

Cosa è successo nell'alta montagna appenninica a seguito del riscaldamento climatico?

Introduzione

Negli ultimi decenni si assiste, a livello planetario, ad un progressivo riscaldamento climatico (Global Warming) che comporta, tra l'altro, cambiamenti nella distribuzione delle specie vegetali. Gli ecosistemi di alta montagna, che rappresentano l'unica unità biogeografia terrestre distribuita su tutto il pianeta, risultano essere molto sensibili a tale fenomeno, ed essendo in gran parte svincolati dall'impatto antropico, possono essere considerati un valido bioindicatore dei cambiamenti climatici in corso (Grabherr et al. 1994; Pauli et al. 2011). Tale fenomeno in ambito alpino si manifesta con il ritiro dei ghiacciai, con la diminuzione delle precipitazioni nevose, con la minor persistenza della neve sul suolo e con l'aumento della franosità (IPPC 2007). Tali eventi creano cambiamenti nella distribuzione delle specie vegetali (Huber et al. 2005; Pailombo et al. 2011, Theurillat, Guisan 2001; Thuiller et al. 2005) e di conseguenza sui paesaggi naturali in alta quota. In tale ottica, utilizzando le specie vegetali di tali ecosistemi come bioindicatori, è nato il progetto GLORIA (acronimo di Global Observation

Research Initiative in Alpine environments – <http://www.gloria.ac.at>). In tale progetto si è mirato ad istituire una rete internazionale di monitoraggio, dalle latitudini polari a quelle tropicali attraverso un metodo di analisi standardizzato detto Multi-summit approach (Pauli et al. 2011). Gli obiettivi che si prefigge tale progetto sono quindi quelli di:

- Documentare le trasformazioni delle condizioni della biodiversità e della vegetazione causate dai cambiamenti climatici negli ecosistemi di alta montagna;
- valutare gli impatti e gli effetti sul funzionamento dell'ecosistema in seguito alla perdita di biodiversità e degli habitat derivati dai cambiamenti climatici.
- contribuire agli sforzi della comunità internazionale per attenuare la perdita della biodiversità e degli habitat.

In Europa tale progetto interessa 13 nazioni dai Pirenei (Spagna) agli Urali (Russia) alle montagne scandinave (Norvegia) al Caucaso (Georgia). Al momento sono 112 le *target regions* inserite all'interno della lista del progetto GLORIA, il lavoro ha infatti coinvolto montagne di altri continenti (www.

