



CLUB ALPINO ITALIANO

IL BOLLETTINO

**COMITATO SCIENTIFICO CENTRALE
PERIODICO DI DIVULGAZIONE SCIENTIFICA**

APRILE 2024





CLUB ALPINO ITALIANO

IL BOLLETTINO

**COMITATO SCIENTIFICO CENTRALE
PERIODICO DI DIVULGAZIONE SCIENTIFICA**

APRILE 2024





CLUB ALPINO ITALIANO
Via Petrella, 19 - 20124 Milano

COMITATO SCIENTIFICO CENTRALE

© 2024 - CAI - Comitato Scientifico Centrale

ISBN 978 88 7982 147 6

Proprietà letteraria riservata
Riproduzione vietata senza l'autorizzazione scritta da parte del CAI

Comitato di redazione:
Piero Carlesi, Luca Pellicoli, Giovanni Margheritini, Marco Peresani

Progettazione grafica e impaginazione:
Giovanni Margheritini

Il Comitato Scientifico Centrale ringrazia, per aver effettuato la lettura critica degli articoli contenuti in questo Bollettino, il prof. Sandro Lovari - Dipartimento Scienze della Vita dell'Università di Siena, il geologo Marco Bastogi referente della Società Geologica Italiana, la dott.ssa Chiara Fedrigotti - Direzione Ricerca e Collezioni Museali del Muse, la prof.ssa Assunta Florenzano - Dipartimento Scienze della Vita dell'Università di Modena e Reggio Emilia, il dott. Paolo Bonasoni - Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del CNR, il dott. Dario Sigari - Direzione Ricerca e Collezioni Museali del Muse e la dott.ssa Emanuela Falucci - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Publicato sul sito www.csc.cai.it in aprile 2024
in pdf scaricabile gratuitamente



COMITATO SCIENTIFICO CENTRALE (periodo 2023 - 2025)

Presidente

Vice presidente

Componenti

Piero Carlesi

Luca Pellicoli

Milena Merlo Pich

Luigi Iozzoli

Francesco Meneguzzo

Marco Peresani

Giovanni Margheritini

Segretario esterno

Antonino Gullotta

Referenti CC e CDC

- Consigliere centrale

- Vice presidente generale

Massimo Vegni

Giacomo Benedetti



SOMMARIO

7 EDITORIALE

ARTICOLI SCIENTIFICI

- 11 Guido Nigrelli, Marta Chiarle
Il periodo climatologico normale 1991-2020 sulle Alpi - Un focus sull'ambiente d'alta quota
- Giuliano Bonanomi, Emilia Allevato, Giandomenico Amoroso, Francesca Bellucci, Alfredo Nicastri, Mohamed Idbella
- 23 **Ricostruzione della storia della vegetazione di alta quota del Monte Cervati, del Gran Sasso e di Campo Imperatore mediante analisi pedoantracologica e del DNA antico - Nell'ambito del progetto Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente**
- Debora Barolin, Guido Teppa
- 37 **La vegetazione del bacino glaciale della Bessanese - Contributo alla conoscenza della colonizzazione vegetale di un'area glaciale nelle Alpi Graie - Rifugio Gastaldi nell'ambito del progetto Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente**
- Giovanna Barbieri, Edoardo Pinotti
- 49 **Monitoraggi botanici in Appennino settentrionale - Nell'ambito del progetto Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente con riferimento alle aree dell'Osservatorio CNR "O. Vittori" e del Rifugio Esperia**
- Giovanna Barbieri, Elisa Marino
- 59 **Cambiamenti climatici e piante officinali - Il caso della coltivazione della salvia comune (*Salvia officinalis*) e della lavanda vera (*Lavandula angustifolia*) al Giardino Botanico Esperia nell'ambito del progetto Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente.**
- Tiziano Abbà, Erik Unterpertinger
- 67 **Aspetti geologici del Col Quaternà in Comelico - Un percorso geologico nel Permiano superiore**
- Ciro Cerrone
- 77 **Il surface uplift Quaternario dell'Appennino meridionale: stato dell'arte e risultati preliminari**
- Antonio Gelati
- 87 **Come gli uccelli si proteggono dal freddo - Strategie, adattamenti posturali e anatomici per superare l'inverno**
- Benedetta Orsini
- 95 **Il camoscio più bello del mondo - *Rupicapra pyrenaica ornata***
- Giancarlo Sani, Giuliano Cervi
- 109 **Le rocce di Lulseto - Situate nell'Appennino reggiano, sono ciò che probabilmente rimane di un antico luogo di culto legato alla venerazione delle rocce**

EDITORIALE

Buongiorno care socie e cari soci del CAI e attenti e appassionati lettori di notizie scientifiche inerenti la montagna. Sono lieto di presentare un nuovo numero del Bollettino del CSC.

Il testo di apertura si apre sul tema del cambiamento climatico e non poteva essere che così, sulla scia del recente 101° Congresso nazionale del CAI che si è tenuto a Roma lo scorso novembre. Per la precisione l'articolo, firmato da Guido Nigrelli e Marta Chiarle, analizza il periodo climatologico 1991-2020 registrato sulle Alpi.

Si tratta di dati drammatici che se confermati anche nel futuro con l'attuale tendenza porterebbero al risultato di avere nel periodo 2001-2030 una temperatura media annua di - 0,2° C molto superiore ai valori medi annui dei periodi precedenti. D'altra parte quante volte abbiamo sentito negli ultimi tempi che lo zero termico in estate per più giorni è risalito fin oltre i 4.000 m! I risultati di questo cambio climatico sono peraltro evidenti nella fusione dei ghiacci e nelle sempre più frequenti frane rocciose. Il testo, arricchito da tabelle, fotografie e grafici ci dà un quadro certo non tranquillizzante, soprattutto per il versante meridionale dell'arco alpino.

Il secondo articolo, di Giuliano Bonanomi e altri, vuole ricostruire la storia della vegetazione di alta quota di alcuni gruppi montuosi dell'Appennino centrale: al Monte Cervati, nel Cilento, e sul Gran Sasso e a Campo Imperatore.

Si tratta di uno studio legato al progetto 'Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente' voluto e realizzato dal CSR della Campania in collaborazione con l'Università Federico II di Napoli basato sulle analisi di paleosuoli e carboni fossili attraverso il metodo del radiocarbonio. Ebbene, lo studio ha portato alla ipotetica conclusione che sia sul Cervati, sia sul Gran Sasso, a quote già elevate e oggi aride, ci fosse nell'Olocene una vegetazione sviluppata con probabili specie forestali. Naturalmente ci aspettiamo che nuovi studi in futuro possano confermare tali suggestive ipotesi.

Sempre legato al progetto del CSC Rifugi Sentinella è il terzo articolo, di Debora Barolin e Guido Teppa, che illustra la vegetazione del bacino della Bessanese, nei dintorni del Rifugio Gastaldi.

Si tratta di un interessante approfondimento sui numerosi adattamenti delle piante all'alta quota, con la colonizzazione vegetale di un'area glaciale. Lo studio ipotizza che se dovesse continuare il mutamento climatico in atto con un innalzamento delle temperature anche in alta quota si assisterebbe in futuro a una espansione delle praterie d'altitudine verso le aree detritiche.

Ecco poi una informativa, sempre legata al progetto Rifugi Sentinella, sui monitoraggi botanici firmata da Giovanna Barbieri e Edoardo Pinotti, eseguiti in Appennino settentrionale ed esattamente nelle aree dell'Osservatorio CNR Vittori e del Rifugio Esperia, zona Monte Cimone e alta Val Nure. Sono state prese in considerazione tre specie vegetali e di queste è stato osservato in diverse stazioni di monitoraggio il periodo di fioritura e analizzati i pericoli per la loro conservazione, causati anche dal pascolamento delle mandrie di equini e dal calpestio degli escursionisti.

Della stessa autrice, questa volta con Elisa Marino, è invece lo studio sulla coltivazione della Salvia comune e della Lavanda vera, realizzato al Giardino botanico Esperia, sempre nell'ambito del progetto Rifugi Sentinella del CSC. La ricerca smentisce uno studio di 45 anni fa in cui si concludeva che la coltivazione di tali piante officinali non era possibile a 1.500 m per la rigidità del clima; infatti oggi a causa del mutamento climatico e all'aumento delle temperature entrambe le piante sono coltivate senza problemi nel Giardino botanico Esperia.

Dopo tanta botanica ecco un argomento geologico: ce lo offrono Tiziano Abbà ed Erik Unterperthinger che illustrano un percorso nel Permiano superiore al Col Quaternà, nel Comelico. La zona è molto interessante in quanto è l'unica testimonianza a Est del Primiero degli imponenti fenomeni vulcanici delle Alpi sudorientali.

Un altro trattato di geologia arriva da Ciro Cerrone che ci introduce al tema del sollevamento superficiale dell'Appennino meridionale durante il Quaternario. È questa la prima parte del lavoro promosso da AIQUA e CSC attraverso un bando comune.

Come gli uccelli non migratori, come pettirossi, scriccioli, civette ecc. si attrezzano per superare i rigori dell'inverno alle nostre latitudini? Antonio Gelati ce lo spiega con uno studio sulle loro strategie e gli adattamenti posturali e anatomici.

Restiamo nella fauna con l'articolo sul Camoscio appenninico di Benedetta Orsini, oggi diffuso in circa 3.500 individui nelle cinque maggiori aree protette dell'Appennino centrale, ma ancora definito specie a rischio di scomparsa. Si pensi che nel 1922 la popolazione totale si era ridotta a una trentina di esemplari confinati nella valle Camosciara, nel costituendo Parco nazionale d'Abruzzo. Lo studio illustra la morfologia, l'habitat, l'alimentazione, i suoi predatori e la sua tutela.

Il Bollettino si chiude infine con un articolo di Giancarlo Sani e Giuliano Cervi sulle rocce di Lulseto, un antico luogo di probabile culto situato nell'Appennino reggiano, frutto di una ricerca condotta dal

Comitato Scientifico della Sezione CAI di Reggio Emilia, quando fu scoperta in valle Tassarò una grande roccia solcata da sette poderose scanalature e da varie coppelle.

Chiudo con un saluto di benvenuto fra noi al Vice presidente generale Giacomo Benedetti, nominato recentemente referente per conto del Comitato Direttivo Centrale. Gli auguro buon lavoro, mentre a voi lettori auguro buona lettura!

Piero Carlesi
Presidente del Comitato Scientifico Centrale
del Club Alpino Italiano

ARTICOLI SCIENTIFICI



Figura 0 – In primo piano la stazione meteorologica di Bocchetta delle Pisse (ARPA Piemonte) con, sullo sfondo, la parte meridionale del massiccio del Monte Rosa e il ghiacciaio delle Piode

Il periodo climatologico normale 1991-2020 sulle Alpi

Un focus sull'ambiente di alta quota

di Guido Nigrelli⁽¹⁾⁽²⁾ e Marta Chiarle⁽¹⁾⁽³⁾

1. CNR - IRPI (Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica)

2. CAI Sezione di Torino

3. Comitato Glaciologico Italiano

Riassunto

Le Alpi sono un'importante area geografica del continente europeo, dove l'aumento delle temperature è più evidente che in altre. Tuttavia, il periodo climatologico normale 1991-2020 per le Alpi non è ancora stato studiato in dettaglio. Questo studio si prefigge l'obiettivo di colmare questa lacuna, facendo specifico riferimento agli ambienti di alta quota.

I risultati ottenuti mostrano che i valori medi annuali della temperatura minima e massima per il periodo climatologico normale 1991-2020 sono rispettivamente $-2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, con un tasso di riscaldamento di $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ anni. I confronti della temperatura media annuale tra il periodo 1961-1990 e 1971-2000, 1961-1990 e 1981-2010, 1961-1990 e 1991-2020 mostrano un aumento rispettivamente di $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Se le emissioni di origine antropica dovessero mantenere i livelli attuali anche nei prossimi anni e dovesse pertanto proseguire la tendenza in atto, la temperatura media annua attesa per il periodo 2001-2030 sarebbe di circa $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, con un aumento di $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ rispetto al periodo 1961-1990. Questo studio fornisce valori sul tasso di riscaldamento riscontrato nelle Alpi negli ultimi decenni, mettendo in evidenza l'importanza di svolgere indagini che considerino non solo il clima dell'ultimo periodo, ma anche il confronto fra quest'ultimo e i precedenti.

Abstract: 1991–2020 climate normal in the Alps: a focus on high-elevation environments

Alps are an important geographical area of the European continent and, in this area, temperature increase is most evident. However, the 1991-2020 climate normal in the Alps has still not been thoroughly investigated. This study aims to help fill this gap with a focus on high-elevation environments.

The results show that the mean annual values of minimum and maximum temperature for the 1991-2020 climate normal in the Alps are $-2.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $4.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectively, with a warming rate of $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ years. The mean annual temperature comparisons between 1961-1990 and 1971-2000, 1961-1990 and 1981-2010, 1961-1990 and 1991-2020 climate normal show an increase of $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectively.

If anthropogenic emissions maintain the trend of the last decades and current temperature trend should be confirmed, the expected mean annual temperature of the 2001-2030 climate normal is $-0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, with an increase of $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ if compared to the 1961-1990 climate normal. This study highlights the warming rate observed in the European Alps in the last decades, as well as the importance of carrying out investigations that consider not only the last 30-year climate normal, but also the most recent 30-year climate normal by comparing them with each other.

Introduzione

Le Alpi sono una delle principali regioni geografiche della Terra dove l'aumento delle temperature si manifesta con maggior evidenza. Infatti, a fronte di un aumento della temperatura media di $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ anni, osservato negli ultimi decenni su scala globale, la regione alpina risponde con $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ anni e con una marcata variabilità dipendente dal settore alpino e dal periodo temporale considerato (Hock et al., 2019). Nella regione alpina, gli effetti prodotti dall'aumento delle temperature sono numerosi e in diversi casi ben visibili: fra questi effetti se ne possono citare alcuni, in larga parte caratteristici degli ambienti alpini di alta quota, come ad esempio la drastica riduzione delle masse glaciali, la degradazione del permafrost, la variazione dei regimi idrologici,

lo spostamento verso l'alto di flora e fauna, la diminuzione della biodiversità e, non ultimo, l'aumento del numero di frane.

In riferimento alle frane, termine generico qui utilizzato poiché di facile comprensione per individuare le diverse tipologie di processi di instabilità naturale di versante, si osserva nella regione alpina un aumento dei casi annuali con il passare degli anni. Questa tendenza è, con ogni probabilità, un effetto dell'aumento delle temperature, unito al perdurare per diversi giorni consecutivi dello zero termico oltre i 4.000 m di quota in estate-autunno e alla conseguente degradazione del permafrost. A questo proposito, il Catasto delle frane di alta quota nelle Alpi italiane del CNR-IRPI riporta, per il periodo

2000-2022, un totale di 772 processi di instabilità. Fra le tipologie di processi più frequenti si segnalano i crolli di roccia e le colate detritico-torrentizie. Le regioni maggiormente colpite risultano essere la Valle d'Aosta, la Lombardia e il Piemonte. L'anno record per il periodo considerato è il 2022 (71 casi censiti), e la stagione in cui questi processi si manifestano con maggior frequenza è quella estiva (Nigrelli et al., 2023a). Per il 2023 si registra un significativo numero di casi che però non risulta superiore al dato del 2022, a breve il catasto verrà aggiornato inserendo anche questi dati.

A fronte di questa situazione, risulta facilmente ipotizzabile come, nella regione alpina, le frane trovino e troveranno nei prossimi decenni condizioni sempre più favorevoli al loro accadimento (Masson-Delmotte et al. 2021), in particolare durante la stagione estiva e alle quote più elevate, soprattutto a causa dell'aumento delle temperature.

Per poter conoscere nel dettaglio quanto e come aumentano le temperature sulle Alpi è necessario poter disporre di una base di dati ampia, temporalmente lunga e aggiornata. Per questi scopi, solitamente vengono presi come riferimento i cosiddetti periodi climatologici normali, cioè delle serie di dati lunghe 30 anni, aggregate nel modo seguente: 1961-1990, 1971-2000, 1981-2010 e 1991-2020.

Attualmente, per quanto riguarda la regione alpina,

Dati e metodi

Per il presente studio sono state utilizzate le temperature minime (TN) e le temperature massime (TX) giornaliere osservate da un consistente numero di stazioni meteorologiche automatiche localizzate sulle Alpi a una quota superiore ai 1.500 metri, gestite da Enti pubblici governativi e ritenute rappresentative del contesto geografico e climatico in cui sono inserite. Si è scelto di utilizzare come dato di partenza i valori minimi e massimi giornalieri anziché quelli medi al fine di poter analizzare più nel dettaglio l'andamento climatico del periodo. Segue qui il metodo applicato.

Scelta delle stazioni

La scelta delle stazioni è stata effettuata consultando numerosi archivi istituzionali e portali geografici on line di dati meteorologici (ARPA Piemonte; CF Valle d'Aosta; ARPA Lombardia; Meteo Alto Adige; Meteotrentino; ARPA Veneto; ARPA Friuli Venezia Giulia; MeteoFrance; MeteoSwiss; ECAD: Klein Tank et al. 2002; HISTALP: Auer et al. 2007; CRUTEM4: Osborn et al. 2014; NOAA Global Temp; ZAMG 2021; Zhang et al. 2021), nonché visionando una significativa quantità di immagini acquisite dalle numerose webcam ormai presenti in gran quantità sulle Alpi (es. <https://www.panomax.com>). L'obiettivo principale è stato quello di individuare una prima serie di stazioni meteorologiche rappresentative dell'area

non esistono dati sui principali indici di temperatura relativi al periodo 1991-2020 e quindi anche un loro confronto con i dati dei periodi precedenti. Si è quindi deciso di colmare questa lacuna, focalizzando l'attenzione sugli ambienti alpini di alta quota, cioè quelli posti sopra i 1.500 m s.l.m.

Abbiamo voluto focalizzare l'attenzione su questi ambienti perché più di altri rispondono con notevole rapidità ai cambiamenti climatici (Gobiet et al. 2014; Lucchesi et al. 2019), perché risultano maggiormente interessati da frane e, non ultimo, perché costituiscono una componente importante del paesaggio alpino all'interno della quale vengono svolte numerose attività, in particolare di tipo turistico, ma non solo.

Riassumendo, le principali domande a cui questo lavoro si propone di fornire risposte sono le seguenti:

1. Quanto e come sono aumentate le temperature negli ambienti alpini di alta quota durante il periodo climatologico normale 1991-2020?
2. Ci sono differenze fra i tassi di riscaldamento osservati negli ultimi quattro periodi climatologici normali?
3. Il riscaldamento aumenta con l'aumentare della quota?
4. Con i dati a disposizione, possiamo ipotizzare scenari climatici futuri?

studiata. Il risultato di questa prima fase ha restituito un elenco di oltre 50 stazioni potenzialmente utili allo scopo.

Controllo di qualità dei dati

Dopo l'individuazione di un primo elenco di stazioni si è proceduto al controllo di qualità dei dati (QC) da queste acquisiti. Il QC è forse la fase più importante dell'intera procedura poiché dall'esito di questa dipende la scelta definitiva delle stazioni da utilizzare e conseguentemente l'accuratezza del risultato finale. Questa fase è stata condotta adottando i metodi indicati dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO 2018a). Il QC è stato applicato sulle serie giornaliere di TN e TX delle oltre 50 stazioni individuate, come riportato in precedenza. Il risultato di questa fase però, ha restituito una situazione disomogenea che può essere sintetizzata nel modo seguente: a) alcune stazioni hanno serie di dati con grosse lacune; b) alcune stazioni dispongono di dataset relativi alle sole temperature medie giornaliere (TM) e, per le stazioni gestite da enti diversi, queste non sono calcolate con lo stesso metodo; c) alcune stazioni presentano serie di dati che iniziano dopo il 1991, mentre altre hanno serie che terminano prima del 2020; d) alcune stazioni dispongono di serie di dati che presentano bruschi salti in loro andamento temporale, chiara evidenza di

un definitivo o provvisorio riposizionamento in altro sito della stazione di cui non è possibile conoscere i dettagli oppure di una sostituzione del sensore.

Il risultato finale di questa fase ha pertanto restituito un elenco di 23 stazioni da ritenere utili per gli obiettivi di questo lavoro (Tabella 1, Figura 1).

N	Nome Stazione	Lat. (°N)	Long. (°E)	Quota (m)	Periodo	Fonte dati
1	Jungfrauoch*	46.54755	7.98544	3.571	1961-2020	MeteoSwiss
2	Piz Corvatsch	46.41803	9.82130	3.297	1961-2020	MeteoSwiss
3	Sonnblick*	47.05403	12.95800	3.106	1961-2020	ECAD
4	Zugspitze*	47.42090	10.98458	2.962	1961-2020	ECAD
5	Weissfluhjoch*	46.83332	9.80639	2.964	1961-2020	MeteoSwiss
6	Rifugio Gastaldi	45.29806	7.14274	2.659	1961-2020	ARPA Piemonte
7	Säntis	47.24944	9.34346	2.504	1961-2020	MeteoSwiss
8	Grand St-Bernard*	45.86909	7.17068	2.472	1961-2020	MeteoSwiss
9	Formazza	46.43343	8.35824	2.453	1961-2020	ARPA Piemonte
10	Bocchetta delle Pisse	45.87586	7.90118	2.410	1961-2020	ARPA Piemonte
11	Colle della Lombarda	44.20742	7.14768	2.305	1961-2020	ARPA Piemonte
12	Colle Barant	44.77437	7.06062	2.294	1961-2020	ARPA Piemonte
13	Lago Pilone	45.00242	6.87592	2.280	1961-2020	ARPA Piemonte
14	Patscherkofel*	47.20883	11.46230	2.247	1961-2020	ECAD
15	Villacher Alpe*	46.60364	13.67276	2.160	1961-2020	ECAD, HISTALP
16	Pian delle Baracche	44.54926	7.13555	2.135	1961-2020	ARPA Piemonte
17	Pilatus	46.97889	8.25224	2.105	1961-2020	MeteoSwiss
18	Grimsel Hospiz	46.57163	8.33312	1.980	1961-2020	MeteoSwiss
19	Schmitthenhole*	47.33000	12.73700	1.973	1961-2020	ECAD
20	Solda	46.51595	10.59545	1.907	1961-2020	Meteo Alto Adige
21	San Bernardino	46.46354	9.18470	1.641	1961-2020	MeteoSwiss
22	Zermatt	46.02927	7.75243	1.638	1961-2020	MeteoSwiss
23	Davos*	46.81296	9.84355	1.596	1961-2020	MeteoSwiss

Tabella 1 - Stazioni meteorologiche utilizzate, riportate in ordine di quota decrescente. Le stazioni contrassegnate con asterisco sono state utilizzate anche per i confronti tra i periodi climatologici normali

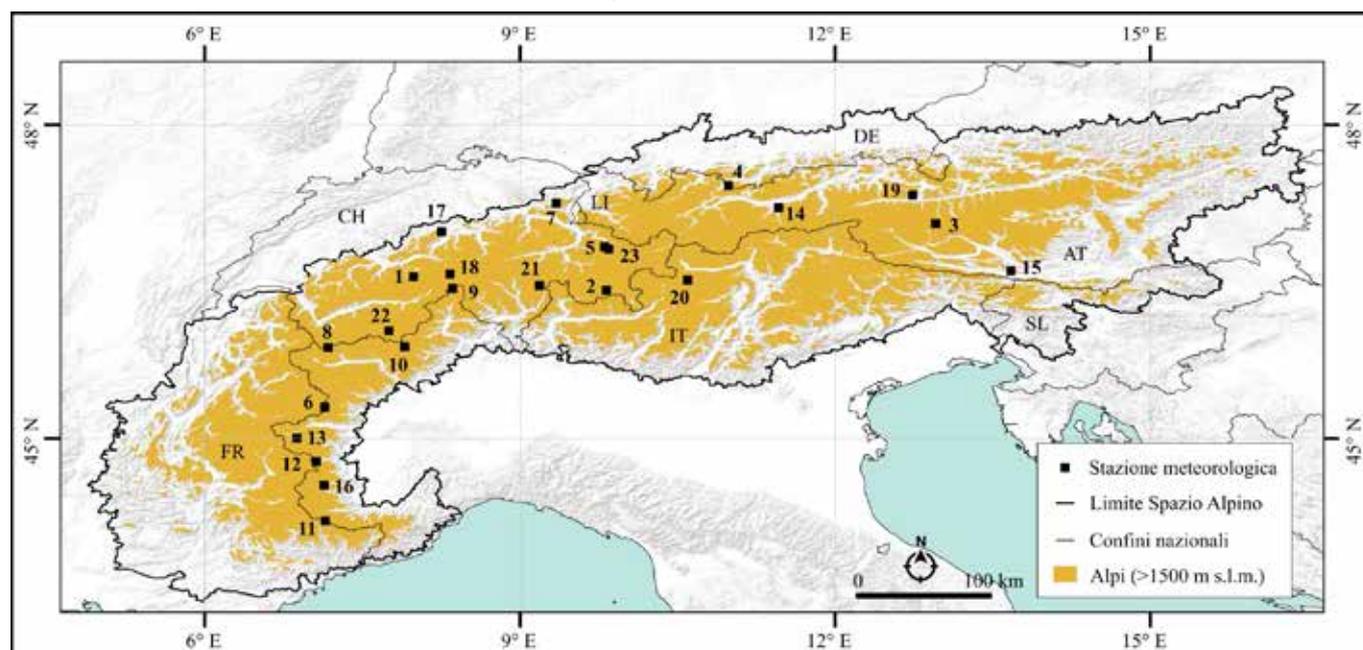


Figura 1 – Distribuzione geografica delle 23 stazioni meteorologiche utilizzate (per la numerazione vedere Tabella 1). Elaborazione cartografica in QGIS, su base ESRI QuickMapServices. Limite Spazio Alpino da <https://www.alpconv.org>. Area alpina superiore ai 1.500 m di quota estratta da Copernicus EU DEM 25 m

Dataset mensili, stagionali e annuali

Le serie di dati giornalieri di TN e TX acquisite dalle 23 stazioni definitivamente scelte sono state utilizzate per costruire le rispettive serie mensili, stagionali (inverno: dicembre, gennaio, febbraio; primavera: marzo, aprile, maggio; estate: giugno, luglio, agosto, autunno: settembre, ottobre, novembre) e annuali (gennaio-dicembre). Sulle serie stagionali e annuali così ricavate, sono stati calcolati i più importanti indici di temperatura, secondo quanto indicato dall'*Expert Team on Climate Change Detection and Indices for the assessment of climate change* (WMO 2009, Tabella 2).

Indice e sua definizione	
TN	Valore medio della temperatura minima (°C)
TX	Valore medio della temperatura massima (°C)
TNn	Valore minimo di TN (°C)
TNx	Valore massimo di TN (°C)
TXn	Valore minimo di TX (°C)
TXx	Valore massimo di TX (°C)
ID	Giorno di gelo, quando TX < 0 °C
FD	Giorno di gelo, quando TN < 0 °C

Tabella 2 - Indici di temperatura calcolati su base stagionale e annuale utilizzando i dati giornalieri

Risultati

TN e TX

I valori medi annuali di TN e TX rilevati sulle Alpi per il periodo climatologico normale 1991-2020 sono rispettivamente di -2,4 °C e 4,4 °C. Per questi due indici si sottolinea una significativa differenza tra i valori presenti nel settore settentrionale e meridionale della catena alpina: per quanto riguarda TN, i valori sono di -3,0 °C per il settore settentrionale e di -1,9 °C per quello meridionale, mentre per quanto riguarda TX, i valori medi sono rispettivamente di 3,4 °C e 5,3 °C.

L'analisi delle tendenze sui dati annuali ha restituito valori statisticamente significativi, sia per TN sia per TX. In sostanza, i valori medi annuali di TN e di TX aumentano rispettivamente di 0,4 °C/10 anni e di 0,5 °C/10 anni (Fig. 2). Per quanto riguarda le tendenze stagionali, si osserva una marcata variabilità sia fra le stagioni che fra le singole stazioni. L'estate è la stagione in cui si osserva un aumento di TN in tutte e 23 le stazioni considerate, con un valore medio di 0,5 °C/10 anni.

Tendenze significative sono presenti anche in primavera e in autunno, sia per TN sia per TX. I dati sulle tendenze invernali non hanno invece restituito valori statisticamente significativi. Il valore massimo di tendenza all'aumento delle temperature è stato registrato in primavera, alla stazione di Formazza, con 1,2 °C/10 anni sia di TN sia di TX.

Il periodo climatologico normale 1991-2020 è quello preso in considerazione per il presente studio. Tuttavia, la presenza tra le 23 stazioni scelte di 9 stazioni con serie di dati disponibili a partire dal 1960, ha consentito di effettuare un confronto, seppur indicativo, dei valori di temperatura media annua del periodo 1991-2020 con i valori dei periodi climatologici normali precedenti (1961-1990, 1971-2000, 1981-2010).

Questo confronto è stato effettuato utilizzando il dato di temperatura media annua ottenuto dalle serie dei dati giornalieri di TN e TX, applicando la semplice formula $TM = (TN+TX)/2$.

Tendenze climatiche

La ricerca delle tendenze climatiche è stata effettuata sulle serie stagionali e annuali degli indici riportati in Tabella 2 ed è stata condotta inizialmente sulle singole stazioni, al fine di ottenere successivamente i valori medi riferiti all'area alpina indagata.

Le tendenze sono state calcolate applicando il test di Mann-Kendall e il test di Sen (Wilks 2011; Sen 1968).

Questi due test sono tra i più utilizzati per analizzare le serie temporali di parametri idrologici e climatici perché non sono influenzati dal tipo di distribuzione delle serie e accettano la presenza di dati mancanti.

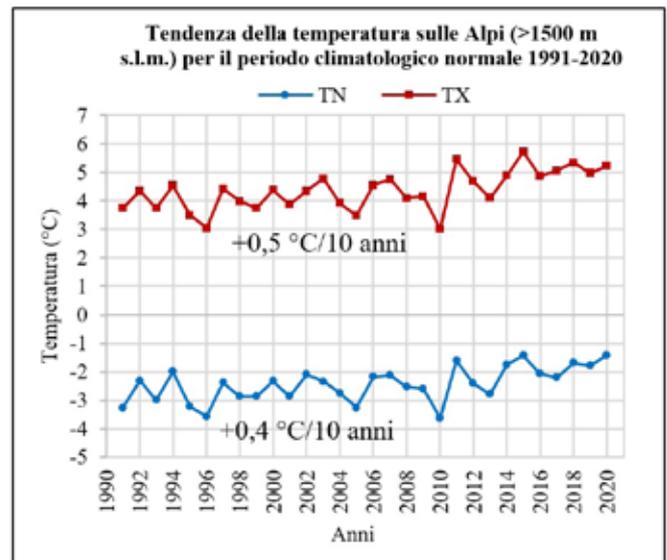


Figura 2 – Tendenza della temperatura minima (TN) e massima (TX) annuale negli ambienti alpini di alta quota (>1500 m s.l.m.) osservata per il periodo climatologico normale 1991-2020

TNn e TNx

I valori medi annuali di TNn e TNx calcolati per il periodo climatologico normale 1991-2020 sono rispettivamente di -9,4 °C e 3,9 °C. Anche per questi due indici, si evidenzia una significativa differenza tra i valori ottenuti per il settore settentrionale e meridionale della catena alpina: per quanto riguarda i valori

medi annuali di TNn, questi sono di -10,3 °C per il settore settentrionale e di -8,6 °C per quello meridionale, mentre per quanto riguarda i valori medi annuali di TNx, questi sono rispettivamente di 3,6 °C e 4,2 °C.

L'analisi delle tendenze sulla TNn mette in evidenza un aumento della temperatura significativo solamente per la stagione estiva, con un valore medio di 1,0 °C/10 anni. Per questa stagione, il valore massimo di tendenza all'aumento della TNn è stato osservato a Solda, con 1,7 °C/10 anni.

La stazione di Sonnblick è l'unica a registrare un aumento della tendenza della temperatura in primavera, con 1,4 °C/10 anni. I dati sulle tendenze annuali di TNn non hanno restituito valori statisticamente significativi. L'analisi delle tendenze sulla TNx mette in evidenza un aumento medio della temperatura significativo per la stagione estiva di 0,8 °C/10 anni. Lo stesso valore medio si osserva in autunno, ma l'aumento interessa solo 8 stazioni su 23. I valori medi annuali di TNx hanno registrato un incremento di 0,7 °C/10 anni.

TXn e TXx

I valori medi annuali di TXn e TXx calcolati per il periodo climatologico normale 1991-2020 sono rispettivamente di -3,9 °C e 11,5 °C. Anche per questi due indici è presente una significativa differenza tra il settore settentrionale e meridionale della catena alpina: per quanto riguarda i valori medi annuali di TXn, questi sono di -5,2 °C per il settore settentrionale e di -2,7 °C per quello meridionale, mentre per quanto riguarda i valori medi annuali di TXx, questi sono rispettivamente di 10,7 °C e 12,2 °C.

