



Figura 0 - *Silene acaulis* in piena fioritura - ph F. Marcucci

La vegetazione d'alta quota del massiccio della Maiella

Biodiversità, endemismi, adattamenti altitudinali

di Francesca Marcucci⁽¹⁻²⁾

1. Operatore Naturalistico e Culturale (ONC) della Sezione CAI San Benedetto del Tronto
2. Comitato Scientifico Interregionale Marche-Umbria

Riassunto

La Maiella, massiccio calcareo dell'Appennino centrale, è un nodo biogeografico nel Mediterraneo, dove la storia geologica e le condizioni microclimatiche d'alta quota hanno favorito una flora ricca di specie endemiche e relitte (*Adonis distorta*, *Crepis magellensis*, *Cymbalaria pallida*, *Pinguicula fiorii*, *Viola magellensis*), legate ad ambienti di vetta compresi tra 2300 e 2793 m s.l.m. L'area di interesse comprende Monte Cavallo, Monte Focalone, Monte Acquaviva, Cima Pomilio, Monte Amaro e Cima dell'Altare. Questo studio sintetizza il quadro ecologico-conservazionistico della vegetazione sommitale con documentazione fotografica di alcuni habitat di interesse comunitario (UE 6170, 8120, 8210, 4070). Vengono analizzati i vincoli abiotici, gli adattamenti morfo-funzionali e i monitoraggi effettuati sull'area per valutarne lo stato di conservazione attuale. Lo studio sul Valore Pastorale della vegetazione d'alta quota, con l'analisi comparativa dei dati (2003-2020), evidenzia un aumento della copertura vegetale nei ghiaioni e nelle microdoline, confermando un fenomeno di "greening" e una maggiore disponibilità trofica a vantaggio del camoscio appenninico (*Rupicapra pyrenaica subsp. ornata*). Il recente progetto di monitoraggio MAIA 2025 sulla stessa area conferma questi dati sull'aumento della copertura-specie.

Sono sintetizzati i principali esiti del network internazionale GLORIA nell'Appennino centrale, che mostrano variazioni significative di abbondanza per circa il 30% delle specie monitorate, con segnali precoci di regressione per le specie più legate al clima freddo. Sono elencati i principali programmi di conservazione *in situ* ed *ex situ*, con particolare attenzione alla rete RIBES. Si sottolinea infine la necessità di una gestione attiva e multidisciplinare che integri monitoraggio, tutela degli habitat e divulgazione scientifica.

Abstract: High-Altitude Vegetation of the Maiella Massif - Biodiversity, Endemisms, Altitudinal Adaptations

The Maiella, a calcareous massif in the Central Apennines, represents a distinctive biogeographical node within the Mediterranean region. Its geological history and high-altitude microclimates have fostered a flora rich in endemic and relict species (*Adonis distorta*, *Crepis magellensis*, *Cymbalaria pallida*, *Pinguicula fiorii*, *Viola magellensis*). These taxa adapted to summit environments ranging between 2,300 and 2,793 meters above sea level. This study aims to provide a comprehensive overview of the ecological and conservation framework of the summit vegetation. It presents photographic documentation of habitats of community interest (EU 6170, 8120, 8210, 4070) within the study area, encompassing the peaks of Monte Cavallo, Monte Focalone, Monte Acquaviva, Cima Pomilio, Monte Amaro, and Cima dell'Altare. The research examines primary abiotic constraints, the morpho-functional adaptations of high-altitude species observed in this area and retraces long-term monitoring data to assess conservation status. A comparative analysis (2003–2020) highlights an increase in vegetation cover and "Pastoral Value" in scree and micro-sinkholes, confirming a "greening" phenomenon resulting from climate change. This phenomenon enhances trophic availability benefiting the Apennine chamois (*Rupicapra pyrenaica subsp. ornata*), as confirmed by the MAIA monitoring project. Additionally, data from the GLORIA international monitoring network in the Central Apennines corroborate these trends, revealing significant abundance variations in 30% of monitored species, with early regression signals for cold-adapted plants. Finally, this work also outlines major *in-situ* and *ex-situ* conservation programs, with particular attention to the RIBES network. It emphasizes the urgent need for active, multidisciplinary management integrating monitoring, habitat protection, and scientific outreach.

Parole chiave - Keywords: Maiella; endemisms; biodiversity; relict species; GLORIA project; greening; Apennine chamois; Mediterranean mountain; vegetation database

Introduzione

La montagna può essere considerata come un grande scrigno che racchiude gioielli biologici preziosi ed unici [1]. Questo studio si concentra sulla vegetazione d'alta quota del massiccio della Maiella, in Abruzzo, nel cuore dell'Appennino centrale al centro del Mediterraneo [2]. Una posizione strategica che, unita alle caratteristiche geomorfologiche uniche del territorio, ha contribuito a plasmare un ambiente montano di eccezionale valore naturalistico e scientifico. Il massiccio della Maiella rappresenta un nodo

biogeografico fondamentale: la posizione geografica e le caratteristiche geomorfologiche sono i fattori che hanno concorso alla straordinaria biodiversità che si riscontra nell'area di osservazione. Habitat esclusivi con la presenza di specie rare, endemiche e relitte, rendono questi ambienti veri e propri serbatoi naturali unici. Questo scrigno naturale non solo racchiude una straordinaria varietà, ma svolge anche una funzione molto importante nella conservazione degli equilibri ecologici, offrendo un rifugio per molte specie minacciate e rappresentando un

patrimonio biologico insostituibile per le future generazioni. In questo contesto gli endemismi e gli adattamenti altitudinali rappresentano un patrimonio da conoscere e valorizzare, un elemento chiave per la conservazione degli ecosistemi montani e per lo studio degli effetti dei cambiamenti climatici su ambienti delicati e preziosi.

Il presente studio si pone i seguenti obiettivi:

- **Sintesi ecologica e conservazionistica:** ricostruire il quadro della vegetazione sommitale della Maiella, analizzando i vincoli abiotici e gli adattamenti morfo-funzionali che permettono alla flora d'alta quota di sopravvivere in contesti molto selettivi.
- **Analisi dei monitoraggi storici:** ripercorrere i risultati dei principali studi condotti sull'area in particolare l'analisi comparativa 2003-2020 sul Valore Pastorale della

vegetazione d'alta quota per il camoscio appenninico e la raccolta dati del network internazionale GLORIA.

- **Documentazione e validazione sul campo (2022-2025):** documentare fotograficamente gli habitat di interesse comunitario (UE 6170, 8120, 8210, 4070, 6230) per fornire una validazione visiva e attuale della situazione ecologica descritta in letteratura e negli studi analizzati. Fornire un contributo originale attraverso un monitoraggio botanico, faunistico e paesaggistico svolto sul campo nell'arco di quattro anni.

Attraverso questo approccio, il lavoro intende sottolineare la necessità di una gestione multidisciplinare che unisca il monitoraggio scientifico alla tutela attiva e alla divulgazione, per preservare l'identità naturale e culturale del territorio.



Figura 1 - Monte Amaro 2793 m: veduta con il Bivacco Pelino e il Rifugio Manzini - ph F. Marcucci

Caratteristiche ambientali del massiccio della Maiella

Il massiccio della Maiella rappresenta uno degli ambienti montani più ricchi di valori naturalistici dell'Appennino centrale, con il Monte Amaro che raggiunge i 2793 m. Questo massiccio calcareo-dolomitico rappresenta un archivio geologico e morfologico di grande interesse. La geografia del massiccio è caratterizzata da un paesaggio articolato in altopiani carsici, vallate profonde di origine fluviale e glaciali, formazioni rocciose di notevole complessità con pinnacoli, ghiaioni e vaste aree lastricate, risultanti dall'attività carsica e dai fenomeni periglaciali (Figura 1).

Il clima, tipicamente di alta montagna, è contraddistinto da precipitazioni abbondanti, con nevicate frequenti e persistenti (oggi in diminuzione) che contribuiscono alla regolazione microclimatica e alla disponibilità idrica degli ecosistemi locali. Queste caratteristiche ambientali, unitamente alla collocazione geografica e alla complessità geomorfologica, fanno della Maiella un ambiente privilegiato per l'insediamento di una ricca biodiversità e per l'osservazione delle dinamiche ecologiche proprie degli ecosistemi alpini mediterranei.

Le forze tettoniche che hanno modellato il massiccio hanno creato una struttura che rende la Maiella un sito di grande interesse per la geologia strutturale e stratigrafica,

ma anche un paesaggio montano di grande bellezza e complessità morfologica. Le cime come il Monte Amaro, rappresentano non solo icone naturali, ma anche punti chiave per lo studio della geologia e dell'evoluzione tettonica dell'Appennino centrale.

Dal punto di vista litologico (composizione fisica e chimica delle rocce), il cuore del massiccio è costituito da depositi carbonatici risalenti al Mesozoico e al Terziario, affioranti in cime che superano i 2700 metri di altitudine. Questi carbonati si sono formati originariamente in ambienti marini poco profondi. La presenza di fossili sulla cima delle Murelle, per esempio, è spiegata dalla storia geologica del territorio. I fossili sono resti di antiche barriere coralline e organismi marini che occupavano questa zona milioni di anni fa, quando l'area era sommersa da un mare tropicale. L'attuale ambiente montano era dunque un fondale marino, habitat ideale per molluschi, coralli e altri organismi marini. Successivamente a milioni di anni di processi geologici, queste rocce sedimentarie carbonatiche sono state innalzate fino a formare le cime attuali, così i fossili che si osservano in cima sono testimonianze dirette di questo passato marino, rimasti imprigionati nella roccia calcarea (Figure 2 e 3).

Dal punto di vista strutturale, la sommità del massiccio

è dominata da un'anticlinale a forma di arco con andamento NW-SE a nord e NNE-SSW a sud. In corrispondenza del culmine dell'asse di piega, i carbonati della Majella sono spettacolarmente esposti in cime che superano i 2700 metri di quota [3].

La storia geologica è determinante per capire le particolari condizioni naturali delle aree sommitali del massiccio, che sono l'oggetto di studio di questa tesi. Anche la morfologia del sito influenza profondamente la vita delle piante e degli animali che vi abitano, ed è caratterizzata principalmente da aspetti che vediamo qui di seguito.

Vasti pianori altitudinali, in particolare quelli posti oltre i 2500 m, si estendono per ben 11 km². Queste grandi piattaforme sommitali presentano profili dolci di vetta, con estese aree di sommità. Sono costituiti da una distesa di pietre calcaree fratturate e permeabili, con dimensioni che variano da pochi centimetri a qualche decimetro. Giovagnotti e Calandra (1982) definiscono questi altopiani come "lastricati naturali". I dolci pianori sommitali sono delimitati da versanti ripidi e valloni profondi di origine glaciale.