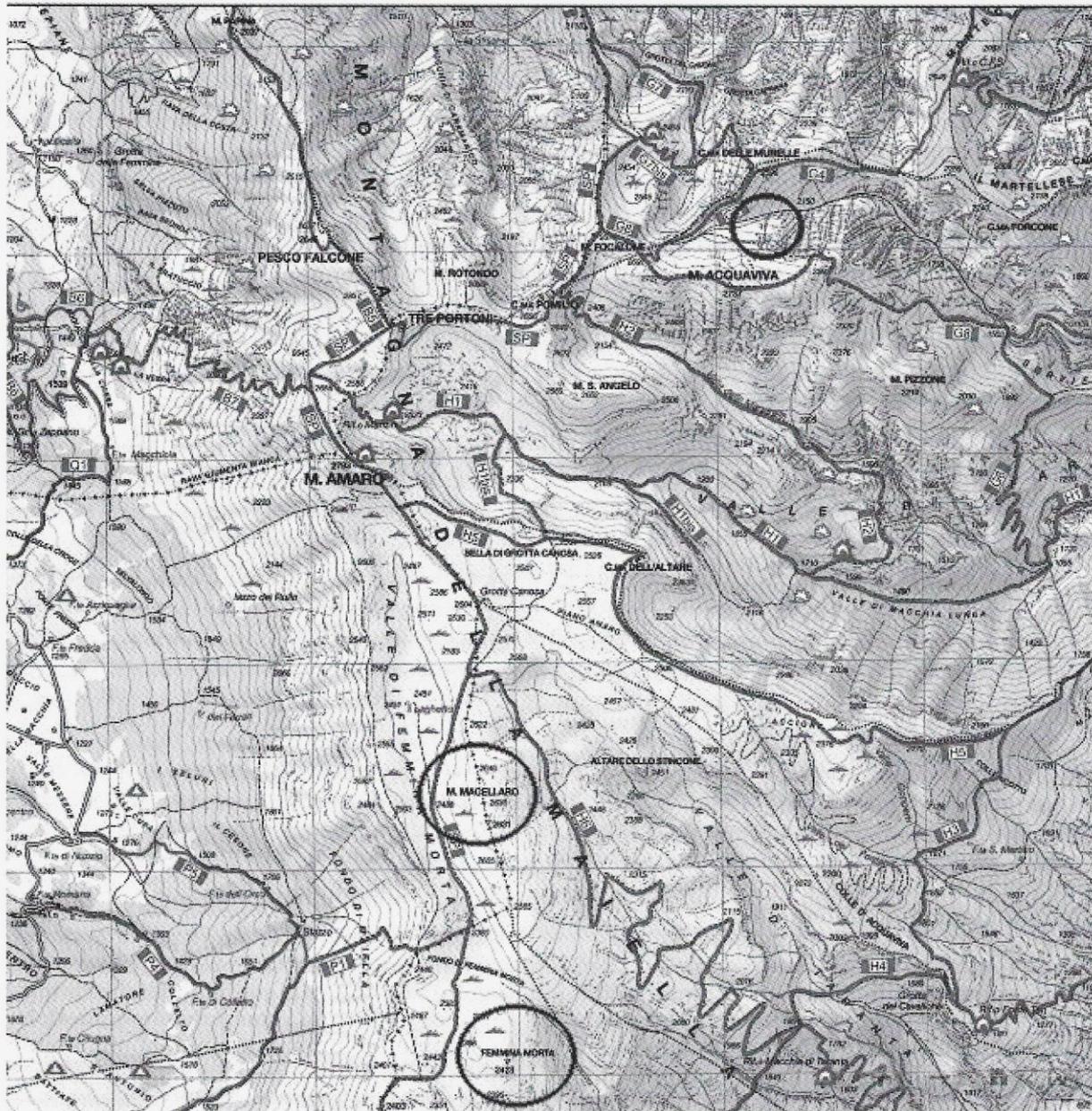


Fig. 1 – Cartina dell'area della Majella e individuazione delle vette interessate da rilevamenti.

gloria.ac.at). Le analisi sui dati vegetazionali e termici relativi alle aree permanenti installate sulle vette dell'Appennino centrale sono condotte dai ricercatori del Dipartimento Bioscienze e Territorio dell'Università degli Studi del Molise.

Area di studio

Le aree di monitoraggio della rete GLORIA che si trovano in Appennino centrale, sono collocate sul massiccio calcareo della Majella (2974 m) che è uno dei gruppi più imponenti dell'intero Appen-

nino ed è localizzato in Abruzzo, compreso tra le provincie di L'Aquila, Pescara e Chieti. L'area oggetto di riferimento di tale lavoro si estende dai 2405 ai 2730 metri. All'interno di tale intervallo altimetrico sono situate le tre vette operazioni sotto osservazione dal 2001: Monte Femmina Morta (2405 m), posta nel settore meridionale del massiccio, Monte Macellaro (2635 m) posto nel settore centrale e Monte Mammoccio nel settore settentrionale (2737 m), indicate rispettivamente con gli acronimi FEM, MAC e MAM. Dal punto di vista bioclimatico, l'area di studio, appartiene alla sub regione axerica fredda e cade nel macroclima

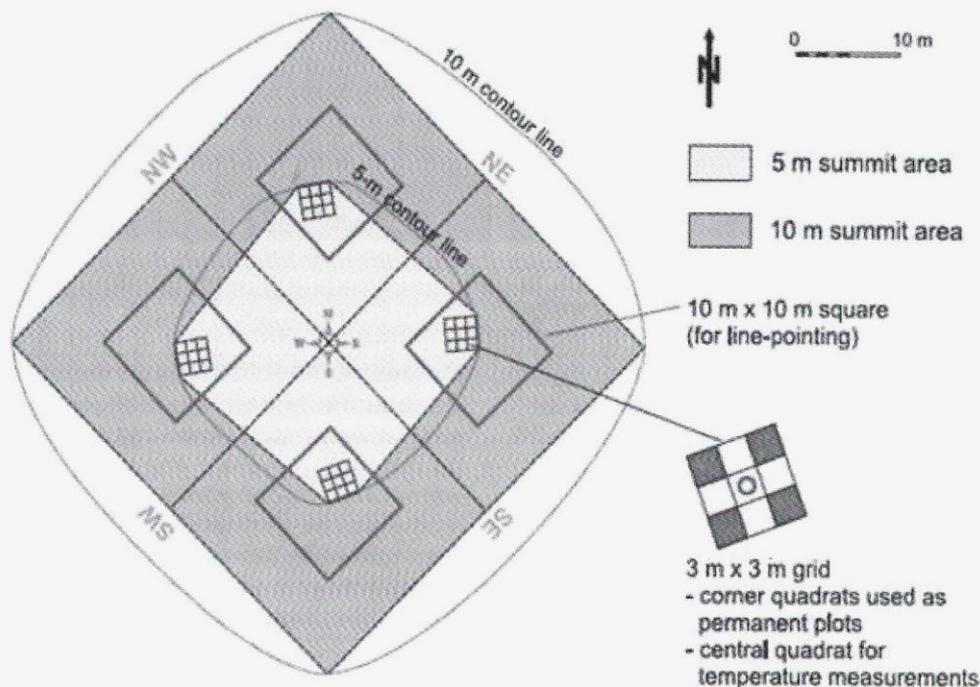


Fig. 2 – Schema della modalità di suddivisione di una vetta oggetto di studio secondo la metodologia GLORIA.

