C., Frattaroli A.R. & Stanisci A. (2015). Prodrôme of the Italian vegetation: A new alliance for the high-mountain chamaephytic communities of central and southern Apennines, *Plant Biosystems* DOI: 10.1080/11263504.2015.1076084.
- Dai L., Palombo C., Van Gils H., Rossiter D.G., Tognetti R., Luo G. (2017). *Pinus mugo* Krummholz Dynamics during Concomitant Change in Pastoralism and Climate in the Central Apennines. *Mt. Res. Dev.* 2017, 37, 75-86.
- Di Cecco V., Di Musciano M., Gratani L., Catoni R., Di Martino L. and A.R. Frattaroli (2017). Seed germination and conservation of two endemic species from Central Apennines (Italy). *Plant Sociology* 54: 53-59.
- Di Martino, S. Del Vecchio, V. Di Cecco, M. Di Santo, A. Stanisci, & A.R. Frattaroli (2014). The role of GA3 in the germination process of high-mountain endemic and threatened species:

- 
- Leontopodium nivale, Pinguicula fiorii and Soldanella minima subsp. samnitica (central Apennines, Italy). *Plant Biosystems* 148 (6): 1231-1238. <http://dx.doi.org/10.1080/11263504.2014.980359>
- Di Musciano M., Carranza M.L., Frate L., Di Cecco V., Di Martino L., Frattaroli A.R., Stanisci A. (2018). Distribution of Plant Species and Dispersal Traits along Environmental Gradients in Central Mediterranean Summits. *Diversity*, 10. DOI: 10.3390/d10030058.
- Di Pietro R., Pelino G., Stanisci A., Blasi C. (2008). Phytosociological Features of *Adonis distorta* and *Trifolium noricum* subsp. *praetutianum*, two endemics of the Apennines (Peninsular Italy). *Acta Botanica Croatica* 67(2), pp. 175-200.
- Djukic I., Kepfer-Rojas S., Kappel Schmidt I., Steenberg Larsen K., Beier C., Berg B., Verheyen K., TeaComposition consortium (2018). Early stage litter decomposition across biomes. *Science of the Total Environment* 628-629: 1369-1394.
- Engler R., Randin C.F., Thuiller W., Dullinger S., Zimmermann N.E., Araùjo M.B., Pearman P.B., Le Lay G., Piedallu C., Albert C.H., Choler P., Coldea G., Lamo X., Dirnböck T., Gégout J.-C., Gomez-Garcia D., Grytnes J.A., Heegard E., Hoistad F., Nogués-Bravo D., Normand S., Puscas M., Sebastià M.T., Stanisci A., Theurillat J.-P., Trivedi M.R., Vittoz P., Guisan A. (2011). 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. *Global Change Biology* 17 (7): 2330-2341.
- Evangelista A., Frate L., Carranza M.L., Attorre F., Pelino G., Stanisci A. (2016a). Changes in composition, ecology and structure of high-mountain vegetation: a re-visitation study over 42 years. *AoB PLANTS* 8: plw004. DOI: 10.1093/aobpla/plw004.
- Evangelista A., Frate L., Stinca A., Carranza M.L., Stanisci A. (2016b). VIOLA – The vegetation database of the central Apennines: Structure, current status and usefulness for monitoring Annex I EU habitats (92/43/EEC). *PLANT SOCIOLOGY*, vol. 53, p. 47-58, ISSN: 2280-1855. DOI: 10.7338/pls2016532/04.
- Ferrarini A., Selvaggi A., Abeli T., Alatalo J.M., Orsenigo S., Gentili R. & Rossi G. (2016). Planning for assisted colonization of plants in a warming world. *Scientific Reports*, 6.
- Frate L., Carranza M.L., Evangelista A., Stinca A., Schaminée J.H.J., Stanisci A. (2018). Climate and land use change impacts on Mediterranean high-mountain vegetation in the Apennines since the 1950s. *Plant Ecology & Diversity*, 11:1, 85-96. DOI: 10.1080/17550874.2018.1473521.
- Frattaroli A.R., Di Martino L., Di Cecco V., Catoni R., Varone L., Di Santo M. and Gratani L. (2013). Seed germination capability of four endemic species in the Central Apennines in Italy: relationship between seed size and germination capability. *Lazaroa* 34: 43-53.
- Gentili R., Bacchetta G., Fenu G., Cogoni D., Abeli T., Rossi G. & Citterio S. (2015). From cold to warm-stage refugia for boreo-alpine plants in southern European and Mediterranean mountains: the last chance to survive or an opportunity for speciation? *Biodiversity*, 16(4), 247-261.
- Giancola C., Di Marzio P., Stanisci A. (2008). Gli habitat nelle aree d'alta quota in Molise. *Fitosociologia* 44 (2).
- Gottfried M., Pauli H., Futschik A., Akhalkatsi M., Barančok P., Alonso J.L.B., Coldea G., Dick J., Erschbamer B., Fernández Calzado M.R., Kazakis G., Krajčí J., Larsson P., Mallaun M., Merzouki A., Michelsen O., Moiseev D., Moiseev P., Molau U., Nagy L., Nakhutsrishvili G., Pedersen B., Pelino G., Puscas M., Rossi G., Stanisci A., Theurillat J.-P., Tomaselli M., Villar L., Vittoz P., Vogiatzakis I., Grabherr G. (2012). Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. *Nature Climate Change* 2 (1): 111-115.
- Malavasi M., Carranza M.L., Moravec D., Cutini M. (2018). Reforestation dynamic after land abandonment: a trajectory analysis in Mediterranean mountain landscapes. *Regional Environmental Change* 18: 2459-2469.