Origine e modello glaciale: il paesaggio fisico in alta quota della Maiella è modellato da morfologie glaciali e depositi quaternari associati, con caratteristiche uniche nell'Appennino centrale. A differenza del Gran Sasso, dove erano presenti principalmente ghiacciai vallivi con numerosi *nunataker* (picchi rocciosi emersi dal ghiaccio), la Maiella durante l'ultima era glaciale era coperta da una grande calotta glaciale sommitale di tipo islandese, estesa circa 30 km² e con uno spessore superiore ai 200 m in alcune zone come la Valle di Femmina Morta. Questa calotta copriva completamente la sommità della montagna e ha fortemente influenzato lo sviluppo della flora, inibendo la vita delle piante criofile nelle aree più alte e favorendo la risalita di specie orientali, avendo un limite delle nevi più alto. Le morfologie glaciali più evidenti includono circhi glaciali ben conservati, come quelli nell'atrio di Cima Pomilio nell'alta Valle dell'Orfento e in alta Valle Taranta, oltre a valli profonde di origine glaciale, quali la Valle di Femmina Morta. Tale modello glaciale, differenzia nettamente la Maiella dal Gran Sasso, che ha invece una morfologia più articolata e ricca di rifugi microclimatici per specie di origine artico-alpina [4].



Figura 2 - Fossili marini Rava del Ferro - ph F. Marcucci

Fenomeni periglaciali: nelle aree sommitali (tra 2400 e 2750 m) si osservano evidenti segni di fenomeni periglaciali, tipici delle zone di tundra artica, come i suoli striati (*sorted stripes*) e i suoli poligonali (*patterned ground*). Questi fenomeni sono associati ai cicli di gelo e disgelo dello strato superficiale del suolo.

Ghiaioni estesi: sono caratteristiche anche le estese coltri detritiche (ghiaioni), causate dall'elevata fratturazione crioclastica (disgregazione delle rocce causata dal ciclo di gelo-disgelo) della roccia calcarea.

Litologia calcarea: la roccia costituita prevalentemente da carbonato di calcio, è facilmente erodibile, soprattutto molto permeabile, favorendo la rapida infiltrazione dell'acqua nel sottosuolo, e causando l'assenza di acqua superficiale (anche nei ghiaioni) e portando alla formazione di imponenti fenomeni carsici (Figura 4 e 5).

Fenomeni carsici: l'acqua superficiale disponibile (soprattutto dallo scioglimento delle nevi) non viene trattenuta, ma si infiltra nel sottosuolo originando, imponenti fenomeni carsici, che danno origine a cavità carsiche (grotte). Di particolare interesse per questa trattazione sono le formazioni carsiche superficiali. Sono abbondantissime le doline di piccole dimensioni nei settori d'alta quota, originatesi sulle coltri detritiche poco inclinate per l'azione di dissoluzione della roccia da parte dell'acqua di ruscellamento superficiale. Le doline ospitano un tipo di vegetazione di fondamentale importanza (Figura 6 e 7).

Clima e microclima d'alta quota

Il clima e il microclima delle aree sommitali del Massiccio della Maiella sono caratterizzati da condizioni ambientali estreme e dinamiche, che svolgono un ruolo cruciale nel modellare la biodiversità e gli ecosistemi di alta quota presenti in questa zona dell'Appennino centrale.

Il clima generale di queste aree d'alta quota presenta temperature medie molto variabili per altitudine ed esposizione, e precipitazioni ultimamente meno abbondanti. Le temperature sono soggette a forti escursioni termiche giornaliere e stagionali, con lunghi periodi di innevamento invernale, creando un ambiente con condizioni termiche estremamente rigide ma non permanenti di ghiaccio (criorotemperato inferiore). Il versante orientale della Maiella, in particolare, beneficia di un'esposizione solare e di correnti d'aria provenienti



Figura 3 - Fossili marini Fonte del Tari - ph F. Marcucci



Figura 4 - Ghiaioni estesi e coltri detritiche - ph F. Marcucci



Figura 5 - Fratturazione della roccia calcarea - ph F. Marcucci



Figura 6 - Grotta di Canosa a 2600 m - ph F. Marcucci

da molteplici direzioni, favorendo un microclima che contribuisce a stabilizzare l'habitat sommitale e che permette la sopravvivenza della flora alpina.

Studi a lungo termine, come quelli condotti nel quadro del progetto GLORIA - *Global Research Initiative in Alpine ecosystems* - GLORIA.AC.AT (2025), che approfondiremo più avanti, dimostrano un aumento significativo delle temperature in alta quota negli ultimi decenni. Questi cambiamenti influenzano fortemente il ciclo vitale delle specie vegetali, la copertura, la ricchezza delle comunità erbacee, e modificano la durata del periodo vegetativo.



Figura 7 - Piccole doline e camosci visti dal Bivacco Fusco (2455 m) - ph F. Marcucci

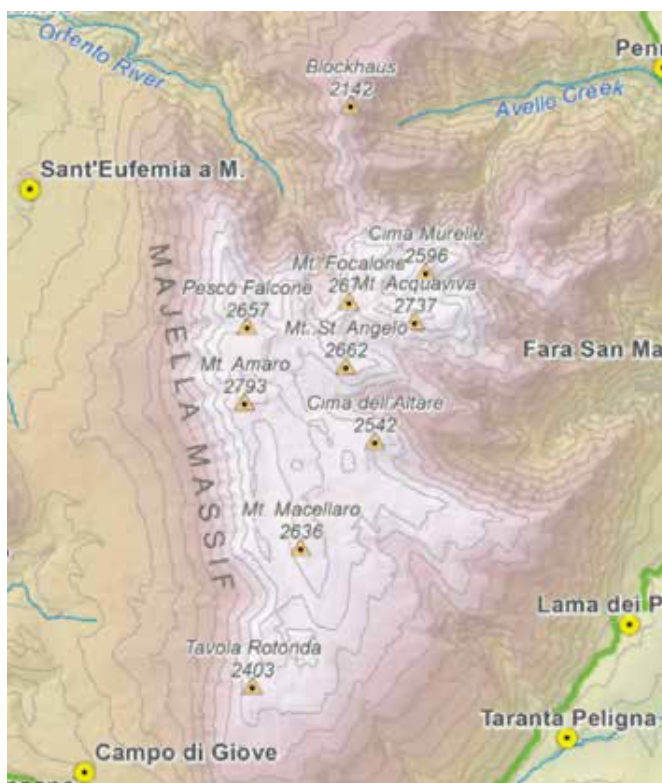
In particolare, gli aumenti termici più sensibili nelle temperature minime estive, e il progressivo ritiro del manto nevoso, incidono sulla disponibilità idrica nei suoli, con impatti che si propagano all'intero ecosistema sommitale. Il microclima locale è inoltre fortemente condizionato dalla presenza del manto nevoso e dalla composizione del suolo, che insieme determinano le nicchie ecologiche in cui le specie vegetali si insediano. La copertura nevosa, che può durare molti mesi, svolge una funzione termoregolatrice, proteggendo le comunità vegetali dalle gelate tardive e dai forti sbalzi di temperatura, mentre il rapido drenaggio dei suoli calcarei e ghiaiosi implica frequenti stress idrici durante la stagione

estiva. La complessa interazione tra clima e condizioni del substrato caratterizza quindi un ambiente estremamente selettivo, dove le specie vegetali presenti hanno sviluppato adattamenti fisiologici e morfologici sofisticati per sopravvivere.

Descrizione dell'area di osservazione

L'area di studio si concentra sulla parte sommitale del massiccio della Maiella, con quote comprese tra 2300 e 2793 metri, e comprende vette e altipiani di grande rilievo ecologico e geologico. Le località includono Monte Focalone, Cima Pomilio, Monte Sant'Angelo, Monte Rotondo, gli altipiani sopra il Terzo Portone, Monte Amaro con la sua vetta a 2793 m, Valle Cannella, Piano amaro, Grotta Canosa, Valle di Femmina Morta, Monte Macellaro e la parte alta di Valle Taranta [5] (Figura 8).

Figura 8 - Area di osservazione - ANNOTATED CHECKLIST OF THE VASCULAR FLORA Phytotaxa 412 (1) © 2019 Magnolia Press - Conti et al. 2019



Vegetazione d'alta quota: biodiversità, endemismi e adattamenti altitudinali

L'eccezionale biodiversità, concentrata soprattutto nelle zone sommitali, è il risultato di una lunga e complessa storia geologica e climatica, che ha modellato nel tempo le caratteristiche uniche di questo ambiente montano e dell'adattamento di organismi antichissimi specializzati per vivere a queste quote (Figura 9).

Specie endemiche e relitti glaciali

Una specie endemica è un organismo che si trova solo in un'area geografica molto limitata, presente esclusivamente in quel territorio e da esso dipendente per la sua sopravvivenza. Questo tipo di specie contribuisce a definire la particolarità biologica dell'area.

Le specie relitte, invece, sono veri e propri "fossili viventi": si tratta di specie che un tempo si diffondevano in aree più ampie ma che, a causa di cambiamenti climatici e ambientali, si sono progressivamente ritirate in zone ristrette dove le condizioni sono rimaste favorevoli alla loro sopravvivenza. La presenza di queste specie è strettamente legata alle glaciazioni: con lo scioglimento dei ghiacci le zone d'alta quota, con ghiaioni, rupi e praterie di vetta, e le basse temperature, sono vere e proprie isole ecologiche di rifugio, per specie ormai rarissime.

Adattamenti altitudinali

L'ambiente d'alta quota, in particolare la zona al di sopra del limite del bosco, è un ambiente estremamente selettivo e ostile. Le severe condizioni climatiche e ambientali impongono alle piante vascolari (dotate di tessuti conduttori, vascolari, differenziati) lo sviluppo di specifici meccanismi di compensazione e modificazioni adattive per la sopravvivenza.

La distribuzione, la diversità e la crescita delle specie vegetali in alta quota sono determinate da una combinazione di fattori descritti di seguito.

- Principali vincoli ambientali nelle aree d'alta quota

- Temperatura e stress da freddo: la temperatura è forse il fattore più influente. La temperatura dell'aria diminuisce regolarmente con l'aumentare dell'altitudine, inoltre l'escursione termica giornaliera è molto più accentuata rispetto alle quote inferiori, soprattutto sulle rupi esposte a Sud. Le specie della fascia alpina e nivale, essendo adatte a tollerare solo variazioni limitate di temperatura, potrebbero subire le maggiori conseguenze del cambiamento climatico.
- Disponibilità idrica e siccità: l'acqua in montagna è spesso immobilizzata sotto forma di neve o ghiaccio. L'umidità assoluta nell'atmosfera diminuisce salendo di quota. La rarefazione dell'aria e la scarsa umidità facilitano l'evaporazione. L'aumento delle temperature porta a una maggiore evaporazione, intensificando gli effetti dello stress da siccità. La presenza di suoli calcarei e ghiaiosi che per loro natura non trattengono acqua, implica inoltre frequenti stress idrici durante la breve estate.
- Radiazioni ultraviolette: aumentano proporzionalmente con la quota. Nel contesto sommitale della Maiella, le radiazioni solari rappresentano un fattore ecologico di grande rilevanza. L'intensità della radiazione ultravioletta aumenta di circa il 10-12% ogni 1000 m di quota, corrispondendo a un incremento di circa l'1% ogni 100 m. Inoltre, la presenza di detriti calcarei, con un'azione riflettente amplifica ulteriormente la quantità di luce e calore che raggiungono la vegetazione.
- Vento: è frequentemente intenso e persistente sui pianori in alta quota della Maiella, rappresenta un importante fattore di stress per la vegetazione. Oltre

a favorire un'evaporazione accelerata dell'acqua sia dalle piante sia dal suolo, il vento provoca un aumento della traspirazione, riducendo la disponibilità idrica per gli organismi vegetali. Dal punto di vista meccanico, le raffiche possono danneggiare le piante, spezzandone i rami o impedendo una crescita normale, e aumentano l'erosione del suolo, contribuendo all'instabilità del substrato.