L'analisi delle tendenze sui dati annuali di TXn non ha messo in evidenza valori significativi, mentre la TXx ha fatto osservare un incremento di 0,8 °C/10 anni.

L'analisi delle tendenze sulla TXn mette in evidenza un aumento della temperatura significativo quasi esclusivamente per la stagione estiva, con un valore medio di 1,1 °C/10 anni: il dato più elevato, è relativo alla stazione di Villacher Alpe con 1,5 °C/10 anni. Per le altre stagioni, le tendenze significative riguardano rari casi. Anche la TXx fa registrare una tendenza all'aumento in estate, con il valore di 0,8 °C/10 anni. Per questo indice, il dato più elevato è di 1,1 °C/10 anni alle stazioni di Rifugio Gastaldi e Colle della Lombarda.

ID e FD

Come può essere giusto attendersi, dall'aumentare degli indici di temperatura sopra esposti, corrisponde una diminuzione del numero di giorni di gelo (ID) e del numero di giorni con gelo (FD).

Per il periodo climatologico normale 1991-2020, i valori medi annuali di ID e FD calcolati sono rispettivamente di 113 giorni e 223 giorni. Anche qui, come per gli altri indici, si riscontrano significative differenze tra i valori ottenuti per il settore settentrionale e meridionale della catena alpina: per quanto riguarda i valori medi annuali di ID, questi sono di 134 giorni e 95 giorni rispettivamente per il settore settentrionale e per quello meridionale, mentre per quanto riguarda i valori medi annuali di FD, questi sono di 232 giorni e di 214 giorni. L'analisi sui dati annuali ci dice che i giorni di gelo stanno diminuendo al ritmo di 6 giorni ogni 10 anni, mentre i giorni con gelo di 9 giorni ogni 10 anni.

Per l'indice ID il massimo valore di diminuzione si riscontra alla stazione di Formazza con meno 15 giorni ogni 10 anni, mentre per l'indice FD il più alto valore di diminuzione si riscontra alla stazione di Solda con meno 23 giorni ogni 10 anni. Il quadro riepilogativo dei risultati è riportato in Tabella 3.

Indice	Tendenze climatiche stagionali e annuali					Valori medi annuali		
	I	P	E	A	Anno	Anno	Nord Alpi	Sud Alpi
TN		0,5	0,5	0,6	0,4	-2,4	-3,0	-1,9
TX		0,7	0,7	0,7	0,5	4,4	3,4	5,3
TNn			1,0			-9,4	-10,3	-8,6
TNx			0,8	0,8	0,7	3,9	3,6	4,2
TXn			1,1			-3,9	-5,2	-2,7
TXx			0,8		0,8	11,5	10,7	12,2
ID					-6	113	134	95
FD			-3	-4	-9	223	232	214

Tabella 3 – Periodo climatologico normale 1991-2020 nelle Alpi, al di sopra dei 1.500 metri di quota: tendenze climatiche stagionali e annuali degli indici di temperatura (°C/10 anni) e del numero di giorni di gelo, ID e con gelo, FD (giorni/10 anni), accompagnate dai valori medi annuali relativi agli stessi indici (espressi in °C e giorni). Le celle vuote indicano condizioni di scarsa presenza di stazioni con tendenze significative, ragion per cui il valore medio non è stato calcolato

Discussione

I risultati ottenuti ci restituiscono un quadro aggiornato seppur indicativo delle tendenze di alcuni indici termici degli ambienti alpini di alta quota per il periodo climatologico normale 1991-2020. Le temperature stanno aumentando e questo aumento risulta maggiore rispetto ai periodi climatologici precedenti. In base ai risultati ottenuti è ora possibile rispondere alle quattro domande riportate nell'introduzione.

1. Quanto e come sono aumentate le temperature negli ambienti alpini di alta quota durante il periodo 1991-2020?

Il tasso di riscaldamento medio annuo osservato per il periodo climatologico normale 1991-2020 negli ambienti di alta quota delle Alpi è di 0,5 °C/10 anni.

Questo valore è superiore a quello di 0,3 °C/10 anni riscontrato negli ultimi decenni nelle Alpi da Hock et al. (2019). Il maggior tasso di riscaldamento riscontrato rispetto al lavoro di Hock et al. dipende dal fatto che la nostra analisi include gli anni più recenti, che nella serie temporale considerata sono stati i più caldi, come dimostrato dal confronto oggetto della seconda domanda/risposta e può dipendere anche dal fatto che noi abbiamo considerato l'area alpina sopra i 1.500 m di quota.

Le principali cause di questo riscaldamento sono:

- Una forte riduzione dell'effetto albedo. Nell'ambiente glaciale, il meccanismo di retroazione (*feedback*) dell'albedo del ghiaccio diminuisce significativamente a causa della diminuzione delle aree glacializzate e innevate e quindi di colore chiaro. Questo meccanismo è associato a una diminuzione della quantità di calore latente di fusione coinvolto nella transizione ghiaccio/acqua. Di conseguenza, la trasformazione di questo ambiente da glaciale a proglaciale favorisce l'irraggiamento solare diretto che investe le rocce e il detrito con conseguente aumento della temperatura dell'aria.
- Un aumento significativo delle aree periglaciali prima occupate da ghiaccio e neve, quindi una maggiore superficie esposta alla radiazione solare e un minore effetto albedo. Inoltre, in questi ambienti, il suolo e la copertura erbacea omogenea sono assenti o al primo stadio della loro evoluzione con una conseguente scarsa azione dei processi di evapotraspirazione che possono contribuire all'abbassamento della temperatura dell'aria.
- Un aumento del disturbo antropico. Dagli anni '70 le aree urbane nelle Alpi sono aumentate in modo significativo. In particolare, sono aumentati e si sono espansi i centri residenziali, le strutture turistiche, i cantieri edili, le discariche. Gli impianti di riscaldamento civile e industriale

liberano in atmosfera notevoli quantità di gas caldi che contribuiscono in misura non trascurabile ad aumentare la temperatura dell'aria: questo fenomeno è noto come "effetto isola di calore urbana". Gli effetti di questo disturbo antropico colpiscono non solo le aree urbane dei fondivalle ma anche gli ambienti più remoti, situati ad altitudini più elevate.

Volendo approfondire ancora di più le considerazioni sui risultati ottenuti è possibile affermare come, in generale, il settore alpino settentrionale tenda a essere più freddo di quello meridionale, e ciò emerge in tutti gli indici di temperatura considerati. Questa situazione è in gran parte dovuta alla circolazione generale dell'atmosfera che predomina sull'arco alpino e all'effetto barriera che quest'ultimo esercita sul transito delle correnti d'aria calda o fredda. Mediante questo effetto barriera, le Alpi accentuano il gradiente climatico tra il Mediterraneo e l'Europa centrale. Il settore alpino settentrionale è largamente influenzato dalle correnti d'aria fredda provenienti da Nord e Nord-Ovest e, allo stesso tempo, è poco influenzato dalle correnti calde di origine mediterranea, provenienti da Sud o Sud-Ovest. La situazione opposta si verifica nel settore alpino meridionale. In questo contesto, il riscaldamento globale contribuisce ad aumentare le differenze tra il settore alpino settentrionale e quello meridionale già presenti e i cui effetti sono facilmente osservabili: per esempio il settore meridionale, rispetto a quello settentrionale, è interessato da una maggiore degradazione della criosfera (ritiro dei ghiacciai, degradazione del permafrost, minori apporti nevosi) da un maggiore spostamento di specie floristiche e faunistiche verso quote più elevate. La comunità scientifica è concorde nell'affermare che la causa principale di questo continuo aumento del tasso di riscaldamento debba ricercarsi nel continuo aumento delle emissioni antropogeniche di gas serra, i cosiddetti gas climalteranti, che modificano il bilancio energetico della Terra, cambiando il clima terrestre nella sua globalità (IPCC, 2023).

Ciò avviene con ritmi crescenti soprattutto dalla fine degli anni '40 del secolo scorso e prosegue ancora oggi (Steffen et al. 2015; Steffen et al. 2018). Come riportato in Cooper et al. (2018), gli esseri umani sono oggi la principale forza trainante geomorfologica globale e una componente importante dei processi del Sistema Terra nell'evoluzione del paesaggio.

2. Ci sono differenze fra i tassi di riscaldamento osservati negli ultimi quattro periodi climatologici normali?

Sì, ci sono differenze e purtroppo non sono di poco conto perché le Alpi si stanno riscaldando sempre

di più. Il confronto fra la temperatura media annua del periodo climatologico normale 1961-1990 con quella dei successivi tre periodi climatologici mostra tassi di riscaldamento di 0,3 °C, 0,5 °C e 0,9 °C rispettivamente per i periodi 1971-2000, 1981-2010 e 1991-2020. Il grafico di Figura 3 mostra in modo inequivocabile come il tasso di riscaldamento aumenti nel tempo.

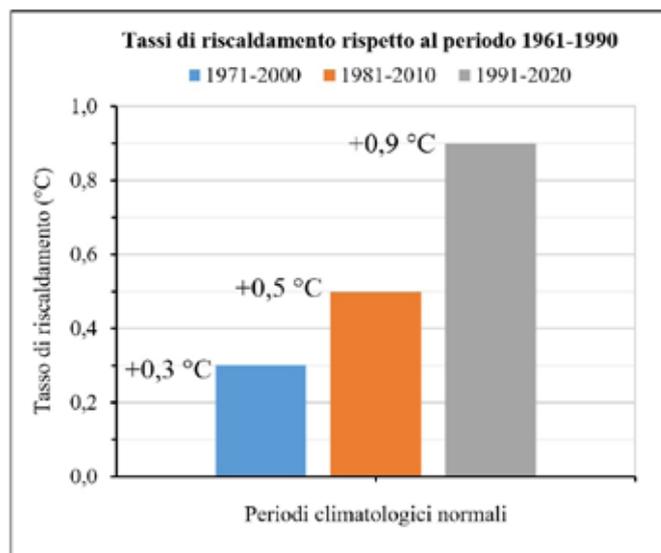


Figura 3 – Tassi di riscaldamento della temperatura dell'aria dei tre precedenti periodi climatologici normali (1971-2000, 1981-2010 e 1991-2020) rispetto al periodo 1961-1990

Nelle Alpi, l'aumento del tasso di riscaldamento nel tempo è un fenomeno noto da tempo, ed è descritto in numerose pubblicazioni e rapporti riguardanti i cambiamenti climatici (si veda ad es. Hock et al. 2019; Masson-Delmotte et al. 2021). I nuovi dati presentati in questo lavoro confermano questa tendenza, aggiungendo l'informazione relativa

al periodo climatologico normale più recente. Negli ambienti d'alta quota delle Alpi, i cambiamenti climatici avanzano con tassi di riscaldamento sempre più elevati: è questa una delle conseguenze più importanti e pericolose causate, su scala globale, dalla grande accelerazione dell'Antropocene (Steffen et al. 2015).

3. Il riscaldamento aumenta con l'aumentare della quota?

Le elaborazioni effettuate per questo lavoro non hanno evidenziato una tendenza in questo senso. L'argomento, che nella letteratura scientifica viene definito come "Elevation Dependent Warming" (EDW), ha ricevuto un'ampia attenzione negli ultimi anni. In pratica l'EDW significa che il tasso di riscaldamento (°C/decennio) non è lo stesso per le diverse fasce altitudinali e, allo stesso tempo, non implica che il riscaldamento sia maggiore ad altitudini più elevate e minore a quote più basse (Hock et al. 2019). L'EDW può variare in base alla regione geografica considerata, alla scala temporale applicata e al tipo di temperatura osservata (media, minima o massima), il che significa che non esiste uno schema applicabile a tutte le situazioni.

Per approfondire questo aspetto abbiamo suddiviso l'area di studio in due modi diversi: il primo è stato quello di considerare due fasce altitudinali (1.500-2.500 m e 2.500-3.500 m di quota) e, il secondo, quello di considerare tre ambienti morfologici diversi (montano, proglaciale e glaciale).

I dati elaborati ci restituiscono un quadro complessivo interessante (Tabella 4): TN e TX non sembrano evidenziare EDW positivi, TNn e TXn non mostrano tendenze significative, TNx mette in luce un sensibile aumento del tasso di riscaldamento (EDW positivo) in

Indice	Fascia altitudinale		Ambiente morfologico		
	1.500-2.500 (16)	2.500-3.500 (7)	Montano (7)	Proglaciale (12)	Glaciale (4)
TN	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5
TX	0,5	0,4	0,5	0,5	0,3
TNn					
TNx	0,6	0,8	0,4	0,7	0,8
TXn					
TXx	0,7	0,5	0,6	0,7	
ID	-9	-8	-9	-9	-7
FD		-7		-7	-6

Tabella 4 – Tendenze degli indici di temperatura (°C/10 anni) e del numero di giorni con gelo e di gelo (giorni/10 anni), relative al periodo climatologico normale 1991-2020 nelle Alpi, al di sopra dei 1.500 metri di quota. Le tendenze qui riportate sono state calcolate dividendo l'area di studio in due fasce altitudinali e in tre ambienti morfologici. Tra parentesi il numero di stazioni rientranti in ciascuna categoria. Le celle vuote indicano l'assenza di trend statisticamente significativi per $p = 0,05$

entrambe le suddivisioni adottate, mentre TXx mostra un tasso di riscaldamento lievemente negativo nella suddivisione per fasce altitudinali. ID e FD non mostrano EDW positivi. Nel complesso quindi, i tassi di riscaldamento non sembrano aumentare con la quota se considerati all'interno di una situazione caratterizzata da una evidente variabilità riferita agli indici utilizzati.

L'identificazione dei meccanismi alla base dell'EDW e il modo in cui si combinano è complessa. Alcuni modelli climatici suggeriscono un'amplificazione del riscaldamento globale in alta montagna ma, come rilevato dalla nostra analisi e da altri lavori di altri autori, le osservazioni non sono ancora chiare e necessitano di ulteriori conferme (Nigrelli et al. 2023b). A nostro avviso l'EDW può variare anche in relazione ai diversi metodi di analisi applicati e alle fonti di dati utilizzate (ad es. dati satellitari, rianalisi atmosferica, modelli climatici, numero e distribuzione delle stazioni meteorologiche considerate) e alla scala geografica di studio applicata (globale, regionale, locale).

4. Con i dati a disposizione, possiamo ipotizzare scenari climatici futuri?

Sì, non dimenticando però che gli scenari futuri dipendono in larga parte dalle emissioni antropogeniche attuali (Steffen et al. 2018). Se ipotizziamo che queste emissioni rimangano ai livelli attuali (bassa probabilità) è possibile proiettare i dati dei quattro periodi climatologici normali qui considerati estendendone l'andamento al trentennio 2001-2030. Così facendo, si otterrebbe una temperatura media annua di circa $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, valore superiore di circa $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ rispettivamente per i periodi climatologici normali 1991-2020, 1981-2010, 1971-2000 e 1961-1990, come si può rilevare osservando l'andamento dello stesso parametro con il passare del tempo (Fig. 4).

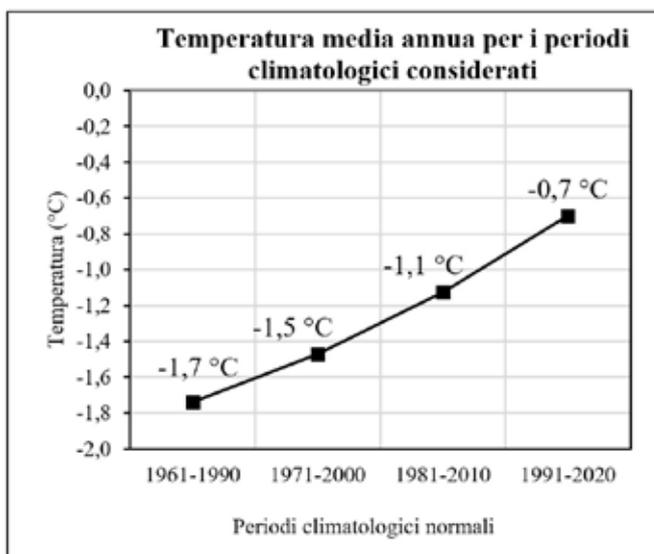


Figura 4 – Temperature medie annue per i quattro periodi climatologici normali 1961-1990, 1971-2000, 1981-2010, 1991-2020

Occorre tuttavia precisare che l'estrapolazione di dati ricavati da una regressione matematica non è un metodo corretto al fine di una valida proiezione futura di un dato climatico. Dati sicuramente più attendibili e di riferimento ci provengono da un recente lavoro dove, mediante l'applicazione di complessi modelli climatici, è stato possibile tracciare una previsione di quel che saranno le temperature sulle Alpi nei prossimi decenni (Kotlarski et al. 2023): l'aumento della temperatura media annua nel 2030 nel settore meridionale alpino, cioè sostanzialmente le Alpi italiane, rispetto al riferimento 1981-2010, sarà di circa $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e questo per tutti e tre gli scenari di gas serra previsti (RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP 8.5). Invece, l'aumento della temperatura media annua alla fine del secolo sulle Alpi italiane, sempre rispetto al riferimento 1981-2010, per gli scenari di gas serra RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP 8.5 sarà rispettivamente di circa $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e superiore a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, con valori tendenzialmente più elevati in tutti e quattro i periodi estivi.

Al fine di effettuare un'analisi retrospettiva di questo lavoro, possiamo dire che i principali punti di forza sono i seguenti:

- aver analizzato il periodo climatologico normale 1991-2020 effettuando un focus sugli ambienti di alta quota;
- aver confrontato il periodo 1991-2020 con i tre precedenti periodi trentennali;
- aver tentato di ipotizzare uno scenario futuro;
- aver contribuito ad approfondire e aggiornare le conoscenze sulle tendenze climatiche nelle Alpi.

Per contro, i principali punti di debolezza sono:

- la distribuzione geografica delle stazioni meteorologiche utilizzate non consente un'analisi che prenda in considerazione tutti i settori ricompresi nella "Great Alpine Region" (GAR) e cioè Nord-Ovest, Nord-Est, Sud-Ovest, Sud-Est, ma solo i settori settentrionale e meridionale;
- solo 9 stazioni dispongono di una serie di dati sufficientemente lunga da poter essere utilizzate per confrontare i quattro periodi climatologici normali: a questo scopo un'analisi effettuata utilizzando sistemi basati su griglie di dati distribuite e non su dati puntuali potrebbe forse fornire risultati più accurati;
- il metodo utilizzato per stimare la temperatura media annua nel periodo 2001-2030 fornisce risultati indicativi e non assoluti: per ottenere informazioni sul clima che ci sarà nelle Alpi nei prossimi decenni è necessario utilizzare modelli previsionali complessi, come quelli attualmente utilizzati dal Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici (IPCC) o dal Centro europeo per le previsioni meteorologiche a medio termine (ECMWF).

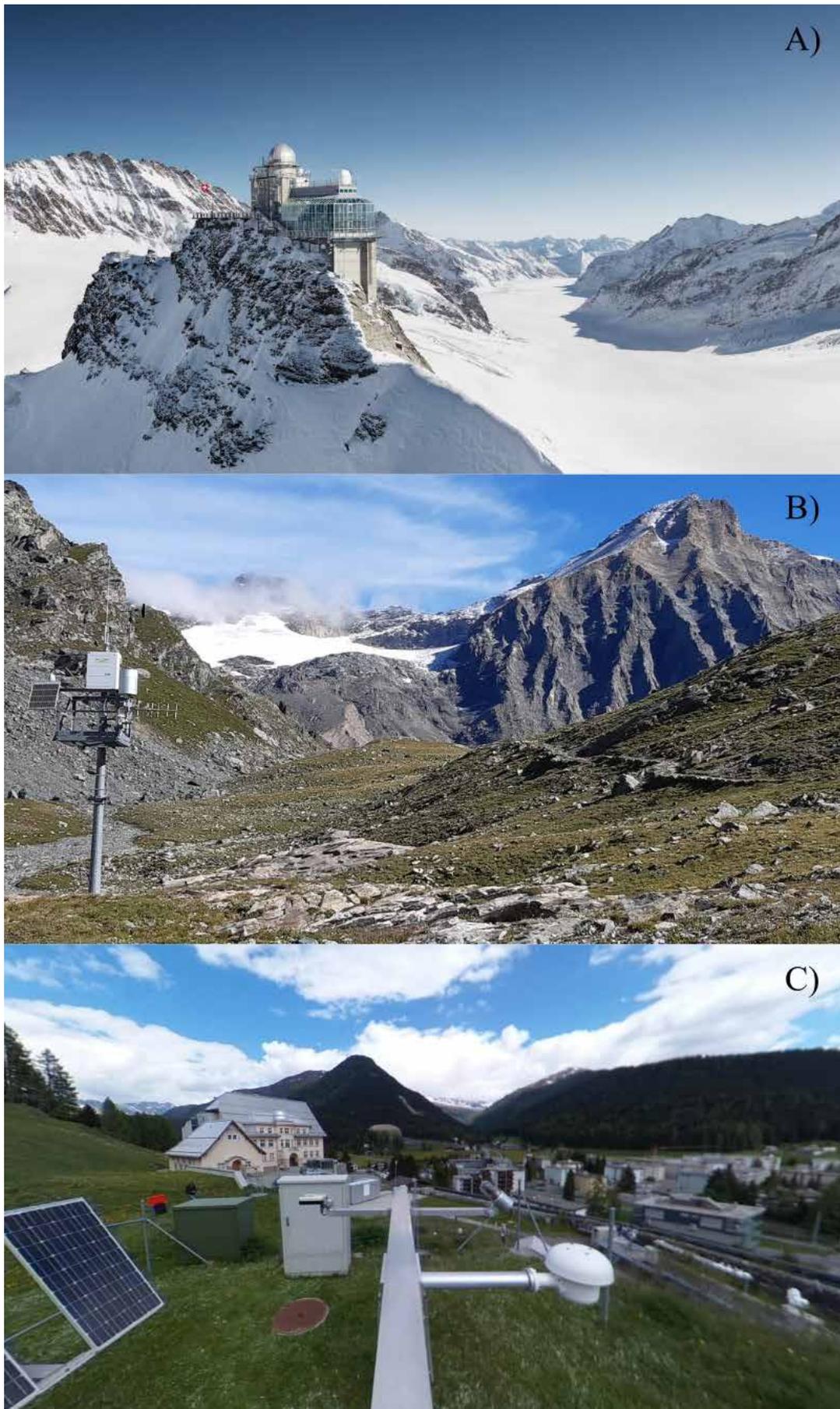


Figura 5 – A) Osservatorio meteorologico della Jungfrau, in ambiente glaciale (fonte <https://www.jungfrau.ch/>); B) Stazione meteorologica Rifugio Gastaldi, in ambiente periglaciale; C) Campetto meteorologico di Davos, in ambiente montano (fonte <https://www.meteosvizzera.admin.ch>)

Conclusioni

L'area alpina si estende per circa 190.700 km² formando un arco che dalla Francia si protende sino all'Austria. All'interno di quest'area, circa 68.000 km² sono localizzati a quote superiori ai 1.500 m, costituendo il 36% circa dell'area totale. Abbiamo visto quanto e come quest'area si stia riscaldando e quanto si riscalderà.

Nei prossimi 100 anni il clima e i diversi ambienti delle Alpi subiranno notevoli trasformazioni. L'intera regione alpina avrà un clima più caldo, soprattutto in estate e soprattutto nella sua parte meridionale, cioè quella italiana. Nel 2050 gran parte dei ghiacciai al di sotto dei 3.000 m saranno estinti e le aree glaciali si trasformeranno velocemente in aree periglaciali, fenomeno peraltro già ampiamente in corso. Gli ambienti alpini di alta quota saranno sempre più frequentati da turisti, escursionisti e alpinisti. Nei prossimi decenni è molto probabile che verranno costruite nuove strutture, al fine di soddisfare diversi settori produttivi (turismo, consumo idroelettrico, agricoltura, silvicoltura, approvvigionamento idrico) ma, allo stesso tempo, aumenterà anche l'instabilità naturale, in particolare per ciò che concerne le frane. Il forte interesse dell'uomo per questi ambienti deve quindi prendere in considerazione gli scenari evolutivi dei prossimi decenni, al fine di conoscere preventivamente i pericoli e di ridurre i rischi.

Abbattere le emissioni di gas serra al fine di mitigare il più possibile i cambiamenti climatici è ormai diventato di importanza prioritaria. Un'iniziativa che sembra andare nella giusta direzione, anche se con troppa lentezza, è quella delle Nazioni Unite con l'adozione dell'Agenda 2030, approvata il 25 settembre 2015 dall'Assemblea Generale. Con l'adozione dell'Agenda 2030 la comunità globale vuole porre fine alla povertà, proteggere il Pianeta e assicurare prosperità a tutti entro il 2030, cioè fra 6 anni: gli attuali indicatori ci dicono che il raggiungimento di questo vitale traguardo non sembra rispettare le tempistiche indicate. A scala regionale alpina, l'applicazione di una "Green economy" è un altro esempio che va nella giusta direzione (Palenberg et al. 2019), ma sembra ancora rimanere un concetto lontano dall'essere applicato piuttosto che un approccio pratico alla risoluzione del problema.

In un contesto in rapida trasformazione come quello dei cambiamenti climatici e dei loro effetti, l'osservazione e il monitoraggio delle variabili climatiche e ambientali che ci indicano lo stato di salute del Pianeta e delle diverse regioni geografiche riveste un ruolo sempre più importante. A tale riguardo, oltre ai dati provenienti dalle reti osservative ufficiali, si segnala il progetto CAI-CNR "Rifugi Sentinelle del clima e dell'ambiente" e il sito dove è possibile consultare i dati osservativi provenienti da una fitta rete di rifugi CAI e osservatori CNR presente sull'arco

alpino e sulla dorsale appenninica, isole comprese (<https://rifugisentinellica.cai.cnr.it>).

Ringraziamenti

Si ringraziano tutti gli enti che hanno fornito in forma gratuita i dati climatici e i metadati delle stazioni meteorologiche.

Un ringraziamento anche ai possessori, pubblici e privati, delle molte webcam attive sull'arco alpino, utilizzate in questo lavoro sia per individuare correttamente molte stazioni meteorologiche e sia per l'osservazione dell'ambiente alpino in cui queste sono inserite.

Citazione dell'articolo originale

NIGRELLI G., CHIARLE M. (2023). *1991–2020 climate normal in the European Alps: focus on high-elevation environments*. *Journal of Mountain Science*, 20(8), 2149-2163. <https://doi.org/10.1007/s11629-023-7951-7>

Bibliografia

- ARPA FRIULI VENEZIA GIULIA (2023). *Banca dati meteorologica*. <https://www.arpa.fvg.it>
- ARPA LOMBARDIA (2023). *Banca dati meteorologica*. <https://tinyurl.com/y96bww42>
- ARPA PIEMONTE (2023). *Banca dati meteorologica*. <https://tinyurl.com/bxnfbpq> January 2023
- ARPA VENETO (2023). *Banca dati meteorologica*. <https://tinyurl.com/ycx9qfcm>
- AUER I. ET AL. (2007). *HISTALP-historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region*. *Int J Climatol* 27(1): 17-47. <https://doi.org/10.1002/joc.1377>
- CF VALLE D'AOSTA (2021). *Banca dati meteorologica*. <https://tinyurl.com/y8uoxfvk>
- COOPER AH., BROWN TJ., PRICE SJ., FORD JR., WATERS CN. (2018). *Humans are the most significant global geomorphological driving force of the 21st century*. *Anthr Rev* 5(3): 222-229. <https://doi.org/10.1177/2053019618800234>
- GOBIET A., KOTLARSKI S., BENISTON M., HEINRICH G., RAJCZAK J., STOFFEL M. (2014). *21st century climate change in the European Alps: A review*. *Sci Total Environ* 493: 1138-1151. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.050>
- HOCK R., RASUL G. ET AL. (2019). *High Mountain Areas*. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. <https://www.ipcc.ch/>
- IPCC (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp., doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
- KLEIN TANK AMG. ET AL. (2002). *Daily dataset of*

- 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *Int J Climatol* 22 (12): 1441-1453. <https://doi.org/10.1002/joc.773>
- KOTLARSKI S., GOBIET A., MORIN S., OLEFS M., RAJ-ZAK J., SAMACOÏTS R. (2023). *21st Century alpine climate change*. *Clim Dyn* 60: 65-86. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06303-3>
 - LUCCHESI S., BERTOTTO S., CHIARLE M., FIORASO G., GIARDINO M., NIGRELLI G. (2019). *Little Ice Age glacial systems and related natural instability processes in the Orco Valley (North-Western Italy)*. *J Maps*, 15(2): 142-152. <https://doi.org/10.1080/17445647.2018.1564382>
 - MASSON-DELMOTTE V., ZHAI P., PIRANI A., CONNORS S. L., PÉAN C., BERGER S., CAUD N., CHEN Y., GOLDFARB L., GOMIS M. I., HUANG M., LEITZEL K., LONNOY E., MATTHEWS J. B. R., MAYCOCK T. K., WATERFIELD T., YELEKÇI O., YU R., ZHOU B. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
 - METEO ALTO ADIGE (2023). *Banca dati Meteorologica*. <https://meteo.provincia.bz.it/>
 - METEOFRANCE (2023). *Donnee publique*. <https://tinyurl.com/jgmlf8u>
 - METEOSWISS (2023). *Federal Office of Meteorology and Climatology*. <https://tinyurl.com/y9vuynob>
 - METEOTRENTINO (2023). *Banca dati Meteorologica*. <https://www.meteotrentino.it/>
 - NIGRELLI G., CHIARLE M. (2023B). *1991–2020 climate normal in the European Alps: focus on high-elevation environments*. *J Mt Sci*, 20(8): 2149-2163. <https://doi.org/10.1007/s11629-023-7951-7>
 - NIGRELLI G., LUINO F., TURCONI L., GUERINI M., PARANUNZIO R., GIARDINO M., CHIARLE M. (2023A). *Catasto delle frane di alta quota nelle Alpi italiane*. <https://geoclimalp.irpi.cnr.it/catasto-frane-alpi/>
 - OSBORN TJ., JONES PD. (2014). *The CRUTEM4 land-surface air temperature dataset: construction, previous versions and dissemination via Google Earth*. *Earth Syst Sci Data* 6 (1): 61-68. <https://doi.org/10.5194/essd-6-61-2014>
 - PALENBERG D., BADURA M., PFEFFERKORN W., ZILLMER S. (2019). *Action Programme for a Green Economy in the Alpine Region*. <https://www.alpconv.org>
 - SEN PK. (1968). *Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau*. *J Am Stat Assoc* 63 (324): 1379-1389. <https://www.jstor.org/stable/2285891>
 - STEFFEN W., BROADGATE W., DEUTSCH L., GAFFNEY O., LUDWIG C. (2015). *The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration*. *Anthr Rev* 2: 81-98. <https://doi.org/10.1177/2053019614564785>
 - STEFFEN W., ROCKSTRÖM J., RICHARDSON L., ET AL. (2018). *Trajectories of the Earth System in the Anthropocene*. *Proc Natl Acad Sci USA* 115: 1-8. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>
 - WILKS DS. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Elsevier, Oxford
 - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (2009). *Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation*. WMO-TD No. 1500. Geneva, Switzerland
 - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (2018A). *WMO Guide to Climatological Practices*. WMO-No. 100. Geneva, Switzerland
 - ZAMG (2021). *Climate and data*. <https://tinyurl.com/y7cp8mmx>



Ricostruzione della storia della vegetazione di alta quota del Monte Cervati, del Gran Sasso e di Campo Imperatore mediante analisi pedomorfologica e del DNA antico Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente

di Giuliano Bonanomi⁽¹⁾⁽²⁾, Emilia Allevato⁽¹⁾, Giandomenico Amoroso⁽¹⁾⁽²⁾,
Francesca Bellucci⁽³⁾, Alfredo Nicastrì⁽²⁾, Mohamed Idbella⁽⁴⁾

1. Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Napoli Federico II
2. Club Alpino Italiano, Sezione di Salerno
3. Club Alpino Italiano, Sezione di Avellino
4. Department of Soil, Water, and Ecosystem Sciences, University of Florida

Riassunto

La vegetazione di alta quota dell'Appennino è caratterizzata dall'alternanza di praterie e formazioni rocciose, con una presenza limitata di arbusti e alberi. Il limite superiore del bosco chiuso (*treeline*) si trova a quote relativamente basse (1.589 m s.l.m.) rispetto alle Alpi, a causa delle profonde alterazioni antropiche verificatesi nel corso dei secoli e dei millenni passati. In questo contesto, il presente studio si propone di ricostruire la vegetazione di alta quota del Monte Cervati (1.899 m), del Gran Sasso (2.912 m) e di Campo Imperatore. Per raggiungere questo obiettivo, è stata combinata l'analisi dei carboni fossili rinvenuti nei profili del suolo con l'analisi del DNA antico. La ricerca è iniziata nell'estate del 2022 con due spedizioni scientifiche organizzate dal Comitato Scientifico Regionale CAI della Campania, volte a raccogliere paleosuoli e carboni fossili sul Cervati, sulle morene del Calderone e nella Val Fornaca a Campo Imperatore. I campioni sono stati successivamente sottoposti a estrazione del DNA, amplificazione, sequenziamento e analisi bioinformatica presso i laboratori del Dipartimento di Agraria dell'Università Federico II di Napoli. I carboni fossili sono stati identificati a livello tassonomico mediante l'utilizzo di un microscopio ottico a luce riflessa e successivamente datati con il metodo del radiocarbonio. Sul Monte Cervati sono stati scoperti i resti di un antico incendio datato 4.769 anni cal BP. Questo evento, probabilmente favorito da un clima arido, ha contribuito a modellare l'aspetto attuale della montagna, rendendola arida e brulla. L'analisi del DNA antico nel fondo della dolina sommitale del Cervati ha rivelato tracce di taxa botanici appartenenti alle Pinaceae, suggerendo la possibile presenza, in un passato remoto, di formazioni forestali con conifere, oggi assenti. Al Gran Sasso, lo studio del DNA antico estratto da un paleosuolo datato a 4.290 anni cal BP nei pressi del circo glaciale del Calderone, suggerisce che durante l'Olocene una vegetazione assai sviluppata, probabilmente con presenza di specie forestali, raggiungesse quote molto elevate, vicine ai 2.800 m. Tuttavia, la bassa concentrazione di DNA, il numero limitato di campioni e la bassa risoluzione tassonomica non consentono di delineare scenari precisi circa la tipologia di vegetazione. Futuri studi basati su metodi molecolari più avanzati potranno svelare i misteri delle dinamiche di espansione e contrazione del ghiacciaio più meridionale d'Europa. Infine, lo studio pedomorfologico condotto nella Val Fornaca ha permesso di comprendere gli eventi avvenuti a Campo Imperatore negli ultimi 10.000 anni. Emerge un quadro dinamico con formazioni a betulle sostituite da boschi di faggio, successivamente distrutti da imponenti incendi che hanno dato origine alla vegetazione erbacea attualmente dominante sull'altopiano. La collaborazione tra i ricercatori, il Comitato Scientifico Regionale della Campania e i soci del CAI ha contribuito a un significativo avanzamento nella conoscenza della storia naturale dell'Appennino.