- Palombo C., Battipaglia G., Cherubini P., Chirici G., Garfi V., Lasserre L., Lombardi F., Marchetti M., Tognetti R. (2014). Warming-related growth responses at the southern limit distribution of mountain pine (*Pinus mugo* Turra ssp *mugo*). *J Veg Sci* 25, 571-583. <https://doi.org/10.1111/jvs12101>.
- Palombo C., Chirici G., Marchetti M., Tognetti R. (2013). Is land abandonment affecting forest dynamics at high elevation in Mediterranean mountains more than climate change? *Plant Biosystems* 147, 1-1 <https://doi.org/11.080/112635042013772081>
- Pauli H., Gottfried M., Dullinger S., Abdaladze O., Akhalkatsi M., Alonso J.L.B., Coldea G., Dick J., Erschbamer B., Calzado R.F., Ghosn D., Holten J.I., Kanka R., Kazakis G., Kollár J., Larsson P., Moiseev P., Moiseev D., Molau U., Molero Mesa J., Nagy L., Pelino G., Puşcaş M., Rossi G., Stanisci A., Syverhuset A. O., Theurillat J.-P., Tomaselli M., Unterluggauer P., Villar L., Vittoz P., Grabherr G. (2012). Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. *Science* 336: 353-355.
- Petriccione B., Bricca A. (2019). Thirty years of ecological research at the Gran Sasso d'Italia LTER site: climate change in action. In: Mazzocchi M.G., Capotondi L., Freppaz M., Lugliè A., Campanaro A. (Eds) *Italian Long-Term Ecological Research for understanding ecosystem diversity and functioning. Case studies from aquatic, terrestrial and transitional domains. Nature Conservation* 34: 9-39. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.34.30218>.
- Porro F., Tomaselli M., Abeli T., Gandini M., Gualmini M., Orsenigo S., Petraglia A., Rossi G., Carbognani M. (2019). Could plant diversity metrics explain climate-driven vegetation changes on mountain summits of the GLORIA network? *Biodiversity and Conservation*, 28(13), 3575-3596.
- Rogora M., Frate L., Carranza M.L., Freppaz M., Stanisci A., Bertani I., Bottarin R., Brambilla A., Canullo R., Carbognani M., Cerrato C., Chelli S., Cremonese E., Cutini M., Di Musciano M., Erschbamer B., Godone D., Iocchi M., Isabellon M., Magnani A., Mazzola L., Morra di Cella U., Pauli H., Petey M., Petriccione B., Porro F., Psenner R., Rossetti G., Scotti A., Sommaruga R., Tappeiner U., Theurillat J.-P., Tomaselli M., Viglietti D., Viterbi R., Vittoz P., Winkler M., Matteucci G. (2018). Assessment of climate change effects on mountain ecosystems through a cross-site analysis in the Alps and Apennines. *Science of the Total Environment*, 624: 1429-1442.
- Scolastri A., Bricca A., Cancellieri L., Cutini M. (2017a). Understorey functional response to different management in the Mediterranean beech forest (Central Apennine, Italy). *Forest Ecology and Managements* 400: 665-676.
- Scolastri A., Cancellieri L., Iocchi M., Cutini M. (2017b). Old Coppice vs High Forest: the impact of beech forest management on plant species diversity. *Journal of Plant Ecology* 10 (2): 271-280.
- Scolastri A., Iocchi M., Cancellieri L., Cutini M. (2014). Patterns of floristic variation on a montane beech forest in the central Apennines (central Italy). *Plant Sociology* 51(2): 69-82.
- Stanisci A., Bricca A., Calabrese V., Cutini M., Pauli H., Steinbauer K., Carranza M.L. (2020). Functional composition and diversity of leaf traits in subalpine versus alpine vegetation in the Apennines. *AoB Plants*, 12 (2): 1-11. DOI: 10.1093/aobpla/plaa004.
- Stanisci A., Frate L., Morra Di Cella U., Pelino G., Petey M., Siniscalco C., Carranza M.L. (2016). Short-term signals of climate change in Italian summit vegetation: observations at two GLORIA sites. *Plant Biosystems*. 150 (2): 227-235.
- Stanisci A., Evangelista A., Frate L., Stinca A., Carranza M.L. (2016). VIOLA – Database of High Mountain Vegetation of Central Apennines. *Phytocoenologia* 46 (2): 231-232.
- Stanisci A., Carranza M.L., Pelino G., Chiarucci A. (2010). Assessing the diversity pattern of cryophilous plant species in high elevation habitats. *Plant Ecology* 212: 595-600.
- Stoll S., Frenzel M., Burkhard B., Adamescu M., Augustaitis A., Baeßler C., Bonet F.J., Carranza M.L., Cazacu C., Cosor G.L., Díaz-Delgado R., Grandin U., Haase P., Hämäläinen H., Loke R., Müller J.,