- Suolo e substrato: la stabilità del sito e le condizioni del suolo sono cruciali per la vegetazione alpina. L'ambiente d'alta quota è caratterizzato da scarsità di suolo evoluto. Le pareti rocciose si sgretolano e i detriti si muovono, creando un ambiente di elevata instabilità.

- Adattamenti morfologici e strutturali

Le piante d'alta quota presentano un chiaro adattamento di riduzione dimensionale e specializzazioni strutturali che massimizzano lo sfruttamento delle risorse e la protezione da agenti atmosferici.

- Forme biologiche dominanti: le specie che meglio si adattano a queste condizioni sono le emicriptofite, bienni o perenni caratterizzate dall'aver le gemme situate a livello del suolo, protette durante l'inverno dai residui vegetali e dalla neve. Tipiche dei climi freddi, costituiscono la maggioranza (oltre l'80%) delle specie alle quote più alte. Queste forme biologiche beneficiano del calore che si accumula nel suolo, e si proteggono dal vento (Figure 10 e 11)
- Forme a cuscino/rosetta: molte specie presentano una forma compatta (es. *Silene acaulis*) o a cuscino. Queste forme dense permettono di utilizzare l'umidità atmosferica, di adattarsi ai forti venti, di ospitare altre specie.
- Nanismo: l'altezza media delle specie vegetali diminuisce con l'aumentare della quota. Questa taglia ridotta permette di resistere meglio al vento e alla neve e di sfruttare ogni minimo spazio offerto dal terreno o dalla roccia. Molto spesso assumono andamenti striscianti (prostrati).
- Adattamenti fogliari: le foglie possono essere piccole, coriacee o ridotte per limitare la perdita d'acqua per traspirazione. Molte piante sono ricoperte da una fitta peluria o da rivestimenti cerosi per diminuire la traspirazione, per condensare l'umidità atmosferica e per riflettere i raggi solari (Figure 12, 13, 14 e 15)
- Colore: L'intenso colore blu osservato in specie d'alta quota non è solo un tratto estetico, ma rappresenta una sofisticata strategia di difesa contro le radiazioni ultraviolette (UV), che in alta quota aumentano di intensità circa dell'1% ogni 100 metri di altitudine. Il colore blu è dovuto all'accumulo di particolari pigmenti chiamati antociani che agiscono come un filtro che protegge i tessuti vegetali dai danni diretti delle radiazioni UV-B e dallo stress ossidativo (Figure 16 e 17).
- Apparato radicale: le radici sono molto sviluppate per garantire un ancoraggio adeguato al terreno, per accumulare calore e per cercare acqua in profondità. Le specie tendono ad aumentare la quantità di acqua immagazzinata nei loro organi ipogei all'aumentare della quota, spesso svolgendo contemporaneamente una azione stabilizzatrice del suolo.

- Strategie funzionali e riproduttive

Gli adattamenti altitudinali si riflettono anche nelle strategie ecologiche adottate dalle piante e nei loro cicli vitali.

- La strategia ecologica predominante negli ambienti di alta quota è la stress-tollerante.



Figura 9 - Forme biologiche e strategie di sopravvivenza: insetto su *Leontopodium nivale* in associazione con *Silene acaulis* - ph F. Marcucci



Figura 10 - Adattamento morfologico, altezza ridotta: *Salix retusa* L. - Monte Focalone 2400 m - ph F. Marcucci



Figura 11 - Adattamento morfologico, altezza ridotta: particolare di *Salix retusa* - ph F. Marcucci



Figura 12 - Adattamento fogliare - tessuto succulento specializzato per trattenere acqua in ambienti aridi - ph F. Marcucci



Figura 13 - Adattamento fogliare - foglie coriacee - *Dryas octopetala* L. subsp. *octopetala* - ph F. Marcucci



Figura 14 - Adattamento fogliare - tomentosità come protezione dal freddo e UV: *Leontopodium nivale* - ph F. Marcucci



Figura 15 - Adattamento fogliare - tomentosità come protezione dal freddo e UV: *Achillea barnelei* - ph F. Marcucci



Figura 16 - Accumulo di antociani - colore blu intenso come protezione da UV: *Gentiana orbicularis* Schur - ph F. Marcucci



Figura 17 - Accumulo di antociani - colore blu intenso come protezione da UV: *Gentiana dinarica* (Beck) Beck - ph F. Marcucci

Le specie stress-tolleranti sono altamente efficienti e capaci di colonizzare ambienti con scarse risorse ambientali [6].

- Fenologia: la stagione estiva alpina è molto breve. Per ovviare al problema della brevità del periodo vegetativo, l'inizio della fioritura è posticipato con l'aumentare della quota (circa 30 giorni tra 2600 m e 3600 m). La durata della fioritura si riduce salendo di altitudine. La fioritura è strettamente regolata dalla scomparsa della neve.
- Longevità e ciclo vitale: la stragrande maggioranza delle piante alpine è di tipo perenne, con un ciclo vegetativo rapido. Le specie annuali sono poco frequenti. La longevità e la resistenza intrinseche proteggono le piante dai cambiamenti a breve termine.
- Riproduzione e dispersione: viste le condizioni climatiche avverse, le specie ricorrono spesso alla riproduzione vegetativa (per esempio, per gemme laterali o tramite talea/stoloni) per assicurare la successione dell'individuo.
- Disseminazione: la massa media dei semi diminuisce con l'aumentare della quota, variando da oltre 0,60 mg a 2600 m a meno di 0,30 mg a 3600 m. I semi sono generalmente piccoli e leggeri per facilitarne la dispersione a opera del vento (anemocoria). La dispersione per vento assume maggiore rilievo al crescere della quota [7].

- Impollinazione: alle quote più elevate dipende principalmente dal vettore vento, suggerendo che gli insetti sono meno frequenti o attivi nella fascia alto-alpina. Tuttavia, le piante d'alta quota si adattano alla carenza di impollinatori generando fiori particolarmente colorati e vistosi per attirare quanti più insetti possibile nei brevi periodi favorevoli [8] (Figura 19 e 20).
- Germinazione: le specie "vincenti" hanno sviluppato strategie di germinazione opportunistica, mostrando bassi requisiti termici e germinando in modo distribuito nel tempo (germinazione lenta). Questa rappresenta una strategia di evitamento del rischio che massimizza il successo del reclutamento in condizioni climatiche variabili.
- Facilitazione: è un fenomeno ecologico di primaria importanza nelle comunità alpine, dove specie come *Silene acaulis* assumono un ruolo chiave nel creare microhabitat favorevoli per la colonizzazione di altre piante meno resistenti alle condizioni estreme. Questa formazione a cuscino non solo protegge dal freddo e dal vento, ma accumula anche materiale organico e umidità, migliorando le condizioni del substrato che facilitano l'insediamento e lo sviluppo della biodiversità vegetale. La facilitazione è quindi un meccanismo di mutualismo indiretto, che contribuisce a stabilizzare e ampliare le comunità alpine in ambienti con elevate pressioni ambientali [9] [10] (Figura 21).



Figura 18 - Impollinatore su *Silene acaulis* attratti dai colori vistosi - ph F. Marcucci



Figura 19 - Impollinatore su *Silene acaulis* - ph F. Marcucci



Figura 20 - Effetto facilitatore presso manufatto umano, segnavia CAI - ph F. Marcucci



Figura 21 - Effetto facilitatore per *Achillea barrelieri* (Ten.) Sch.Bip. su *Silene acaulis* - ph F. Marcucci

- Habitat dell'area di studio

Un habitat è l'area o l'ambiente naturale in cui una determinata specie vegetale o animale, o una comunità biotica, coesiste e si sviluppa.

Gli ambienti montani d'alta quota della Maiella sono riconosciuti come veri e propri hotspot di biodiversità. I loro habitat sono cruciali per diversi motivi:

- Vulnerabilità e cambiamento climatico: sono ecosistemi altamente vulnerabili al riscaldamento climatico e ai cambiamenti nell'uso del suolo. Il monitoraggio della struttura e composizione degli habitat è una tematica di ricerca fondamentale.
- Aree rifugio: rupi e ghiaioni montani, in chiave storico-biogeografica, hanno rappresentato insostituibili isole ecologiche e rifugi per flora e fauna durante i cicli glaciali passati.
- Sopravvivenza della fauna: habitat specifici come le praterie d'alta quota e i ghiaioni sono fondamentali per la sopravvivenza della fauna locale, come il ca-

moscio appenninico (*Rupicapra pyrenaica subsp. ornata*), la cui popolazione è influenzata dalla disponibilità di risorse trofiche (valore pastorale) in tali habitat.

La gestione della biodiversità e la pianificazione conservativa si basano sulla valutazione degli habitat. La classificazione degli Habitat nel Piano di Gestione della Maiella è strettamente legata alla Direttiva Habitat 92/43/CEE dell'Unione Europea, il cui obiettivo è la conservazione degli habitat naturali e seminaturali. Il Parco Nazionale Maiella (PNM) rientra nella Zona di Protezione Speciale (ZPS) e contiene diversi Siti di Importanza Comunitaria (SIC), che costituiscono la Rete Natura 2000.

Il Piano del Parco Nazionale della Majella e la sua Valutazione di Incidenza Ambientale (VIncA) devono garantire la coerenza globale della Rete Natura 2000, tutelando e valorizzando tutti gli elementi meritevoli di conservazione.