Abstract: Reconstruction of the history of the high-altitude vegetation of Monte Cervati, Gran Sasso and Campo Imperatore through pedomorphological and ancient DNA analysis

The high-altitude vegetation of the Apennines is characterized by the alternating presence of prairies and rock formations, with limited shrubs and trees. Moreover, the upper limit of the closed forest (*treeline*) is positioned relatively low (at an average of 1.589 m asl) compared to the Alps, primarily due to significant anthropogenic disruptions over centuries and millennia. In this context, the current study, funded by the Central Scientific Committee, aimed to reconstruct the high-altitude vegetation of Monte Cervati (1.899 m asl), Gran Sasso and Campo Imperatore (2.912 m asl). To achieve this objective, the analysis of fossil charcoal extracted from soil profiles was combined with the examination of ancient DNA. The research started in the summer of 2022 with two scientific expeditions organized by the Regional Scientific Committee of Campania, targeting the collection of paleosols and fossil charcoals from Cervati, the Calderone moraines, and Val Fornaca in Campo Imperatore. Subsequently, the samples underwent DNA extraction, amplification, sequencing, and bioinformatic analysis at the laboratories of the Department of Agriculture. Fossil charcoals were taxonomically identified using a reflected light optical microscope and subjected to radiocarbon dating. At Monte Cervati, remnants of an ancient fire dating back 4769 years cal BP were uncovered. This significant wildfire, likely exacerbated by

a period of arid climate, altered the mountain's landscape, contributing to its current arid and barren appearance. Analysis of ancient DNA at the base of the Cervati summit sinkhole revealed traces of botanical taxa associated with Pinaceae, suggesting the potential existence, in a distant past, of forest formations featuring conifers now entirely absent. At Gran Sasso, the analysis of ancient DNA extracted from a paleosol dating back to 4290 years BP near the Calderone glacial cirque indicates that during the Holocene, highly developed vegetation, likely including forest species, reached elevations nearing 2800 m above sea level. However, due to low DNA concentration, limited sample numbers, and taxonomic resolution, precise vegetation scenarios cannot be presented. Future studies employing advanced molecular techniques will help unravel the mysteries surrounding the dynamics of ice expansion and contraction in southern Europe. Lastly, the study conducted in Val Fornaca shed light on Campo Imperatore history over the past 10000 years. The findings depict a dynamic landscape, with birch formations replaced by beech forests, later devastated by massive wildfires, ultimately giving rise to the herbaceous vegetation dominating the plateau today. Collaboration among researchers, the Regional Scientific Committee, and CAI members has facilitated a significant advancement in understanding the natural history of the Apennines.

Introduzione

La vegetazione di alta quota si caratterizza per l'alternanza di foreste, arbusteti e praterie. Il limite superiore del bosco chiuso rappresenta un elemento distintivo dei principali gruppi montuosi del mondo che raggiungono un'altitudine sufficiente. Comunemente noto come linea degli alberi (*treeline*), in molti casi è così definito e nitido da sembrare tracciato da un paesaggista. Per esempio sull'Himalaya il *Juniperus tibetica* cresce fino a 4.900 m, mentre sulle Alpi diverse conifere come il pino cembro (*Pinus cembra*) e il larice (*Larix decidua*) possono raggiungere i 2.200-2.300 m di quota (Körner & Paulsen 2004). Il limite superiore del bosco è il risultato del complesso effetto della temperatura sulla fisiologia degli alberi: più bassa è la temperatura, più bassa è la quota altimetrica raggiunta dalla *treeline*. Procedendo idealmente dall'equatore verso i poli, la quota del limite superiore del bosco si riduce progressivamente, variando dai circa 4.000 m nei tropici fino al livello del mare alle latitudini più elevate della Norvegia e del Canada nell'emisfero boreale e della Terra del Fuoco in quello australe.

Il limite superiore del bosco è comunemente associato alla riduzione della temperatura dell'aria e del suolo man mano che si sale di quota. Gli studi più recenti hanno identificato un'isoterma che caratterizza il limite superiore del bosco a scala mondiale, posizionandosi a circa 6.7 °C durante la stagione vegetativa (Körner 2012). Questo limite termico si traduce sui versanti delle montagne in un confine immaginario che gli alberi non possono superare. Quando le temperature sono inferiori a questo limite, solo gli arbusti prostrati, le piante pulviniformi e alcune erbe possono completare il loro ciclo vitale.

A livello globale, sono ben compresi i fattori eco-fisiologici che influenzano l'altitudine della *treeline*; tuttavia, a livello regionale e locale, altri fattori possono intervenire, a volte in modo significativo, modificando l'altitudine massima a cui si trovano le formazioni forestali. Valanghe, incendi, deforestazione

e attività di pascolo sono tra i principali fattori che tendono a ridurre, o "deprimere", l'altitudine della *treeline* rispetto al suo potenziale climatico per una determinata specie. In Europa, sugli Appennini in particolare, l'attività umana ha avuto un impatto significativo sulla vegetazione nei piani collinari e montani, riducendo sensibilmente l'altitudine massima raggiunta dai boschi. Il faggio è la specie predominante al limite superiore del bosco lungo gli Appennini, con rare eccezioni, come la presenza del pino loricato (*Pinus heldreichii*) sul massiccio del Pollino e del pino mugo (*Pinus mugo*) sulla Majella. Un nostro studio ha evidenziato che la *treeline* si situa mediamente a 1.589 m lungo gli Appennini, sebbene ci sia una notevole variabilità tra i diversi gruppi montuosi (Bonanomi et al. 2018).

Nel Parco del Pollino, per esempio, si trovano faggi che crescono alle quote più elevate al mondo, fino a 2.140 metri sulle pendici del Monte Serra del Prete. Al di là del Pollino, il faggio raggiunge le quote più elevate sui Simbruini e la Laga, mentre altitudini più basse si riscontrano sulle Alpi Apuane, sui Sibillini e sull'Appennino Campano (Bonanomi et al. 2020). Lungo l'intero arco appenninico, l'intervento umano millenario, finalizzato alla creazione di radure per l'agricoltura, il pascolo, l'estrazione del legname o la produzione di carbone, ha drasticamente abbassato le quote massime raggiunte dai boschi (Bonanomi et al. 2022).

L'azione antropica è stata più incisiva in alcune aree rispetto ad altre. Per esempio, sulle Alpi Apuane, dove il limite superiore del bosco è tra i più bassi dell'Appennino, l'estrazione del marmo è stata l'attività umana predominante, sia in passato che oggi. Sui Sibillini, il pascolo e la deforestazione hanno abbassato notevolmente l'altitudine degli alberi, creando ampie praterie visibili dalle creste della Sibilla, del Vettore e del Redentore; il bosco è spesso relegato nelle zone più impervie, in cui il taglio per lo sfruttamento del legname risulta impraticabile.

L'esistenza di pochi siti rifugio, sia sull'Appennino meridionale che centrale, dove il faggio vegeta ancora ben oltre i 2.000 m è un indicatore incontrovertibile della potenzialità di questa specie a svilupparsi a quote molto più elevate. Su queste montagne, il limite superiore degli alberi è significativamente inferiore al potenziale altimetrico e climatico del faggio, che a queste latitudini si avvicina ai 2.100 m.

In sintesi, lungo l'Appennino, il limite del bosco risulta mediamente "depresso" di almeno 400 m rispetto al suo potenziale ecologico. Senza l'impatto antropico, l'Appennino Campano, non avendo cime superiori ai 2.000 m, sarebbe caratterizzato da fitte e antiche foreste di faggio; invece gran parte delle vette del Matese, dei Picentini e degli Alburni si presentano ricoperte da praterie secondarie, create dall'uomo attraverso il taglio del bosco, ricche di biodiversità. In queste aree, il limite superiore della faggeta è notevolmente ridotto rispetto al suo potenziale altimetrico e climatico. In definitiva, l'Appennino ha subito un'intensa azione antropica nel corso dei millenni, sebbene sia ancora poco chiaro fino a che altitudine i boschi si estendessero nei secoli passati.

Negli ultimi decenni lo studio dei pollini fossili accumulati gradualmente nei laghi e nelle poche torbiere degli Appennini ha consentito una dettagliata ricostruzione dell'alternanza delle principali specie vegetali durante le glaciazioni e, più recentemente, nell'Olocene. In particolare, l'analisi dei pollini ha permesso una comprensione approfondita della risposta del faggio alle variazioni climatiche e all'impatto antropico a livello continentale e regionale (Watts 1985; Magri et al. 2006). Tuttavia, sono disponibili solo pochi studi sui profili pollinici ad alta quota negli Appennini. Ad esempio, Magri (2007) ha dimostrato che a Campo Felice, situato a circa 1.500 m, le principali specie arboree (come *Abies*, *Fagus*, *Pinus*, *Quercus*) si sono alternate in espansioni e contrazioni di popolazione negli ultimi 90.000 anni, con l'eccezione del ginepro, che è stato costantemente presente, mostrando una notevole resistenza ecologica.

L'utilizzo dei pollini come proxy paleo-vegetazionale presenta tuttavia alcuni limiti. I pollini, infatti, possono essere dispersi dal vento anche per lunghe distanze, rendendo questo metodo rappresentativo dei cambiamenti vegetazionali a scala regionale o di comprensorio, ma non in grado di definire dettagliatamente gli eventi a scala locale, come nel caso della *treeline*. Le informazioni dettagliate sulla distribuzione spaziale, non ottenibili con i pollini, possono essere invece ricavate dallo studio di frammenti di legno carbonizzato, che rimangono chimicamente inerti nel suolo per lungo tempo. Ad esempio, i siti di carbonizzazione del legno, utilizzati dai carbonai fino agli anni '60 del secolo scorso, sono diffusi nel paesaggio appenninico, rilevabili fino a quote

prossime ai 2.000 m, come osservato sul Monte Pizzone e sul Monte Argatone.

Altri segni di incendi passati si trovano nel suolo sotto forma di livelli ricchi di carbone, noti come "strati neri" o "*black layer*" (Bunbury et al. 2022). Negli anni '90, Giraudi (1999) ha dimostrato che numerosi incendi di grandi dimensioni hanno interessato negli ultimi 8.000 anni la catena del Gran Sasso, il Terminillo e il Monte Greco. Con le sue ricerche Carlo Giraudi ha scoperto siti in cui ancora oggi si ritrovano carboni che testimoniano incendi passati e che hanno fornito dettagliate datazioni al radiocarbonio degli eventi stessi. Tuttavia, queste ricerche non hanno permesso di identificare le specie vegetali coinvolte. Sebbene l'analisi dei carboni presenti nel suolo fornisca informazioni di valore, questo metodo presenta anch'esso limitazioni. Trovare profili di suolo con carboni di rilevanza paleoecologica è come cercare un ago in un pagliaio. La maggior parte degli studi disponibili si concentra su siti archeologici, utilizzando frammenti di carbone ritrovati nei focolari usati per riscaldarsi, cucinare e fabbricare utensili (es. Mercuri et al. 2015). Questo approccio non è applicabile allo studio dei boschi di alta quota, poiché la maggior parte dei villaggi si trova a quote basse, e vi è anche l'effetto di selezione del combustibile da parte delle popolazioni locali. Inoltre, l'identificazione tassonomica dei carboni è complessa e richiede il lavoro di specialisti.

Storicamente, lo studio dei pollini e, in misura minore, dei carboni e dei macrofossili, ha fornito informazioni per le ricostruzioni paleobotaniche. Tuttavia esistono altri indicatori ambientali utili che combinano elevata risoluzione tassonomica e un'applicazione potenzialmente sistematica per la ricostruzione degli ecosistemi passati. Attualmente il principale strumento è il DNA sedimentario antico (*ancient sedimentary DNA* - sedaDNA). Ogni cellula degli organismi viventi contiene DNA, che viene rilasciato nell'ambiente alla fine del ciclo vitale, lasciando tracce specie-specifiche. Il DNA sedimentario si frammenta nel tempo, ma continua a contenere informazioni definite dalla sequenza nucleotidica. Le tecniche associate allo studio del DNA ambientale hanno fatto progressi significativi negli ultimi anni, permettendo un'efficace estrazione dal suolo e un sequenziamento delle sequenze.

Inoltre i costi di sequenziamento sono divenuti decisamente più accessibili permettendo un utilizzo a tappeto di questo metodo come, per esempio, per lo studio del microbioma in campo medico (De Filippis et al. 2016) e agronomico (Bonanomi et al. 2016). A oggi ancora poco diffuse sono le applicazioni del sedaDNA in campo paleoecologico, ma la possibilità di ricostruire gli ecosistemi con alti livelli di definizione non limitata alle specie dominanti o che producono molto polline, ma anche a specie erbacee poco abbondanti o ad altri gruppi trofici inclusi batteri, funghi e insetti, è stata accolta con

entusiasmo dalla comunità scientifica (Edwards 2000). Il sedaDNA è stato utilizzato con successo nella ricostruzione della storia della taiga e della tundra siberiana, ma anche in ecosistemi acquatici dominati da diatomee o per quantificare l'espansione della vegetazione in ambienti artici durante i periodi interglaciali. Non ci sono ancora studi sul sedaDNA negli Appennini, ma le prospettive di applicazione di questo metodo aprono nuove possibilità di conoscenza per ambienti come Campo Imperatore, il Gran Sasso e il Monte Cervati. In questo contesto, l'obiettivo generale del progetto congiunto tra il Club Alpino Italiano e l'Università degli Studi di Napoli Federico II è quello di fornire una dettagliata

Il Monte Cervati

Il Monte Cervati rappresenta un esempio tipico delle montagne dell'Appennino meridionale, caratterizzate da un significativo abbassamento del limite superiore del bosco. Lo studio si è concentrato sulla dolina sommitale situata a circa 1.850 m, dove è presente uno strato di terreno scuro (*black layer*) a una profondità di circa 150 cm (Figura 1). Nel mese di giugno 2022, il gruppo di ricerca ha effettuato il campionamento dei suoli a quattro diverse profondità (Figura 1):

1. 0-30 cm relativo al suolo moderno;
2. prelievo a 100 cm di profondità;
3. prelievo a 150 cm di profondità corrispondente allo strato di carbone;
4. prelievo a 200 cm di profondità.

I campioni di suolo prelevati sono stati trasportati in laboratorio, dove è stata condotta l'estrazione dell'acido desossiribonucleico (DNA) utilizzando il protocollo CTAB. Successivamente è stata eseguita l'amplificazione mediante PCR utilizzando i *primer rbcL* (Lammers 2020).

I prodotti di amplificazione sono stati analizzati mediante il pacchetto software DADA2 (versione 1.16.0 *pipeline*) in R (4.0.4), e la classificazione tassonomica è stata eseguita utilizzando un database di 181,133 sequenze *rbcL* scaricate dalla sezione Nucleotide del NCBI. Alla fine di questo processo, si è ottenuta una tabella di ASVs (*Amplicon Sequence Variants*) che riportava le diverse tassonomie assegnate a diversi livelli, insieme alla loro relativa abbondanza in ciascuno dei campioni. Per quanto riguarda l'analisi pedoantracologica, i campioni di carbone prelevati nello strato scuro sono stati esaminati utilizzando un microscopio ottico a luce riflessa, che permette l'identificazione botanica di frammenti fino a un limite dimensionale minimo di 0,4 mm (Greguss 1959; Schweingruber 1990). La stratificazione degli orizzonti pedologici, dove sono conservati i carboni, consente di delineare, lungo un asse temporale, la dinamica delle formazioni vegetali legnose, dall'antichità a oggi. Inoltre, le moderne tecniche di datazione radiocarbonica con Spettrometria di

ricostruzione della vegetazione di alta quota negli Appennini attraverso lo studio combinato e complementare dei carboni fossili e del DNA sedimentario antico. A tale scopo, sono stati selezionati tre siti di studio:

1. il Monte Cervati (1.899 m);
2. il Corno Grande (2.912 m);
3. Campo Imperatore (1.500 ÷ 2.100 m).

Questi siti, per la loro diversità d'altitudine e di condizioni ambientali, consentono un'analisi completa e rappresentativa della vegetazione di alta quota in Appennino.

Massa con Acceleratore (AMS) consentendo una precisa datazione dei frammenti identificati, permettono una ricostruzione cronologica estremamente accurata nel tempo. Complessivamente, 8 frammenti di carbone precedentemente identificati sono stati sottoposti a datazione radiocarbonica presso i laboratori del Dipartimento di Matematica e Fisica dell'Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", consentendo una precisa collocazione temporale delle formazioni vegetali individuate.

I risultati dell'analisi del DNA antico hanno rivelato che il numero maggiore di sequenze di DNA è stato trovato nel suolo recente, con una netta diminuzione con la profondità di campionamento (Figura 1). In particolare, il numero minimo di sequenze per campione è stato osservato nello strato "grigio", ricco di argilla e limo. Purtroppo, la risoluzione tassonomica è risultata piuttosto bassa, non consentendo un'identificazione a livello di specie.

Le entità tassonomiche sono state quindi aggregate a livello di ordine e, in alcuni casi, a livello di famiglia e genere. L'analisi ha rivelato la massima diversità di unità tassonomiche (ASV) nel suolo recente, con il seguente ranking in termini di abbondanza di sequenze:

Ericales > Fabales (Fabaceae) > Poales (Poaceae) > Gentianales (Rubiaceae) > Brassicales (Brassicaceae) > Rosales (Rosaceae) > Fagales (Betulaceae) > Caryophyllales > Pinales (Pinaceae) > Lamiales (Orobanchaceae) > Lamiales (Plantaginaceae)

con altri ordini che hanno mostrato un'abbondanza relativa inferiore all'1%. Nello strato "grigio" è stata rilevata una bassa diversità con solo tre ordini, ma di cui il 99% delle sequenze appartenevano alla famiglia delle Fabaceae. Interessante rilevare che nello strato "grigio" non sono state rilevate sequenze appartenenti a entità tassonomiche arboree o arbustive. Nel "*black layer*", datato a 4.769 anni cal BP, sono stati identificati 11 ordini tassonomici, con dominanza delle Ericales (48%) seguite da Rosales e Lamiales, con una presenza significativa di Po-

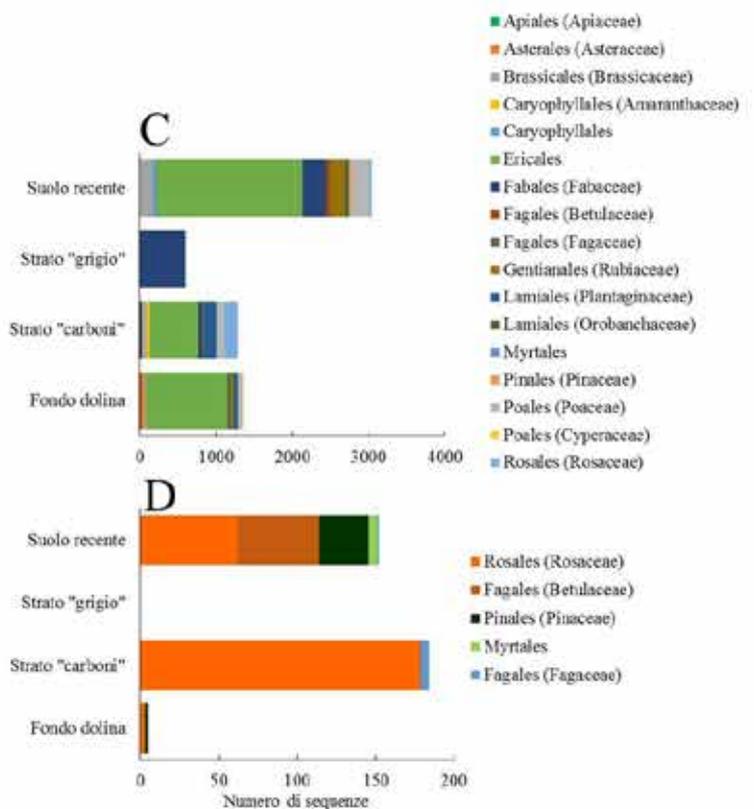


Figura 1 – A - la dolina sommitale del Monte Cervati ubicata a circa 1.850 m s.l.m., oggetto dello studio, durante un'escursione intersezionale campana del CAI (Giugno 2022); B - profilo di campionamento presso la dolina; C - abbondanza di tutti i taxa rilevati mediante sequenziamento del DNA; D - abbondanza dei soli taxa appartenenti a specie arboree. Notare i fori rotondeggianti generati durante il campionamento di suolo - ph Giuliano Bonanomi

aceae (8%). Per quanto riguarda le specie arboree, le Rosales sono risultate dominanti, con tutte le sequenze appartenenti al genere *Sorbus*, e tracce di sequenze appartenenti alle famiglie Fagaceae (0,4%) e Betulaceae (0,2%). Nello strato del fondo della dolina, dominato dalle sequenze di Ericales (79%), sono state rilevate solo tracce di entità tassonomiche appartenenti alle Pinales (0,1%), Betulaceae (0,1%), e al genere *Sorbus* (0,2%). L'analisi pedoantracologica è risultata complessa a causa delle ridotte dimensioni e del precario stato di conservazione dei campioni. Tuttavia, è stata esclusa la possibilità che i carboni appartenessero a specie legnose, ma con alta probabilità sono stati identificati come *Dactylis* spp., un'erba perenne appartenente alla famiglia delle graminacee. Tutti i campioni analizzati (N = 25) appartenevano a questa entità tassonomica. Le tre datazioni al radiocarbonio dei carboni nel "black layer" hanno rivelato un'età relativamente simile, confermando che sono stati prodotti da un singolo, imponente incendio, datato mediamente a 4.769 anni cal BP. Questo evento potrebbe aver preceduto di alcuni secoli l'evento climatico noto come 4.200 BP (Bini et al. 2019), che ha avuto significative implicazioni a livello globale. A partire dal 4.200 BP il clima in numerose regioni del globo si è notevolmente inaridito e in alcune aree anche raffreddato. L'evento è stato di entità tale che numerosi ricercatori hanno ipotizzato che abbia contribuito al declino o al crollo di numerosi regni antichi (es. Antico Regno in Egitto, Impe-

ro accadico in Mesopotamia, cultura Liangzhu in Cina) (Weiss 2016). Nel nostro contesto, una possibile ricostruzione prevede che eventi di clima arido, precedenti all'evento 4.200 BP, abbiano creato le condizioni ideali di vegetazione secca per un incendio di grandi dimensioni. Tale incendio, di cui non è noto se l'origine sia naturale o antropica, è stato probabilmente di grandi dimensioni, in quanto ha lasciato tracce rilevanti nel profilo del suolo. Successivamente è probabile che il suolo sia stato eroso dai versanti della dolina generando l'ambiente roccioso ora visibile, e si sia accumulato per circa 1,5 m sopra lo strato a carboni al centro della dolina stessa. Inoltre, l'indagine basata sul DNA antico ha indicato che *Sorbus* era l'unica entità tassonomica arborea abbondante nel livello a carboni, insieme a Poaceae e altre specie erbacee. Per le ricerche future, l'attenzione sarà focalizzata sul livello presente al fondo della dolina. Anche in questo contesto, sono stati rinvenuti dei carboni, attualmente soggetti a datazione radiocarbonica e a identificazione tramite analisi antracologica. L'analisi del DNA ha rivelato la presenza solo di tracce di taxa arborei, tra cui le famiglie Betulaceae e Pinaceae. La presenza delle Pinaceae suggerisce scenari interessanti, poiché l'areale del pino loricato (*Pinus heldreichii*) ha il suo limite settentrionale sulla parete Ovest del Monte Alpi, a soli 45 km di distanza in linea d'aria dal Monte Cervati. Studi futuri cercheranno di determinare se il pino loricato fosse presente anche sul Monte Cervati, insieme ad altre conifere come l'abete bianco (*Abies alba*).

Il Gran Sasso e Campo Imperatore

Il Gran Sasso d'Italia e Campo Imperatore rappresentano rispettivamente la vetta più elevata e il più esteso e iconico altopiano dell'Appennino, quest'ultimo per vastissime aree quasi completamente privo di vegetazione arborea.

In queste regioni sono numerose le tracce di incendi passati, riscontrate a quote variabili tra i 1.702 m della Val Fornaca e gli oltre 2.100 m delle faglie del Monte Brancastello, oltre che nei circhi glaciali del Monte Aquila (Giraudi 2003).

Tuttavia, le ricerche condotte finora non sono riuscite a identificare le specie vegetali presenti. Ulteriori approfondimenti basati sul lavoro di Giraudi potrebbero rivelare il momento in cui Campo Imperatore è passato da foresta a prateria e quali essenze arboree dominavano in passato.

È ben noto che nell'Olocene il ghiacciaio del Calderone ha subito contrazioni ed espansioni. In particolare, tra 9.000 e 4.000 anni fa, il Calderone ha subito una significativa contrazione a causa del clima caldo e umido (Giraudi et al. 2011).

Durante quel periodo, suoli evoluti si sono formati fino a quote prossime ai 2.800 m. Tuttavia non è ancora

chiaro quale tipo di vegetazione occupasse tali quote durante quel periodo. L'obiettivo del nostro studio è applicare, per la prima volta, l'approccio del DNA sedimentario ai paleosuoli del Gran Sasso e di Campo Imperatore al fine di rispondere a queste domande.

Nel mese di agosto del 2022, è stata organizzata una spedizione composta da cinque soci del CAI con l'obiettivo di raccogliere campioni di suolo e carboni fossili nelle vicinanze del Calderone e nell'area della Val Fornaca (Figure 2 e 3). I campioni sono stati analizzati utilizzando le stesse metodologie descritte per il Monte Cervati.

I risultati relativi al Gran Sasso confermano le aspettative, con il maggior numero di sequenze di DNA rilevate nel suolo recente e una drastica riduzione nel suolo prelevato dalla morena del Calderone (Figura 4). L'analisi dei taxa ha rilevato una diversità molto più elevata nel suolo recente con il seguente ranking in relazione all'abbondanza di sequenze: Ericales > Poales > Gentianales > Brassicales > Fabales > Rosales. Nel campione denominato Calderone è stato ritrovato un solo taxon riferibile all'ordine

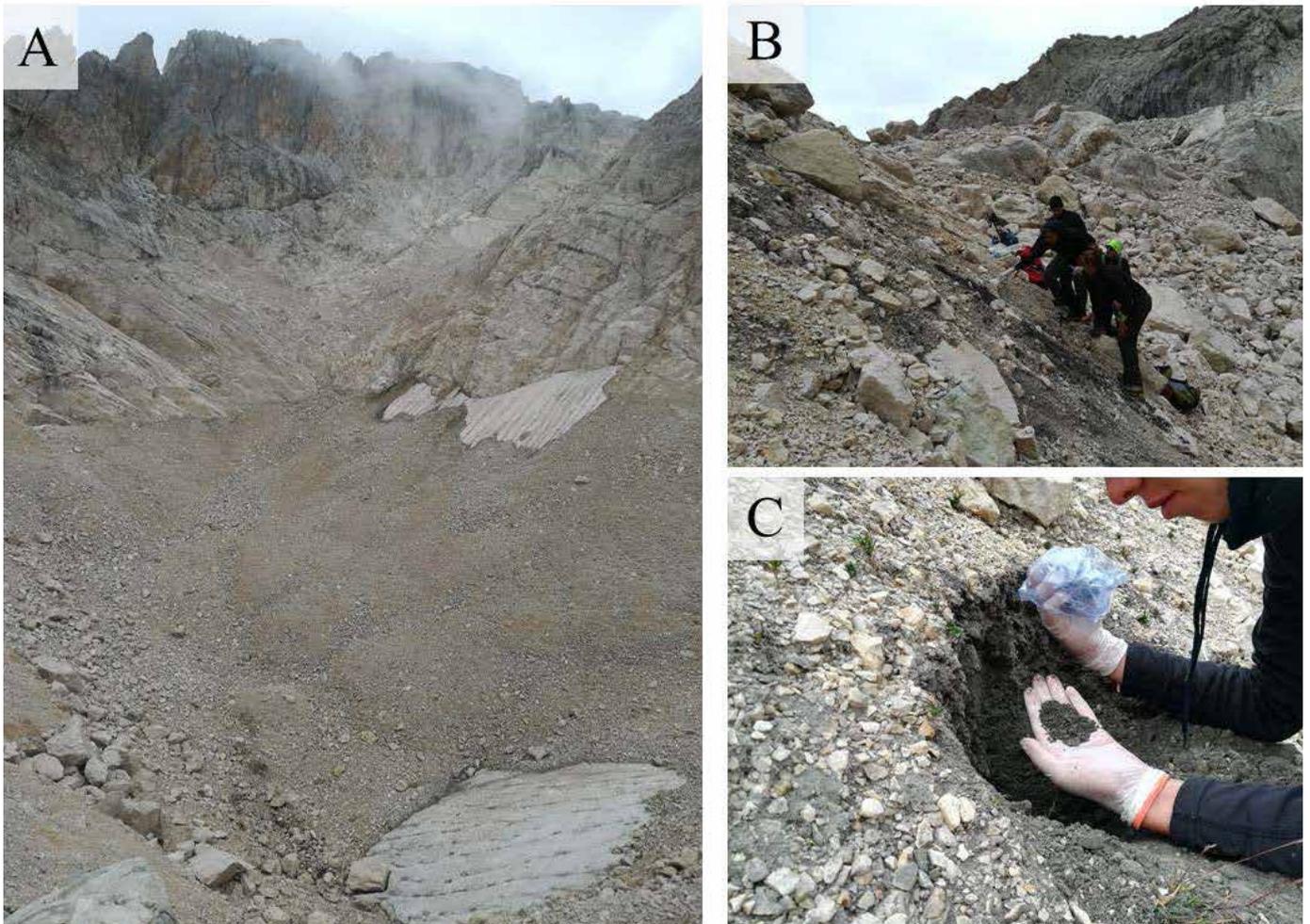


Figura 2 – Panoramica dell'area del Calderone (A), fase di campionamento del paleosuolo presente a quota 2.678 m (B) e dettaglio della raccolta del suolo (C) - ph Giuliano Bonanomi

delle Fagales. Il ghiacciaio del Calderone, il più meridionale d'Europa, è sotto osservazione a causa del suo rapido deterioramento dovuto al riscaldamento globale (Pecci et al. 2008). Durante l'ultimo massimo glaciale, il ghiacciaio ha raggiunto la sua massima espansione, scendendo fino a quote vicine a 1.400 m sul livello del mare.