temperato, nel piano bioclimatico alpino (Blasi et al. 2003, Blasi et al. 2005).

Metodologia GLORIA

Le cime, che vengono individuate in zone omogenee dal punto di vista geologico, devono essere rappresentative delle caratteristiche della regione e devono comprendere una ridotta interferenza antropica (sfalcio, fertilizzazione, calpestio, frequentazione turistica, ecc.). In corrispondenza di ogni vetta viene rilevata la flora e la vegetazione della parte sommitale compresa tra il punto più alto e una linea posta a -10 m sul livello del mare, su plot multiscala. I plot di piccole dimensioni sono 16 quadrati di 1m² di estensione per ogni vetta, disposti lungo le principali direzioni geografiche N, S, E, W. All'interno dei quadrati si effettuano misure di composizione specifica, copertura, abbondanza e frequenza mediante l'utilizzo di un reticolo di 100 celle (ognuna delle dimensioni 0,1m x 0,1m), di 1m x 1m. I quadrati 1x1 sono inseriti in 4 quadranti permanenti per ognuna delle 4 direzioni cardinali per ogni area sommitale delle dimensioni di 3m x 3m (*Quadrant cluster*). In tali quadranti, trovano la loro collocazione anche dei termometri elettronici (*data loggers*) posti a 10 cm di profondità nel suolo e capaci di registrare ogni ora la temperatura, in autonomia per un periodo di 5 anni.

Su ogni vetta l'area sommitale, dalla cima fino a

-10 m verticali di altitudine, viene divisa in 2 superfici corrispondenti a fasce da -10 m a -5 e da -5 alla cima. In seguito queste due superfici vengono divise in otto zone con linee che partono dalla sommità e decorrono lungo le quattro direzioni geografiche di secondo ordine: NE, SE, SW, NW (Fig. 7). All'interno dei settori sommitali (*Summit area section*, -10m e -5m), per effettuare un confronto tra la ricchezza specifica di diversi campionamenti ed evidenziare la comparsa di nuove specie, viene effettuato l'inventario di tutte le specie presenti in ogni settore, la stima della copertura vegetale e la determinazione dei valori di abbondanza di ogni specie. Su tutte le sezioni e plots di campionamento viene realizzata anche una ricca documentazione fotografica fondamentale per effettuare i campionamenti futuri negli stessi identici settori e verificarne le eventuali variazioni.

Analisi dati

Per lo scopo specifico del seguente lavoro sono stati analizzati i dati di presenza e frequenza delle specie nei 48 quadrati permanenti 1m x 1m, confrontando i dati di un arco temporale di 11 anni (2001-2012), per monitorare gli eventuali cambiamenti della struttura della vegetazione sulle 3 vette target. Ogni specie può assumere valori che vanno da 0 (non presente) a 100 (presenza della specie in tutte le celle 10X10 cm). La matrice che



Figure 3-6 – Alcuni esempi di specie della flora della Majella, da sinistra verso destra *Allysum cuneifolium*, *Viola magellensis* (MICROTHERME), *Arenaria grandiflora* e *Iberis saxatilis* (TERMOFILE).

ne scaturisce è costituita da 55 specie x 48 plots. Per ogni vetta e per ogni esposizione di ciascuna vetta, sono state estratte le informazioni ecologiche e strutturali derivate dalle specie di flora vascolare campionate, e in particolare su:

- 1) numero totale di specie;
 - 2) frequenza di ciascuna specie;
 - 3) composizione in tipi corologici e forme biologiche;
 - 4) frequenza di specie microterme e termofile;
- Questa analisi è stata ripetuta per ciascuna delle tre date relative alle fasi di monitoraggio (2001, 2008, 2012) in modo da confrontare, per ogni vetta indagata (FEM, MAC e MAM), le dinamiche delle comunità vegetali, in un periodo di tempo 11 anni.