Nelle aree sommitali d'alta quota (piano alpino/crio-temporato, oltre 2300 m s.l.m.), gli habitat di maggiore interesse comunitario e di studio sono (Tabella 1):

HABITAT DI MAGGIORE INTERESSE		
Codice UE	Habitat	Caratteristiche
6170	Formazioni erbose calcicole alpine e subalpine	Praterie alpine e subalpine, comprese quelle discontinue e le vallette nivali (come le comunità a <i>Trifolium thalii</i>), sviluppate su suoli derivanti da matrice carbonatica. Questo habitat include le praterie xerofitiche primarie.
8120	Ghiaioni calcarei e scistocalcarei montani e alpini (<i>Thlaspietea rotundifolii</i>)	Ghiaioni mobili e detritici del piano alpino e subalpino con comunità erbacee pioniere perenni (come la <i>Galium magellense community</i>).
8210	Pareti rocciose calcaree con vegetazione casmofitica	Comunità casmofitiche che colonizzano le rupi carbonatiche (come <i>Pinguicula fiorii</i> e <i>Soldanella minima subsp. samnitica</i> , endemismi esclusivi della Maiella), ambienti che svolgono un importante ruolo di rifugio.
4070*	Boscaglie di <i>Pinus mugo</i> , <i>Rhododendron hirsutum</i>	Fitte formazioni di pino mugo nella fascia subalpina (1500-2000 m), che costituiscono una fascia di transizione tra il limite superiore delle foreste e le pietraie.

Tabella 1 - Nell'area di studio i principali habitat di interesse comunitario - elaborazione F. Marcucci

Valore pastorale della vegetazione di alta quota

Come già evidenziato, il massiccio della Maiella rappresenta un nodo biogeografico di grande importanza per le piante vascolari (Catonica e Manzi, 2002). La sua conformazione e la storia climatica hanno favorito la presenza di numerose specie endemiche e la sopravvivenza di relitti glaciali. Tra gli ambienti più ricchi di biodiversità si distinguono le rupi, i ghiaioni e le praterie di vetta (Tammaro, 2000; Stanisci et al., 2010). Questo contesto si è rivelato particolarmente favorevole anche per il camoscio appenninico (*Rupicapra pyrenaica ornata*), sottospecie endemica dell'Appennino centrale, reintrodotta con successo tra il 1991 e il 1992 grazie al rilascio di esemplari sul massiccio della Maiella. Oggi, questa popolazione è la più numerosa e in salute dell'intero areale, con circa 1500 individui censiti nel 2021.

Il Parco Nazionale della Maiella ha seguito nel tempo l'evoluzione demografica della specie, coordinando il progetto LIFE Coornata (LIFE09 NAT/IT/000183) in collaborazione con altri parchi nazionali e regionali e con Legambiente. La sopravvivenza dei nuovi nati è strettamente legata alla disponibilità di specie vegetali ad alto valore nutritivo (Lovari et al., 2020), soprattutto quelle presenti alle quote più elevate dove, durante

l'estate, le femmine con i piccoli si spostano formando branchi anche superiori ai 200 individui. In queste praterie, ricche di trifogli, si concentrano le abitudini alimentari estive, grazie a una dieta ricca di proteine e povera di fibre (Lovari et al., 2014) (Figura 22).

La ricerca

Nello studio *La vegetazione d'alta quota e il suo valore pastorale nel Parco Nazionale della Maiella* [11] sono stati verificati i cambiamenti ecologici avvenuti dal 2003 al 2020, in alcune comunità vegetali di alta quota e sono stati determinati le variazioni del valore pastorale di queste specie e l'impatto sulla popolazione locale di camoscio appenninico. Il lavoro ha previsto un ri-campionamento della vegetazione erbacea nel 2020, nelle stesse aree già analizzate nel 2003, a quote comprese tra 2400 e 2794 m. Sono stati presi in esame due ambienti specifici: i ghiaioni e le micro-doline, con l'obiettivo di monitorare eventuali cambiamenti nella composizione floristica e nel valore pastorale. La vegetazione dei ghiaioni è tutelata dalla Direttiva Habitat 92/43/CEE e rientra nell'habitat "Ghiaioni calcarei e scisto-calcarei montani e alpini (*Thlaspietea rotundifolii*)" (codice 8120) (Biondi et al., 2009).



Figura 22 - Camosci al pascolo in alta quota - Cima dell'Altare 2542 m - ph F. Marcucci - agosto 2024



Figura 23 - Ambienti dove sono stati svolti i campionamenti: ghiaioni (1a) e micro-doline (1b) (foto di L.A. Santoianni). Immagini e testi: <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/periodici-tecnici/reticula/reticula-n-29-2022>

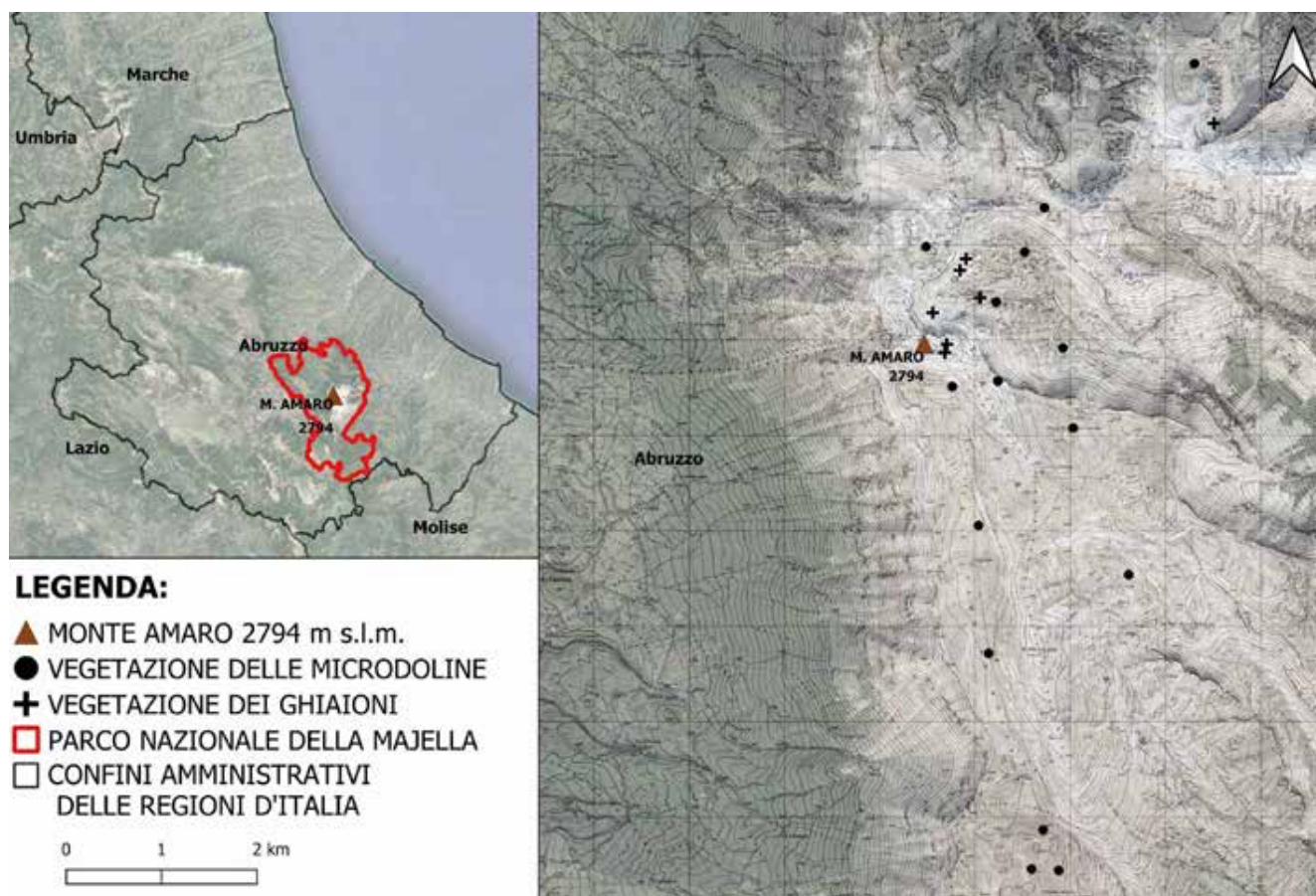


Figura 24 - Area di studio e ubicazione dei 22 siti campionati (fonte: elaborazione degli Autori). Immagini e testi: <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/periodici-tecnici/reticula/reticula-n-29-2022>

Nelle micro-doline, dominano specie come *Plantago atrata*, *Trifolium thalii* e *Taraxacum apenninum*, che formano praterie a cotico erboso chiuso (Blasi et al., 2003). Anche queste formazioni sono protette dalla Direttiva Habitat 92/43/CEE, rientrando nell'habitat "Formazioni erbose calcicole alpine e subalpine" (codice 6170) (Biondi et al., 2009). Per valutare la qualità foraggera della vegetazione, è stato utilizzato l'indice sintetico del Valore Pastorale (Daget & Godron, 1995), ampiamente applicato nei pascoli ricchi di specie erbacee perenni (Pittarello et al., 2018; Cervasio et al., 2016; Sebastia et al., 2008).

I dati del 2003 sono stati estratti dal database vegetazionale VIOLA, che raccoglie 1850 rilievi effettuati nell'Appennino centrale dagli anni Sessanta a oggi (Stanisci et al., 2016; Evangelista et al., 2016). Nel 2020, come nel 2003, la vegetazione è stata rilevata in aree di 16 m² (4x4 m): 7 aree nei ghiaioni e 15 nelle micro-doline. Per ciascun rilievo sono state registrate le specie presenti e la loro copertura/abbondanza secondo gli indici di Braun-Blanquet (1964).

Sono state così ottenute due matrici: una con 50 specie su 14 rilievi per i ghiaioni, e una con 75 specie su 30 rilievi per le micro-doline (Figura 24)

- I risultati

Dal confronto tra i dati del 2003 e quelli del 2020 emerge un aumento del valore pastorale e della copertura vegetale in entrambi gli ambienti. Questo incremento potrebbe essere attribuito a condizioni climatiche più favorevoli per la formazione del suolo, legate al riscaldamento globale

e all'allungamento della stagione vegetativa in quota, oltre che alla stabilizzazione dei versanti. In queste aree si creano condizioni ideali per la colonizzazione da parte di piante vascolari. Lo studio evidenzia un effetto di "inverdimento", dovuto soprattutto all'espansione di graminacee e altre specie erbacee di buona qualità foraggera.

Nei ghiaioni si è osservato un aumento significativo del numero di specie, da 21 nel 2003 a 48 nel 2020. Questo fenomeno è stato documentato anche sulle Alpi francesi (Carlson et al., 2017) e su altre montagne italiane monitorate dalla rete LTER (Rogora et al., 2018). Nelle micro-doline, invece, si è registrata una lieve diminuzione del numero di specie, da 70 nel 2003 a 60 nel 2020.

Il valore pastorale è aumentato in entrambi gli ambienti:

- Nei ghiaioni, grazie alla presenza di Fabaceae e Asteraceae come *Anthyllis vulneraria* subsp. *pulchella*, *Trifolium pratense* subsp. *semipurpureum* e *Taraxacum apenninum*, il valore pastorale è passato da VP2003 = 13,48 a VP2020 = 20,56 (Tabella 2).
- Nelle micro-doline, l'incremento è stato determinato da leguminose come *Trifolium thalii*, *Trifolium pratense* subsp. *semipurpureum*, *Anthyllis vulneraria* subsp. *pulchella*, *Trifolium noricum* subsp. *praetutianum*, e da Asteraceae come *Taraxacum apenninum* e *Taraxacum glaciale*, con un aumento da VP2003 = 28,58 a VP2020 = 34,54 (Tabella 3).