Durante l'Olocene, il ghiacciaio ha subito una serie di espansioni e contrazioni. Secondo Giraudi et al. (2011), il ghiacciaio è probabilmente scomparso completamente durante le fasi più calde dell'Olocene, come dimostra la presenza di un paleosuolo nel circo glaciale attuale a circa 2.700 m s.l.m., datato a 4.290 anni BP. Questo paleosuolo suggerisce la presenza di formazioni vegetali evolute ad alta quota durante quel periodo. L'indagine attuale ha iniziato a chiarire quali specie vegetali fossero presenti su quel suolo fino al successivo raffreddamento climatico durante la piccola età glaciale. I risultati mostrano una bassa quantità di DNA nel paleosuolo, coerente con l'assenza di nuova vegetazione nel circo glaciale negli ultimi 4.000 anni. La presenza di DNA appartenente all'ordine delle Fagales richiede ulteriori conferme e approfondimenti

per migliorare la risoluzione nell'identificazione tassonomica, attualmente ancora grossolana.

Passando allo studio relativo a Campo Imperatore, le indagini sono state condotte esclusivamente con approccio pedoantracologico identificando tre livelli all'interno del conoide della Val Fornaca (Figura 5):

- un accumulo di suolo scuro a forma di piramide rovesciata denominato "cuneo" da Giraudi (2003) e posto immediatamente al di sotto del suolo recente;
- due livelli posti a circa 3,5 e 4,0 m di profondità dalla superficie e caratterizzati da materiale substrato organico e scuri. Sia il "cuneo" che i due livelli profondi sono risultati ricchi di residui legnosi carbonizzati, anche di dimensioni ragguardevoli (Figura 5).

L'analisi pedoantracologica del "cuneo" effettuata su 22 carboni ha rivelato che il 100% di questi sono di faggio (*Fagus sylvatica*).

Uno di questi campioni è stato oggetto di datazione al radiocarbonio rivelando un'età di 5.178 anni cal BP. L'analisi del primo livello profondo, basata



Figura 3 – Il gruppo di lavoro in avvicinamento alla zona di campionamento in Val Fornaca, sullo sfondo il Monte Prena (A), fase di campionamento dei paleosuoli presente a quota 1702 m s.l.m. (B) e dettaglio di un frammento di legno carbonizzato da poco rinvenuto (C) - ph Giuliano Bonanomi

su 10 carboni ha anch'essa rivelato che gran parte dei campioni (90%) appartenevano al faggio (*Fagus sylvatica*) con un campione probabilmente identificabile come sorbo (cf. *Sorbus*). Due di questi campioni identificati come faggio sono stati oggetto di datazione al radiocarbonio rivelando un'età di 5.754 anni cal BP e 6.760 anni cal BP. Infine, l'analisi pedoantracologica del livello più profondo basata su 8 campioni carbonizzati ha rivelato che

7 di questi (87,5%) appartenevano al genere *Betula* spp. mentre i restanti (12,5%) non erano identificabili. Due campioni identificati come *Betula* spp. sono stati oggetto di datazione al radiocarbonio rivelando un'età di 9.625 anni cal BP e 10.058 anni cal BP, rispettivamente.

I risultati ottenuti sono di grande rilevanza scientifica e forniscono nuovi dati utili per accrescere la conoscenza relativa alla storia naturale di Campo

A



B

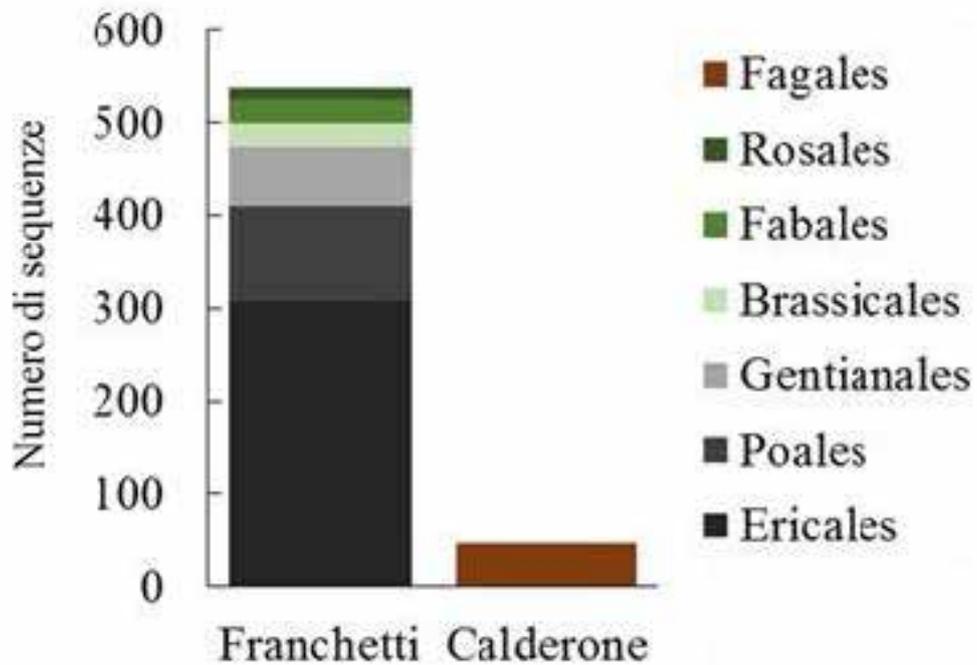


Figura 4 – Corno Grande visto dalla cima del Corno Piccolo con evidenziati i due punti di campionamento: paleosuolo datato a 4.290 BP, Giraudi (2000) nei pressi della morena a quota 2.678 m s.l.m. e indicato come Calderone e suolo recente campionato a quota 2.395 m s.l.m. (A). Abbondanza di tutti i taxa rilevati mediante sequenziamento del DNA (B) - ph Francesco Raffaele

A



B

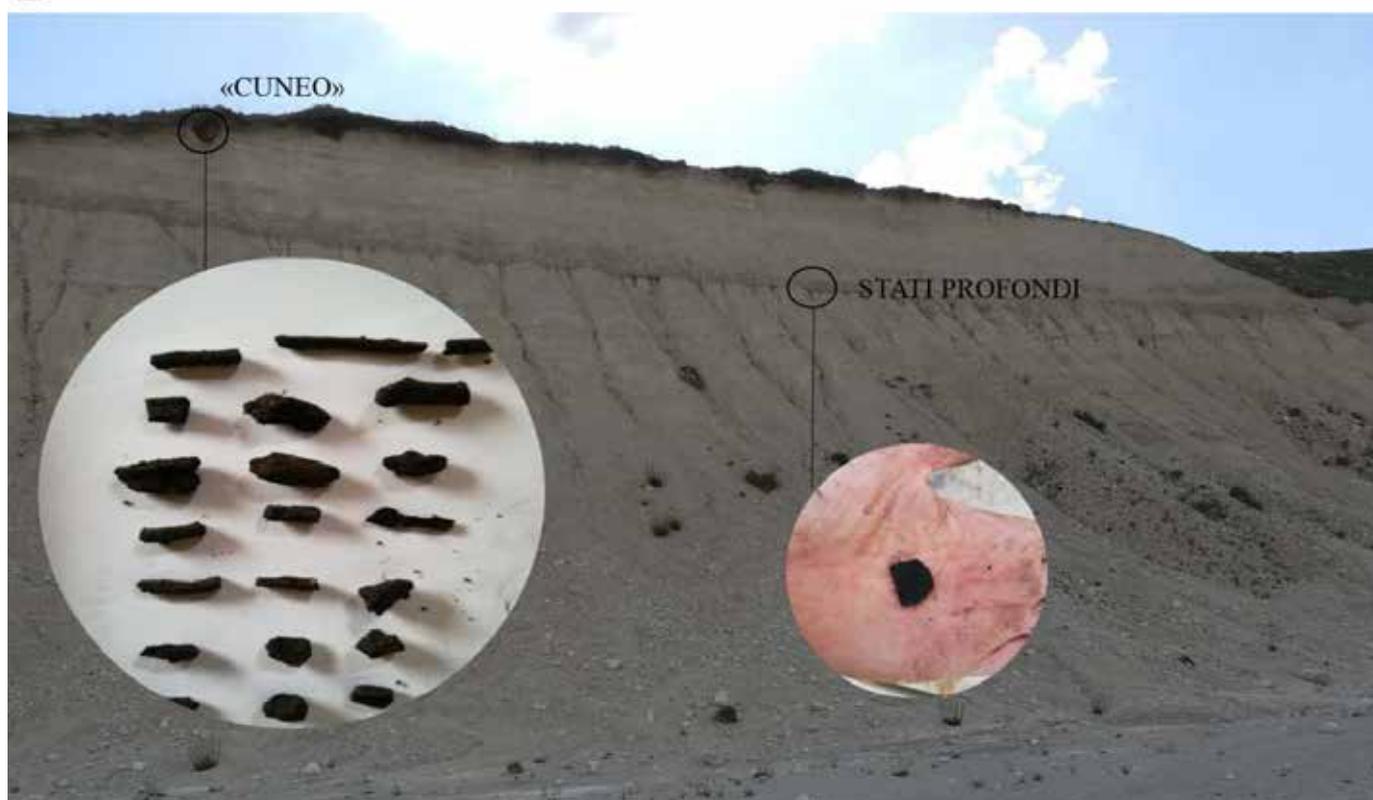


Figura 5 – A - panoramica della Val Fornaca con rada vegetazione erbacea, sullo sfondo la mole del Monte Prena (2.561 m s.l.m.) da cui la valle si origina (ph Marina Allegrezza); B – dettaglio del conoide detritico con i punti di campionamento incluso il cosiddetto “cuneo” (Giraudi 2003), oggi datato a 5.178 anni cal BP e gli strati profondi oggi datati a 6.262 anni cal BP e 9.841 anni cal BP. Sia nel cuneo che negli strati profondi sono stati ritrovati numerosi resti di legni carbonizzati come evidenziato negli inserti - ph Giuliano Bonanomi

Imperatore. Il ghiacciaio di Campo Imperatore durante l'ultimo massimo glaciale (22.600 BP) raggiungeva uno spessore massimo di circa 150 metri, una lunghezza di circa 11 km con il fronte glaciale che terminava a una quota di circa 1.580 m. Successivamente il ghiacciaio si è lentamente ritirato scomparendo completamente al termine del Pleistocene superiore. Il nostro studio fornisce due ulteriori elementi di conoscenza alla storia del sito, dimostrando che durante l'Olocene Campo Imperatore è stato coperto da foreste con differente composizione floristica.

Probabilmente la successione primaria su roccia nuda lasciata scoperta dall'arretramento del ghiacciaio è stata lenta, portando però allo sviluppo di foreste dominate da betulle. Le betulle sono specie in grado di colonizzare substrati poco evoluti e sono spesso presenti nelle fasi intermedie delle successioni primarie in varie parti del globo (Palmé et al. 2003). Tali formazioni sono state oggetto di imponenti incendi che hanno lasciato tracce datate a circa 9.841 anni cal BP. Successivamente boschi più

evoluti hanno colonizzato le aree incendiate con dominanza di faggio. Tali faggete sono poi state oggetto di diversi incendi che hanno lasciato traccia a 6.262 anni cal BP e l'ultimo a 5.178 anni cal BP. Tale ultimo evento è stato probabilmente quello che ha segnato la transizione da foresta a formazioni erbacee che oggi osserviamo (Biondi et al. 1999). Tale ultimo incendio potrebbe essere legato a un incremento di aridità che ha raggiunto il suo massimo a 4.200 anni BP come precedentemente descritto. L'ipotesi che siano stati eventi naturali a causare i ripetuti incendi, soprattutto quelli più antichi, è da considerarsi più probabile rispetto a quella relativa a cause di origine antropica.

Sulla base dei risultati sopra descritti, e al fine di favorirne la divulgazione a un pubblico non specialistico, abbiamo prodotto delle ricostruzioni grafiche della vegetazione di Campo Imperatore dall'ultimo massimo glaciale (LGM) e durante l'Olocene. Le immagini sono state generate mediante l'utilizzo di strumenti di intelligenza artificiale. In dettaglio, utilizzando una foto di Campo Imperatore scatta-

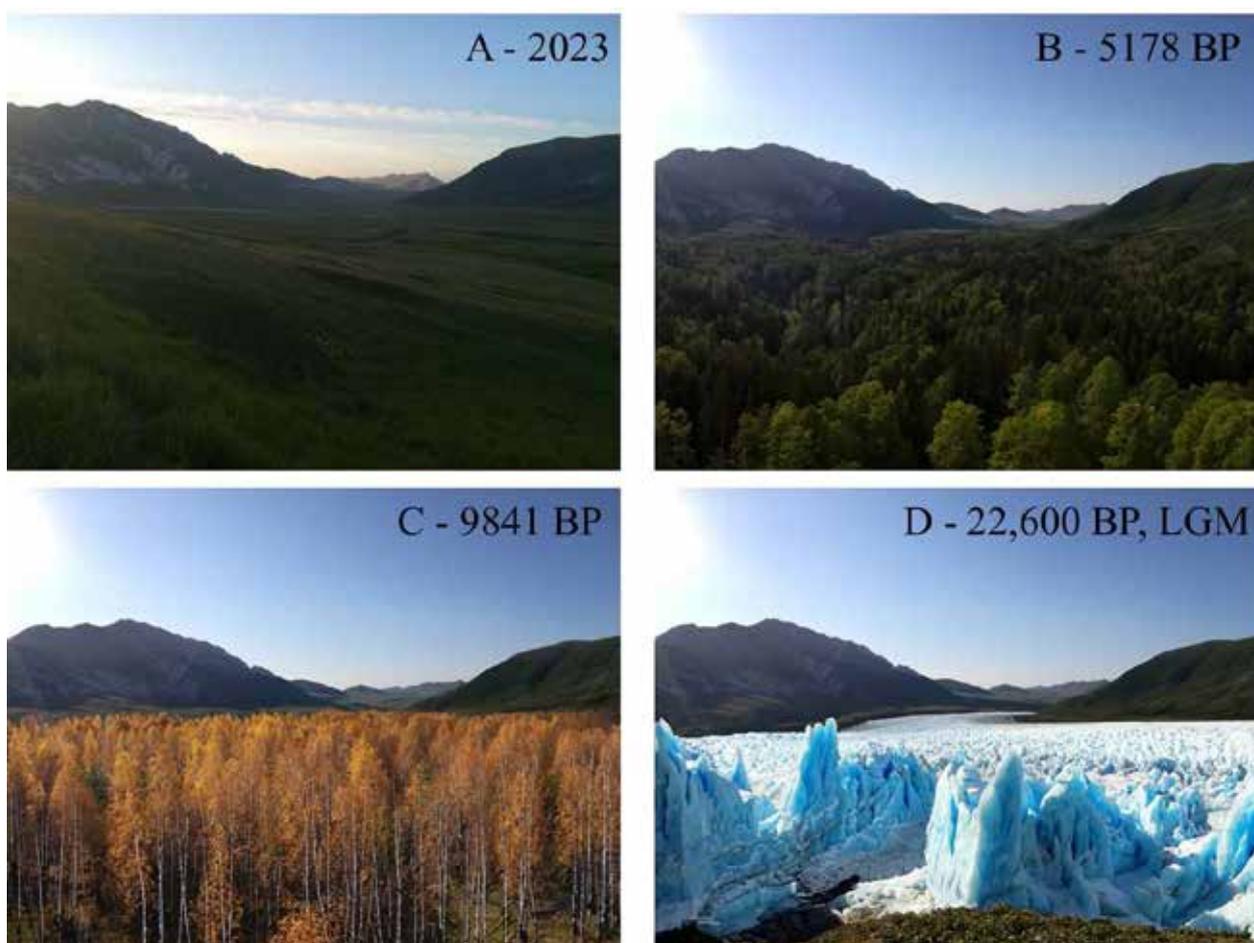


Figura 6 – Ricostruzione grafica della vegetazione di Campo Imperatore dall'ultimo massimo glaciale (LGM) e durante l'Olocene mediante l'utilizzo di strumenti di intelligenza artificiale. A – Campo Imperatore come appare all'escursionista salendo all'alba verso Vado di Corno (ph Giuliano Bonanomi); B – ampie faggete (*Fagus sylvatica*) coprivano Campo Imperatore nel periodo tra 6.262 anni cal BP e 5.178 anni cal BP. Ripetuti incendi hanno portato alla distruzione delle foreste e alla formazione della vegetazione erbacea attuale; C – 9.841 anni cal BP Campo Imperatore era punteggiato da boschi di betulla (*Betula* spp.); D – 22.600 anni cal BP, durante il picco dell'ultimo massimo glaciale Campo Imperatore ospitava un lungo e ampio ghiacciaio (Giraudi & Frezzotti 1997). Le immagini B, C e D sono state generate con la gentile collaborazione di Massimo Gugliucciello.

ta dal Vado di Corno (Figura 6), è stato utilizzato un software di intelligenza artificiale generativa (AdobeFirefly) e tramite un algoritmo di Machine

Learning si sono generati prima il ghiacciaio e successivamente le foreste a dominanza di betulla e faggio.

Conclusioni e prospettive per future ricerche

La collaborazione tra ricercatori, Comitato Scientifico Regionale e Nazionale, soci CAI e semplici amanti della montagna ha permesso un piccolo ma significativo avanzamento nella conoscenza della storia naturale dell'Appennino. Al Monte Cervati sono stati scoperti i resti di antico incendio, che ora sappiamo anticipare temporalmente la grande siccità nota come evento 4.200 BP. Probabilmente questo incendio favorito dal clima arido ha cambiato la storia della montagna contribuendo a conferirgli l'aspetto arido e brullo che oggi conosciamo. L'analisi del DNA antico sul fondo della dolina sommitale ha rilevato tracce di taxa botanici afferenti alle Pinaceae, aprendo a nuove ipotesi sulla possibile presenza, in un passato lontano, di formazioni forestali con presenza di conifere oggi assenti. Al Gran Sasso lo studio del DNA antico di un paleosuolo datato a 4.290 anni BP nel circo glaciale del Calderone, suggerisce che durante l'Olocene vegetazione evoluta, forse anche con presenza di specie forestali, raggiungesse quote molto elevate vicine ai 2.800 m. In questo caso, la bassa concen-

trazione di DNA rilevato, il numero di campioni limitato e la bassa risoluzione tassonomica non permettono di presentare degli scenari di vegetazione accurati e attendibili. Futuri studi basati su metodi molecolari più avanzati permetteranno di svelare i misteri che ancora avvolgono le dinamiche di espansione e contrazione del ghiacciaio più meridionale d'Europa. Infine, lo studio pedoantracologico della Val Fornaca ha permesso di descrivere con accuratezza quanto avvenuto a Campo Imperatore negli ultimi 10.000 anni, passando da formazioni a betulle, a densi boschi di faggio, poi spazzati via da imponenti incendi che hanno portato alla vegetazione erbacea che ancora oggi domina l'altopiano. Indubbiamente, il progetto è stato un successo sia dal punto di vista scientifico che in termini di partecipazione dei Soci CAI, che hanno fattivamente contribuito alla riuscita delle attività. Ricerche future estenderanno l'approccio combinato della pedoantracologica con l'ausilio del DNA antico ad altri gruppi montuosi dell'Appennino come la Majella, il Velino-Sirente, i Sibillini e il Pollino.

Ringraziamenti

Si ringrazia il CAI per il finanziamento erogato nell'ambito del progetto nazionale CAI-CNR "Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente", in particolare il Comitato Scientifico Centrale, il Comitato Scientifico Regionale della Campania e il Gruppo Regionale Campania. Un particolare ringraziamento a Francesco Raffaele per aver gentilmente fornito la

foto del Gran Sasso di figura 4, a Gaia Isoldi, Gaetano Mastellone, Giulio Tesei, Luigi Saulino, Antonio Saracino, Marina Allegrezza e Sabrina Spigno per il supporto nelle fasi di campionamento dei suoli e dei carboni fossili. Infine, si ringrazia Massimo Guggiucchiello che ha generato le immagini presentate in figura 6.

Bibliografia

- BENATTI, A., BAL, M., ALLÉE, P., BOSI, G., & MERCURI, A. M. (2019). *Plant landscape reconstruction above the current timberline at the Monte Cimone and Cornolle Scale mountain areas (Northern Apennines, Italy) during the Late Holocene: The evidence from soil charcoal*. *The Holocene*, 29 (11), 1767-1781
- BINI, M., ZANCHETTA, G., PERŞOIU, A., CARTIER, R., CATALÀ, A., CACHO, I. & BRISSET, E. (2019). *The 4.2 ka BP Event in the Mediterranean region: an overview*. *Climate of the Past*, 15(2), 555-577
- BIONDI, E., BALLELLI, S., ALLEGREZZA, M., TAFFETANI, F., FRATTAROLI, A. R., GUITAN, J., & ZUCCARELLO, V. (1999). *La vegetazione di Campo Imperatore (Gran Sasso d'Italia)*. *Braun-Blanquetia*, 16, 53-116
- BONANOMI, G. (2022). *Il limite superiore del bosco in Appennino passato, presente e futuro*. *Bollettino Comitato Scientifico Centrale*. Volume di Aprile, 32-43
- BONANOMI, G., DE FILIPPIS, F., CESARANO, G., LA STORIA, A., ERCOLINI, D., & SCALA, F. (2016). *Organic farming induces changes in soil microbiota that affect agro-ecosystem functions*. *Soil Biology and Biochemistry*, 103, 327-336
- BONANOMI, G., RITA, A., ALLEVATO, E., CESARANO, G., SAULINO, L., DI PASQUALE, G., & SARACINO, A. (2018). *Anthropogenic and environmental factors affect the tree line position of *Fagus sylvatica* along the Apennines (Italy)*. *Journal of Biogeography*, 45(11), 2595-2608
- BONANOMI, G., ZOTTI, M., MOGAVERO, V., CESARANO, G., SAULINO, L., RITA, A., & ALLEVATO, E. (2020). *Climatic and anthropogenic factors explain the variability of *Fagus sylvatica* treeline elevation in fifteen mountain groups across the Apennines*. *Forest Ecosystems*, 7(1), 1-13

- BUNBURY, M. M., PETCHEY, F. & BICKLER, S. H. (2022). A new chronology for the Māori settlement of Aotearoa (NZ) and the potential role of climate change in demographic developments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(46), e2207609119
- CARRARI, E. (2015). Legacy effects of former charcoal kiln sites on the forest vegetation of a Mediterranean area
- COURTIN, J., ANDREEV, A. A., RASCHKE, E., BALA, S., BISKABORN, B. K., LIU, S. & HERZSCHUH, U. (2021). Vegetation changes in southeastern Siberia during the Late Pleistocene and the Holocene. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9
- CRUMP, S. E., FRÉCHETTE, B., POWER, M., CUTLER, S., DE WET, G., RAYNOLDS, M. K. & MILLER, G. H. (2021). Ancient plant DNA reveals high arctic greening during the last interglacial. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(13)
- DALLWITZ, M.J., PAINE, T. A., & ZURCHER, E. J. (1995). *User's guide to Intkey: a program for interactive identification and information retrieval*. <http://delta-intkey.com>
- DE FILIPPIS, F., PELLEGRINI, N., VANNINI, L., JEFFERY, I. B., LA STORIA, A., LAGHI, L. & ERCOLINI, D. (2016). High-level adherence to a Mediterranean diet beneficially impacts the gut microbiota and associated metabolome. *Gut*, 65(11), 1812-1821
- EDWARDS, M. E. (2020). The maturing relationship between quaternary paleoecology and ancient sedimentary DNA. *Quaternary Research*, 96, 39-47
- GIRAUDI, C. (1999). *Incendi di età pleistocenica superiore e olocenica sulle montagne dell'Appennino centrale*
- GIRAUDI, C. (2003). *I depositi alluvionali olocenici di Campo Imperatore (Massiccio del Gran Sasso - Abruzzo)*. *Il Quaternario*, 16 (1), 117-125
- GIRAUDI, C., & FREZZOTTI, M. (1997). Late Pleistocene glacial events in the central Apennines, Italy. *Quaternary Research*, 48(3), 280-290
- GIRAUDI, C., MAGNY, M., ZANCHETTA, G. & DRYSDALE, R. N. (2011). The Holocene climatic evolution of Mediterranean Italy: A review of the continental geological data. *The Holocene*, 21 (1), 105-115
- GREGUSS, P. (1959). *Holzanatomie der Europäischen laubhölzer und sträucher*. Budapest: Akademiai Kiado.
- HEISS, A.G. (2002). *Anatomy of European and North American woods – an interactive identification key*. http://homepage.uibk.ac.at/~c717189/eng/wood_eng.html
- INSIDEWOOD, (2004) - onwards. *Published on the Internet*. <http://insidewood/lib.ncsu.edu/search>
- KÖRNER, C. (2012). *Alpine treelines. Functional ecology of the global high elevation tree limits*. Basel, Switzerland: Springer Basel, Springer Science and Business Media
- KÖRNER, C. & PAULSEN, J. (2004). A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography*, 31(5), 713–732. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2003.01043.x>
- LAMMERS, Y. (2020). *Sedimentary ancient DNA: Exploring methods of ancient DNA analysis for different taxonomic groups*. PhD Thesis, The Arctic University of Norway
- MAGRI, D. (2007). Advances in Italian palynological studies: late Pleistocene and Holocene records. *GFF*, 129(4), 337-344
- MAGRI, D., VENDRAMIN, G. G., COMPS, B., DUPANLOUP, I., GEBUREK, T., GÖMÖRY, D. & DE BEAULIEU, J. L. (2006). A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: palaeobotanical evidence and genetic consequences. *New phytologist*, 171 (1), 199-221
- MERCURI, A. M., ALLEVATO, E., AROBBA, D., MAZZANTI, M. B., BOSI, G., CARAMIELLO, R. & RINALDI, R. (2015). Pollen and macroremains from Holocene archaeological sites: A dataset for the understanding of the bio-cultural diversity of the Italian landscape. *Review of palaeobotany and Palynology*, 218, 250-266
- PALMÉ, A. E., SU, Q., RAUTENBERG, A., MANNI, F., & LASCOUX, M. (2003). Postglacial recolonization and cpDNA variation of silver birch, *Betula pendula*. *Molecular ecology*, 12 (1), 201-212
- PAWLOWSKA, J., LACKA, M., KUCHARSKA, M., PAWLOWSKI, J. & ZAJACZKOWSKI, M. (2020). Multiproxy evidence of the Neoglacial expansion of Atlantic Water to eastern Svalbard. *Climate of the Past*, 16(2), 487-501
- PECCI, M., D'AGATA, C. & SMIRAGLIA, C. (2008). Ghiacciaio del Calderone (Apennines, Italy): the mass balance of a shrinking Mediterranean glacier. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 31(1), 55-62
- SCHWEINGRUBER, F.H. (1990). *Anatomy of European woods*. Stuttgart, Paul Haupt Berne and Stuttgart Publishers. Sealey, P. R., Amphoras from the 1970 excavations at Colchester Sheepen, British archaeological reports. British series, 142, BAR, Oxford, 1985
- THINON, M. (1992). *L'analyse pedoanthracologique. Aspects méthodologiques et applications*. Unpubl. State Ph.D. thesis, Univ. d'Aix-Marseille III, Faculté des Sciences et Techniques de Saint-Jérôme, Marseille, France. Subject Editor: Francisco Pugnaire
- WATTS, W.A. (1985). A long pollen record from Laghi di Monticchio, southern Italy: A preliminary account. *Journal of the Geological Society*, 142 (3), 491-499
- WEISS, H. (2016). *Global megadrought, societal collapse and resilience at 4.2–3.9 ka BP across the Mediterranean and west Asia*. *Pages Magazine*, 24 (2), 62-63



Pianta succulenta: *Sempervivum montanum* subsp. *montanum* - ph D. Barolin

La vegetazione del bacino glaciale della Bessanese

Contributo alla conoscenza della colonizzazione vegetale di un'area glaciale nelle Alpi Graie - Rifugio Gastaldi

Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente

di Debora Barolin,⁽¹⁾⁽²⁾ Guido Teppa ⁽¹⁾⁽²⁾

1. Sezione CAI Uget Torre Pellice

2. Guardiaparco Aree Protette Alpi Cozie

Riassunto

Con questo lavoro si è voluto dare un contributo alla conoscenza della vegetazione che colonizza l'area del bacino glaciale della Bessanese (Balme, TO), territorio già oggetto di studi nell'ambito del progetto RiST Project (Ricerca Scientifica e Tecnologica nel bacino glaciale della Bessanese). Sono di seguito brevemente descritti gli ambienti tipici del bacino (ghiacciaio, ambiente periglaciale, praterie d'altitudine e vallette nivali) e le tipologie di vegetazione in essi presenti, con cenni alle caratteristiche delle specie di maggior interesse. Le severe condizioni ambientali del bacino offrono inoltre lo spunto per un approfondimento sui numerosi adattamenti delle piante all'alta quota e sulle possibili evoluzioni future della vegetazione. Nel complesso l'area risulta di rilevante interesse per l'osservazione e lo studio degli adattamenti della vegetazione alle alte quote e per eventuali studi sulle risposte delle piante ai cambiamenti dell'ambiente periglaciale.

Abstract: The vegetation of the Bessanese glacial basin

This work wants to contribute to the knowledge of the vegetation of the Bessanese glacial basin (Balme, Graian Alps), an area which has already been investigated within the RiST Project (Scientific and Technological Research in Bessanese glacial basin). Below, we briefly describe the typical environments of basin (glacier, periglacial environment, high-altitude grasslands and snowbeds) and relative vegetation types, giving additional information on the features of the most interesting species. The environmental constraints allow us to go deeper into the numerous adaptations of plants to high-elevations and the possible evolutionary outcomes on vegetation. Overall, the Bessanese glacial basin is a relevant area for the observation and study of plant adaptations to high altitude and for research into plant responses to changes of the periglacial environment.

Introduzione

Il bacino glaciale della Bessanese (Figura 1) si trova nella Val d'Ala di Lanzo (Comune di Balme, TO), nelle Alpi Graie meridionali, ai piedi dell'Uja di Bessanese (3.604 m).

In passato il ghiacciaio della Bessanese, che oggi si attesta al di sopra dei 2.750 m, si protraeva ben più a valle, nella conca del Crot del Ciaussiné.

Al di sotto della massa glaciale si apre uno scena-

rio periglaciale, caratterizzato da una ben evidente morena laterale sinistra, una serie di laghetti glaciali e un'ampia superficie di depositi morenici frontali che interessano soprattutto l'area del Crot del Ciaussiné.

Man mano che ci si allontana dal bacino glaciale, le forme del paesaggio si addolciscono e il detrito lascia spazio a frammenti di prateria alpina via via più continua.



Figura 1 – Panoramica del bacino della Bessanese dalla morena laterale sinistra (immagine del 14 settembre 2019, ore 12:45, tratta da <https://bessanese.panomax.com>)

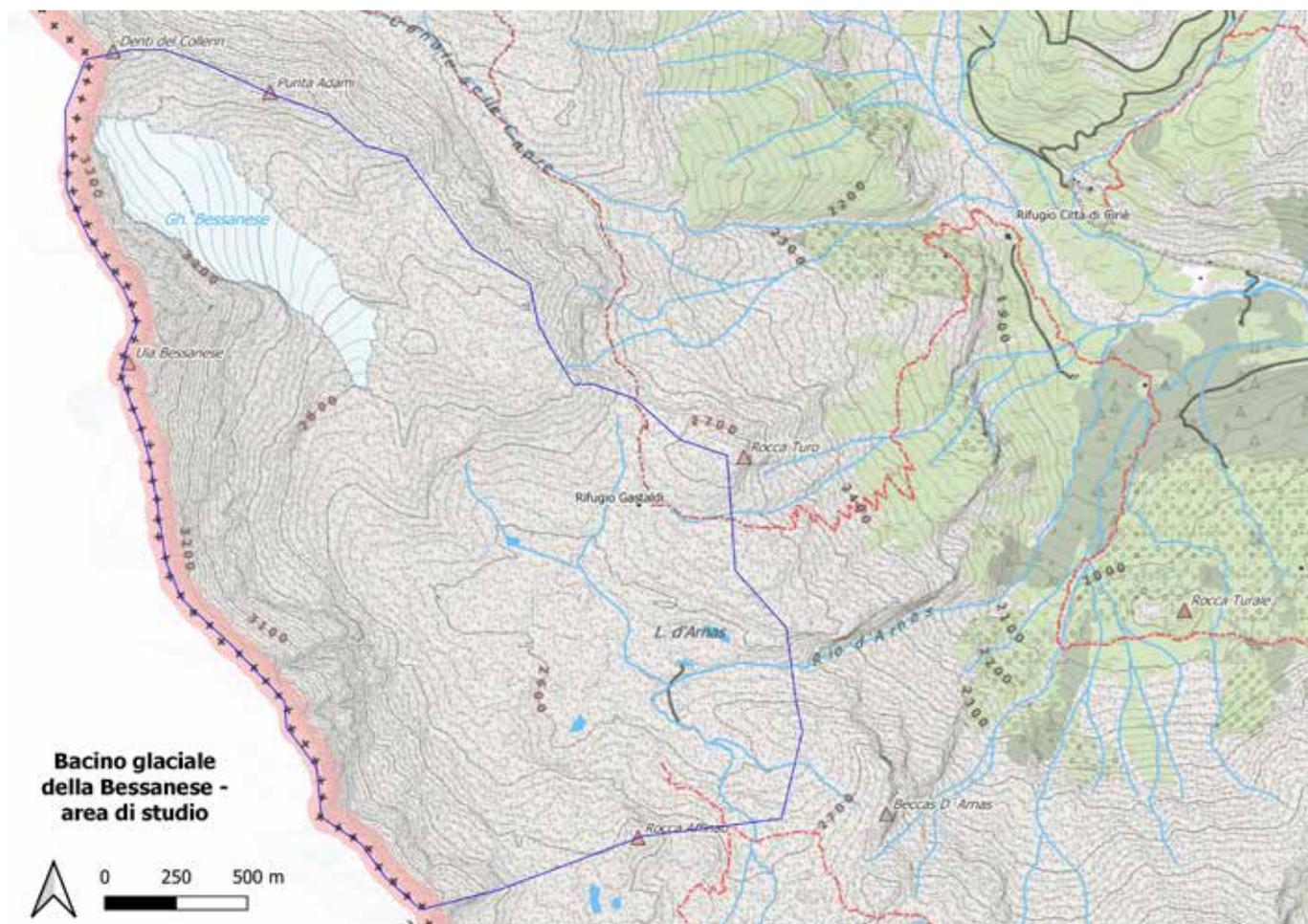


Figura 2 – L'area del bacino glaciale della Bessanese (Base Cartografica: Geoportale Cartografico del Piemonte, Riferimento Annuale 2022 raster colori 1:25.000 - Servizio WMS)

Ambienti e vegetazione del bacino glaciale della Bessanese

Il ghiacciaio

Sebbene in continuo regresso, il ghiacciaio della Bessanese è stato ed è tuttora un attore importante nella determinazione degli ambienti del bacino glaciale. In sua corrispondenza, le condizioni per la vita sono alquanto ostili per le piante vascolari (le piante dotate di veri e propri tessuti e organi), e le uniche forme viventi che vi si potrebbero trovare sono rari coleotteri o ditteri che compiono parte del loro ciclo vitale sulla superficie in fusione, o l'alga unicellulare specializzata *Chlamydomonas nivalis* (F.A. Bauer) Wille, che conferisce alla superficie nevosa una caratteristica colorazione aranciata.