Microterme e termofile

Nell'area oggetto di studi la maggiore considerazione è stata data alla specie caratteristiche dei climi freddi. In tale contesto ambientale vengono considerate come microterme, le specie che vivono solo oltre i 2000 m, e che hanno un distribuzione altitudinale centrata tra i 2300 e 2700 m, come riportato in *Stanisci et al. (2010)*. Le specie termofile risultano invece quelle dotate di un optimum ecologico a temperature relativamente elevate (*Pignatti et al. 2001*). Nel nostro caso studio, è stato utilizzato il criterio utilizzato da *Gottfried et al. (2012)*, secondo il quale si considerano termofile negli ambienti di alta quota, le specie che hanno il loro optimum di distribuzione centrato nella fascia del limite superiore del bosco e del piano subalpino. Per l'individuazione dei range di distribuzione altitudinale delle specie si è fatto riferimento ai dati riportati nelle flore che descrivono le specie trovate nelle aree di campionamento (*Pignatti 1982, Conti 1998, Aeschmann et al. 2004*). Oltre allo studio delle caratteristiche ecologiche e strutturali delle comunità vegetali d'alta quota, sono stati analizzati i dati di temperatura ricavati dai termometri elettronici (*data loggers*) posti a 10 cm di profondità nel suolo, che hanno registrato la temperatura ogni ora, dal 2002 al 2011. Sulla base di quanto riportato da

Dullinger et al. (2007) è stato estrapolata la temperatura media del periodo vegetativo. Il periodo vegetativo è stato definito come la stagione libera da copertura nevosa e che va da fine primavera ad inizio autunno, durante la quale, le temperature medie giornaliere risultano essere superiori ai 2 °C. Per confrontare l'andamento medio della stagione vegetativa per le nostre vette, sono state analizzate le temperature relative al periodo che va dal 1° giugno al 30 settembre dal 2002 al 2011. Inoltre delle 4 misurazioni disponibili per vetta (una per ogni esposizione), sono state calcolate le medie solamente per le serie di osservazioni complete, ovvero per le esposizioni Nord e Sud.

Risultati per vetta e temperature

I primi risultati della ricerca sono quelli collegati alla variazione della ricchezza di flora vascolare lungo il gradiente altimetrico. Dall'analisi dei dati emerge che sulle vette più basse FEM (2405 m) e MAC (2635 m) il numero di specie risulta essere più elevato rispetto alla vetta più alta MAM (2730 m). In particolare si ha che la vetta FEM è la più ricca di specie con 36 taxa, seguita da MAC con 32 taxa e MAM con sole 13 specie. Da ciò si evince che la ricchezza di flora vascolare:

- diminuisce con l'aumento dell'altitudine;
- non subisce variazioni significative negli ultimi 10 anni;

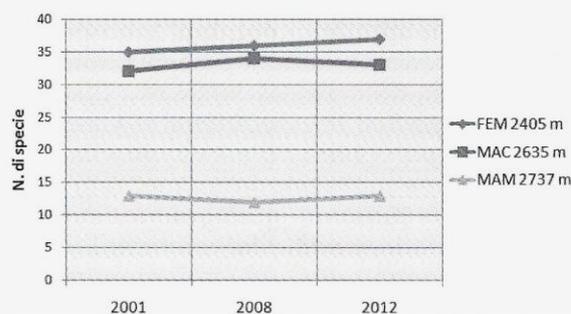


Fig. 7 – Variazione del numero totale di specie sulle tre vette (FEM, MAC, MAM) dal 2001 al 2012.

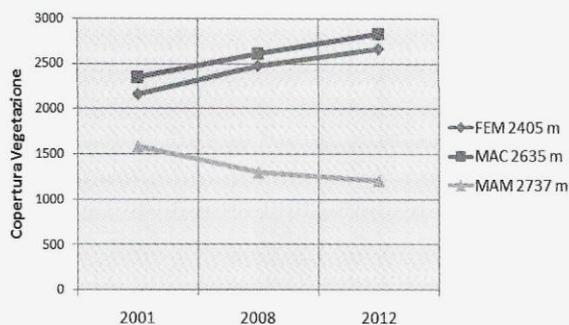


Fig. 8 – Variazione della copertura totale della vegetazione sulle tre vette (FEM, MAC, MAM) dal 2001 al 2012.

- le specie trovate nella campagna 2012 sono state 55.
- Per quanto riguarda la copertura della vegetazione risulta che:
 - è maggiore sulle vette più basse e minore sulla vetta più alta;
 - è aumentata sulle vette più basse negli ultimi 10 anni;
 - è diminuita sulla vetta più alta negli ultimi 10 anni.