L'incremento del valore pastorale suggerisce che questi ecosistemi siano in grado di offrire risorse nutritive sufficienti

a sostenere l'attuale popolazione di camoscio appenninico. Le tabelle 2 e 3 riportano le specie e sottospecie

vegetali presenti nei ghiaioni e nelle micro-doline con i rispettivi valori CSP x Is (2020) - (Figura 25).

SPECIE E SOTTOSPECIE	FAMIGLIA	COEFFICIENTE di RICOPRIMENTO (CSP) 2003	COEFFICIENTE di RICOPRIMENTO (CSP) 2020	INDICE SPECIFICO (Is)	CSP x Is (2003)	CSP x Is (2020)
<i>Anthyllis vulneraria</i> subsp. <i>pulchella</i>	Fabaceae	0,00	5,98	5	0,00	29,88
<i>Isatis apennina</i>	Brassicaceae	29,23	23,51	1	29,23	23,51
<i>Festuca violacea</i> subsp. <i>italica</i>	Poaceae	0,00	6,18	2	0,00	12,35
<i>Leucopoa dimorpha</i>	Poaceae	0,96	6,18	1	0,96	6,18
<i>Poa alpina</i> subsp. <i>alpina</i>	Poaceae	2,24	2,79	2	4,47	5,58
<i>Trifolium pratense</i> subsp. <i>semipurpureum</i>	Fabaceae	0,00	1,20	4	0,00	4,78
<i>Taraxacum appenninum</i>	Asteraceae	0,00	1,20	3	0,00	3,59
<i>Senecio squalidus</i> subsp. <i>rupestris</i>	Asteraceae	3,83	3,59	1	3,83	3,59
<i>Cerastium thomasi</i>	Caryophyllaceae	0,32	2,79	1	0,32	2,79
<i>Achillea barrelieri</i> subsp. <i>barrelieri</i>	Asteraceae	0,00	0,80	2	0,00	1,59
<i>Galium magellense</i>	Rubiaceae	11,98	1,59	1	11,98	1,59
<i>Crepis pygmaea</i>	Asteraceae	1,12	1,39	1	1,12	1,39
<i>Valeriana montana</i>	Caprifoliaceae	4,79	1,39	1	4,79	1,39
<i>Alyssum cuneifolium</i>	Brassicaceae	1,92	0,60	2	3,83	1,20
<i>Noccaea stylosa</i>	Brassicaceae	0,96	0,40	2	1,92	0,80
<i>Arabis caucasica</i>	Brassicaceae	3,04	0,60	1	3,04	0,60
<i>Scorzonoides montana</i> subsp. <i>breviscapa</i>	Asteraceae	0,96	0,60	1	0,96	0,60
<i>Helictochloa praetutiana</i>	Poaceae	0,00	0,40	1	0,00	0,40
<i>Erigeron epiroticus</i>	Asteraceae	0,00	0,20	1	0,00	0,20
<i>Festuca alfrediana</i>	Poaceae	0,00	0,20	1	0,00	0,20
<i>Linaria purpurea</i>	Plantaginaceae	0,00	0,20	1	0,00	0,20
<i>Phyteuma orbiculare</i>	Campanulaceae	0,96	0,20	1	0,96	0,20
<i>Valeriana salunca</i>	Caprifoliaceae	0,00	0,20	1	0,00	0,20
VP = 0,2 * ΣCSPi x Isi					13,48	20,56

Tabella 2 - In tabella sono riportate le specie e sottospecie vegetali degli ambienti di ghiaione con valore di CSP x Is (2020) maggiore di 0 - fonte: Reticula n. 29/2022

SPECIE E SOTTOSPECIE	FAMIGLIA	COEFFICIENTE di RICO-PRIMENTO (CSP) 2003	COEFFICIENTE di RICO-PRIMENTO (CSP) 2020	INDICE SPECIFICO (Is)	CSP x Is (2003)	CSP x Is (2020)
<i>Trifolium thalii</i>	Fabaceae	18,74	20,66	2	37,47	41,32
<i>Plantago atrata</i> subsp. <i>atrata</i>	Plantaginaceae	19,74	19,50	2	39,47	38,99
<i>Trifolium pratense</i> subsp. <i>semipurpureum</i>	Fabaceae	2,79	5,56	4	11,17	22,23
<i>Taraxacum appenninum</i>	Asteraceae	1,21	5,10	3	3,63	15,29
<i>Phleum rhaeticum</i>	Poaceae	2,11	4,54	3	6,32	13,63
<i>Taraxacum glaciale</i>	Asteraceae	2,50	3,51	3	7,50	10,54
<i>Poa alpina</i> subsp. <i>alpina</i>	Poaceae	3,33	2,43	4	13,34	9,70
<i>Anthyllis vulneraria</i> subsp. <i>pulchella</i>	Fabaceae	0,38	1,70	5	1,88	8,51
<i>Crepis aurea</i> subsp. <i>glabrescens</i>	Asteraceae	3,88	0,84	4	15,51	3,36
<i>Festuca violacea</i> subsp. <i>italica</i>	Poaceae	0,31	0,92	2	0,63	1,83
<i>Trifolium noricum</i> subsp. <i>praetutianum</i>	Fabaceae	0,13	0,57	3	0,38	1,72
<i>Astragalus depressus</i> subsp. <i>depressus</i>	Fabaceae	0,29	1,61	1	0,29	1,61
<i>Helictochloa praetutiana</i>	Poaceae	0,15	0,74	1	0,15	0,74
<i>Senecio squalidus</i> subsp. <i>rupestris</i>	Asteraceae	0,02	0,61	1	0,02	0,61
<i>Luzula spicata</i>	Juncaceae	0,27	0,61	1	0,27	0,61
<i>Cerastium arvense</i> subsp. <i>suffruticosum</i>	Caryophyllaceae	0,44	0,13	3	1,31	0,40
<i>Gentiana verna</i> subsp. <i>verna</i>	Gentianaceae	0,19	0,34	1	0,19	0,34
<i>Pilosella lactucella</i>	Asteraceae	0,77	0,29	1	0,77	0,29
<i>Scorzoneroideis montana</i> subsp. <i>breviscapa</i>	Asteraceae	0,52	0,23	1	0,52	0,23
<i>Cerastium thomasi</i>	Caryophyllaceae	0,44	0,17	1	0,44	0,17
<i>Achillea barrelieri</i> subsp. <i>barrelieri</i>	Asteraceae	0,21	0,06	2	0,42	0,12
<i>Juncus monanthos</i>	Juncaceae	0,02	0,11	1	0,02	0,11
<i>Erigeron epiroticus</i>	Asteraceae	0,06	0,10	1	0,06	0,10
<i>Polygala alpestris</i>	Polygalaceae	0,02	0,04	2	0,04	0,08
<i>Galium magellense</i>	Rubiaceae	0,19	0,04	1	0,19	0,04
<i>Bellidiastrum michelii</i>	Asteraceae	0,00	0,02	1	0,00	0,02
VP = 0,2 * $\sum$ CSPi x Isi					28,58	34,52

Tabella 3 - In tabella sono riportate le specie e sottospecie vegetali degli ambienti di micro-dolina con valore di CSP x Is (2020) maggiore di 0 - fonte: Reticula n. 29/2022



Figura 25 - Piano Amaro 2500 m - camosci al pascolo in quota - ph F. Marcucci - agosto 2024

Il progetto GLORIA

Il progetto GLORIA (*Global Observation Research Initiative in Alpine Environments*) è una rete internazionale di ricerca a lungo termine che monitora l'impatto del cambiamento climatico sulla biodiversità e sulla vegetazione degli ecosistemi montani d'alta quota, considerati particolarmente vulnerabili [12].

Area di osservazione

Il campionamento nel progetto GLORIA viene effettuato all'interno di specifiche regioni target (TR), ognuna composta da un minimo di tre fino a quattro cime montane disposte secondo un gradiente altitudinale che si estende dal limite superiore della vegetazione arborea fino alla zona nivale. Questa configurazione consente di analizzare in modo sistematico e comparabile la variazione della vegetazione lungo un asse verticale, fondamentale per studiare come il clima influenzi la distribuzione delle specie in ambienti d'alta quota.

La selezione delle cime segue criteri rigorosi e scientificamente motivati, essenziali per garantire l'omogeneità dei dati raccolti e la comparabilità tra siti diversi. In primo luogo, tutte le vette all'interno di una stessa regione devono appartenere allo stesso regime climatico regionale, così da evitare la confusione dovuta a differenze climatiche significative, come quelle tra versanti a vento e riparo o tra esposizioni con irraggiamento solare differente. Questa omogeneità climatica è indispensabile per isolare gli effetti del cambiamento globale su una base coerente. Un altro fattore critico riguarda la litologia delle cime: devono essere composte da substrati rocciosi simili, perché substrati geologici diversi (per esempio calcarei contro silicei) influenzano direttamente le caratteristiche del suolo, la disponibilità di nutrienti e quindi la composizione floristica. Mantenere uniformità litologica permette di attribuire eventuali variazioni osservate nella vegetazione più direttamente agli effetti climatici piuttosto che a differenze geologiche. La morfologia delle vette deve essere "moderata", evitando sia cime eccessivamente ripide. Questa condizione assicura un habitat diversificato ma rappresentativo, con un'ampia gamma di microambienti ed esposizioni (nord, est, sud, ovest) facilmente accessibili per il campionamento replicabile.

Infine, è fondamentale che le aree di studio presentino un basso livello di disturbo antropico. Una scarsa pressione da pascolo intensivo e poco traffico escursionistico riducono il rischio che fattori umani alterino i segnali ecologici legati al cambiamento climatico. Ciò permette di osservare più chiaramente le risposte naturali dell'ecosistema.

Tra i siti di studio europei più rappresentativi che rispettano questi criteri vi sono l'Appennino centrale (IT-CAM), con aree di grande valore biogeografico come la Maiella; l'Appennino settentrionale (IT-NAP), importante per la variabilità climatica ed ecologica; la Sierra Nevada in Spagna (ES-SNE), caratterizzata da condizioni mediterranee e da una forte pressione idrica; e le Alpi Meridionali (IT-ADO), che rappresentano un sistema montano con dinamiche climatiche e floristiche differenti. Questa rete di siti fornisce una visione comparativa su diverse realtà montane e consente di identificare

pattern generali e specifici locali nella risposta degli ecosistemi alpini al cambiamento globale.

Tecnologie utilizzate

Il metodo GLORIA è stato sviluppato con l'obiettivo di offrire un approccio efficace, ma al contempo semplice e a basso costo, per il monitoraggio ambientale in ecosistemi montani remoti e spesso difficili da raggiungere. Questa caratteristica lo rende particolarmente adatto anche a spedizioni con risorse limitate, dove l'uso di attrezzature sofisticate e costose sarebbe poco praticabile o troppo oneroso. La semplicità del metodo facilita inoltre la replicabilità e l'adozione su scala globale, permettendo una raccolta dati standardizzata e comparabile tra diverse catene montuose e regioni alpine.