L'ambiente periglaciale

In seguito al ritiro del ghiacciaio dal bacino del Crot del Ciaussiné, ha preso forma un ambiente periglaciale caratterizzato dalla scenografica morena laterale sinistra, dai laghetti glaciali, dai depositi morenici frontali e da un *rock glacier* (detriti al cui interno si trova del ghiaccio interstiziale che ne causa lo scorrimento).

Proprio in questo tipo di ambiente (Figura 3), laddove si verificano condizioni edafiche favorevoli, si inizia a

osservare la vegetazione tipica delle morene e dei ghiaioni, ambienti pionieri caratterizzati da un substrato povero di materia organica e a granulometria relativamente grossolana.

Si è voluto offrire un quadro della vegetazione del bacino attraverso una tipizzazione degli ambienti e delle comunità vegetali in essi presenti, unendo le informazioni legate alla fisionomia e alle caratteristiche abiotiche degli ambienti a quelle relative alla composizione floristica degli stessi. La descrizione che segue adotta pertanto la terminologia fitosociologia, che permette di inquadrare le diverse comunità vegetali in un sistema gerarchico di unità, che vengono organizzate secondo i seguenti livelli: classe, ordine, alleanza e associazione, con grado di dettaglio via via crescente.

La vegetazione delle morene e dei ghiaioni è strettamente imparentata e può essere afferita genericamente alla classe *Thlaspietea rotundifolii* Br.-Bl. 1948. La natura della roccia e quindi il tipo di suolo che ne deriva, la quota (e dunque le temperature a essa correlate) e la disponibilità di acqua determinano poi la composizione botanica di tali ambienti.



Figura 3 – L'ambiente periglaciale - ph D. Barolin



La presenza di calcescisti e di prasiniti, tipi litologici dominanti nel detrito che caratterizza gli ambienti del Crot del Ciaussiné e della morena laterale sinistra, unitamente alle altre caratteristiche ambientali e alla composizione floristica, ha permesso di identificare due tipologie vegetazionali prevalenti: le alleanze *Drabion hoppeanae* Zollitsch 1966 e *Androsacion alpinae* Br.-Bl. 1926.

Ghiaioni di calcescisti d'altitudine: *Drabion hoppeanae*

L'alleanza *Drabion hoppeanae* riunisce quelle comunità che si sviluppano su detriti criofili di calcescisti (Delarze e Gonseth 2008) o di rocce a chimismo neutro-alcalino, al di sopra dei 2.000 m di altitudine, ricche di specie generalmente di piccola taglia. Tra queste, nel bacino della Bessanese, troviamo in particolare il Genepi maschio (*Artemisia genipi* Weber), il Raponzolo minore (*Phyteuma globulariifolium* aggr.), il Millefoglio nano (*Achillea nana* L.), l'*Erigeron* unifloro (*Erigeron uniflorus* L.), la *Draba* gialla (*Draba aizoides* L.), la *Campanula* del Moncenisio (*Campanula cenisia* L.), la *Saxifraga* a foglie opposte (*Saxifraga oppositifolia* subsp. *oppositifolia* L.), l'*Iberidella* minima (*Pritzelago alpina* subsp. *brevicaulis* (Spreng.) Greuter & Burdet), il Trisetto spigato [*Trisetum spicatum* (L.) K. Richt.] e l'*Erniaria* alpina (*Herniaria alpina* Chaix).

Di particolare interesse è la *Saxifraga oppositifolia* subsp. *oppositifolia* (Figura 4.A), specie artico-alpina a protezione assoluta secondo la Legge Regionale n. 32 del 1982 del Piemonte, che salta all'occhio per le intense fioriture rosa scuro. Come altre specie di questi ambienti mostra un portamento a cuscinetto ed è in grado di colonizzare terreni detritici con scarsissima materia organica. Insieme ad altre sassifraghe dello stesso gruppo, è tra le specie che si spingono più in quota, riuscendo a compiere il ciclo vegetativo in presenza di condizioni ambientali estreme.

Altrettanto appariscente per le sue fioriture viola è

la *Campanula cenisia* (Figura 4.B), specie endemica delle Alpi occidentali, presente in Italia esclusivamente in Piemonte, Valle d'Aosta, Lombardia e Trentino-Alto Adige.

È degno di nota anche il Genepi maschio (*Artemisia genipi*, Figura 4.C) soprattutto per ciò che riguarda le interazioni tra questa specie e l'uomo, in quanto tradizionalmente utilizzato per la preparazione dell'omonimo liquore. La L.R. 32/1982 non la include nelle specie a protezione assoluta, ma tra quelle per cui è concessa la raccolta di soli cinque esemplari per persona, senza estirpazione degli organi sotterranei. Per ovviare a questo vincolo nonché alla difficoltà di coltivazione, per la produzione di liquore è utilizzata una specie molto affine: il cosiddetto Genepi bianco o Genepi femmina (*Artemisia umbelliformis* Lam.).

Nei ghiaioni morenici di calcescisti è stato rinvenuto anche l'Assenzio genepi nero, o *Artemisia* dei ghiacciai (*Artemisia glacialis* L., Figura 4.D): non è una specie esclusiva di tale ambiente, ma interessante in quanto trattasi di specie subendemica delle Alpi occidentali e presente in Italia solamente in Piemonte e Valle d'Aosta. Questa ha proprietà aromatiche e terapeutiche molto inferiori rispetto alle altre specie di Genepi, perciò viene considerata un "parente povero" del Genepi maschio (Appendino et al. 2013). La sua raccolta è comunque regolamentata dalla L.R. 32/1982 secondo le medesime modalità di *Artemisia genipi*.

Ghiaioni silicei d'altitudine: *Androsacion alpinae*

L'alleanza *Androsacion alpinae* raggruppa le comunità vegetali che si sviluppano su ghiaioni e morene silicee a chimismo acido e neutro del piano alpino e subalpino (Delarze e Gonseth 2008). Sebbene l'area del bacino non presenti litologia di tipo siliceo, è possibile che si verifichi un processo di acidificazione del materiale detritico (per lo più prasiniti) più fine e superficiale a opera dei processi di dilavamento e di



Figura 4 – Flora dei ghiaioni di calcescisti. (A) *Saxifraga oppositifolia* subsp. *oppositifolia* - ph G. Teppa; (B) *Campanula cenisia* - ph D. Barolin; (C) *Artemisia genipi* - ph F. Giuntoli; (D) *Artemisia glacialis* - ph D. Barolin

fusione nivale che, unitamente alle specie diagnostiche ritrovate, giustifica l'individuazione di questa alleanza, le cui comunità vegetali, a differenza del *Drabion hoppeanae*, sono paucispecifiche.

Tra le specie diagnostiche ritrovate si annoverano la Sassifraga brioides (*Saxifraga bryoides* L.), il Ranuncolo dei ghiacciai (*Ranunculus glacialis* L.), la Peverina dei ghiaioni (*Cerastium uniflorum* Clairv.), l'Androsace dei ghiacciai [*Androsace alpina* (L.) Lam.], la Gentiana bavarese (*Gentiana bavarica* L.), la Cariofillata delle pietraie (*Geum reptans* L.), l'Acetosa soldanella [*Oxyria digyna* (L.) Hill.], il Trifoglio pallescente (*Trifolium pallescens* Schreb.), la Margherita alpina (*Leucanthemopsis alpina* aggr.), la Linaria alpina [*Linaria alpina* subsp. *alpina* (L.) Mill.] e il Cavolaccio lanoso [*Adenostyles leucophylla* (Willd.) Rchb.].

Queste comunità mostrano in tali ambienti una percentuale di copertura vegetale molto bassa (raramente superiore al 10%) e una fisionomia variegata, con dominanza di forme striscianti (es. *Geum reptans*) alternate a specie di taglia piuttosto grande come *Adenostyles leucophylla*.

Alcune tra le specie citate, come *Ranunculus glacialis* (Figure.5.A e 5.B), *Linaria alpina* subsp. *alpina* (Figura 5.C), *Androsace alpina* (Figura 5.D), *Oxyria digyna*, *Cerastium uniflorum* e *Geum reptans* sono strettamente legate ai ghiaioni o all'ambiente rupicolo, mentre altre specie, come *Saxifraga bryoides*, *Trifolium pallescens*, *Leucanthemopsis alpina* e *Gentiana bavarica* si trovano sia in tale ambiente sia in ambienti di transizione alle praterie più o meno discontinue del piano alpino.

Le praterie d'altitudine

Poco lontano dall'ambiente periglaciale non è difficile trovare stadi vegetazionali di transizione, dove, alle specie tipiche dei ghiaioni, si aggiungono quelle delle praterie d'altitudine, in virtù del progressivo aumento della frazione di materiale organico disponibile e della diminuzione del detrito grossolano.

Le fasi di transizione in questione sono quelle verso il *Caricion curvulae* Br.-Bl. 1926 (classe *Caricetea curvulae* Br.-Bl. 1948) e l'*Elynyion myosuroides* Gams 1936 (classe *Carici rupestris-Kobresietea bellardii* Ohba 1947). In entrambi i casi dominano specie



Figura 5 – Flora dell'Androsacion alpinae: (A) *Ranunculus glacialis* - ph D. Barolin; (B) *Ranunculus glacialis* - ph G. Teppa; (C) *Linaria alpina* subsp. *alpina* - ph D. Barolin; (D) *Androsace alpina* - ph D. Barolin

delle famiglie Graminaceae e Cyperaceae, generalmente cespitose e di piccola taglia (Delarze e Gonseth 2008).

Praterie acide del piano alpino superiore: *Caricion curvulae*

Le comunità del *Caricion curvulae* formano praterie primarie in zone ventose caratterizzate da temperature molto basse, generalmente al di sopra dei 2.000 m e con significativa presenza di detriti originati da fenomeni crioclastici (Delarze e Gonseth 2008).

Ai margini del bacino glaciale della Bessanese diverse specie indicano la presenza del *Caricion curvulae* (Figura 6): la Carice curva (*Carex curvula* aggr.), lo Sparviere glandulifero (*Hieracium piliferum* aggr.), la Pedicolare di Kerner (*Pedicularis kernerii* Dalla Torre), il Raponzolo minore (*Phyteuma globulariifolium* aggr.), il Senecione biancheggian- te (*Senecio incanus* subsp. *incanus* L.), la Veronica con foglie da margherita (*Veronica bellidioides* L.), l'Azalea alpina [*Loiseleuria procumbens* (L.) Desv.], l'Androsace gelsomino (*Androsace obtusifolia* All.), la Genziana a foglie brevi (*Gentiana brachyphylla*

Vill.), la Genzianella ramosa (*Gentiana ramosa* Hegetschw.), il Giunco di Jacquin (*Juncus jacquinii* L.), il Ligustico falsa motellina (*Ligusticum mutellinoides* Vill.), l'Erba lucciola gialla (*Luzula lutea* DC.), il Poligono viviparo (*Polygonum viviparum* L.) e la Silene a cuscinetto (*Silene exscapa* All.). La fisionomia di questo ambiente è quella di un tappeto rado di specie graminoidi dove i ciuffi sono mescolati a numerosi licheni, il che conferisce un aspetto autunnale all'ambiente anche durante l'estate (Delarze e Gonseth 2008). A dominare il tappeto erbaceo è il tipico fogliame incurvato di *Carex curvula* (Figura 6).

La ricchezza floristica di questo tipo di praterie è scarsa, ma le specie che le caratterizzano sono molto specializzate e vivono solo ad alta quota.

Praterie esposte al vento: *Elyinion myosuroides*

Laddove il substrato è prevalentemente carbonatico, prevale invece l'*Elyinion myosuroides*. Tale alleanza si sviluppa soprattutto su terreni crioturbati e in zone dove i forti venti limitano la copertura nevosa favorendo forti escursioni termiche.

Tra le specie diagnostiche individuate nell'area si

annoverano: l'Elyna [*Elyna myosuroides* (Vill.) Fritsch] (Figura 7.A), l'Antennaria dei Carpazi [*Antennaria carpatica* (Wahlenb.) Bluff & Fingerh.], la Carice nera (*Carex parviflora* Host) (Figura 7.B), l'Erigeron unifloro (*Erigeron uniflorus* L.), il Camedrio alpino (*Dryas octopetala* L.) (Figura 7.C), la Minuartia primaverile [*Minuartia verna* subsp. *verna* (L.) Hiern.], l'Astro alpino (*Aster alpinus* L.) (Figura 7.D), il Ligustico falsa motellina (*Ligusticum mutellinoides* Vill.), l'Agrostide delle Alpi (*Agrostis alpina* Scop.) e la Festuca violacea (*Festuca violacea* Gaudin).

Queste comunità si presentano con dominanza di densi ciuffi di *Elyna*, il cui fogliame ha un caratteristico aspetto rigido e di colore brunastro, e occupano superfici ridotte in corrispondenza delle zone più esposte all'azione del vento. Proprio quest'ultima può provocare periodi di assenza del manto nevoso con la conseguente esposizione a temperature molto basse: *Elyna myosuroides* è però una delle specie più resistenti al freddo e grazie alle sue radici produce un infeltrimento protettivo nel terreno che impedisce, o per lo meno rallenta, l'erosione del suolo da parte del vento. Nel periodo di fioritura spicca all'interno di questa comunità *Dryas*



Figura 6 – Praterie acidofile dell'alleanza *Caricion curvulae*. Sono particolarmente abbondanti *Carex curvula* aggr. e *Juncus jacquinii*. Sullo sfondo l'Uja di Bessanese (ph D. Barolin)

octopetala, con i suoi inconfondibili fiori dagli otto petali bianchi e dalle foglie che ricordano quelle di una quercia. Essa riesce a sopravvivere in tali ambienti grazie a un portamento strisciante e alla posizione delle gemme poco lontane dal suolo (specie camefita).



A



B



C



D

Figura 7 – Vegetazione dell'Elyniion: (A) *Elyna myosuroides* - ph F. Giuntoli; (B) *Carex parviflora* - ph G. Teppa; (C) *Dryas octopetala* - ph F. Giuntoli; (D) *Aster alpinus* - ph F. Giuntoli



Figura 8 – *Oxytropis helvetica* - ph D. Barolin

Il Camedrio alpino è considerato un relitto glaciale: originario della zona artica si spinse verso Sud durante le glaciazioni, e quando poi i ghiacciai si ritirarono dalle pianure anch'esso si ritirò sulle alte quote delle Alpi, dove le condizioni climatiche erano rimaste più simili a quelle originarie.

Tra le specie dell'*Elynyon* è stato rinvenuto anche l'Astragalo di Gaudin (*Oxytropis helvetica* Scheele): non è esclusiva di questo ambiente e la si ritrova facilmente su macereti, pascoli, rupi e detriti, in genere su calcescisto, ma è da segnalare come specie endemica delle Alpi centro-occidentali tra Italia, Francia e Svizzera. In Italia è presente soltanto in Liguria, Piemonte e Valle d'Aosta (Appendino et. al. 2013).

Anche per quanto riguarda l'*Elynyon myosuroides* nel Crot del Ciaussiné, non sono rare forme di transizione verso le praterie alpine del *Caricion curvulae*.

Le vallette nivali del *Salicion herbaceae*

Nelle aree del bacino dove si sviluppano le praterie discontinue di cui sopra, vi sono conche dove il periodo di innevamento si aggira intorno ai nove mesi all'anno: questo favorisce la presenza di muschi e la comparsa di specie che vanno a comporre comunità vegetali tipiche dell'ambiente di valletta nivale. L'aspetto è quello di un tappeto alto qualche centimetro appena, formato da specie di piccola

taglia e in prevalenza a portamento strisciante (salici nani in particolare), inframmezzato da muschi e licheni. Tali comunità erbacee sono riconducibili all'alleanza *Salicion herbaceae* Br.-Bl. 1948 (classe *Salicitea herbaceae* Br.-Bl.1948), che nel bacino glaciale della Bessanese si presentano con specie come il Salice erbaceo (*Salix herbacea* L.) (Figura 9), il Carice puzzolente (*Carex foetida* All.), la Canapicchia norvegese (*Gnaphalium supinum* L.), la Ventagliola a cinque foglie (*Alchemilla pentaphyllea* L.), la Sibbaldia sdraiata (*Sibbaldia procumbens* L.), l'Erba lucciola dei ghiacciai [*Luzula alpinopilosa* subsp. *alpinopilosa* (Chaix) Breistr.] la Margherita alpina (*Leucanthemopsis alpina* aggr.) (Figura 9), il Garofanino alpino (*Epilobium anagallidifolium* Lam.) e la Veronica alpina (*Veronica alpina* L.).

Il *Salix herbacea*, specie più rappresentativa dell'alleanza, è caratteristica di suoli acidi, acidificati o decarbonatizzati ed è in grado di ricoprire ampie superfici formando un tappeto vegetale aderente al substrato. È una pianta legnosa di piccole dimensioni, tant'è che Linneo, botanico e padre della tassonomia lo chiamò "arbor minima", ovvero "il più piccolo albero del mondo" (Mondino et al., 2007). Come questo salice anche *Sibbaldia procumbens*, *Alchemilla pentaphyllea* e, seppure in modo meno spinto *Gnaphalium supinum*, formano tappeti vegetali alti pochi centimetri.

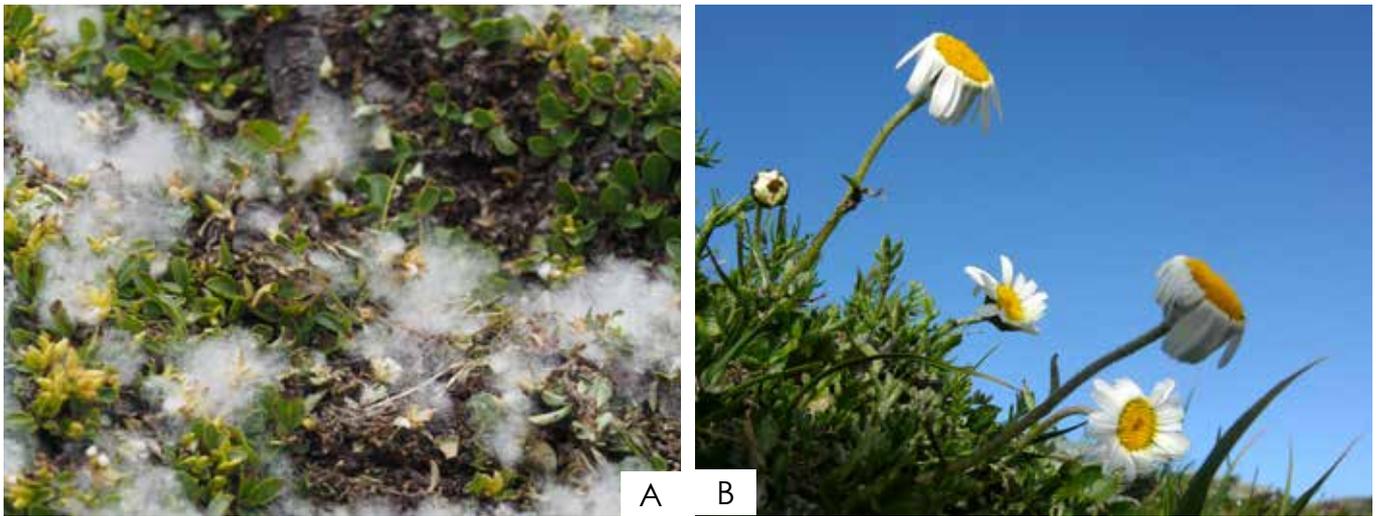


Figura 9 – (A) *Salix herbacea* ricoperta dalla sua caratteristica lanugine fatta di numerosi, piccoli semi provvisti di bianchi peli sericei; (B) *Leucanthemopsis alpina* aggr. - ph D. Barolin

Il substrato, nell'ambiente di valletta nivale, è sempre umido grazie alla lunga permanenza del manto nevoso, e ciò rende tali ambienti sempre freschi ma mai troppo freddi e perciò in grado di ospitare anche specie sensibili alle temperature molto basse. Dal momento che diverse specie del *Salicion herbaceae* possono colonizzare anche gli ambienti della prateria acida ascrivibili al *Caricion curvulae*, non è sempre facile distinguere i due tipi di comunità vegetali, ma si può affermare che entrambi sono presenti, con ampie zone di transizione tra i due.

Le specie alpine e la severità dell'ambiente

Gli ambienti sopra descritti sono accomunati dalla severità delle condizioni climatiche e edafiche. La quota e la presenza di ghiacciai e nevai nel sito preso in considerazione rendono l'estate particolarmente breve. L'alternanza di conche ombrose e pendii ben esposti all'irraggiamento solare creano microambienti molto differenti tra loro, ma comunque accomunati da fortissimi e improvvisi sbalzi di temperatura, nonché dall'esposizione a venti intensi che causano forte evapotraspirazione nelle piante e inaridiscono il suolo causando frequenti fenomeni di erosione. La copertura nevosa da un lato abbrevia il periodo vegetativo e dall'altro difende le piante dal gelo proteggendole sotto la sua coltre.

Da un punto di vista edafico l'ambiente del bacino glaciale della Bessanese è caratterizzato da suoli primitivi, per ampie superfici apparentemente assenti, o presenti solo nelle fessure o nelle "tasche" createsi sotto la coltre di detriti, generalmente poco evoluti, ricchi di matrice minerale e poveri di quella organica. Tuttavia la risposta delle piante alla severità di questo e di tutti gli ambienti alpini del mondo è sorprendente. La flora alpina mondiale ammonta a 8.000-10.000 specie di piante superiori, appartenenti a 100 famiglie e circa 2.000 ge-

neri: rappresenta cioè il 4% circa di tutte le specie di piante superiori conosciute nel mondo (Körner 2003). Questa notevole abbondanza e biodiversità è frutto della grande capacità di specializzazione di queste piante nei confronti dell'ambiente, sviluppata in milioni di anni di evoluzione e convivenza in territori così ostili. Le piante che troviamo nel bacino glaciale della Bessanese, nonché quelle presenti in omologhe regioni alpine di tutto il mondo, reagiscono ai fattori sfavorevoli con particolari adattamenti. Molte specie (es. *Salix herbacea*) mostrano nanismo, caratteristica che permette di sfruttare meglio l'irradiazione calorifica del suolo e inoltre di avere un fusto meno suscettibile a rottura per effetto del peso della neve e dell'intensità del vento; altre (es. *Silene exscapa* in Figura 10.A, *Androsace alpina*) hanno portamento a cuscinetto con foglie piccole (microfillia) e addensate: trattasi di adattamenti che rispondono all'elevata incidenza delle radiazioni solari e all'incessante azione del vento. Spesso queste foglie sono inoltre pelose (es. *Androsace alpina*, *Herniaria alpina*), o addirittura tomentose, mentre altre presentano cuticole fogliari particolarmente ispessite (es. *Loiseleuria procumbens*), fattori che permettono loro di trattenere maggiormente l'umidità riducendo così il rischio di disidratazione. Vi sono poi specie che rispondono all'elevata evapotraspirazione e quindi anche alla siccità grazie alla presenza di tessuti in grado di immagazzinare grandi quantità di acqua (piante succulente: es. *Sempervivum montanum* subsp. *montanum*, Figura 10.B, ritrovabile generalmente su rocce di medie dimensioni nei ghiaioni e nelle zone di transizione con le praterie sopra citate). Altre ancora, resistono al seppellimento da parte del detrito grazie alla presenza di fusti striscianti che emettono germogli tra le fessure (per esempio *Geum reptans* in Figura 10.C), caratteristica che permette loro di rigenerarsi per via vegetativa a partire da un frammento di pianta sepolto nel sedimento. Inoltre, le

specie di questi ambienti, accumulano zuccheri nei succhi cellulari per diminuire il rischio di congelamento e svolgono il loro ciclo vitale, dalla germinazione al seme, in tempi molto brevi, spesso nell'arco di due o tre mesi.

I fiori delle specie alpine sopra citate sono spesso di dimensioni piuttosto grandi e con colorazioni più intense rispetto alle stesse specie ritrovate a quote inferiori: ciò per rispondere alla scarsità di impollinatori a queste quote, nonché come protezione dai raggi UV: una sorta di "abbronzatura" data da una maggior concentrazione di pigmenti colorati che hanno potere assorbente nei confronti delle radiazioni nocive. In accordo con la scarsità di piante annue nella flora alpina mondiale (che non rappresentano più del 2% (Körner 2003), sono praticamente assenti specie annue (unica eccezione è quella della Eufrasia minima, *Euphrasia minima* Jacq., Figura 11) a causa della scarsità di microhabitat favorevoli allo sviluppo dei semi.

Infine, laddove il substrato è costituito in prevalenza da calcescisto, alcune sassifraghe, come *Saxifraga oppositifolia* subsp. *oppositifolia* L. e *Saxifraga pani-*

culata Mill. (quest'ultima presente nelle fessure dei ghiaioni di calcescisti sopra descritti), sanno convivere con l'eccesso di calcio del substrato assorbendolo ed eliminandolo sotto forma di incrostazioni fogliari piuttosto caratteristiche (Figura 11).

Molte di queste specie vengono definite stenoterme, ovvero hanno un range di temperature ottimali molto ristretto: riescono a vivere bene alle basse temperature dell'ambiente alpino, e si trovano raramente al di sotto dei 2.000 m, dove le temperature sarebbero troppo elevate.

Similmente, a causa della loro notevole specializzazione, molte di queste specie, trovano il loro optimum in ambienti caratterizzati da tale severità ambientale, ma non saprebbero competere con le numerose specie che abitano le praterie a quote inferiori dove le comunità vegetali sono più ricche in numero di specie e formano praterie più chiuse.

Il bacino glaciale della Bessanese è pertanto di rilevante interesse non soltanto per quanto riguarda la diversità di ambienti che vi si è sviluppata e lo studio delle comunità vegetali in essi instauratesi, ma anche come area prediletta per lo studio e la



Figura 10 – (A) portamento a cuscinetto di *Silene exscapa*; (B) pianta succulenta: *Sempervivum montanum* subsp. *montanum*; (C) *Geum reptans* con i suoi caratteristici fusti striscianti tra il detrito - ph D. Barolin



Figura 11 – (A) *Euphrasia minima*, specie annua in grado di svilupparsi ogni anno a partire da seme - ph G. Teppa); (B) incrostazioni fogliari per eliminare l'eccesso di calcio in *Saxifraga paniculata* - ph D. Barolin

comprensione degli adattamenti delle specie alpine alla severità dell'ambiente delle aree montuose di alta quota, ed eventualmente per l'osservazione delle risposte che queste specie mostrano nei confronti del dinamismo che interessa gli ambienti periglaciali, soprattutto in relazione ai fenomeni di aumento della temperatura media che stanno interessando l'intero Globo terrestre.

Ipotesi di evoluzione della vegetazione

Le condizioni ambientali del bacino glaciale della Bessanese, a causa delle basse temperature e della lunga permanenza della neve al suolo, sono alquanto proibitive per lo sviluppo della vegetazione.

Tuttavia negli ultimi duecento anni, a seguito del ritiro del ghiacciaio, i depositi morenici sono stati colonizzati da stadi pionieri della vegetazione, e nelle aree più periferiche, lo sviluppo di situazioni edafiche più favorevoli ha portato alla formazione di praterie e altre comunità vegetazionali d'altitudine. Quelle afferenti al *Drabion hoppeanae* e all'*Androsacion alpinae* rappresentano stadi pionieri in fase di colonizzazione che interessano le aree progressivamente liberatesi dal ghiaccio.

Questi stadi sono piuttosto durevoli e normalmente sulle morene dell'orizzonte alpino costituite da solo detrito, possono anche trascorrere dei secoli prima che si instauri una prateria più o meno stabile (in funzione del rigore del clima e della fertilità dei sedimenti), ma è innegabile che già ai piedi della morena laterale sinistra del ghiacciaio della Bessanese siano frequenti stadi di transizione tra le comunità dei ghiaioni, quelle delle vallette nivali e quelle delle praterie acide del *Caricion curvulae* e dell'*Elynyon myosuroides*. Queste ultime due, non evolveranno velocemente verso cenosi più ricche in specie e a maggior grado di copertura del suolo a causa delle condizioni limitanti dovute all'esposizione ai forti venti e alle notevoli escursioni termiche.

Esse entrano facilmente in contatto con la vegetazione dell'*Androsacion alpinae* e del *Salicion herbaceae* ed è possibile che nei prossimi decenni si possano espandere verso le aree attualmente più detritiche, qualora vengano a crearsi situazioni edafiche più favorevoli.

In conclusione, per i prossimi decenni è prevedibile che le comunità dei ghiaioni possano evolvere verso tipologie vegetazionali tendenti a quelle di prateria, mentre è probabile che date le restrittive condizioni ambientali, le altre tipologie vegetazionali non subiranno grandi cambiamenti.

Conclusioni

Il bacino glaciale della Bessanese (Figura 12) è un'area di rilevante interesse geomorfologico e botanico. Al suo interno si possono distinguere ambienti aventi una fisionomia ben riconoscibile: il ghiacciaio, i ghiaioni, le vallette nivali e le praterie d'altitudine. In corrispondenza del ghiacciaio e dei nevai la vegetazione è pressoché nulla, mentre la ricchezza specifica aumenta progressivamente nei ghiaioni e nelle vallette nivali, per arrivare al culmine nelle praterie d'altitudine. La composizione floristica dei diversi ambienti ha permesso di identificare nella vegetazione dei ghiaioni le comunità delle alleanze *Drabion hoppeanae* (su calcescisti) e *Androsacion alpinae* (su substrato detritico acidificato), nella vegetazione delle praterie d'altitudine le alleanze *Caricion curvulae* (praterie acide) ed *Elynyon myosuroides* (su calcescisto) e le comunità dell'alleanza *Salicion herbaceae* nelle vallette nivali. Nel complesso il bacino glaciale rivela una vegetazione specializzata tipica del rigido ambiente d'alta quota, caratterizzata da specie che esprimono la massima *fitness* in queste severe condizioni, e che viceversa non saprebbero competere con le numerose specie presenti nelle comunità vegetali di più bassa quota.

Da un punto di vista della dinamica di vegetazione è possibile che, qualora nei prossimi decenni si creino condizioni edafiche e climatiche favorevoli, vi sia un'espansione delle praterie d'altitudine verso le aree attualmente detritiche (morene frontali e laterali del ghiacciaio della Bessanese).

Nel complesso l'area è di rilevante interesse in quanto offre la possibilità di conoscere la flora tipica dell'orizzonte alpino superiore e degli ambienti di prateria d'alta quota e dei detriti attraverso una semplice escursione attorno al Rif. Gastaldi. Costituisce inoltre un ottimo sito per lo studio degli adattamenti delle piante ai diversi ambienti d'alta quota e nondimeno per studi relativi alla risposta delle piante ai cambiamenti in atto nell'ambiente periglaciale.