Per quanto riguarda la distribuzione delle forme biologiche sulle vette considerate, essa varia in base al gradiente altimetrico. Tale distribuzione si traduce in una diminuzione della diversità di forme biologiche con l'aumento della quota. Dall'analisi è emerso che le variazioni più significative si sono avute:

- Sulla vetta MAC: *Ch suffr* +10,18%, *H scap* -13,47%;
- Sulla vetta MAM *Ch suffr* +12,45%, *H scap* -13,33%.

Anche la composizione dei corotipi diminuisce con l'aumento della quota, e su tutte e tre le vette si sono riscontrate variazioni significative, che in sequenza sono:

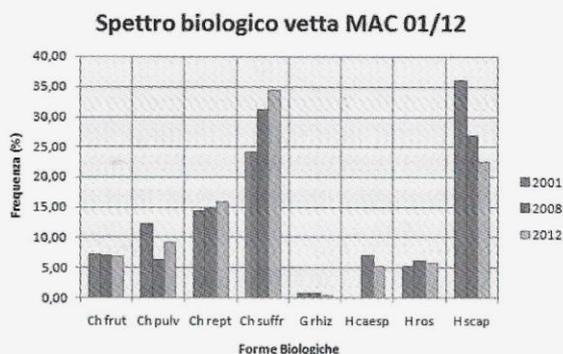


Fig. 9 – Spettro biologico vetta Monte Macellaro dal 2001 al 2012.

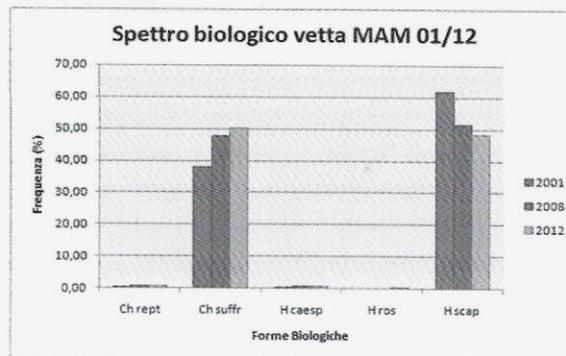


Fig. 10 – Spettro biologico vetta Monte Mammoccio dal 2001 al 2012.

- Sulla vetta FEM: *Medit-Mont* + 5,65%, *Endem.* - 0,69%;
- Sulla vetta MAC: *Medit-Mont* + 9,69%, *Endem.* - 5,65%;
- Sulla vetta MAM: *Medit-Mont* + 7,58%, *Endem.* - 8,37%.

Anche il comportamento delle specie microterme e termofile e quindi la loro distribuzione e la loro presenza varia in base all'altitudine. Sulla vetta FEM le microterme occupano il 7,66% della totalità delle specie. Di contro le specie termofile risultano essere le più abbondanti (11,40%). Sulla vetta MAC la frequenza delle specie microterme tende ad aumentare rispetto alla vetta di quota inferiore, raggiungendo il 22,01% del complesso floristico. Discorso inverso per la vetta MAM, le microterme occupano una percentuale di suolo molto più elevata pari al 39,60%, mentre le termofile sono molto poco rappresentate, in quanto è presente una sola specie che appartiene a tale gruppo. Inserendo i dati raccolti all'interno di box-plot relativi all'andamento della frequenza di tali specie nel corso degli anni, per le tre vette è emerso che:

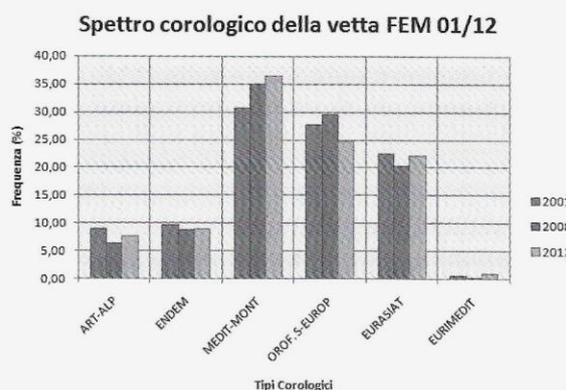


Fig. 11 – Spettro corologico vetta Femmina Morta dal 2001 al 2012.

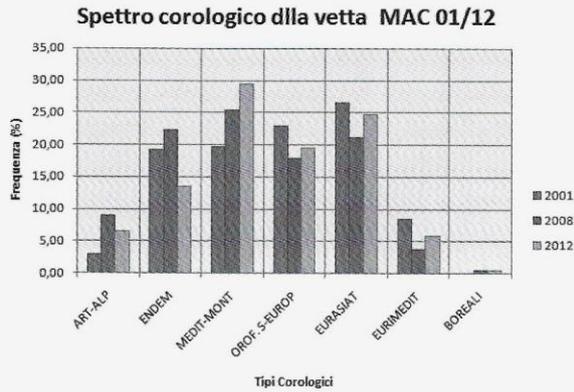


Fig. 12 – Spettro corologico vetta Monte Macellaro dal 2001 al 2012.