Per quanto riguarda il monitoraggio climatico, il progetto si avvale principalmente di registratori di dati di temperatura, detti *Data Loggers*, dispositivi elettronici compatti e resistenti, capaci di registrare in modo continuo e autonomo le variazioni termiche nel tempo, senza la necessità di interventi frequenti sul campo.

I *Data Loggers* vengono posizionati nel terreno in punti rappresentativi dell'ecosistema da monitorare, registrando costantemente la temperatura del suolo, una variabile ambientale fondamentale per interpretare i processi ecologici che influenzano la vegetazione alpina. Questi dati consentono di calcolare indici termici essenziali, come la durata precisa della stagione di crescita vegetativa, attraverso la determinazione delle date di scioglimento e di copertura nevosa. La presenza e la durata della neve sono parametri chiave in quanto influenzano direttamente la disponibilità di acqua, la protezione dal gelo e la finestra temporale per la fotosintesi e la riproduzione delle piante alpine.

Inoltre, il basso fabbisogno energetico e la lunga autonomia di registrazione dei dispositivi permettono di effettuare monitoraggi di lungo termine senza la necessità di frequenti interventi logistici. Questo riduce sia i costi operativi sia il disturbo antropico sulle aree monitorate, preservando l'integrità degli ecosistemi osservati. L'adozione di tecnologie semplici ma robuste rappresenta quindi un equilibrio ottimale tra precisione scientifica e sostenibilità operativa, garantendo dati climatici di qualità che supportano l'analisi delle risposte vegetali al cambiamento climatico in contesti ambientali complessi e variabili.

Tecniche di rilevamento e raccolta dati

Le rilevazioni all'interno del progetto GLORIA sono pianificate e realizzate su un orizzonte temporale di lungo periodo, con campagne di monitoraggio che si ripetono generalmente ogni 5-10 anni, e con frequenze tipiche di circa 6-7 anni. Questo intervallo temporale è studiato per bilanciare la necessità di rilevare cambiamenti ecologici significativi dovuti al mutamento climatico, che spesso si manifestano lentamente, con la gestione pratica delle risorse e l'accessibilità ai siti di alta quota, che possono essere costosi e difficili da raggiungere. Il protocollo, denominato STAM (*Standardized Multi-summit Approach*), divide ogni vetta in otto sezioni chiamate SAS (*Standardized Altitudinal Sections*). Quattro

di queste sezioni si estendono dal punto più alto della vetta fino a 5 m di dislivello, mentre le altre quattro coprono la fascia tra i 5 e i 10 m di dislivello. Ogni sezione è orientata verso uno dei quattro punti cardinali – Nord, Est, Sud e Ovest – per garantire una copertura completa delle diverse esposizioni microclimatiche e ambientali. Questa suddivisione permette di analizzare in modo accurato e sistematico la distribuzione e l'abbondanza delle specie vegetali rispetto all'altitudine, all'esposizione solare e ad altri fattori ambientali variabili.

Il rilevamento della vegetazione si basa principalmente sull'osservazione diretta e sulla stima visiva della copertura delle specie vascolari presenti in ciascuna sezione SAS. Per rendere quantitativamente comparabili i dati raccolti, le stime qualitative sono convertite in classi ordinali e associate a valori numerici percentuali di copertura. Questa trasformazione da classi qualitative a valori numerici è l'indice *Cliff's Delta* (Indice di Dimensione dell'Effetto), un nuovo protocollo di analisi per rilevare aumenti o diminuzioni significative nell'abbondanza delle specie presenti nel sito di studio, incluse quelle rare con pochi dati, e le specie nuove o scomparse, determinare specie vegetali "vincenti" (aumenti significativi di abbondanza) e "perdenti" (diminuzioni significative di abbondanza) in risposta al cambiamento climatico,

Le classi utilizzate sono:

- **rl** (molto rara): corrisponde a circa lo 0,1% di copertura, indica la presenza sporadica e localizzata di una specie;
- **r** (rara): circa 5% di copertura, indica una presenza limitata ma individuabile;
- **s** (sparsa): circa 17,5%, indica una distribuzione sparsa su una parte significativa dell'area;
- **c** (comune): circa 37,5%, per specie con rilevante presenza ma non dominanti;
- **d** (dominante): superiore al 50% (mediamente 75%), per specie che coprono gran parte dell'area e influenzano fortemente la struttura vegetale.

SES (*Standardized Effect Size*): calcola la variazione relativa di frequenza o abbondanza, confrontando i valori rilevati nell'ultimo monitoraggio e quelli iniziali. Questo approccio standardizzato consente di confrontare i cambiamenti tra specie e siti diversi su una scala comune, migliorando la comparabilità dei dati. L'integrazione di queste tecniche di rilevamento e di analisi statistica fornisce un quadro

rigoroso e affidabile delle dinamiche vegetali negli ecosistemi alpini, rendendo possibile l'identificazione precoce di tendenze legate ai cambiamenti climatici.

Risultati

Le analisi condotte sui dati raccolti dal network GLORIA hanno evidenziato che il cambiamento della vegetazione sulle cime alpine sta accelerando sotto l'effetto del cambiamento climatico. Questo fenomeno è particolarmente marcato lungo l'Appennino. I risultati principali delle analisi sulle dinamiche di popolazione a livello di singola specie, ottenuti sui dati raccolti dal network GLORIA, includono:

1. Stabilità generale vs. cambiamento di abbondanza: nonostante il forte riscaldamento recente, l'abbondanza complessiva delle specie alpine monitorate è rimasta relativamente stabile negli ultimi vent'anni, con circa due terzi delle specie che non hanno mostrato variazioni significative (SES tra -1 e 1). La maggior parte delle specie ha mostrato pattern stabili anche nella frequenza di presenza.
2. Specie con variazioni rilevabili: sebbene l'abbondanza complessiva sia rimasta stabile per la maggior parte delle specie, circa il 30% ha mostrato variazioni rilevabili (aumenti o diminuzioni) negli ultimi vent'anni di monitoraggio GLORIA. Tali variazioni di abbondanza riflettono i principali processi demografici – quali crescita, riproduzione e mortalità – che rispondono direttamente ai cambiamenti climatici.
3. Quantificazione di vincitori e perdenti (siti italiani): sono stati analizzati i dati vegetazionali di tre siti GLORIA italiani, esaminando 413 specie vascolari e identificando 41 specie vincenti e 24 perdenti.
4. Differenze regionali: i risultati mostrano che le comunità vegetali stanno cambiando più rapidamente nei siti appenninici. L'analisi delle dinamiche di abbondanza, in aumento o in diminuzione, ha rivelato alcune tendenze regionali specifiche. In particolare, la proporzione di declini moderati di abbondanza (SES tra -1 e -2) variava dall'8% nella Sierra Nevada al 15% nell'Appennino centrale (IT-CAM).

Questi risultati sono fondamentali in quanto suggeriscono che, comunità vegetali legate al freddo stanno subendo cambiamenti demografici significativi in risposta al riscaldamento climatico in corso (variazione di abbondanza), segnale precoce della trasformazione accelerata della vegetazione d'alta quota.



Figura 26 - *Gentiana dinarica* Beck e *Pinus mugo* - ph F. Marcucci

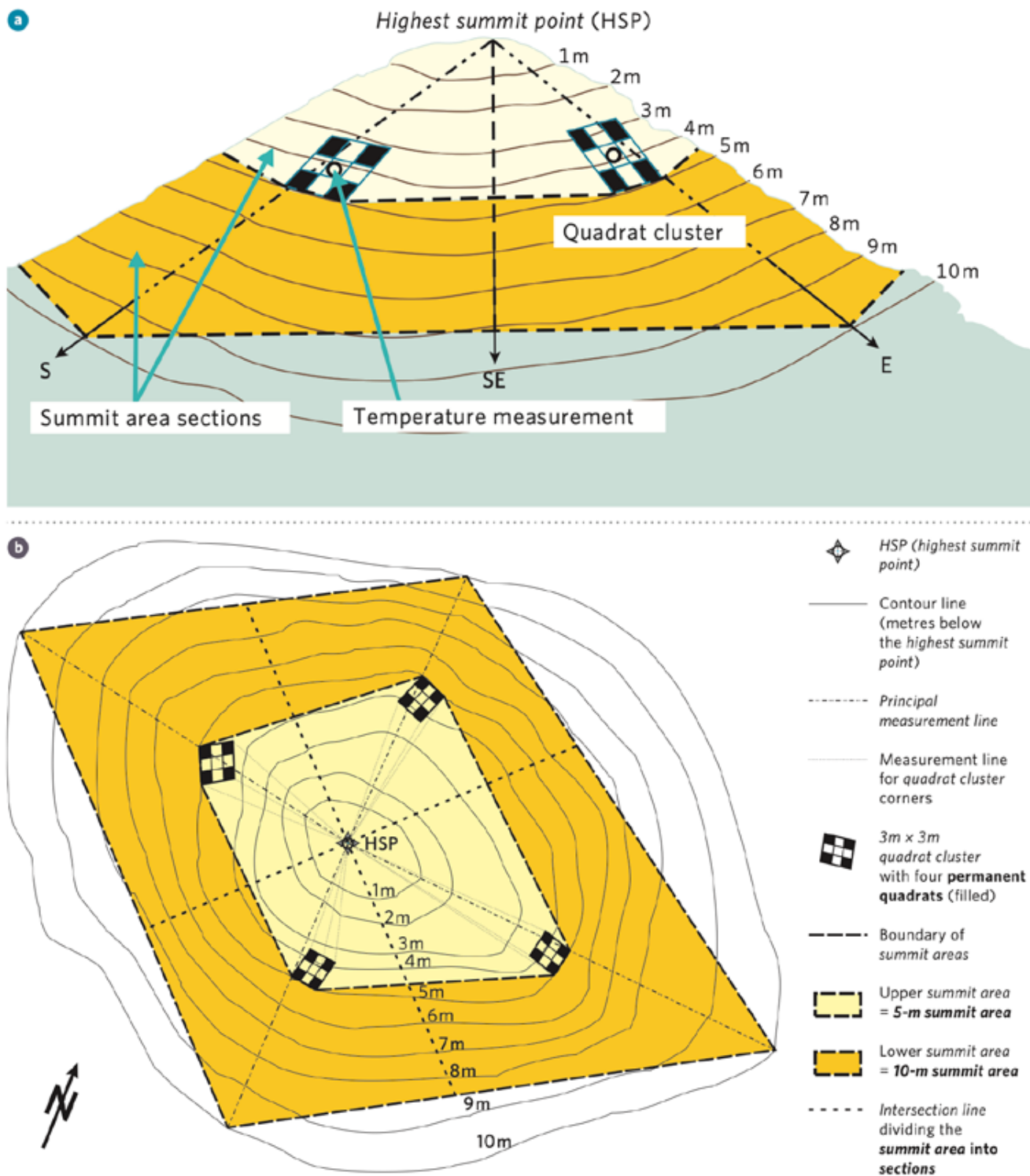


Figura 27 - Rappresentazione schematica di esempio sul funzionamento della ricerca del progetto GLORIA. Settore A (in alto): vista laterale con linee di contorno schematiche. Settore B (parte in basso): Vista dall'alto. Il cluster quadrato di 3x3 m e i vertici delle aree sommitali sono disposti lungo le principali direzioni geografiche (N, E, S, O). Ogni cluster quadrato può essere disposto a sinistra o a destra della linea di misurazione principale, a seconda della situazione del terreno e dell'habitat locale (indipendentemente dalle rispettive impostazioni degli altri tre cluster quadrati). Come regola generale, sinistra e destra sono sempre definite guardando verso il punto sommitale più alto - Fonte: <https://www.gloria.ac.at/methods/manual>

Osservazioni sul campo

Arrivati sulle aree sommitali della Maiella, si aprono davanti agli occhi i vasti altipiani lastricati di pietra calcarea fratturata e ghiaioni sconfinati. È il paesaggio lunare della Maiella. Qui, la natura si presenta in tutta la sua austera grandezza e potenza. Questo scenario unico e selvaggio incanta chiunque con un'aura di mistero: un microcosmo di biodiversità.