Bibliografia

- AESCHIMANN, D., LAUBER, K., MOSER, D.M., THEURLILAT, J.-P. (2004). *Flora Alpina*. Zanichelli, Bologna
- APPENDINO, G., LONGO, D., LUCIANO, R., SALVO, R. (2013). *Endemismi. Piante esclusive o rare del Piemonte, Liguria e Alpi Occidentali*. Araba Fenice, Boves.
- DELARZE, R., GONSETH, Y. (2008). *Guide des milieux de Suisse*. Rossolis, Bussigny
- KÖRNER, C. (2003). *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. 2nd. Springer, Berlin

- MONDINO ET AL. (IPLA) (2007). *Flora e Vegetazione del Piemonte*. Regione Piemonte. L'Artistica Editrice, Savigliano

Sitografia

- ACTA PLANTARUM (2007-2017). IPFI: *Index Plantarum*. <http://www.actaplantarum.org/flora/flora.php>
- CSI PIEMONTE, REGIONE PIEMONTE (2017). *Geoportale Piemonte*. <http://www.geoportale.piemonte.it/geocatalogorp/?sezione=mappa#>
- INFO FLORA (2004-2017). *Il centro nazionale dei dati e delle informazioni sulla flora svizzera*. <https://www.infoflora.ch/it/ambienti/>
- MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE (2015). *Prodromo della vegetazione d'Italia*. <http://www.prodromo-vegetazione-italia.org/prodromo>
- PANOMAX GMBH (2017). *PANOMAX - The GeoClimAlp experimental glacial basin*. <https://bessanese.panomax.com/>



Figura 12 – Scorcio del suggestivo bacino glaciale della Bessanese visto dal vicino Rifugio Gastaldi - ph D. Barolin



Gropo rosso - *Aster alpinus* - ph E. Pinoffi

Monitoraggi botanici in Appennino settentrionale

Nell'ambito del progetto Rifugio Sentinella del clima e dell'ambiente con riferimento alle aree dell'Osservatorio CNR 'O. Vittori' e del Rifugio Esperia

di Giovanna Barbieri⁽¹⁾⁽²⁾ e Edoardo Pinotti⁽³⁾

1. Responsabile dei progetti di monitoraggio botanico in Appennino settentrionale per il CSC
2. Club Alpino Italiano - Sezione di Sassuolo
3. Operatore Naturalistico e Culturale - Sezione di Modena

Riassunto

Il presente contributo è dedicato ai monitoraggi botanici che vengono realizzati nelle province di Modena e Piacenza nell'ambito del progetto CNR-CAI "Rifugi sentinella del clima e dell'ambiente". I monitoraggi, iniziati nel 2020, prevedono l'analisi fenologica (analisi della fioritura) di alcune specie vegetali rare di alta quota e di interesse conservazionistico, sempre più minacciate dalle attività antropiche, soprattutto dai cambiamenti climatici che ne sono derivati: numerosi progetti di ricerca nazionali e internazionali (vedi progetto GLORIA-Global Observation Research Initiative in Alpine Environments) hanno infatti dimostrato che in quota gli effetti del riscaldamento climatico sono più marcati rispetto alle latitudini inferiori. Le specie oggetto di studio si sono dimostrate ottimi biosensori delle condizioni meteo-climatiche e alcune di esse necessitano di essere particolarmente attenzionate per garantirne la conservazione, sia in natura che *ex situ*.

Abstract: Botanical monitoring in the northern Apennines

*This paper is dedicated to the botanical monitoring that is carried out in the provinces of Modena and Piacenza as part of the CNR-CAI project "Sentinel refuges of the climate and the environment". The monitoring, which began in 2020, involves the phenological analysis (flowering analysis) of some rare plant species of high altitude and conservation interest, increasingly threatened by human activities, especially by the resulting climate change: numerous national and international research projects (see GLORIA-Global Observation Research Initiative in Alpine Environments project) have in fact shown that at high altitudes the effects of global warming are more pronounced than at lower latitudes. The species under study have proven to be excellent biosensors of weather and climate conditions and some of them need to be particularly cared for to ensure their conservation, both in the wild and *ex situ*.*

Le aree interessate al monitoraggio botanico

I progetti di monitoraggio botanico interessano sia l'Appennino modenese, in particolare il Monte Cimone, che l'Appennino piacentino-ligure (alta Val Nure), quale estensione territoriale del progetto già in essere nell'area del Monte Cimone. Nel modenese l'area interessata dal monitoraggio è il versante Nord del Monte Cimone dalla località di Pian Cavallaro (1.878 m) alla vetta (2.165 m) e ricalca sostanzialmente il percorso dal "Sentiero dell'atmosfera", un itinerario didattico-ambientale dedicato alla scoperta dei segreti dell'atmosfera e del clima che cambia, attraverso una serie di pannelli grafici descrittivi curati dal CNR, dal CAMM Centro Aeronautica Militare di Montagna del Monte Cimone e dall'Ente per la biodiversità Emilia Centrale. La grande disponibilità del CAMM e la sensibilità in merito alle tematiche ambientali dimostrata dai suoi Direttori consentono ai ricercatori coinvolti nel progetto di poter transitare lungo la strada militare che porta a Pian Cavallaro e quindi di raggiungere agevolmente l'area di studio. Nel settore piacentino-ligure l'area interessata dal monitoraggio botanico

ricade all'interno della ZSC IT4010003 - Monte Nero, Monte Maggiorasca, La Ciapa Liscia a cavallo tra le province di Piacenza e Genova; il percorso oggetto del monitoraggio segue i sentieri CAI 001, 103 e 197 con itinerario: Passo Crociglia, Valle Tribolata, Groppo Rosso, Monte Roncalla e Ciapa Liscia. Entrambi i territori rappresentano aree di grande interesse naturalistico, nonostante la notevole antropizzazione che caratterizza il Monte Cimone. In merito agli aspetti floristici, in questa sede ci si limita a ricordare come esso sia stato, insieme ad altri rilievi dell'Appennino settentrionale, un importante centro di glaciazione extra-alpina: in esso i ghiacciai si sono formati ed espansi quando contemporaneamente quelli alpini scendevano fino all'alta pianura. Durante questi periodi freddi il Cimone, e la dorsale appenninica in generale, hanno rappresentato delle "vie fredde" lungo le quali le specie artiche, anche attraverso le pianure centro-europee, hanno trovato condizioni ecologiche adatte per migrare e insediarsi nei territori prima alpini, poi appenninici.

A seguito del miglioramento climatico del Postglaciale, caratterizzato da un progressivo riscaldamento e dal grande ritiro dei ghiacciai, le quote maggiori di questi "nuovi" territori sono diventate aree di rifugio per le specie legate agli ambienti freddi.

Queste specie vengono complessivamente denominate "reliqui glaciali", ossia specie tipiche dei climi freddi "migrate" in Appennino durante le espansioni glaciali del Quaternario e che in seguito al riscaldamento del clima sono quasi del tutto scomparse nei nuovi territori colonizzati, sopravvivendo solo nelle quote più elevate, in stazioni rifugio caratterizzate da un clima particolarmente freddo, assumendo attualmente una distribuzione disgiunta (quindi popolazioni distanti tra loro) e puntiforme (molto localizzata).

Il Monte Cimone ospita numerosi reliqui glaciali, alcuni dei quali hanno qui le loro rare stazioni appenniniche: *Silene acaulis*, *Salix herbacea*, *Gnaphalium supinum*, *Plantago alpina*, *Leucanthemopsis*

alpina, *Soldanella pusilla* subsp. *alpicola*, *Cerastium cerastioides*, *Carex foetida*. Queste specie reliquitte, oltre che di grande interesse conservazionistico, sono considerate di estrema importanza per ricostruire la storia naturale di questi luoghi.

L'area del Groppo Rosso risulta di notevole importanza naturalistica per gli aspetti geologici e geomorfologici, la presenza di specie rare ed estremamente localizzate e l'elevatissimo grado di naturalità complessivo, in quanto non soggetta né in passato né attualmente a forti pressioni antropiche. Gli affioramenti ofiolitici, costituiti in particolare da peridotiti più o meno serpentinate, conservano evidenti testimonianze della glaciazione wurmiana oltre che specie vegetali reliquitte: la Valle Tribolata, infatti, annovera la presenza di *Primula marginata* una specie rarissima, endemica delle Alpi sud-occidentali, insediata in questo territorio durante le glaciazioni del Quaternario e attualmente al suo limite meridionale di distribuzione.

Le specie oggetto di studio

Il progetto interessa tre specie di interesse conservazionistico e in particolare:

Armeria arenaria subsp. *marginata*



Corotipo: specie endemica del territorio italiano (= presente allo stato spontaneo solo nel territorio italiano)

Distribuzione in Regione: specie rara e localizzata

Categoria IUCN: assegnata per l'Emilia Romagna VU/B = vulnerabile con distribuzione ristretta in declino

Indice di rarità^Λ: 94,9 - specie rara

Stazioni oggetto del monitoraggio:

- Appennino modenese: 16
- Appennino piacentino-ligure: 11

In tabella 1 sono riportate le 16 stazioni dell'Appennino modenese di *Armeria arenaria* subsp. *marginata* oggetto del monitoraggio botanico, con indicazione della quota e dell'esposizione. In tabella 2 sono riportate le 11 stazioni oggetto del monitoraggio nell'Appennino piacentino-ligure.

Tabella 1			Tabella 2		
Stazione	Quota	Versante	Stazione	Quota	Versante
A01	1.920 m	NE	A01	1.412 m	NO
A02	1.920 m	NE	A02	1.497 m	O
A03	1.930 m	NE	A03	1.491 m	SE
A04	1.950 m	NE	A04	1.626 m	NE
A05	1.980 m	N	A05	1.628 m	S
A06	1.980 m	NE	A06	1.633 m	SE
A07	1.950 m	NE	A07	1.709 m	SE
A08	2.055 m	NE	A08	1.720 m	S
A09	2.080 m	NE	A09	1.729 m	SE
A10	2.100 m	NO	A10	1.533 m	NO
A11	2.150 m	SE	A11	1.524 m	SE
A12	2.120 m	SO			
A13	2.135 m	S			
A14	2.145 m	N			
A15	2.080 m	N			
A16	1.945 m	N			

Tabella 1 e 2 – Dettaglio della quota e dell'esposizione delle stazioni di *Armeria*

Aster alpinus subsp. *alpinus*



Corotipo: specie artico-alpina

Distribuzione in Regione: estremamente raro in Regione presente solo sui massicci più elevati dal Parmense al Bolognese

Geranium argenteum



Categoria IUCN: assegnata per l'Emilia Romagna VU/B = vulnerabile con distribuzione ristretta in declino

Indice di rarità^Λ: 97,1 - specie estremamente rara

Stazioni oggetto del monitoraggio:

- Appennino modenese: 10
- Appennino piacentino-ligure: 1 (l'unica stazione presente è geograficamente in provincia di Genova)

In tabella 3 sono riportate le 10 stazioni dell'Appennino modenese di *Aster alpinus* subsp. *alpinus* oggetto del monitoraggio botanico, con indicazione della quota e dell'esposizione. In tabella 4 è riportata l'unica stazione oggetto del monitoraggio nell'Appennino piacentino-ligure.

Tabella 3			Tabella 4		
Stazione	Quota	Versante	Stazione	Quota	Versante
As01	1.955 m	NO	As01	1.625 m	S
As02	1.931 m	NO			
As03	2.120 m	S			
As04	2.085 m	N			
As05	2.080 m	N			
As06	2.079 m	NE			
As07	2.066 m	N			
As08	2.065 m	N			
As09	1.972 m	N			
As10	1.822 m	NE			

Tabella 3 e 4 - Dettaglio della quota e dell'esposizione delle stazioni di *Aster alpinus*

Corotipo: specie subendemica (= presente soprattutto nell'area italiana, ma con limitati sconfinamenti in territori vicini)

Distribuzione in Regione: specie rara e localizzata, limitata a poche località comprese tra il Reggiano e il Bolognese

Categoria IUCN: assegnata per l'Emilia Romagna EN/B = in pericolo con distribuzione ristretta in declino.

Indice di rarità^Λ: 99,3 - specie estremamente rara. A tal proposito occorre segnalare che questo dato sarà probabilmente da rivedere vista la scomparsa della specie in alcune delle stazioni storicamente segnalate in bibliografia, quali il Monte Giovo e il Libro Aperto nel Modenese, e la sua contrazione in altre (quali il Monte Spigolino nel Modenese e il Corno alle Scale nel Bolognese)

L'attuale distribuzione di *Geranium argenteum* ne indica una probabile origine molto antica, sicuramente preglaciale: esso infatti presenta un areale alpino marcatamente discontinuo, con popolamenti isolati distribuiti sul margine della zona coperta dalla massima estensione dei ghiacciai quaternari, territori che hanno rappresentato delle aree

rifugio. Anche la distribuzione appenninica, limitata ad alcune delle vette più alte, che certamente emergevano dai ghiacciai quaternari, ha un significato relittuale quale territorio-rifugio.

Geranium argenteum può dunque essere considerato il rappresentante di una flora che popolava le Alpi e l'Appennino settentrionale anteriormente alle glaciazioni quaternarie (con probabile areale continuo): l'odierna discontinuità della distribuzione geografica rappresenta una diretta conseguenza del periodo glaciale che ha frammentato l'areale originario della specie.

Stazioni oggetto del monitoraggio:

- Appennino modenese: 5
- Appennino piacentino-ligure: non presente

L'analisi fenologica

La scelta di adottare, come metodo di monitoraggio, quello dell'analisi fenologica è legata al fatto che tra i fenomeni periodici della vita delle piante il più evidente è senza dubbio la fioritura: essa viene determinata dall'andamento delle temperature (oltre che dalla distribuzione della luminosità) e costituisce pertanto una "prova biologica" del clima e soprattutto degli effetti di esso sulle piante. Il metodo utilizzato è quello proposto da A. Marcello, applicato per molte rilevazioni fenologiche in Italia e all'estero, che prevede di indicare lo stadio di fioritura, attraverso la rilevazione della presenza di:

- fiori in boccio
- fiori in antesi
- fiori appassiti

Lo stadio di fioritura è indicato da tre notazioni consecutive, relative ai tre fenomeni nell'ordine; se il fenomeno è presente viene indicato con +, in caso contrario con O.

La correlazione dei dati meteo-climatici

I dati botanici vengono successivamente correlati ai dati:

- meteo-climatici regionali di Arpa Emilia Romagna (Agenzia Regionale Prevenzione Ambiente Energia);
- meteo-climatici dell'Osservatorio CNR 'O. Vittori' del Monte Cimone;
- meteo-climatici del Rifugio Esperia del Passo del Lupo al Monte Cimone;
- della temperatura del suolo, misurata da appositi data logger, inseriti a 10 centimetri di profondità. A questa profondità sono ancora presenti i segnali dei forzanti atmosferici (radiazione solare/irraggiamento terrestre) e degli scambi di energia dovuti al contenuto di acqua, tuttavia sono molto filtrate le variazioni temporali a scala sub-diurna: le misure a questa profondità mo-

In tabella 5 sono riportate le 5 stazioni dell'Appennino modenese di *Geranium argenteum* oggetto del monitoraggio botanico, con indicazione della quota e dell'esposizione.

Tabella 5		
Stazione	Quota	Versante
G01	1.990 m	NO
G02	1.980 m	NE
G03	2.130 m	O
G04	2.150 m	NO
G05	2.080 m	NE

Tabella 5 – Dettaglio della quota e dell'esposizione delle stazioni di *Geranium argenteum*

Si hanno quindi le seguenti possibilità:

- OOO - senza fiori
- +OO - con solo fiori in boccio
- ++O - con fiori in boccio e in antesi
- +++ - con fiori in boccio, in antesi e appassiti
- O++ - solo fiori in antesi e appassiti
- OO+ - solo fiori appassiti

Gli stadi possono essere così semplificati:

1. Non presenza del fenomeno (= fioritura);
2. Inizio;
3. Progresso;
4. Pienezza;
5. Declino;
6. Ulteriore declino.

Le rilevazioni vengono effettuate con cadenza settimanale, da metà aprile a fine settembre o inizio ottobre.

strano di norma una singola onda sinusoidale nelle 24h leggermente sfasata rispetto al ciclo diurno di soleggiamento. Sono altresì percepibili le variazioni stagionali e interannuali, proprie di (eventuali) trends climatici;

- delle temperature invernali (intese per convenzione quelle del trimestre dicembre-febbraio), delle temperature estive (intese per convenzione quelle del trimestre giugno-agosto) e delle precipitazioni (relativamente al solo monitoraggio botanico al Monte Cimone grazie ai dati forniti dal CAMM, Centro Aeronautica Militare di Montagna).

I dati meteo-climatici in Emilia Romagna (Fonti Arpae, Osservatorio CNR, Rifugio Esperia, CAMM)

L'andamento annuale

Il 2023 è stato l'anno più caldo da inizio misurazioni (1961), con una anomalia di 1,24 °C rispetto al clima 1991-2020 e scarti di 0,13 °C e 0,48 °C rispetto ai precedenti due anni più caldi della serie, il 2022 e il 2014. Queste anomalie climatiche sono il risultato del permanere delle temperature al di sopra dei valori climatici per gran parte dell'anno e del verificarsi di molti eventi durante i quali l'indice termico regionale ha superato, a volte anche di diversi gradi, i massimi valori osservati a partire dal 1961. Questo è successo in particolare un paio di volte nei primi mesi dell'anno e ben cinque volte nella seconda metà, quando gli scarti rispetto ai precedenti record termici sono stati anche di 3,9 °C, complici intensi eventi di foehn. Ciò ha fatto sì che l'autunno sia risultato il più caldo della serie storica, con uno scarto di 0,8 °C rispetto a quello del 2022, precedente record. L'anno si è chiuso con il dicembre più caldo dal 1961.

La situazione autunnale

L'autunno meteorologico 2023 (inteso per convenzione come il trimestre settembre-novembre) è stato il più caldo dal 1961, in quanto sia le temperature medie che le temperature massime hanno registrato valori record (Fig. 4). La temperatura media regionale dell'autunno 2023, con un valore di 15,82 °C, è risultata superiore alla media del trentennio 1991-2020 di +2,3 °C ma rappresenta anche il valore più elevato di tutta la serie dal 1961, superiore di +0,8 °C rispetto al precedente record del 2022, anno in cui la media delle temperature autunnali in Emilia-Romagna ha superato per la prima volta la soglia di 15 °C. L'anomalia positiva è imputabile principalmente alle temperature massime, che hanno registrato un valore medio regionale di 20,95 °C, superando a loro volta la media recente (1991-2020) di +3,1 °C e il precedente record del 2022 di

quasi 1 °C. Anche le temperature minime, seppure in misura inferiore rispetto alle massime e alle medie, risultano superiori al clima di +1,47 °C, con un valore di 10,68 °C, secondo dato più elevato della serie dopo il 2014 (10,69 °C). Analizzando la stagione mese per mese, si può notare che, fatta eccezione per le temperature minime di novembre, i valori termici medi, massimi e minimi di tutti e tre i mesi sono stati superiori ai rispettivi valori climatici 1991-2020 (tabella 6). Il mese di ottobre, in particolare, ha fatto registrare valori "estremi".

Settembre 2023 - Le temperature medie regionali (20,8 °C) risultano complessivamente superiori al clima 1991-2020 di +2,2 °C (2° più caldo dal 1961 dopo il 2011). L'anomalia positiva (Fig. 5) è imputabile in misura maggiore alle temperature massime, superiori al clima di riferimento di +2,8 °C (2° valore più caldo dopo il 2011); meno eccezionale ma comunque molto significativa anche l'anomalia delle temperature minime, superiori al clima di +1,6 °C.

Ottobre 2023 - Le temperature medie regionali (17,4 °C) risultano complessivamente superiori al clima 1991-2020 di +3,8 °C rendendo ottobre 2023 il più caldo dal 1961. L'anomalia positiva è imputabile in misura maggiore alle temperature massime (22,4 °C), superiori al clima di riferimento di +4,5 °C e solo lievemente inferiori al record del 2022; un'anomalia non altrettanto elevata, ma comunque eccezionale è riscontrata per le temperature minime, superiori al clima di +3,0 °C e record dal 1961.

Novembre 2023 - Le temperature medie regionali (9,21°C) risultano complessivamente superiori al clima 1991-2020 di +0,9 °C. L'anomalia positiva è imputabile alle temperature massime (13,7 °C), superiori al clima di riferimento di +1,9 °C e quarto valore più alto dal 1961; per le temperature minime si riscontra invece un'anomalia lievemente negativa di -0,2 °C. Tutti dati sono riportati in tabella 6.

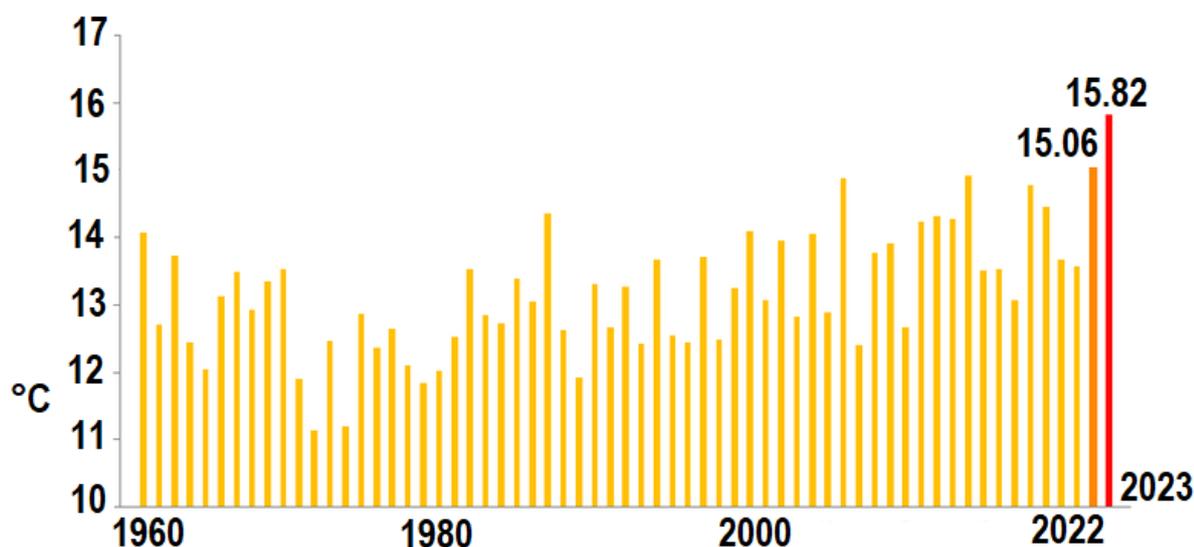


Figura 4 – Serie delle temperature medie regionali autunnali dal 1961 al 2023

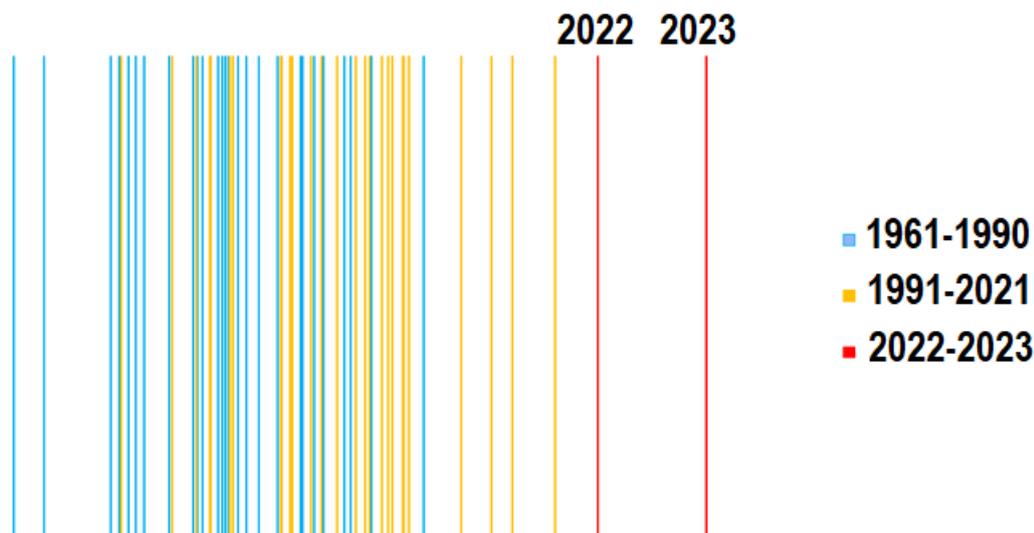


Figura 5 – Distribuzione dei valori delle temperature massime medie regionali autunnali dal 1961 al 2023

	T Media °C	T Max °C	T Min °C
Settembre 2023	20.76	26.70	14.83
Serie 1991-2020	18.54	23.90	13.19
Differenza	+2.22	+2.80	+1.64
Ottobre 2023	17.40	22.40	12.40
Serie 1991-2020	13.67	17.91	9.42
Differenza	+3.77	+4.52	+2.98
Novembre 2023	9.20	13.70	4.70
Serie 1991-2020	8.35	11.72	4.98
Differenza	+0.86	+1.95	-0.24

Tabella 6 – Temperature regionali medie, massime e minime mensili per l'autunno 2023, valori climatici (1991-2020) e anomalie corrispondenti

La temperatura del suolo

La temperatura del suolo viene misurata con data logger modello Hobo MX 2201, con misurazione in continuo (tutto l'anno) e con frequenza oraria.

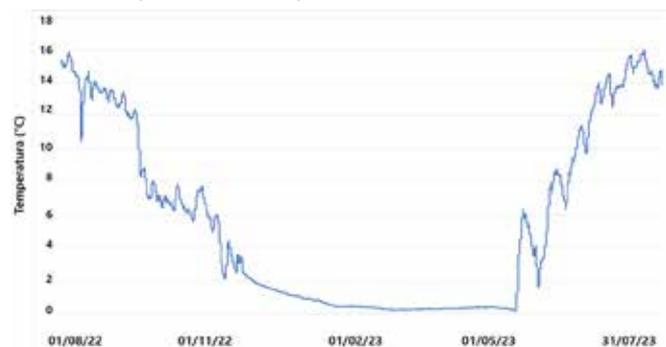


Figura 6 – Grafico dell'andamento della temperatura del suolo relativo al logger L01

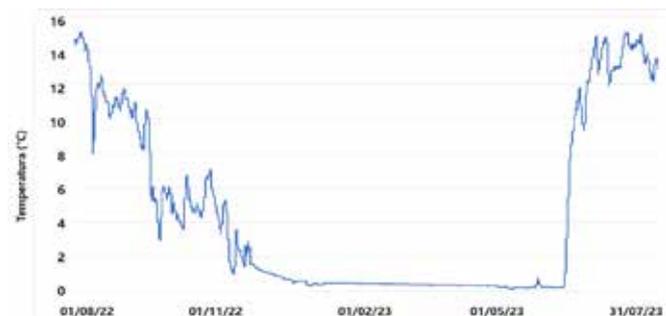


Figura 7 – Grafico dell'andamento della temperatura del suolo relativo al logger L02

Le figure 6-15 mostrano l'andamento delle temperature medie mobili sulle 24 ore per i data logger del Monte Cimone.



Figura 8 – Grafico dell'andamento della temperatura del suolo relativo al logger L03

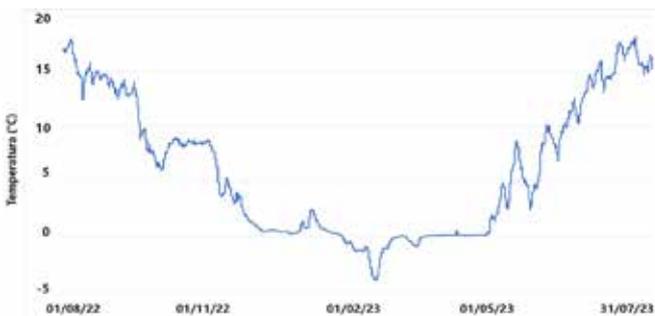


Figura 9 – Grafico dell'andamento della temperatura del suolo relativo al logger L04

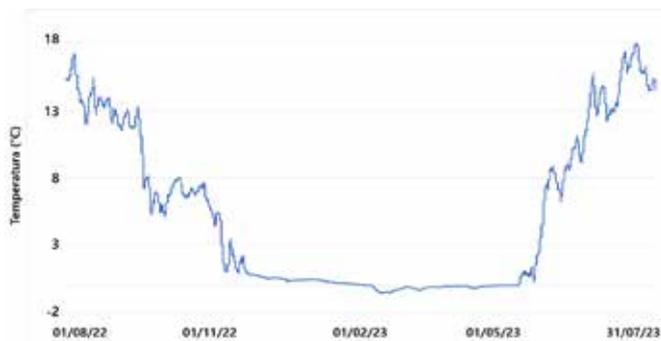


Figura 10 – Grafico dell'andamento della temperatura del suolo relativo al logger L05



Figura 13 – Grafico dell'andamento della temperatura del suolo relativo al logger L08

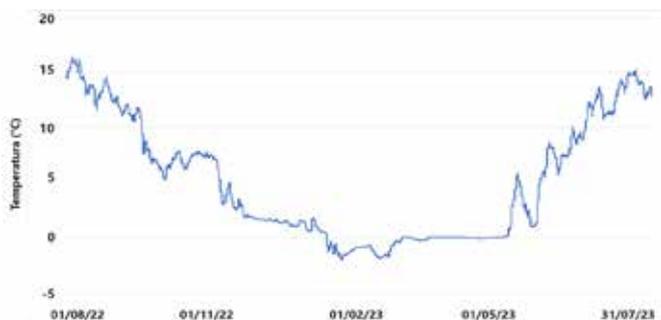


Figura 11 – Grafico dell'andamento della temperatura del suolo relativo al logger L06

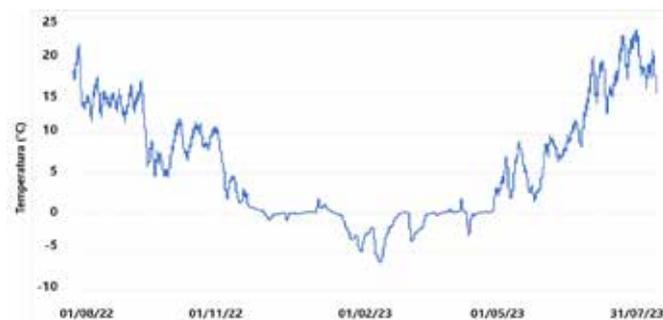


Figura 14 – Grafico dell'andamento della temperatura del suolo relativo al logger L09

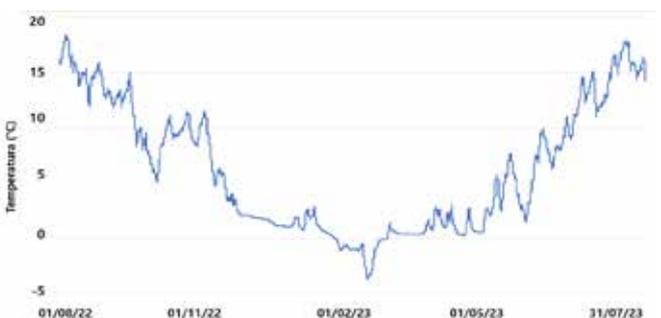


Figura 12 – Grafico dell'andamento della temperatura del suolo relativo al logger L07

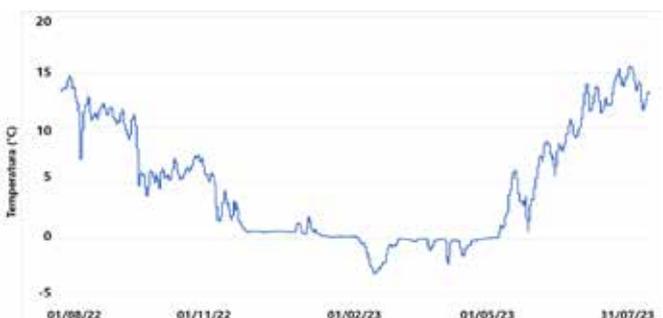


Figura 15 – Grafico dell'andamento della temperatura del suolo relativo al logger L10

I risultati delle analisi fenologiche

Armeria arenaria subsp. marginata

La fioritura (qui intesa come la presenza di fiori in antesi, stadi 3 e 4) degli esemplari nelle 13* stazioni di monitoraggio del Monte Cimone ha inizio tra il 29 giugno e il 9 luglio, con un andamento sovrapponibile a quello del 2020, primo anno del progetto. Da segnalare la fioritura di A10 dopo 2 anni di assenza del fenomeno (estate 2021 e 2022); si tratta di un esemplare di *Armeria* probabilmente colpito da danno radicale da gelo nell'inverno del 2020 quando la temperatura del suolo misurata dai data logger è scesa a -8 °C. Questo esemplare si trova infatti su un pendio interessato da continui fenomeni di gelo e disgelo dovuti all'alternanza della copertura nevosa al suolo, che scivola a valle per gravità data la particolare acclività del pendio.