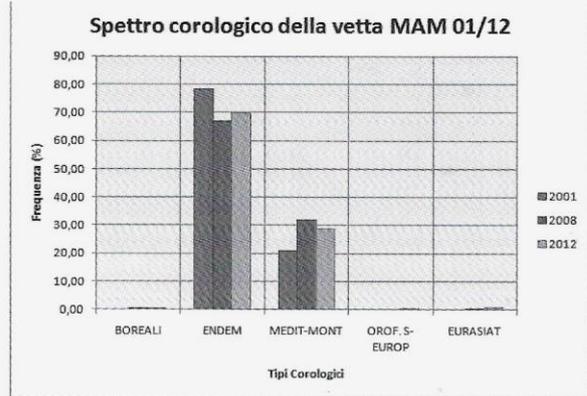


Fig. 13 – Spettro corologico vetta Monte Mammoccio dal 2001 al 2012.

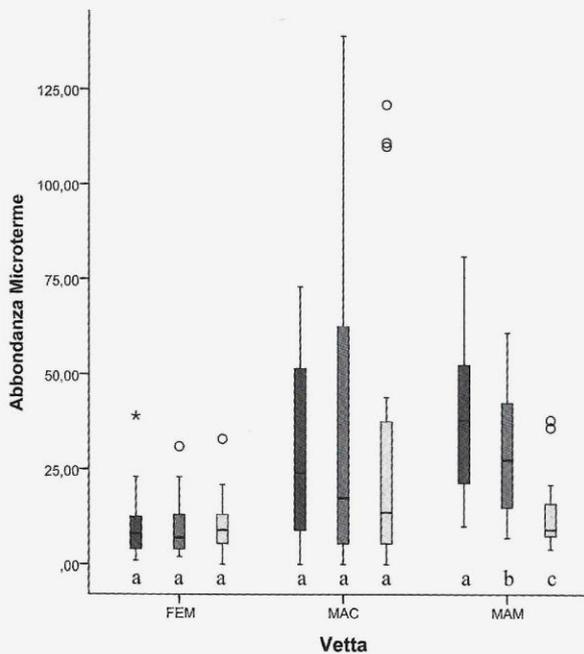


Fig. 14 – Box plot delle specie microterme sulle tre vette dal 2001 al 2012.

- Variazioni altamente significative (*Kruskal-Wallis Test*, $p < 0,01$) si sono riscontrate nella distribuzione delle microterme sulla vetta MAM, vale a dire la vetta più elevata. In particolare, la frequenza delle specie microterme tende a diminuire tra il 2001 e il 2012 del 21,7%. Mentre non degne di nota sono state le variazioni nelle altre due vette FEM e MAC.
- variazioni significative sulle vette FEM e MAC, vale a dire le più basse si sono riscontrate nella distribuzione delle termofile. Sulla vetta FEM la frequenza di tali specie tende ad aumentare in maniera significativa (*Kruskal-Wallis Test*, $p < 0,05$) tra le tre date, registrando nel 2012 un + 6,93% rispetto al valore 2001. Sulla vetta MAC la variazione invece è altamente significativa

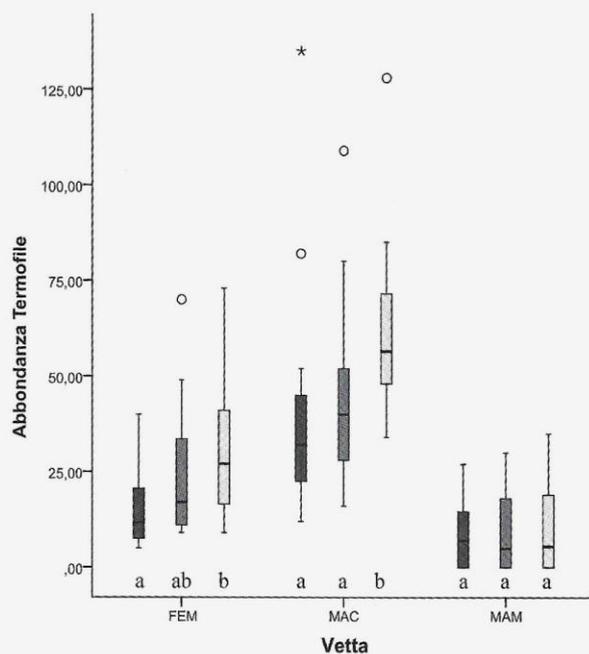


Fig. 15 – Box plot delle specie termofile sulle tre vette dal 2001 al 2012. Dallo studio delle temperature emerge un chiaro trend di riscaldamento per ciascuna delle vette considerate.