L'aria rarefatta è permeata dal silenzio e da un'intensità che mette a nudo la complessità delle relazioni ecologiche. Qui convivono specie endemiche, preziose testimonianze di millenni di evoluzione e adattamento. L'esperienza diretta in questo ambiente affascina e commuove: la curiosa presenza dei camosci, ogni fiore, ogni prateria, ogni dettaglio rivela strategie di sopravvivenza straordinarie e un equilibrio delicato che invita a riflettere sull'importanza vitale della conservazione di questi luoghi così fragili e irripetibili. Questi gioielli di biodiversità non sono solo oggetto di studio scientifico, ma custodi vitali di una storia naturale. Proteggerli significa preservare un'eredità insostituibile, mantenere vivi gli antichi segreti di una natura che continua a meravigliare e insegnare il valore profondo dell'armonia tra uomo e ambiente.

Metodologia e valore del monitoraggio (2022-2025)

Il presente lavoro non costituisce solo una sintesi documentale, ma si fonda su un'attività di monitoraggio svolta tra giugno e agosto degli anni 2022-2025. Il contributo risiede nella validazione visiva delle dinamiche ecologiche descritte dalla letteratura (Santoianni *et al.* e network GLORIA). La documentazione fotografica prodotta è stata solo in parte selezionata per questa pubblicazione e funge da testimonianza dei cambiamenti in atto, permettendo di confrontare i dati storici con lo stato di conservazione degli habitat d'alta quota per gli anni di riferimento. Il monitoraggio è ancora attivo e proseguirà nei prossimi anni.

L'osservazione botanica oltre i 2300 m sulla Maiella presenta sfide logistiche che influenzano la frequenza dei monitoraggi. L'assenza di acqua, il peso dell'attrezzatura, le condizioni di luce, influenzano i tempi di permanenza in quota e di conseguenza la possibilità di acquisire dati. La vegetazione alpina presenta una distribuzione spesso sparsa e con specie che si mimetizzano con l'ambiente circostante, rendendo complesse le identificazioni rapide. Le condizioni climatiche mutevoli e severe, il terreno accidentato rappresentano ulteriori ostacoli all'osservazione.

Discussione critica degli habitat e della flora sommitale

• Il deperimento della *Silene acaulis*

Durante i rilievi presso il Monte Acquaviva e il Monte Amaro, è stata dedicata particolare attenzione alla specie *Silene acaulis* (L.) Jacq. subsp. *bryoides* (Jord.) Nyman con un ampio numero di immagini.

Sebbene questa specie agisca da "nurse plant" (pianta nutrice) facilitando l'insediamento di altre specie, l'analisi condotta alla luce degli studi di Bonanomi *et al.* (2016, 2023) evidenzia una crescente vulnerabilità.

Nonostante la morfologia compatta a cuscino serva a trattenere umidità, si sono riscontrati esemplari con necrosi

centrali: questo fenomeno di *dieback* (deperimento) è un segnale preoccupante dello stress termico al limite meridionale della sua distribuzione appenninica.

• Validazione del "greening" e valore pastorale (Habitat 8120 e 6170)

Le osservazioni dirette effettuate presso la Cima dell'Altare (2542 m) confermano visivamente il fenomeno del "greening" (inverdimento) descritto da Santoianni *et al.* (2022). Le fotografie realizzate mostrano una colonizzazione più densa dei ghiaioni.

Questo incremento della copertura non è solo un dato statistico, ma si traduce in una maggiore disponibilità trofica per il camoscio appenninico (*Rupicapra pyrenaica* subsp. *ornata*). Durante tutte le sessioni di monitoraggio 2022-2025, si sono documentati numerosi branchi in prossimità delle micro-doline (Habitat 6170), confermando l'importanza di queste praterie ad alto valore nutritivo per la sopravvivenza della specie (*Trifolium thalii*, *Plantago atrata*).

Si è potuta documentare la presenza del camoscio appenninico in tutti gli habitat oggetto di questo studio, fino al limite più basso delle mughete.

• Dinamiche a lungo termine delle boscaglie (Habitat 4070)

Per quanto riguarda le boscaglie di *Pinus mugo* documentate dal Blockhaus (2140 m) fino a Fonte Acqua Gelata (2378 m), le immagini evidenziano popolamenti estremamente fitti e in aumento. Integrando questa osservazione con le ricerche di Calabrese *et al.* (2018), è possibile interpretare tale densità come un cambiamento ecologico a lungo termine: la progressiva espansione del pino mugo verso quote superiori, sebbene lenta, potrebbe alterare la struttura degli habitat sommitali riducendo lo spazio per le specie d'alta quota.

La selezione delle immagini per le osservazioni sul campo è schematizzata per ogni tipo di habitat preso in considerazione nella seguente Tabella 4:

Habitat 4070 - Boscaglie di <i>Pinus mugo</i>		
Elenco specie documentate		Documentazione fotografica realizzata n°
1.	<i>Pinus mugo</i>	11
2.	<i>Cymbalaria pallida</i>	2
3.	<i>Gentiana dinarica</i> (Beck) Beck	1
4.	<i>Cynoglossum magellense</i> Ten.	2
5.	<i>Gentiana lutea</i> L.	2
6.	<i>Dactylorhiza sambucina</i> (L.) Soó	1
7.	<i>Cephalanthera rubra</i> (L.) Rich.	1
8.	<i>Cephalanthera longifolia</i> (L.) Fritsch	1
9.	<i>Pulsatilla alpina</i> (L.) Chaz	1
10.	<i>Phyteuma orbiculare</i> L.	1
11.	<i>Gentianopsis ciliata</i> (L.) Ma	1
Habitat 8210 - Pareti rocciose calcaree con vegetazione casmofita		
Elenco specie documentate		Documentazione fotografica realizzata n°
1.	<i>Pinguicula fiorii</i> Tammaro & Pace	3

Habitat 8120 - Ghiaioni calcarei		
Elenco specie documentate		Documentazione fotografica realizzata n°
1.	<i>Rupicapra pyrenaica</i> subsp. <i>ornata</i>	5
2.	<i>Adonis distorta</i> Ten.	1
3.	<i>Papaver alpinum</i> L.	1
4.	<i>Crepis magellensis</i>	2
5.	<i>Isatis apennina</i> Ten. ex Grande	1
6.	<i>Bistorta vivipara</i> (L.) Delarbre	1
7.	<i>Cerastium thomasii</i> Ten.	1
8.	<i>Armeria gracilis</i> subsp. <i>majellensis</i>	1
9.	<i>Androsace villosa</i> L.	1
10.	<i>Linaria alpina</i> (L.) Mill.	1
11.	<i>Myosotis</i>	1
12.	<i>Gentiana verna</i> L.	1
13.	<i>Achillea barrelieri</i> (Ten.)	1
14.	<i>Leontopodium nivale</i> (Ten.)	1
15.	<i>Artemisia eriantha</i> (Genepi)	1
16.	<i>Campanula fragilis</i> subsp. <i>cavolinii</i>	1
17.	<i>Erigeron alpinus</i> L.	1
18.	<i>Viola magellensis</i> Porta & Rigo	2
19.	<i>Silene acaulis</i> subsp. <i>bryoides</i>	2
Habitat 6170 - Formazioni erbose calcicole alpine e subalpine		
Elenco specie documentate		Documentazione fotografica realizzata n°
1.	<i>Rupicapra pyrenaica</i> subsp. <i>ornata</i>	5
2.	Formazioni erbose nelle doline carsiche	5
3.	Copertura erbosa discontinua	1

Tabella 4 - In tabella sono sintetizzate le varie attività documentali del monitoraggio botanico, faunistico e paesaggistico realizzato tra il 2022 e il 2025, nei mesi tra giugno e agosto di ogni anno. Le foto inserite nella documentazione sono quelle selezionate dall'autore.

A seguire alcuni esempi della documentazione fotografica realizzata nei vari habitat dove si è svolto il lavoro di monitoraggio.

L'intera raccolta documentale è a disposizione contattando l'autrice.



Figura 28 - Muggheta densa di *Pinus mugo* Turra subsp. *mugo* - ph F. Marcucci



Figura 29 - *Cymbalaria pallida* (Ten.) Wettst., endemica italiana - ph F. Marcucci



Figura 30 - *Cynoglossum magellense* Ten. - ph F. Marcucci



Figura 31 - *Gentiana lutea* - ph F. Marcucci



Figura 32 - *Viola magellensis* Porta & Rigo - ph F. Marcucci



Figura 33 - Pareti rocciose calcaree con vegetazione pioniera casmofitica - ph F. Marcucci



Figura 34 - *Cymbalaria pallida* Ten. - ph F. Marcucci



Figura 35 - Vista su Valle di Macchia Lunga da Cima dell'Altare a 2363 m - ph F. Marcucci



Figura 36 - *Potentilla crantzii* nelle vicinanze del Bivacco Fusco (2455 m) - ph F. Marcucci



Figura 37 - *Crepis magellanicus* sul detrito calcareo - ph F. Marcucci



Figura 38 - *Pinguicula fiorii* Tommaro & Pace - ph F. Marcucci



Figura 39 - *Adonis distorta* Ten e *Papaver alpinum* L. a 2500 m - ph F. Marcucci



Figura 40 - *Erigeron alpinus* L. - ph F. Marcucci



Figura 41 - Camosci al pascolo osservati dal Bivacco Fusco - ph F. Marcucci



Figura 42 - Vista dal Blockhaus (2140 m) verso le cime del massiccio della Maiella - ph F. Marcucci

Conclusioni

Le aree sommitali del Massiccio della Maiella sono soggette a un insieme complesso di fattori climatici e pressioni antropiche che ne influenzano la biodiversità e le dinamiche ecologiche. Sebbene le pressioni antropiche (come l'escursionismo e interventi infrastrutturali) siano moderate rispetto ad altre zone montane, possono comunque alterare gli habitat, con effetti negativi sulla diversità vegetale spontanea e sui processi naturali di rigenerazione. La conservazione dell'area sommitale richiede un'attenzione continua, per mitigare gli effetti del crescente turismo e dei cambiamenti climatici che possono compromettere il fragile equilibrio degli ecosistemi alpini. Di fronte a queste sfide, il monitoraggio e la conservazione della biodiversità vegetale sommitale sono essenziali, rendendo importanti strategie *in situ*, *ex situ*.