---

Stanisci A., Staszewski T., Müller F. (2014). Assessment of ecosystem integrity and service gradients across Europe using the LTER Europe network. *Ecol. Model.* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.06.019>.

Winkler M., Lamprecht A., Steinbauer K., Hülber K., Theurillat J.-P., Breiner F., Choler P., Ertl S., GutiérrezGirón A., Rossi G., Vittoz P., Akhalkatsi M., Bay C., Benito Alonso J.-L., Bergström T., Carranza M.L., Corcket E., Dick J., Erschbamer B., Fernández Calzado R., Fosaa A.M., Gavilán R.G., Ghosn D., Gigauri K., Huber D., Kanka R., Kazakis G., Klipp M., Kollar J., Kudernatsch T., Larsson P., Mallaun M., Michelsen O., Moiseev P., Moiseev D., Molau U., Molero Mesa J., Morra di Cella U., Nagy L., Petey M., Puşcaş M., Rixen C., Stanisci A., Suen M., Syverhuset A.O., Tomaselli M., Unterluggauer P., Ursu T., Villar L., Gottfried M. and Pauli H. (2016). The rich sides of mountain summits – a pan-European view on aspect preferences of alpine plants. *J. Biogeogr.*, 43: 2261-2273. DOI: 10.1111/jbi.12835.

## Riviste non ISI

Calderaro C., Palombo C., Fracasso R., Tognetti R., Marchetti M. (2014). Dinamiche di vegetazione di pino mugo e faggio nell'ecotono della treeline in risposta ai cambiamenti climatici e di uso del suolo sul massiccio della Majella. *Proceedings of the second international congress of silviculture*. Florence, November 26th – 29th. <http://dx.doi.org/10.4129/2cis-cc-din>.

Giancola C., Di Marzio P., Stanisci A. (2008). Gli habitat nelle aree d'alta quota in Molise. *Fitosociologia*. Vol. 44 (2).

## Libri e capitoli di libri

Calderaro C. (2019). Impact of climate change and disturbances on mountain forest ecosystems: the case study in Majella National Park, Central Apennine. PhD Thesis. University of Molise-University of Tuscia.

Corso G., Giancola C., Carranza M.L., Stanisci A. (2009). Storia, cultura e biodiversità del paesaggio vegetale d'alta quota del Matese. In: Marino D., Cannata G. (Ed) *La risorsa Matese. Le conoscenze dell'Università degli Studi del Molise*. Università degli Studi del Molise Campobasso. pp. 88-94. ISBN: 978-88-901055-7-9.

Di Martino L., Stanisci A., Vitale D., de Chiro M. (Eds) (2018). *Turismo, Biodiversità, "Heritage: dall'integrazione delle risorse alla progettazione territoriale"* Edizioni Parco Nazionale della Majella.

Gerdol R., Tomaselli M., Stanisci A. (2008). *La vegetazione delle montagne italiane*. Edizioni CAI. 2008.