(*Kruskal-Wallis Test*, $p < 0,01$) aumentando nel giro di 11 anni del 7,2%. Sulla vetta MAM invece non si sono riscontrate variazioni degne di nota.

Dallo studio delle temperature emerge un chiaro trend di riscaldamento per ciascuna delle vette considerate.

In sintesi l'aumento medio della temperatura nei dieci anni è stato:

- Sulla vetta FEM (2405 m) + 0,18 °C;
- Sulla vetta MAC (2635 m) + 0,19 °C;
- Sulla vetta MAM (2730 m) + 0,14 °C.

La media tra i precedenti tre valori ci da un complessivo aumento della temperatura media di circa 0,17 °C durante il decennio 2002/2011.

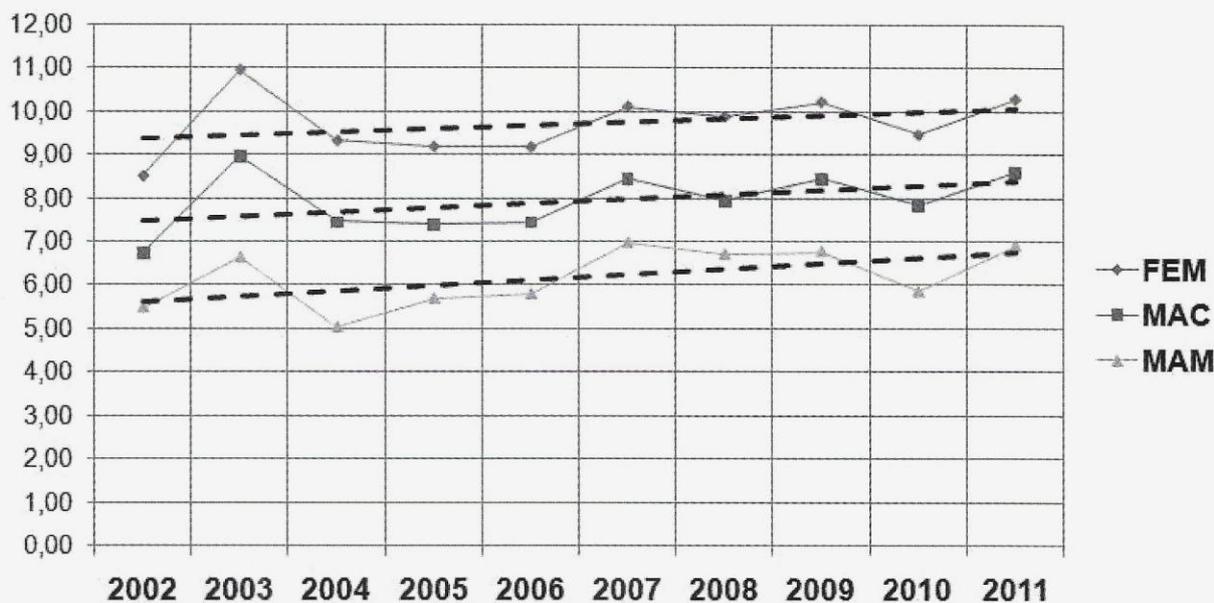


Fig. 16 – Variazione delle temperature medie del periodo vegetativo dal 2002 al 2011.

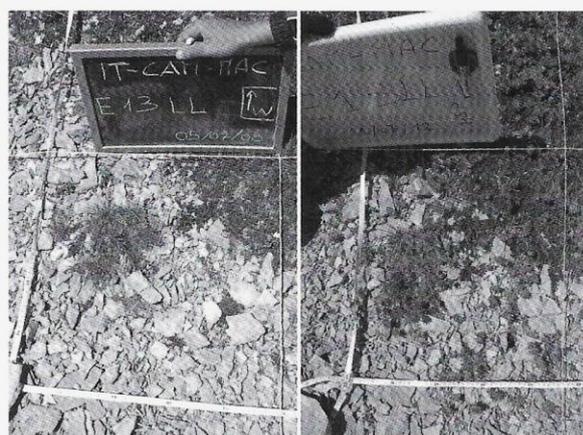


Fig. 17 – Aumento della presenza dell'*Anthyllis vulneraria* (evidenziata nel cerchio) dal 2008 (sinistra) al 2012 (destra).

Discussioni e conclusioni.