La conservazione *in situ* prevede la tutela diretta degli ecosistemi nei loro contesti naturali originali. L'azione di monitoraggio è l'attività più ricorrente. Ultimo, solo in ordine di tempo, è il progetto MAIA (Monitoraggio della Biodiversità Altomontana del Parco Nazionale della Maiella) un'importante iniziativa finanziata dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Il progetto ha l'obiettivo di svolgere un monitoraggio multi-taxa e multilivello a medio-lungo termine della biodiversità in ambienti d'alta quota della Maiella. Il focus è su habitat e specie animali e vegetali particolarmente sensibili ai cambiamenti climatici, con l'intento di valutare lo stato di conservazione, le pressioni, la vulnerabilità e la capacità di resilienza di queste componenti. Il progetto si articola in quattro azioni principali distribuite in un periodo di 20 mesi, da marzo 2024 a ottobre 2025. Tra le attività per la parte botanica c'è il monitoraggio delle praterie e arbusteti altomontani, con campionamenti stratificati e georeferenziazione delle aree permanenti di studio per la valutazione di impatti dovuti a erbivori e cambiamenti climatici.

La conservazione *ex situ* avviene attraverso strumenti come le banche del germoplasma e gli orti botanici, garantendo una riserva genetica preziosa per eventuali interventi di ripristino e reintroduzione. L'integrazione di queste due strategie, supportata da una rete efficiente di monitoraggio e gestione, è considerata la risposta più efficace alle pressioni ambientali e ai cambiamenti climatici in atto.

Tale approccio si allinea alle strategie internazionali, come la Convenzione sulla Diversità Biologica (CBD) e la Strategia Globale per la Conservazione delle Piante (GSPC), sottolineando la complementarità tra le misure *ex situ* e *in situ* per la tutela degli ecosistemi montani vulnerabili.

Un ruolo fondamentale nella conservazione *ex situ* della flora spontanea italiana è svolto da RIBES (Rete Italiana delle Banche del germoplasma), costituita ufficialmente nel 2005. Questa rete coordina circa 20 istituzioni tra orti botanici universitari, enti locali, parchi naturali, musei, società private e ONLUS, distribuite sull'intero territorio nazionale. Gli obiettivi principali di RIBES includono il miglioramento della qualità e della sicurezza delle collezioni di germoplasma vegetale, l'attuazione di strategie integrate di conservazione per le specie minacciate e la promozione della collaborazione tra i nodi della

rete per condividere conoscenze, tecnologie e pratiche gestionali. RIBES contribuisce così alla tutela della biodiversità vegetale italiana e al raggiungimento degli obiettivi europei e globali di conservazione.

La conservazione delle aree sommitali della Maiella necessita di attenzione continua e di un approccio multidisciplinare. La strategia più efficace per salvaguardare il fragile equilibrio degli ecosistemi alpini e la biodiversità vegetale potrebbe essere quella di combinare un monitoraggio rigoroso con una tutela integrata *in situ* ed *ex situ* oltre che una stretta collaborazione tra istituzioni. Inoltre, è fondamentale promuovere attività di divulgazione scientifica per aumentare la consapevolezza pubblica sull'importanza del patrimonio naturale e della biodiversità, favorendo così un coinvolgimento più ampio della società nella tutela e valorizzazione degli ecosistemi locali.

Note

1. Aurelio Manzi (2019). *La flora endemica minacciata delle montagne italiane*. Club Alpino Italiano
2. Manzi, A. (2012). *Storia dell'ambiente nell'Appennino centrale*. Meta (Treglio)
3. <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/suolo-e-territorio/cartografia/carta-geologica-della-majella/carta-geologica-della-majella>
4. Catonica C., Manzi A., 2002. L'influenza della storia climatica e geologica recente sulla flora d'alta quota dei gruppi montuosi del Gran Sasso e della Majella (Appennino Centrale)
5. Di Fabrizio A., Ferroni E., Taffetani F., 2005. *Cenni floristici e vegetazione d'alta quota della Majella*
6. Körner, C. (2003). *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. Springer
7. Körner, C. (2003). *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. Springer
8. Molau, U., & Larsson, S. (2000). *Pollination in alpine plants*
9. Schöb, C., Michalet, R., & Callaway, R. M. (2014). Facilitation by a cushion plant increases species richness and evenness in alpine grasslands. *Ecology*, 95(10), 2827-2834
10. Callaway, R. M. (2002). Positive interactions among plants. *The Botanical Review*, 68(4), 313-349
11. Santoianni, Lucia AU - Varricchione, Marco AU - Carranza, Maria AU - Stanisci, Angela AU - Di Cecco, Valter AU - Martino, Luciano AU - Antonucci, Antonio PY - 2022/05/16 SP - T1 - La vegetazione erbacea d'alta quota e il suo valore pascolare nel Parco Nazionale della Majella - Reticula 29/2022
12. Gloria.ac.at. (2025). Gloria. <https://www.gloria.ac.at/network/region/CAM>

Bibliografia

- AUTORI VARI (2019). *La flora endemica minacciata delle montagne italiane*. Club Alpino Italiano
- BIONDI E., BLASI C., BURRASCANO S., CASAVECCHIA S., COPIZ R., DEL VICO E., GALDENZI D., GIGANTE D., LASEN C., SPAMPINATO G., VENANZONI R., ZIVKOVIC L. (2009). *Manuale Italiano di interpretazione degli habitat della Direttiva 92/43/CEE*. SBI, MATTM
- BONANOMI G., STINCA A., CHIRICO G. B., CIASCHETTI G., SARACINO A. & INCERTI G., 2016 - Cushion plant morphology controls biogenic capability and facilitation effects of *Silene acaulis* along an elevation gradient. *Functional Ecology*, 30(7): 1216-1226.
- BONANOMI G., IDBELLA M., ALLEGREZZA M. et al. (2023) Dieback of the cushion plant *Silene acaulis* at its southern limit of distribution in the Apennines. *Alp Botany* 133: 57-62.

- 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(3): 70.
- CATONICA C., MANZI A. (2002). *L'influenza della storia climatica e geologica recente sulla flora d'alta quota dei gruppi montuosi del Gran Sasso e della Majella (Appennino Centrale)- Incontri di Oropa*, Atti. Supplemento Riv. Piem. St. Nat., 23: 19-29
- CIASCHETTI G., DI CECCO M.D. (2023). *Ulteriore contributo alla flora vascolare del Parco Nazionale della Maiella e aree limitrofe* - Notiziario Società Botanica Italiana, 7 (2023)
- CONTI F., BARTOLUCCI F., CIASCHETTI G., MANZI A.M., DI MARTINO L. (2020). *Flora del Parco Nazionale della Majella*. Vol. 1-2
- CONTI F., CIASCHETTI G., DI MARTINO L., BARTOLUCCI F. (2019). *An annotated checklist of the vascular flora of Majella National Park (Central Italy)*. *Phytotaxa* 412: 1-90
- CONTI F., FALCINELLI F., GIACANELLI V., SANTUCCI B., MIGLIO M., MANZI A., BARTOLUCCI F. (2023). *New floristic data of vascular plants from central Italy*. *Natural History Sciences*, 10(1).
- DI FABRIZIO A., FERRONI E., TAFETANI F. (2005). *Cenni floristici e vegetazione d'alta quota della Majella*. In: Di Cecco M., Andrisano T. (a cura di): *La biodiversità vegetale nelle aree protette in Abruzzo: studi ed esperienze a confronto*. Collana documenti tecnico-scientifici del Parco Nazionale della Majella.
- DI PIETRO R., PROIETTI S., FORTINI P., BLASI C. (2004). *La vegetazione dei ghiaioni nel settore sud-orientale del Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise*. *Fitosociologia* 41 (2): 3-20.
- KÖRNER C. (2003). *Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems*. Springer, Berlin.
- LOVARI S., FRANCESCHI S., CHIATANTE G., FATTORINI L., FATTORINI N., FERRETTI F. (2020). *Climatic changes and the fate of mountain herbivores*.
- MANZI A. (2012). *Storia dell'ambiente nell'Appennino centrale*. Meta, Treglio.
- PIGNATTI S. (2019). *Flora d'Italia*. Terre Nuove.
- SANTOIANNI L., VARRICCHIONE M., CARRANZA M., STANISCI A., DI CECCO V., MARTINO L., ANTONUCCI A. (2022). *La vegetazione erbacea d'alta quota e il suo valore pastorale nel Parco Nazionale della Majella*. *Reticula* n. 29.
- TAMMARO F. (2000). *Diversità floristica sulle montagne abruzzesi*.
- ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2016). *Carta geologica della Majella*. Disponibile su: <https://www.isprambiente.gov.it> [Consultato il 25 Ott. 2025].
- MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA (2023). *I Quaderni Habitat - Collana*. Disponibile su: <https://www.mase.gov.it> [Consultato il 25 Ott. 2025].
- PARCOMAIELLA.IT (2025). *Monitoraggio Biodiversità Altomontana del Parco finanziato dal CNR*. Disponibile su: <https://www.parcomaiella.it> [Consultato il 25 Ott. 2025].

Sitografia

- ACTAPLANTARUM.ORG (2023). *Acta Plantarum*. Disponibile su: <https://www.actaplantarum.org> [Consultato il 28 Ott. 2025].
- ANSA.IT (2021). *Clima: sensori su cime della Majella per tutela biodiversità*. Disponibile su: <https://www.ansa.it> [Consultato il 25 Ott. 2025].
- CSC.CAI.IT (2024). *Bollettino aprile 2024: Comitato Scientifico Centrale*. Disponibile su: <https://csc.cai.it/bollettino-aprile-2024/> [Consultato il 25 Ott. 2025].
- DRYADES.UNITS.IT (n.d.). *Portale della Flora d'Italia - Portal to the Flora of Italy*. Disponibile su: <https://dryades.units.it/floritaly/> [Consultato il 25 Ott. 2025].
- GLORIA.AC.AT (2025). *Gloria - Global Observation Research Initiative in Alpine Environments*. Disponibile su: <https://www.gloria.ac.at/network/region/CAM> [Consultato il 25 Ott. 2025].