Giancola C., Corso G., Carranza M.L., Stanisci A. (2009). Perdita di biodiversità del paesaggio vegetale d'alta quota. In: Marino D., Cannata G. (Ed). *La risorsa Matese. Le conoscenze dell'Università degli Studi del Molise*. Università degli Studi del Molise Campobasso. pp. 95-96. ISBN: 978-88-901055-7-9.

Paura B., Fortini P., Presti G. Stanisci A., Di Marzio P. Blasi C. (2010). Le serie di vegetazione della regione Molise. In: Blasi C. (Ed). *La Vegetazione d'Italia*. Palombi & Partner s.r.l. Roma.

Petriccione B. (2012). Appennino Centrale: Gran Sasso d'Italia. In: Bertoni R. (ed.). *La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica a Lungo Termine (LTER-Italia): situazione e prospettive dopo un quinquennio di attività (2006-2011)*. ARACNE Editrice, Roma: 41-43.

Stanisci A. (2012). Appennini: ecosistemi di alta quota. In: Bertoni R. (ed.), *La Rete Italiana per la ricerca ecologica a lungo termine (LTER-Italia)*. Aracne Editrice, Roma. ISBN: 978-88-548-4661-6.

Stanisci A., Cutini M., Petriccione B., Rossi G., Theurillat J.-P., Tomaselli M. (2009). The LTER site "Apennines high elevation ecosystems". In: Dobbertin M.K., *Long-term ecosystem research: understanding the present to shape the future*. International Conference Zurich, Switzerland September 7-10, 2009 Abstracts, p. 99.

---

## Report

- Attorre F., Stanisci A., Theurillat J.-P. (2009). Impatti sulla flora d'alta quota. In: Attorre F. *et al.*, Verso la Strategia Nazionale per la Biodiversità. Tavolo tecnico Cambiamenti Climatici e Biodiversità. Studio della Mitigazione e Proposte per l'adattamento. Progetto MATTM, DPN – WWF Italia onlus, Roma. <http://www.minambiente.it>.
- Stanisci A., Giancola C., Pelino G. (2008). Effetti dei cambiamenti climatici sulla biodiversità. In: Marchetti M., Marino D., Cannata G. (Ed) Relazione sullo stato dell'ambiente della regione Molise. Università degli Studi del Molise Campobasso, pp. 95-96. ISBN: 978-88-901055-1-7.
- Matteucci G., Carrara P., Rogora M., Freppaz M., Stanisci A., Rossetti G. (2015). Harmonisation and standards for existing and newly collected Data and MetaData on LTER sites in Italian Mountain ecosystems. Progetto Rilevanza Strategica Nazionale NextData Data LTER Mountain.
- Lamprecht A., Bardy-Durchhalter M., Niederheiser R., Pauli H., Rutzinger M., Steinbauer K., Wilfing K., Erschbamer B., Fernández Calzado R., Di Cecco V., Gattringer A., Kazakis G., Mallaun M., Molero Mesa J., Moser D., Remoundou H., Stanisci A., Theurillat J.-P., Vittoz P., Wessely J. & Winkler M. (2019). MediAlps – Disentangling anthropogenic drivers of climate change impacts on alpine plant species: Alps vs. Mediterranean mountains (MediAlps). Final Report Research Program “Earth System Sciences (ESS)” Austrian Academy of Sciences.

## Lavori divulgativi

- Evangelista A., Carranza M.L., Fate L., Pelino G., Stanisci A. (2013). Cosa è successo nell'alta montagna appenninica a seguito del riscaldamento climatico? *Natura e Montagna* 2: 53-60. ISSN: 0028-0658.
- Godone D., Stanisci A., Corti B., Cocco S., Freppaz M. (2013). The employment of MODIS time series and soil temperature to monitor snow cover in the Majella National Park (Italian Central Apennines). *International Snow Science Workshop Grenoble – Chamonix Mont-Blanc – 2013*, pp. 6.
- Ravaioli M., Mazzocchi M.G., Pugnetti A., Bergami C., Capotondi L., Mangia C., Stanisci A., Cesarini C., (2015). Il contributo delle donne alla ricerca ecologica a lungo termine: l'esempio della rete LTER-Italia. In: Avveduto S., Paciello M., Arrigoni T., Mangia C., Martinelli L. (eds), *Scienza, genere e società. Prospettive di genere in una società che si evolve*. IRPPS Monografie, Istituto di ricerche sulla popolazione e le politiche sociali, Roma, pp. 336 CNR-IRPPS e-Publishing: <http://www.irpps.cnr.it/e-pub/ojs/>.