L'analisi delle variazioni della composizione floristica e della frequenza delle specie di piante vascolari, nei siti di monitoraggio al Parco Nazionale della Majella, attivi dal 2001 nell'ambito della rete internazionale del progetto GLORIA, ha evidenziato tre importanti risultati relativi a questi ultimi 10 anni: un aumento della copertura vegetazionale tra i 2400 e i 2600 m di altitudine, una progressiva termofilizzazione della vegetazione di alta quota, e una riduzione dell'abbondanza delle specie microterme endemiche alle quote più elevate (2700 m). Nello specifico dall'elaborazione dei dati emerge:

- 1) un aumento della copertura vegetazionale tra i

2400 e i 2600 m di altitudine (FEM +23%; MAC +17%) e una diminuzione oltre i 2700 m (MAM -24%);

- 2) la progressiva termofilizzazione della vegetazione di alta quota (FEM +6,93%; MAC +7,2%), spostamento verso l'alto (shifting) delle specie dei piani climatici inferiori, come registrato su altre vette europee (Gottfried et al. 2012);
- 3) la riduzione dell'abbondanza delle specie microterme endemiche (-22%) alle quote più elevate (oltre 2700 m, vetta MAM), tendenza constatata anche su altre vette europee (Pauli et al. 2012);
- 4) l'aumento della temperatura media di circa 0,17 °C in dieci anni (in linea con i dati IPCC).

In definitiva, in Appennino centrale, il riscaldamento climatico sta producendo un effetto di termofilizzazione in alta quota, minacciando seriamente le popolazioni di specie microterme endemiche, che rischiano di estinguersi nel medio e lungo termine. Si rende quindi necessario il loro monitoraggio nel tempo per verificare a breve e medio termine gli effetti di tali processi in corso negli ecosistemi di alta quota, e per adottare eventuali azioni di conservazione in situ e ex-situ delle specie a rischio di estinzione.

Bibliografia

- AESCHIMANN D., LAUBER K., MOSER D.M., THEURILLAT J.P., 2004 – *Flora Alpina*. Zanichelli, Bologna.
- 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(1): pp. 83-110.

- BLASI C., DI PIETRO R., PELINO G., 2005 – *The vegetation of alpine belt karst-tectonic basins in the central Apennines (Italy)*. Plant Biosystems - vol. 139, n. 3, Novembre 2005, pp. 357-385.
- CONTI F., 1998 – *Flora d'Abruzzo*. Bocconea 10: pp 1-273.
- GOTTFRIED M. *et al.*, 2012 – *Continent-wide response of mountain vegetation to climate change*. Nature Climate Change, 2, pp. 111-115.
- GRABHERR G., GOTTFRIED M., PAULI H., 1994 – *Climate effects on mountain plants*. Nature. vol. 369, pp. 448.
- HAMMER Ø., HARPER D.A.T., RYAN P.D., 2001 – *PAST Paleontological Statistics*. Reference manual.
- HUBER U.M., BUGMANN H.K., REASONER M.A. (eds), 2005 – *Global change and mountain regions: an overview of current knowledge*. Advances in Global Change Research, series 23, Springer, Berlin.
- PALOMBO C., TOGNETTI R., CHERUBINI P., CHIRICI G., BATTIPAGLIA G., LOMBARDI F., GARFI V., MARCHETTI M., *Mountain pine at the treeline in the Mediterranean Basin*. Medpine 4th Internat. Conference on Mediterranean Pines, Avignon 6-10 giugno 2011, Abstract Book, pp. 55-56.
- THEURILLAT J.-P., GUISAN A., 2001 – *Impact of climate change on vegetation in the European Alps: a review*. Clim Change 53: pp. 529-530.
- PAULI H., GOTTFRIED M., HOHENWALLER D., REITER K., CASALE R., GRABHERR G., 2011 – *The GLORIA* Field Manual Multi – Summit Approach*. European Commission DG Research, EUR 21213, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- PAULI H., *et al.*, 2012 – *Recent plants diversity change on Europe's mountain summits*. Science. 336: pp. 353-355.
- PIGNATTI S., 1982 – *Flora d'Italia*. Edagricole, Bologna.
- PIGNATTI S., BIANCO P.M., FANELLI G., PAGLIA S., PIETROSANTI S., TESCAROLLO P., 2001 – *Piante come bioindicatori ambientali. Manuale tecnico-scientifico*. ANPA, Dipartimento dell'Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi.
- 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: pp. 595-600.
- THUILLER W., LAVOREL S., ARAUJO MB., SYKES MT., PRENTICE Ic., 2005 – *Climate change threats to plant diversity in Europe*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 102(23): pp. 8245-8250.

Sitografia

- <http://www.gloria.ac.at>
<http://www.ipcc.ch>
<http://www.parcomajella.it>