I due anni di assenza di fioritura di A10 potrebbero rappresentare il tempo medio di "ripresa" degli

esemplari colpiti da danno da gelo per mancanza di neve al suolo, fenomeno sempre più frequente in montagna a seguito del riscaldamento climatico.

A seguito del clima particolarmente caldo dei mesi di settembre e ottobre A16, ma anche altri esemplari di *Armeria* non interessati dal monitoraggio botanico, hanno manifestato una seconda fioritura che si è protratta, in alcuni casi, fino al mese di novembre.

La fioritura degli esemplari nelle 11 stazioni di monitoraggio del settore piacentino ha inizio tra il 15 maggio e il 16 giugno, in anticipo rispetto al Cimone per la quota più bassa alla quale vivono gli esemplari. A6 è risultata essere la prima a fiorire, probabilmente per la posizione favorevole con esposizione a Sud-Est, e ha manifestato una lunghissima fioritura, fino alla fine del mese di luglio. Da segnalare la fioritura di A02 dopo un anno di assenza

del fenomeno. (*A02, A09 e A15 non sono state ritrovate nel 2023).

Aster alpinus subsp. alpinus - La fioritura degli esemplari nelle 9** stazioni di monitoraggio del Monte Cimone ha inizio tra il 29 giugno e il 14 luglio, anche in questo caso con un andamento sovrapponibile a quello del 2020.

La fioritura dell'esemplare del Groppo Rosso ha inizio il 2 luglio. (**As9 non è stato ritrovato nel 2023).

Geranium argenteum - La fioritura degli esemplari delle 5 stazioni di monitoraggio ha inizio il 2 luglio, anche in questo caso con un andamento sovrapponibile a quello del 2020.



Figura 16 – Aster alpinus - ph G. Margheritini

Conclusioni

Armeria arenaria subsp. *marginata* è molto abbondante nelle aree di studio e non presenta, al momento, problemi di conservazione. Si è rivelata un ottimo biosensore delle condizioni meteo-climatiche, in particolare delle temperature miti dell'autunno 2023.

Aster alpinus subsp. *alpinus* non è particolarmente abbondante nell'area del Monte Cimone ed è sottoposto a notevoli pressioni antropiche dirette, quali la raccolta dei fiori e il pascolamento non regolamentato di animali domestici, equini in particolare. Questi fattori, oltre all'aumento di temperatura in quota dovuto al cambiamento climatico, potrebbero innescare problemi di conservazione per la specie. In questo scenario risulta dunque fondamentale il proseguimento del progetto di ricerca per poter monitorare la sopravvivenza degli esemplari e adottare, eventualmente, importanti strategie di tutela, quali la conservazione *ex situ*. La popolazione presente al Groppo Rosso invece non è interessata da minacce antropiche dirette vista la sua posizione su uno sperone roccioso particolarmente esposto nel vuoto.

Nonostante la presenza di popolamenti numerosi, *Geranium argenteum* resta comunque molto localizzato nelle stazioni già occupate e manifesta una

scarsa capacità di espansione dei popolamenti stessi in altri settori del Monte Cimone per quanto possano avere condizioni di vita a esso favorevoli. La specie non risulta soggetta a particolari cause di minaccia vista la difficile accessibilità dei luoghi di crescita. Occorre tuttavia valutare l'impatto della frequentazione escursionistica (per le stazioni localizzate in vicinanza dei sentieri escursionistici) in relazione a:

- possibile calpestio per percorrenze fuori traccia;
- fenomeni di erosione legati alla frequentazione escursionistica eccessiva;
- raccolta dei fiori.

Ringraziamenti

Ringraziamo il Ten.Col. Daniele Biron, il Ten. Col. Francesca Marcucci e il Ten. Stefano Amendola per l'elaborazione dei dati di temperatura del logger e il loro supporto in tutte le fasi del monitoraggio botanico.

Ringraziamo i soci CAI volontari che hanno contribuito alle analisi fenologiche del piacentino: in particolare Alessandro e Michele Daturi per la grande disponibilità e la stima reciproca; inoltre Margherita Boselli, Antonio Caleandro e Manuela Randazzo.

Note

L'indice di rarità è stato calcolato secondo la formula: $1 - (n/N) \times 100$ in cui "n" è il numero delle unità geografiche di rilevamento in cui la specie è stata rinvenuta e "N" il numero totale delle unità geografiche per il territorio investigato. Per l'indagine condotta sul territorio regionale (complessivamente 285 unità geografiche di rilevamento, "quadranti") vengono considerate:

- rare le specie con indice di rarità superiore a 78.08 (corrispondente a 148 presenze, la metà dei quadranti),
- molto rare quelle con indice compreso tra 95 e 97 (presenti in un numero di quadranti compreso tra 20 e 34),
- estremamente rare le specie con indice superiore a 97 (presenti in meno di 20 quadranti).

Bibliografia

- AAVV (1997). *L'ultima glaciazione. Aspetti naturalistico-ambientali e primi insediamenti umani al Corneo alle Scale*. CAI Convegno TER
- ALESSANDRINI A., BONAFEDE F. (1996). *Atlante della Flora protetta della Regione Emilia-Romagna*. Regione Emilia-Romagna, Bologna
- ALESSANDRINI A., BRANCHETTI G. (1997). *Flora reggiana*. Provincia di Reggio, CR Edizioni (VR)
- ALESSANDRINI A., DELFINI L., FERRARI P., FIANDRI F., GUALMINI M., LODESANI U., SANTINI C. (2010). *Flora del Modenese*. Censimento Analisi Tutela
- ALESSANDRINI A., FOGGI B., ROSSI G., TOMMASELLI M. (2003). *La flora di altitudine dell'Appennino Tosco-Emiliano*. Regione Emilia-Romagna, Bologna.
- ANSALDI A., CORTOPASSI L., GARBARI F. (2008). *Ecologia della conservazione di popolamenti apuano-appenninici di Geranium argenteum L.* Atti Soc. tosc. Sci. Nat. Mem, Serie B, 115: 25-31
- ANSALDI M., CORTOPASSI L., GARBARI F. (2009). *Ecologia della conservazione di popolamenti Apuano-appenninici di Geranium argenteum L.* Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie B, vol. 115: 25-31
- BARBIERI G. (2020). *Monitoraggio di alcune specie target, possibili indicatori di cambiamento climatico, al Monte Cimone*. Report del primo anno di monitoraggio. Bollettino CSC aprile 2021
- BARBIERI G. (2022). *Monitoraggio botanico di alcune specie target, possibili indicatori di cambiamento climatico, al Monte Cimone - Appennino settentrionale*. Report del secondo anno del progetto. Bollettino CSC aprile 2022
- BARBIERI G. (2023). *Monitoraggio botanico di alcune specie target, possibili indicatori di cambiamento climatico, al Monte Cimone - Appennino settentrionale*. Report del terzo anno del progetto con focus su *Geranium argenteum*. Bollettino CSC aprile 2023
- BERTOLANI MARCHETTI D., DALLAI D. (1994). *Storia tardiglaciale e postglaciale del Monte Cimone (Modena-Italia) in rapporto alla presenza di piante alpine*. Revue Valdôtaine d'Historie Naturelle, 48: 103-111
- CHIARUGI A. (1936). *Sul limite boreale dell'area geografica del Geranium argenteum L. nelle Dolomiti occidentali*. Nuovo Giornale Botanico Italiano, XLIV: 635- 640
- COCCONI G. (1883). *Flora della provincia di Bologna*. Zanichelli. Bologna
- CORTOPASSI L. (2007). *Una specie a rischio di estinzione nell'Appennino Tosco-emiliano: Geranium argenteum L.* Tesi di laurea specialistica in Gestione e Valorizzazione delle Risorse Naturali, Università di Pisa
- CONTI F., ABBATE G., ALESSANDRINI A., BLASI C. (2005). *Annotated Checklist of the Italian vascular flora*. Roma
- DELFINI L., FIANDRI F., LODESANI U., SANTINI C. (2003). *Contributo alla conoscenza della flora della provincia di Modena*. Atti Soc. Nat. Mat. Modena, 134: 289-325
- GERDOL R., STANISCI A., TOMMASELLI M. (2008). *La vegetazione delle montagne italiane*. Manuale CAI
- GIBELLI G., PIROTTA R. (1882) – *Flora del Modenese e del Reggiano*. Atti Soc. Nat. Mat. Modena, (Rendic.) serie 3(1): 29-216
- PINOTTI E., BARBIERI G. (2022). *Monitoraggio botanico di alcune specie target, possibili indicatori di cambiamento climatico, nell'area Groppo Rosso-Valle Tribolata-Ciapa Liscia (Appennino piacentino-genovese)*. Report del primo anno del progetto. Bollettino CSC aprile 2022
- TOMMASELLI M., DEL PRETE C., MANZINI M.L. (1996). *Parco Regionale dell'Alto Appennino Modenese: l'ambiente vegetale*. Regione Emilia-Romagna, Bologna

Per l'assegnazione dei corotipi <https://www.actaplantarum.org/index.php>



Figura 1 – Rifugio e parte del Giardino Esperia, centralina meteo-climatica - ph Giovanna Barbieri

Cambiamenti climatici e piante officinali

Il caso della coltivazione della salvia comune (*Salvia officinalis*) e della lavanda vera (*Lavandula angustifolia*) al Giardino Botanico Esperia Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente

di Giovanna Barbieri⁽¹⁾⁽²⁾ e Elisa Marino ⁽³⁾

1. Responsabile delle attività di monitoraggio botanico per il CSC per il progetto "Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente"
2. Club Alpino Italiano - Sezione di Sassuolo
3. Stagista Scienze Naturali - UNIMORE

Riassunto

Questo breve contributo prende spunto da un articolo scritto nel 1979 da alcuni ricercatori dell'Università di Modena che, nel corso del 1978, effettuarono la misurazione di vari parametri meteorologici nella zona del lago della Ninfa (Passo del Lupo, Sestola, MO, 1.522 m di quota) per verificare la possibilità di avviare la coltivazione su media scala di alcune specie di interesse officinale e la successiva estrazione di oli essenziali. Alcune ricerche precedenti in ambito erboristico avevano infatti dimostrato che in quota le piante officinali del genere salvia e lavanda sviluppano una quantità maggiore di oli essenziali rispetto a quelle coltivate a latitudini inferiori. La conclusione dei ricercatori è che, a causa principalmente delle basse temperature e dei lunghi periodi sottozero, "la zona non si presta allo scopo proposto". A distanza di 45 anni, a seguito del riscaldamento climatico, la situazione è molto cambiata in quanto numerosi generi di piante officinali (inclusi *Salvia* e *Lavandula*) sono coltivati senza problemi al Giardino Botanico Esperia (quota 1.500 m) a poche centinaia di metri in linea d'aria dal Lago della Ninfa.

Abstract: Climate change and medicinal plants

This brief contribution is inspired by an article written in 1979 by some researchers from the University of Modena who, during 1978, carried out the measurement of various meteorological parameters in the area of Lago della Ninfa (Passo del Lupo, Sestola, MO, 1.522 m above sea level altitude) to verify the possibility of starting the medium-scale cultivation of some species of medicinal interest and the subsequent extraction of essential oils. Some previous research in the herbal field had in fact demonstrated that at high altitude medicinal plants of the genus Salvia and Lavandula develop a greater quantity of essential oils than those grown at lower latitudes. The researchers' conclusion is that, mainly due to the low temperatures and long periods below zero, "the area is not suitable for the proposed purpose". 45 years later, following climate warming, the situation has changed greatly as numerous genera of medicinal plants (including Salvia and Lavandula) are cultivated without problems in the Esperia Botanical Garden (altitude 1.500 m) a few hundred meters in a straight line from Lago della Ninfa.

Introduzione

Il Rifugio Esperia, appartenente alla Rete dei "Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente" sorge all'interno dell'omonimo Giardino Botanico (Figura 1), collocato a Passo del Lupo (Sestola, MO) a 1.500 m di quota, all'interno di una bellissima faggeta, caratterizzata da un ricco sottobosco e dove, oltre al faggio, si possono osservare esemplari di specie arboree e arbustive tipiche dell'Appennino settentrionale. Nell'ambito del progetto "Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente" (Figura 2) è stata installata una centralina meteo-climatica per il rilevamento della temperatura, umidità, pressione, velocità e direzione del vento, quantità e intensità delle precipitazioni, evapotraspirazione giornaliera, mensile e annuale e radiazione solare.

Il Giardino Botanico ospita numerose specie erbacee, da quelle palustri e degli ambienti umidi, a quelle dei pascoli e delle radure, fino alle specie

delle rupi e delle falde detritiche; sorge su un terreno di proprietà del Comune di Sestola ed è gestito dalla sezione CAI di Modena, con la collaborazione scientifica dell'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia UNIMORE. Grazie a questa collaborazione (avviata nel 2020) è iniziata una "riqualificazione" del Giardino stesso attraverso:

- l'avvio di progetti di studio e ricerca della flora d'altitudine minacciata dal riscaldamento climatico
- importanti azioni di educazione alla sostenibilità, didattica e divulgazione scientifica
- la revisione della nomenclatura botanica e relativa cartellinatura
- la messa a dimora di specie vegetali di interesse conservazionistico
- l'implementazione delle specie presenti, anche

grazie all'introduzione di numerose specie officinali, tra le quali la lavanda a foglie strette (*Lavandula angustifolia* = *Lavandula officinalis*) e la salvia comune (*Salvia officinalis*), in memoria della connotazione originaria del Giardino.

Esso infatti nacque ufficialmente nel 1954, come Centro Erboristico Sperimentale dell'Appennino (CEAS) per la "valorizzazione dei terreni montani e collinari, oggi incolti o scarsamente produttivi, ottenibile con la rigenerazione e il miglioramento dei pascoli e anche con la coltura delle piante officinali e di quelle aromatiche da distillazione, là dove esse si rivelino economicamente utili".

In occasione del IV Congresso Nazionale di Erboristeria del 1954 organizzato proprio dal CEAS, il prof. Pietro Mascherpa, direttore dell'Istituto di Farmacologia e Terapia Sperimentale dell'Università di Pavia scrive: "l'erboristeria in montagna merita di essere particolarmente incrementata e valorizzata non solo per il materiale di raccolta, così vario e redditizio, ma anche perché interessa terreni a scarso rendimento e torna a vantaggio di popolazioni povere che, non aiutate, tenderebbero a rendere sempre più grave lo spopolamento della montagna".

A partire da questo momento si sono succedute numerose misurazioni meteo-climatiche nell'area del rifugio per verificare la possibilità di coltivazione di alcune specie officinali a queste altitudini.



Figura 2 – Targhe che caratterizzano i Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente



Figura 3 – Un tratto del Giardino Botanico Esperia - ph Giovanna Barbieri

Caratteristiche ecologiche di *Lavandula angustifolia* e *Salvia officinalis* e scenari futuri

Entrambe le specie rappresentano alcuni degli elementi erbaceo-arbustivi tipici della macchia mediterranea, una formazione vegetale tipica delle aree caldo-aride, caratterizzate da inverni miti.

Lavanda e salvia sono dunque specie termofile adattate ai climi caldi o temperato-caldi e, in base ai dati presenti in letteratura, non idonee a essere coltivate in montagna, almeno in Emilia Romagna: una recente pubblicazione della Regione consiglia infatti la coltivazione entro la fascia centroeuropea (collinare) e comunque entro gli 800-900 m di quota.

Questo scenario è tuttavia destinato a mutare a seguito del fenomeno di riscaldamento (termofilizzazione) degli habitat montani, documentato da diversi progetti nazionali e internazionali, che consente alle specie termofile di vivere a quote sempre maggiori.

I dati prodotti mostrano come le montagne rappresentino dei veri e propri termometri del clima che cambia perché la loro risposta ai cambiamenti climatici e ambientali è ben visibile e amplificata: le montagne si stanno riscaldando di più e più in fretta rispetto agli altri territori.

Per quanto riguarda le specie selvatiche l'aumento della temperatura nelle aree montuose si traduce in una "forza trainante naturale", che innesca flussi migratori di specie verso quote più elevate e che porta a una variazione della composizione floristica delle comunità vegetali.

Una situazione simile, seppure non naturale, si osserva nel mondo agricolo, dove la coltivazione delle specie termofile, officinali e non solo, quali l'ulivo, viene praticata a latitudini e altitudini maggiori rispetto al passato.



Figura 4 – *Salvia officinalis* - ph Giovanni Margheritini



Figura 5 – *Lavandula angustifolia* - ph Giovanni Margheritini

Caratteristiche climatiche e coltivazione di piante officinali al Lago della Ninfa

Questo è il titolo di una pubblicazione del 1979 (a cura di diversi ricercatori dell'Università di Modena) nella quale vengono riportate alcune misurazioni, tra le quali le temperature medie, massime e minime mensili del 1978 "al fine di una ricerca sulla possibilità di coltivazione di piante officinali dei generi lavanda e salvia" al Lago della Ninfa a quota 1.522 m.

Il lago si trova a poche centinaia di metri in linea d'aria dal Rifugio Esperia e all'epoca ospitava un vivaio della Forestale che si sarebbe potuto utilizzare per la messa a dimora delle piante officinali.

Il grafico qui a lato riportato (Figura 7) mostra l'andamento delle temperature massime e minime tra il 1978, anno di riferimento dello studio e gli ultimi quattro anni.

Risulta già evidente il divario di temperature medie su tutto l'arco dell'anno e in particolare modo nel 2023. Nella tabella di seguito (Figura 6) è riportato il confronto analitico dei dati mensili di temperatura massima, minima e media del 1978 con quelli degli anni 2020, 2021, 2022 e 2023, questi ultimi misurati dalla centralina meteo-climatica dell'Esperia, installata nell'ambito del progetto "Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente" del CAI-CNR.

Nella stessa tabella vengono riportati i mesi senza gelate e i differenziali tra ciascun anno con il 1978. Come si può osservare i mesi senza gelate da 4 nel 1978 diventano 5 nel 2020 e 2021 per poi passare a 6 dal 2022 in avanti.

Periodo	Parametri	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
1978	T Max °C	7.0	8.5	13.0	11.0	19.0	22.0	23.0	23.0	18.0	16.0	13.5	14.0
	T Min °C	-18.0	-13.5	-7.0	-6.0	-4.0	3.0	3.5	1.0	0.0	-4.0	-8.5	-12.0
	T Media °C	-6.5	0.5	4.0	3.5	9.0	11.0	16.0	12.5	11.0	8.5	0.5	6.5
	Mesi senza gelate						x	x	x	x			
2020	T Max °C	4.0	7.9	5.2	11.4	14.1	17.5	20.8	21.0	16.5	9.7	7.9	2.2
	T Min °C	-1.4	-0.3	-2.0	1.9	6.4	8.7	11.3	12.3	8.4	3.3	2.0	-2.2
	T Media °C	1.3	3.8	1.6	6.6	10.3	13.1	16.1	16.6	12.2	6.5	4.9	0.0
	Giorni T Media >= 6 °C	0	7	5	19	30	30	31	31	28	19	12	0
	Mesi senza gelate					x	x	x	x	x			
Differenziale 2020 - 1978	T Max °C	-3.0	-0.6	-7.8	0.4	-4.9	-4.5	-2.2	-2.0	-1.5	-6.3	-5.6	-11.8
Differenziale 2020 - 1978	T Min °C	16.6	13.2	5.0	7.9	10.4	5.7	7.8	11.3	8.4	7.3	10.5	9.8
2021	T Max °C	0.3	6.0	6.0	7.1	12.4	20.1	21.5	20.9	17.4	9.9	5.4	3.8
	T Min °C	-5.4	-1.8	-2.4	-0.8	4.8	11.2	12.7	12.0	8.9	3.3	0.8	-1.7
	T Media °C	-2.5	2.1	1.8	3.2	8.6	15.7	17.1	16.5	13.1	6.6	3.1	1.0
	Giorni T Media >= 6 °C	0	5	3	7	29	30	31	31	30	18	6	7
	Mesi senza gelate					x	x	x	x	x			
Differenziale 2021 - 1978	T Max °C	-6.7	-2.5	-7.0	-3.9	-6.6	-1.9	-1.5	-2.1	-0.6	-6.1	-8.1	-10.2
Differenziale 2021 - 1978	T Min °C	12.6	11.7	4.6	5.2	8.8	7.8	8.8	11.0	8.9	7.3	9.3	10.3
2022	T Max °C	4.3	5.8	5.2	8.7	16.2	21.8	23.7	21.3	15.5	16.0	6.6	4.5
	T Min °C	-2.5	-1.8	-2.9	0.3	8.4	12.7	13.7	12.2	8.2	8.7	1.5	0.0
	T Media °C	0.9	2.0	1.1	4.5	12.3	17.2	18.7	16.7	11.9	12.4	4.0	2.2
	Giorni T Media >= 6 °C	3	2	5	12	27	30	31	31	29	27	11	4
	Mesi senza gelate					x	x	x	x	x	x		
Differenziale 2022 - 1978	T Max °C	-2.7	-2.7	-7.8	-2.3	-2.8	-0.2	0.7	-1.7	-2.5	0.0	-6.9	-9.5
Differenziale 2022 - 1978	T Min °C	15.5	11.7	4.1	5.7	8.4	9.7	10.2	11.2	8.2	12.7	10.0	12.0
2023	T Max °C	10.5	13.1	13.1	14.4	18.0	26.9	28.7	28.9	23.8	23.2	15.6	13.8
	T Min °C	-8.8	-11	-4.9	-6.2	2.4	6.3	9.4	6.9	5.9	3.8	-4.4	-4.8
	T Media °C	-0.4	1.0	4.1	4.5	8.3	14.2	18.6	17.0	14.0	11.9	4.4	3.5
	Giorni T Media >= 6 °C	2	4	10	13	21	30	31	31	31	29	8	8
	Mesi senza gelate					x	x	x	x	x	x		
Differenziale 2023 - 1978	T Max °C	+3.5	+4.6	+0.1	+3.4	-1.0	+4.9	+5.7	+5.9	+5.8	+7.2	+2.1	-0.2
Differenziale 2023 - 1978	T Min °C	+9.2	+2.5	+2.1	-0.2	+6.4	+3.3	+5.9	+5.9	+5.9	+7.8	+4.1	+7.2

Figura 6 – Confronto analitico dei dati mensili di temperatura massima, minima e media del 1978 con quelli degli anni 2020, 2021, 2022 e 2023

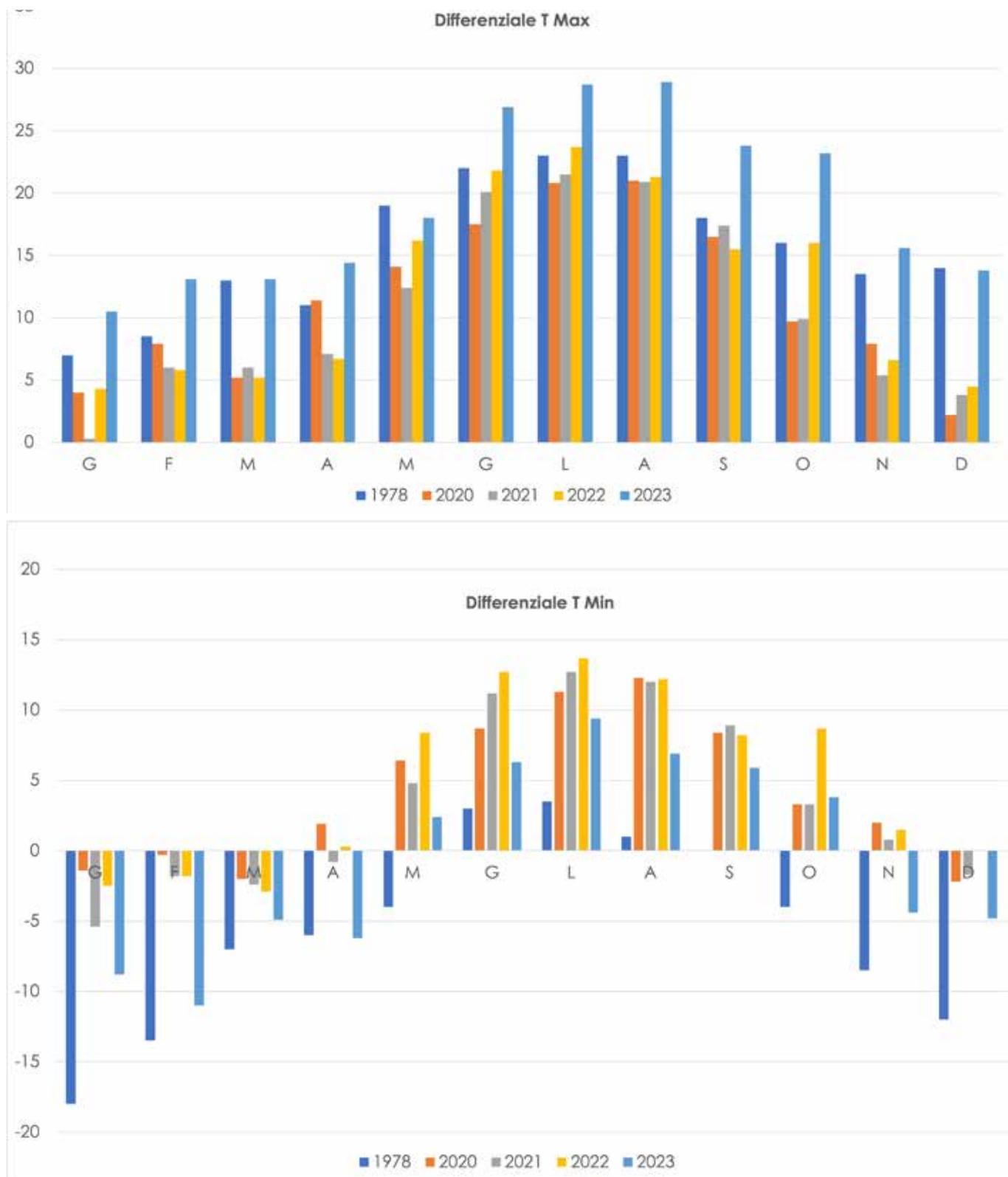


Figura 7 – Grafico andamento temperature MAX per anno (sopra) e temperature MIN per anno (sotto)

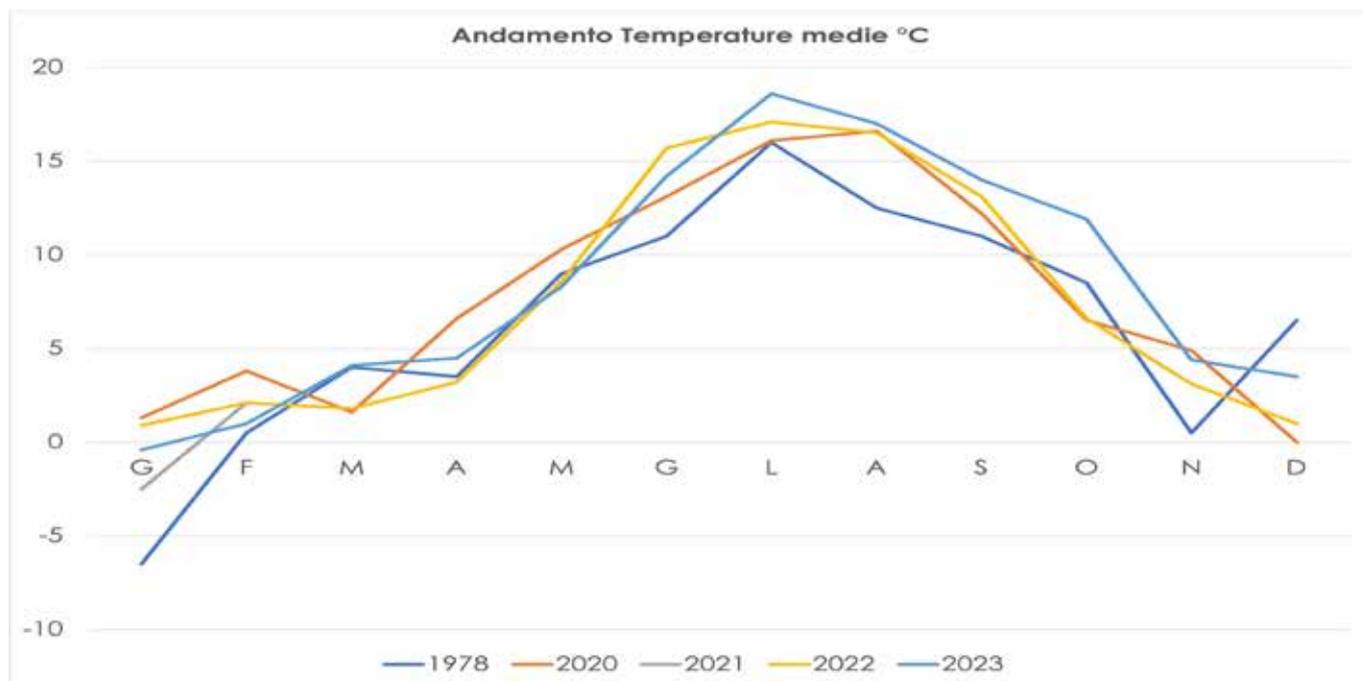


Figura 8 – Grafico andamento temperature medie annuali

Il confronto fra i dati del 1978 e del periodo 2020-2023

Nella prima colonna dello schema seguente (Figura 9) vengono riportate alcune frasi dell'articolo del 1979 relative all'andamento meteorologico dell'anno 1978, con particolare riguardo alle temperature, alle gelate e al periodo vegetativo.

Nella altre quattro colonne viene riportata la stessa tipologia di dati, ma riferiti agli anni dal 2020 al 2023. Nella figura seguente (Figura 10) vengono

parametrati i giorni di periodo vegetativo per ogni anno, assumendo per tale parametro quanto stabilito da Pinna M. *Climatologia* - UTET, cioè la somma dei giorni dell'anno durante i quali la temperatura media rimane uguale e/o al di sopra dei 6 °C.

Nell'analisi è evidente come i giorni di periodo vegetativo si siano costantemente incrementati, passando dal 44% del 1978 al 61% del 2023.

1978	2020	2021	2022	2023
La temperatura media mensile si mantiene costantemente su valori piuttosto bassi; solo dalla fine di maggio alla metà di agosto si superano i 12 °C senza mai raggiungere i 16 °C	Le temperature medie mensili non scendono mai sotto lo 0°C. Da maggio a settembre i valori medi vanno da 10 °C a 16,6 °C	Le temperature medie mensili scendono a - 2,5 °C solo a gennaio. La temperatura media mensile raggiunge i 17,1 °C a luglio	Le temperature medie mensili non scendono mai sotto lo 0 °C. Da maggio a ottobre i valori medi vanno da 12,0 °C a 18,7 °C	La temperatura media mensile scende a - 0,4 °C solo a gennaio mentre raggiunge quasi i 19 °C nel mese di luglio
In dicembre, gennaio e febbraio la temperatura media giornaliera si mantiene per periodi piuttosto lunghi inferiore a zero gradi	In dicembre, gennaio e febbraio si sono registrati 41 giorni con temperature medie inferiori allo zero	In dicembre, gennaio e febbraio si sono registrati 39 giorni con temperature medie inferiori allo zero	In dicembre, gennaio e febbraio si sono registrati solo 31 giorni con temperature inferiori allo zero	In dicembre, gennaio e febbraio si sono registrati solo 30 giorni con temperature inferiori allo zero
La temperatura media annua è di 5,3 °C	La temperatura media annua è di 7,8 °C	La temperatura media annua è di 7,2 °C	La temperatura media annua è di 8,7 °C	La temperatura media annua è di 8,4 °C
La media dei valori massimi raggiunge nel periodo più caldo appena 20 °C	La media dei valori massimi supera nel periodo più caldo 20 °C	La media dei valori massimi supera nel periodo più caldo 20 °C	La media dei valori massimi supera nel periodo più caldo 20 °C	La media dei valori massimi supera nel periodo più caldo 20 °C
La media delle temperature minime dalla fine di ottobre ai primi di maggio si mantiene costantemente sotto zero	La media delle temperature minime risulta sotto zero nei mesi di gennaio, febbraio, marzo e dicembre.	La media delle temperature minime risulta sotto zero nei mesi di gennaio, febbraio, marzo, aprile e dicembre	La media delle temperature minime risulta sotto zero nei mesi di gennaio, febbraio e marzo	La media delle temperature minime risulta sotto zero solo nei mesi di gennaio e febbraio.

Il valore di temperatura massima assoluta è di 23 °C	Il valore di temperatura massima assoluta è di 26,5 °C	Il valore di temperatura massima assoluta è di 27,2 °C	Il valore di temperatura massima assoluta è di 27,6 °C	Il valore di temperatura massima assoluta è di 26,9 °C
Il valore di temperatura minima assoluta è di -18,0 °C	Il valore di temperatura minima assoluta è di -8,1 °C	Il valore di temperatura minima assoluta è di -14,1 °C	Il valore di temperatura minima assoluta è di -9,1 °C	Il valore di temperatura minima assoluta è di -8,8 °C
Solo in 4 mesi (da giugno a settembre) la temperatura minima non è scesa sotto lo zero	I mesi senza gelate sono 5, da maggio a settembre	I mesi senza gelate sono 5, da maggio a settembre	I mesi senza gelate sono 6, da maggio a ottobre	I mesi senza gelate sono 6, da maggio a ottobre
La durata del periodo vegetativo è 159 giorni, pari al 44% dell'anno	La durata del periodo vegetativo è 212 giorni, pari al 59% dell'anno	La durata del periodo vegetativo è 192 giorni, pari al 53% dell'anno	La durata del periodo vegetativo è 212 giorni, pari al 60% dell'anno	La durata del periodo vegetativo è 218 giorni, pari al 61% dell'anno

Figura 9 – Tabella con confronto analitico dei cinque anni

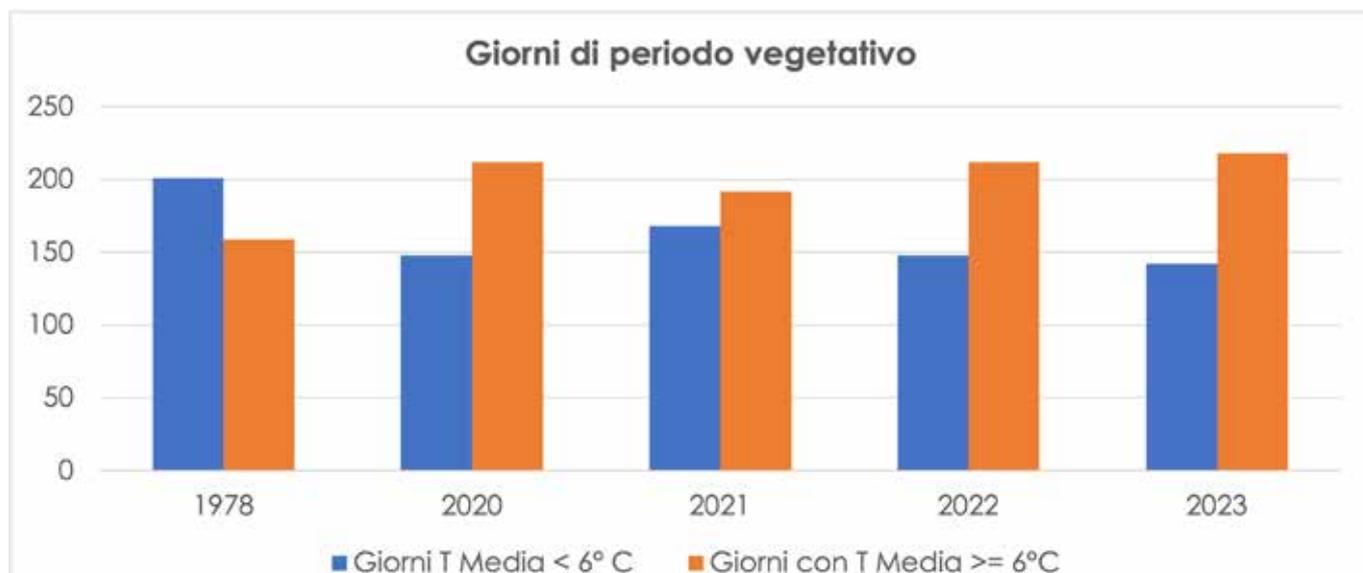


Figura 10 – Grafico giorni di Periodo Vegetativo: inteso come la somma dei giorni dell'anno durante i quali la temperatura media rimane al di sopra dei 6 °C (Pinna M., Climatologia, UTET, 1977)

Conclusioni

Dopo un anno di misurazioni, i ricercatori giunsero a queste conclusioni: “la temperatura dell'aria è particolarmente bassa in ogni stagione dell'anno sia come valore medio che come valori minimi. L'area pertanto non risulta adatta per impiantarvi un vivaio per piante officinali. La temperatura media piuttosto bassa (solo 159 giorni di periodo vegetativo secondo Pinna) esercita una influenza negativa sulla possibilità di sopravvivenza delle piante pluriennali. Questo nonostante si sia constatato, in accordo con la bibliografia, che la produzione degli olii essenziali è notoriamente migliore rispetto a quella di piante coltivate a minori latitudini”. Dunque “la sperimentazione ha messo in evidenza che la zona non si presta allo scopo proposto” a causa delle temperature troppo rigide. A distanza di 45 anni, a seguito del riscaldamento climatico, la situazione è molto cambiata in quanto numerosi generi di piante officinali (inclusi Salvia e Lavandula) sono coltivati senza problemi al Giardino Botanico Esperia a 1.500 m di quota. Dal punto di vista socio-economico, il riscaldamento generalizzato che si osserva nei contesti montuosi apre numerose pro-

spettive lavorative, sociali e culturali grazie alla possibilità di sviluppare micro filiere di “prodotti officinali” in contesti montani. Il sempre maggior interesse per la fitoterapia e i cosmetici naturali, accanto alla possibilità di riqualificare e valorizzare i territori montani, possono dunque contribuire a creare opportunità occupazionali che possano generare “nuove” economie di montagna e arginare lo spopolamento della montagna, grazie anche al coinvolgimento dei giovani, in una prospettiva di rivitalizzazione dei territori e di innovazione.

Bibliografia

- AAVV (2023). *Coltivazione e utilizzi delle piante officinali in Emilia Romagna*. Assessorato all'agricoltura della Regione Emilia Romagna
- SALTINI G., BIANCHI A. (1979). *Caratteristiche climatiche e coltivazione di piante officinali al Lago della Ninfa*. Atti Società Naturalisti e Matematici di Modena, 110 (1979): 29-42



Aspetti geologici del Col Quaternà in Comelico

Un percorso geologico nel Permiano superiore

di Tiziano Abbà⁽¹⁾⁽²⁾ ed Erik Unterperthinger⁽³⁾

1. Geologo, Università di Pavia
2. CAI Sezione di Camposampiero
3. Naturalista, insegnante

Riassunto

In Veneto il Col Quaternà costituisce un unicum dal punto di vista geologico, essendo la sola testimonianza a Est del Primiero degli imponenti fenomeni vulcanici che nel Permiano inferiore sconvolsero una vastissima area delle attuali Alpi Sud-orientali. Il Quaternà è appunto un corpo magmatico rappresentante il riempimento di un antico condotto vulcanico.

Oggi la cima del monte, con la riconoscibile forma piramidale, caratterizza in sinistra orografica il paesaggio della Val Comelico. Alle sue pendici sopravvivono importanti aree umide e torbiere di sicuro pregio naturalistico, con una flora e una fauna anche rare, soggette a grave rischio in conseguenza della rarefazione di tale tipologia ambientale.

Abstract: Geological aspects of Col Quaternà in Comelico: a geological journey into the Upper Permian

Col Quaternà in Veneto region is a geological unicum, being the only evidence east of Primiero of the massive volcanism that in the Early Permian disrupted a very large area of the present-day southern Alps. Col Quaternà is precisely a magmatic body representing the filling of an ancient volcanic conduit.

Today the summit of the mountain, with its recognisable pyramidal shape, characterizes on the orographic left the landscape of Val Comelico. Important wetlands and peat bogs of definite naturalistic value survive on its slopes, with even rare flora and fauna, subject to a serious risk because of the rarefaction of this type of environment.

Introduzione

Il Col Quaternà si trova in Comelico, all'estremità Nord-orientale del territorio veneto. È un rilievo piramidale la cui mole inconfondibile si staglia su un paesaggio dolce e ondulato, ricco di praterie alpine, ruscelli, laghetti e torbiere.

Queste sue caratteristiche, unitamente alla posizione geografica, che da secoli è luogo di confine, ne fanno un concentrato di interessi, una fonte ricchissima di spunti per apprezzare il paesaggio sotto i più diversi punti di vista: geologico, botanico, faunistico, storico, archeologico; il tutto inserito in uno scenario naturale a dir poco suggestivo. Il libro che recentemente il Comitato Scientifico Veneto Friulano Giuliano ha pubblicato ha tentato di mettere insieme tutti questi aspetti, mettendo in luce con

chiarezza didattica come essi siano tra loro intimamente legati nel plasmare il paesaggio che ammiriamo dai sentieri.

Ci occuperemo qui degli aspetti geologici, che fanno, per così dire, da sfondo a tutti gli altri, e che, va detto, sono particolarmente interessanti. Il Col Quaternà, infatti, costituisce un distretto vulcanico risalente al Permiano inferiore, dotato di un'estensione relativamente ridotta, tanto che nel corso di un'escursione giornaliera si possono osservare tutti gli elementi sopravvissuti dell'apparato vulcanico. Il sentiero che proponiamo segue proprio questo filo conduttore, ma, per quanto detto sopra, permette agevolmente di approfondire con osservazioni dirette anche tutti gli altri temi.

Il contesto: il Basamento Metamorfo e la Catena Ercinica

Il complesso eruttivo del Col Quaternà affiora nel mezzo del Basamento Metamorfo, un potente corpo di rocce metamorfiche antichissime che, come dice il termine, sta alla base della successione vulcano-sedimentaria permo-cenozoica. Le rocce del Basamento sono in gran parte filladi quarzifere, dal colore scuro, con tonalità da grigio a verde, e dal tipico aspetto fogliettato. Sembrano formate da sottilissimi strati, che sono in realtà piani di foliazione,

superfici lungo le quali si allineano i cristalli dei minerali formati durante il metamorfismo. I principali sono clorite, sericite e quarzo.

Le filladi sono ampiamente diffuse in Vallorera, nella Val Digòn e in alcuni punti nei dintorni del Col Quaternà. Fra il Col Quaternà e la Cresta di Confine (Frugnoni, Montagna del Ferro) esse sono particolarmente ricche di quarzo: presentano infatti veri e propri strati lentiformi di quarzite bianca

spessi vari decimetri e continui lateralmente per decine o centinaia di metri; grazie al loro colore chiaro, staccano di netto sul verde della vegetazione e sui toni scuri delle filladi.

Sopra queste due unità (filladi e filladi con lenti di quarzite), vi sono rocce di composizione diversa, con una grana più grossolana e caratterizzate da piccoli cristalli bianchi di quarzo e feldspato che, dove raggiungono dimensioni visibili a occhio nudo, risaltano sulla massa scura della roccia apparendo come dei minuscoli occhietti; a questo si deve il loro nome scientifico di gneiss micro-occhiadini. Sono ben esposti sul versante settentrionale della Val Digòn, in particolare sulla cresta che dal Monte Cavallino scende verso Sud.

Le candide pareti che sveltano sulla sommità dei Monti Cavallino e Cavallatto, della Pitturina e del Monte Palombino sono costituite invece da marmo e da altre litologie meno diffuse (marmi arenacei e calcescisti) e hanno una continuità geologica con le pareti sommitali del Peralba e del Monte Avanza.

Tutte queste, si diceva, sono rocce metamorfiche, derivano cioè dalla trasformazione di rocce preesistenti quando sono sottoposte a un aumento di pressione e temperatura tale da modificarne la struttura mineralogica. Nel caso del Basamento Metamorfico, queste trasformazioni avvennero durante l'Orogenesi Ercinica, un importante evento geologico avvenuto fra 350 e 330 milioni di anni fa, durante il quale le placche tettoniche di allora subirono

un moto di convergenza e si saldarono in un unico grande continente, chiamato Pangea. Un'orogenesi è sempre associata alla collisione tra placche tettoniche e, come dice l'etimologia, comporta il sollevamento di una catena montuosa.

Le filladi quarzifere del Basamento Metamorfico, dunque, testimoniano l'esistenza di montagne antichissime, che non hanno nulla a che vedere con la geografia attuale perché sono esistite più di 300 milioni di anni fa, nel periodo Carbonifero; esse furono successivamente spianate dall'erosione, i loro resti furono sepolti da migliaia di metri di sedimenti — poi divenuti rocce — e, negli ultimi 100 milioni di anni, coinvolti in un'altra Orogenesi, quella Alpina, in seguito alla quale sono stati sollevati ed esumati dall'erosione.

L'età delle rocce metamorfiche del Basamento, dicevamo, è compresa fra 350 e 330 milioni di anni, risalgono cioè al Carbonifero. Questa, però, è l'età della loro metamorfosi, non della loro genesi. Studi accurati hanno consentito di risalire alla natura e all'età anche delle rocce originarie, i cosiddetti protoliti. Le filladi quarzifere erano areniti e peliti, rocce derivate da sabbie e fanghi deposti su un fondale marino; sulla base di correlazioni con rocce analoghe affioranti nell'Agordino, la loro età potrebbe essere di circa 500 milioni di anni e risalire quindi al Cambriano inferiore.

Gli gneiss micro-occhiadini derivano da rocce vulcaniche di composizione riolitica, che dovevano essere simili ai porfidi del Lagorai (in passato erano



Figura 1 – La piramide del Col Quaternà, con il Passo Silvella al centro della foto, la cresta dei Frugnoni sulla sinistra in ombra e il Monte Cavallino sullo sfondo al centro. Ai piedi delle pareti spicca la lingua ghiaiosa del rockglacier, in mezzo a depositi glaciali. In primo piano sulla destra, la cresta de I Fornatti, percorsa da numerose trincee della Grande Guerra - ph Tiziano Abbà

chiamati porfiroidi del Comelico), e da rocce sedimentarie vulcanoclastiche (cioè formate da detriti vulcanici, prodotti dall'erosione delle rioliti). La loro formazione risale a 480-470 milioni di anni fa, all'Ordoviciano inferiore. I marmi dei monti Cavallino e Cavallatto erano calcari di scogliere coralline di età compresa fra 440 e 400 milioni di anni fa, tra il Siluriano e il Devoniano.

Ricostruendo la storia che queste rocce raccontano, 500 milioni di anni fa (nel Cambriano) il Comelico era un fondale marino dove si depositavano sabbie e limi ivi trasportati dai fiumi; fra 480 e 470 milioni di anni fa (Ordoviciano inferiore) delle eruzioni vulcaniche esplosive ricoprirono i fondali con rocce riolitiche, portandoli in emersione fino a formare dei blandi rilievi. I rilievi furono spianati dall'erosione e 440 milioni di anni fa (Siluriano) si era nuovamente instaurato un

Il complesso eruttivo del Col Quaternà

Tra il Carbonifero superiore e il Permiano inferiore (320-270 Ma), mentre i processi erosivi avevano già iniziato la loro opera demolitrice nei confronti delle montagne erciniche (i cui prodotti erosivi costituiscono oggi il Conglomerato Basale, roccia formata dalla litificazione di ghiaie torrentizie), alcuni settori di questi rilievi furono interessati da sprofondamenti tettonici ai quali in molti casi si associò un'intensa fase vulcanica. Considerando il nostro contesto regionale, il distretto vulcanico più vicino e importante

ambiente marino, ma con caratteristiche diverse da prima, adatte alla crescita di atolli corallini.

Fra 350 e 330 milioni di anni fa (Carbonifero) le rocce sedimentarie e vulcaniche così formate furono metamorfosate assumendo l'aspetto odierno; ciò avvenne durante l'Orogenesi Ercinica, che determinò la formazione della Pangea e il sollevamento di numerose catene montuose in varie parti della Terra, tra le quali anche la nostra regione, che in quel tempo remotissimo si trovava a latitudini intertropicali e aveva un clima torrido, di tipo semiarido.

Rilievi modesti, modellati su rocce metamorfiche del Paleozoico inferiore, brulli, riarsi dal sole e investiti da precipitazioni rare ma intense che alimentavano colate detritiche e torrenti stagionali: questo era il contesto dove prese vita il centro eruttivo del Col Quaternà.

è la cosiddetta caldera di Bolzano, una area estesa tra Merano e San Martino di Castrozza che nel Permiano inferiore era una depressione delimitata da faglie, le quali costituivano le principali vie di adduzione del magma. Le eruzioni che ne derivarono riempirono di prodotti vulcanici (lave e, soprattutto, piroclastiti) la depressione, che si accentuava in modo concomitante alle eruzioni, man mano che si svuotava la sottostante camera magmatica.

Se il distretto vulcanico principale è per l'appunto



Figura 2 – Il Col Quaternà, costituito da dure e nude rocce andesitiche, svetta sui pendii prativi circostanti modellati sulle filladi quarzifere del Basamento Metamorfico - ph Tiziano Abbà

l'area che abbiamo appena citato, esistevano però centri eruttivi minori in aree più lontane. Alcuni si trovano in Comelico, e di questi il principale e di gran lunga più significativo è il Col Quaternà.

Per una singolare coincidenza il Col Quaternà ha una sagoma che richiama il tipico vulcano del nostro immaginario: un cono spuntato. Esso era in effetti un vulcano, ma la morfologia attuale non ha nulla a che vedere con quella originaria. Un vulcano conico è formato da un edificio che cresce attorno a un cratere, mentre il vulcanismo del Col Quaternà (come anche quello della caldera di Bolzano) era di tipo fissurale, simile a certe situazioni che oggi possiamo trovare, ad esempio, in Islanda: il magma scaturiva da una frattura che squarciava la crosta terrestre per poco più di un chilometro, fra la cima del Col Quaternà e il Rifugio Rinfreddo.

Il magma aveva un chimismo andesitico (piuttosto povero di silice) e produceva eruzioni esplosive: non colate laviche, ma nubi piroclastiche, cioè un miscuglio di gas incandescente, brandelli di magma, lapilli, frammenti di rocce e cristalli, che si riversavano nel territorio circostante, devastandolo. Le rocce che derivano dalla deposizione e dal raffreddamento delle nubi piroclastiche sono dette piroclastiti. L'edificio vulcanico permiano era costituito quindi da piroclastiti e doveva avere l'aspetto di uno stratovulcano, caratterizzato da fianchi ripidi. Le piroclastiti si possono osservare nei dintorni del Col Quaternà (ma non sulla piramide sommitale, come diremo tra breve) in affioramenti sparsi sui versanti, soprattutto sul versante Sud-Est; sono ben visibili, ad esempio, alla Sella del Quaternà.

Queste rocce sono propriamente delle breccie piroclastiche e sono costituite da tutti gli ingredienti che abbiamo elencati poco sopra: brandelli di lava (lapilli e bombe vulcaniche), ceneri e porzioni di rocce incassanti (filladi, quarziti, conglomerati), avvolti in una matrice fine di color violaceo di natura vulcanica. Spesso i depositi sono gradati, con i frammenti più grossolani in basso e quelli più piccoli in alto; poiché la deposizione avveniva sulle pendici del vulcano, le piroclastiti possono mostrare una stratificazione inclinata primaria (si parla di depositi clinostratificati).

Nei dintorni del Col Quaternà si possono osservare altre rocce legate all'attività eruttiva. Qua e là affiorano dei dicchi (o filoni magmatici), formati da magma che si insinuava all'interno di fratture periferiche rispetto al condotto principale, probabilmente dando luogo a eruzioni minori; quel magma rimane ora cristallizzato all'interno delle fratture. Poiché le rocce incassanti, che — ricordiamo — sono filladi, sono più tenere delle rocce magmatiche, i dicchi spesso sporgono dal versante.

Un esempio lampante è lo sperone roccioso che si osserva in vicinanza della Sella del Quaternà, a valle del sentiero che conduce al Passo Silvella;



Figura 3 – Esempi delle principali rocce che si possono trovare lungo il percorso. Da sinistra in alto: andesite, breccia di fluidificazione, breccia piroclastica, fillade - ph Erik Unterpertinger

tale sperone è stato sfruttato come punto strategico per la costruzione di trincee durante la Grande Guerra.

Un'altra roccia meno diffusa ma significativa è costituita dalle cosiddette breccie di fluidificazione, formate interamente da frammenti spigolosi di filladi e quarziti; una roccia quindi non magmatica, ma derivata dalla disgregazione delle rocce incassanti. La sua genesi è legata alla natura esplosiva dell'attività vulcanica, in particolare alla rapida degassazione del magma. Durante le eruzioni infatti il magma perde la sua fase gassosa (ed è questo il fenomeno all'origine dell'attività esplosiva — più o meno come avviene quando agitiamo una bottiglia di prosecco: il vino si degassa e fa saltare il tappo); nella sua risalita attraverso i condotti vulcanici, parte del gas liberato viene spinto all'interno delle fratture delle rocce incassanti con forti pressioni e con violenza improvvisa, determinando la fratturazione fine della roccia (i frammenti così prodotti non sono più grandi di qualche centimetro). Le dinamiche dell'eruzione e le pressioni in gioco favoriscono poi la successiva e rapidissima cementazione dei frammenti. Ne deriva una breccia con clasti spigolosi di filladi e quarziti, più o meno centimetrici, saldati tra loro, dove la componente magmatica è totalmente assente. La Sella del Quaternà è una località favorevole anche per le breccie di fluidificazione, che affiorano lungo il sentiero e soprattutto a valle di esso, vicino allo sperone trincerato formato dal dicco.

Inerpicandosi sulla piramide sommitale del Col Quaternà, i prodotti eruttivi finora descritti non sono più visibili e si incontrano invece solamente le andesiti, che sono formate dal raffreddamento del magma prima che eruttasse.



Figura 4 – L'aspra vetta del Quaternà dalla Sella del Quaternà, con ruderi di baraccamenti bellici - ph Erik Unterperntinger

La mole principale del Quaternà, infatti, è uno spaccato naturale sul condotto di adduzione, a suo tempo collegato con la camera magmatica, attraverso il quale il magma risaliva in superficie; le rocce che la costituiscono quindi derivano dal raffreddamento del magma all'interno dei condotti, durante le fasi terminali del vulcanismo.

L'andesite è costituita da una massa di fondo micro- o criptocristallina, su cui spiccano fenocristalli di minerali quali plagioclasti, anfiboli e pirosseni.

Il colore varia dal grigio al verde, ma può assumere tinte diverse a causa dell'alterazione. Affiorano lungo una fascia piuttosto ampia estesa dalla vetta del Col Quaternà fino al Rifugio Rinfreddo; tale doveva

essere l'estensione della frattura da cui scaturivano le eruzioni. Fra tutte le rocce presenti in zona (piroclastiti, brecce di fluidificazione, dicchi, filladi quarzifere), l'andesite è la più tenace e resistente (lo si può percepire anche solo dalla natura grossolana e spigolosa dei frammenti lungo i ghiaioni).

Arriviamo a comprendere, allora, che la forma del Col Quaternà è legata al modellamento operato dai processi erosivi, di cui ora diremo brevemente, che hanno quasi del tutto smantellato le strutture vulcaniche, ora affioranti in brandelli sparsi sui versanti, e ha lasciato in rilievo ciò che un tempo era nelle profondità del sottosuolo, ovvero il camino di adduzione ostruito dal magma cristallizzato all'interno.

La genesi del paesaggio: la geomorfologia

Quello finora delineato è l'assetto geologico (potremmo usare un termine più specifico: litologico) del territorio, che ci dice come sono distribuite le varie tipologie di rocce. Il paesaggio che ce le mostra non dipende solo da questo, ma anche, e soprattutto, dal lungo modellamento operato dagli agenti morfogenetici, quali i ghiacciai, i corsi d'ac-

qua, le precipitazioni, la forza di gravità, la degradazione meteorica. Lo studio dei processi con cui tali agenti modellano (ma anche hanno modellato e modelleranno) il territorio è appannaggio della geomorfologia, che ci offre un ulteriore, esteso e variegato bagaglio di spunti per la lettura del paesaggio fisico. Anche da questo punto di vista l'area



Figura 5 – Depositi glaciali vicino a Passo Silvella, attraversati del sentiero che conduce a Sella del Quaternà, visibile sulla destra - ph Tiziano Abbà

del Col Quaternà presenta dei caratteri esemplari. Nel leggere, dunque, il paesaggio dove abbiamo impostato il sentiero naturalistico-geologico, dobbiamo innanzitutto considerare che intorno a 18.000 anni fa l'intera zona era sepolta da una coltre di ghiaccio dalla quale emergevano il Col Quaternà e le cime maggiori della cresta di confine.

Il Passo di Monte Croce Comelico era attraversato da una lingua glaciale secondaria del ghiacciaio della Val Pusteria, sospinta dalla mole imponente di quest'ultimo a risalire la Valle di Sesto, valicare lo spartiacque e discendere per la Val Padola, confluendo nel ghiacciaio del Piave. Il Passo di Monte Croce Comelico era dunque una sella di trasfluenza.

Lo spessore del ghiaccio nella zona del passo, secondo le stime più accreditate, era di circa 600 m. Una situazione analoga si è senz'altro ripetuta anche in glaciazioni precedenti.

L'impronta dell'esarazione (così viene chiamata l'azione erosiva dei ghiacciai) è dunque notevole. A essa si deve la morfologia ondulata delle alture dove si muove l'itinerario e il profilo ampio del Passo Monte Croce Comelico e della Val Lorera,

impostate in rocce fragili ed erodibili, come le filladi quarzifere. Abbiamo visto poco sopra come le andesiti del Col Quaternà costituiscano un'eccezione in questo panorama, offrendo una maggior resistenza all'erosione e formando un rilievo isolato dotato di un netto risalto morfologico, tanto che nelle fasi finali della glaciazione ha potuto ospitare piccoli ghiacciai locali. Nei dintorni del Passo Silvella, dove le filladi presentano le intercalazioni di quarziti (di cui si è parlato nel paragrafo iniziale), l'erosione ha messo in risalto le quarziti stesse, che sporgono dall'ammasso roccioso circostante e appaiono levigate e arrotondate; si tratta di dossi montonati, elemento assai tipico della geomorfologia glaciale. Sono chiaramente forme relitte, in parte degradate e ricoperte dalla vegetazione, ma ancora perfettamente riconoscibili.

Nei dintorni del Col Quaternà abbondano le tracce anche di un glacialismo locale, che prese vita successivamente all'acme dell'ultima glaciazione, soprattutto nel periodo chiamato Tardoglaciale, quando, con la progressiva fusione, la superficie della coltre di ghiaccio si abbassò a sufficienza da

lasciare emergere le creste minori, facendo così cessare le grandi trasfluenze. Ad esempio, lungo il sentiero CAI 148 tra Passo Silvella e Sella del Quaternà si attraversano alcuni piccoli apparati morenici, che testimoniano le ultime pulsazioni di piccoli ghiacciai prima della loro completa fusione. Apparati morenici sono presenti anche alla testata della Val Lorera.

Uno di questi ghiacciai locali ha avuto un'evoluzione postuma nella forma di un ghiacciaio di roccia (comunemente si usa il termine inglese rock glacier). Lo si può osservare sul versante Nord del Col Quaternà e se ne ha una bella visione dalla vetta. Il rock glacier del Col Quaternà, per la sua conformazione, sembra derivare da un massa di ghiaccio appartenuta a un ghiacciaio locale che, grazie alla copertura detritica, ha avuto una fusione rallentata rispetto al ghiaccio circostante, così da sopravvivere anche alla completa fusione del suo bacino di alimentazione. Da una simile situazione rimane una massa di ghiaccio morto coperta da detrito, che, se la pendenza del versante lo consente, può evolvere autonomamente come rock glacier in un contesto non più glaciale, ma crionivale, dove gelo e disgelo sono gli agenti morfogenetici più importanti: con il disgelo primaverile-estivo l'intera massa si mobilita e fluisce lentamente, con il gelo invernale tutto si stabilizza, con fasi di movimento cicliche. Nei dintorni vi sono anche altre morfologie crionivali meno appariscenti, legate al gelo stagionale, come colate da geliflusso, massi frammentati dalla gelifrazione, terrazzette e cuscinetti erbosi.

Di notevole interesse sono anche gli aspetti idrografici. Ci troviamo infatti vicinissimi allo spartiacque continentale fra i bacini del Danubio e del Piave e, più in generale, fra i deflussi diretti verso il Mar Nero e quelli diretti verso il Mediterraneo. Lo spartiacque segue la cresta di Confine tra Val Digion-Val Lorera e la Valle del Gail; all'altezza della Cima di Pontegrotta (Hollbrucker Spitze) punta verso Sud, attraversando in modo tortuoso il Passo Monte Croce Comelico, per inoltrarsi poi nelle Dolomiti coronando la Val Fiscalina e scendendo fino a Dobbiaco.

La complicata struttura geologica del substrato e la facilità con cui viene eroso rendono piuttosto articolata la rete idrografica locale. È assai probabile che in passato si siano verificate numerose variazioni nella direzione dei deflussi superficiali, la più importante delle quali riguarda il torrente Padola.

Osservando la geografia locale nel suo complesso, si potrà notare che il tratto iniziale del Padola, lungo la Val Lorera, è diretto verso Sud-Ovest e sembrerebbe avere la sua naturale prosecuzione verso la Valle di Sesto. Invece all'altezza di Malga Nemes piega bruscamente verso Sud-Est, con una deviazione a 90°, e dopo alcuni andirivieni assume definitivamente quella direzione, percorrendo la valle alla quale ha dato il nome. In corrispondenza della deviazione vi è anche un cambio di stile dell'alveo: a monte è un ruscello poco pendente col fondo ghiaioso, a valle è ricco di rapide, piccole forre e ha il fondo in roccia, chiaro sintomo di erosione in atto. Sono tutti elementi tipici di una cattura fluviale, fenome-



Figura 6 – Una roccia montonata modellata su una lente di quarzite bianca; è una tipica forma dovuta all'azione levigatrice dei ghiacciai - ph Tiziano Abbà



Figura 7 – La Val Lorera, zona sorgentizia del Torrente Padola, verso il Passo Monte Croce Comelico e le Dolomiti di Sesto - ph Erik Unterperfinger



Figura 8 – Una delle innumerevoli torbiere che circondano il Col Quaternà, qui con gli eriofori in fiore - ph Tiziano Abbà

no per cui un corso d'acqua erode in modo regressivo la testata della sua valle (si parla di erosione regressiva) fino a intercettare i deflussi di un corso d'acqua più a monte e inglobando il suo bacino idrografico.

Il gomito di cattura (così viene definita la deviazione ad angolo retto conseguente a una cattura fluviale) e il netto cambio di stile dell'alveo sono elementi geografici notati da tempo, visto che proprio lì nel XVIII secolo è stato posizionato uno dei principali cippi del confine veneto-austro-ungarico (per una felice coincidenza, mentre il nostro libro era alle stampe, è stato inaugurato il sentiero storico che ripercorre proprio questo antico confine, partendo da Kartitsch, un comune austriaco della Valle del Gail, e raggiungendo le pendici delle Dolomiti oltre il

Passo Monte Croce Comelico, coincidendo quindi con un tratto dell'itinerario da noi proposto). Un altro elemento di spicco dell'idrografia superficiale della zona è l'abbondanza di laghetti, acquitrini e paludi, che costituiscono tutti ambienti di altissimo pregio naturalistico.

La loro presenza ha una spiegazione geologica: il substrato roccioso che le ospita è costituito da filladi quarzifere che, degradandosi, producono un detrito fangoso ricco di lamelle micacee, che tendono a occludere i pori del terreno rendendolo assai poco permeabile. L'azione dei ghiacciai ha inoltre favorito la presenza di versanti dolci e conche, dove l'acqua superficiale può scorrere abbondantemente e accumularsi, creando situazioni favorevoli a laghetti e torbiere di tipo sia soligeno che topogeno.

Conclusioni

La storia geologica di un territorio abbraccia tempi estesissimi rispetto alla vita umana. Quella del Col Quaternà è particolarmente lunga, iniziando quasi mezzo miliardo di anni fa, in un'epoca in cui l'aspetto del pianeta Terra era completamente diverso da oggi. I fenomeni geomorfologici riguardano tempi più recenti, e si protraggono anche nel presente, ma è evidente che l'impronta generale del paesaggio è frutto, anche in questo caso, di un'azione dei processi erosivi lenta e continua, che ha agito fin da quando i primi rilievi sono emersi dal mare. La stesura del Sentiero Naturalistico-Geologico del Col Quaternà è stata un'occasione per evidenziare

come questi elementi di origine remotissima siano intimamente legati a elementi naturalistici odierni e alla storia recente della civiltà umana. Il contesto del Col Quaternà forse si presta particolarmente a questo gioco e si è rivelato una perla che è valso la fatica di narrare. Siamo convinti, per averlo provato, che la percorrenza lenta e contemplativa dell'itinerario proposto, aiutato dalla nostra piccola guida, possa essere un'esperienza appagante di conoscenza e di vera immersione nell'anima di un territorio, così da poter apprezzarne la bellezza con occhi nuovi.

Bibliografia

- MELI S. & KLÖTZLI U.S. (2001). *Evidence for Lower Paleozoic magmatism in the Eastern Southalpine basement: zircon geochronology from Comelico porphyroids*. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen, 81
- POLI M.E. (1997). *Età permiana inferiore del complesso vulcanico di Col Quaternà (Comelico, Italia NE)*. Atti ticinesi di Scienze della Terra, 1997 (Serie speciale), 5, 53-64
- POLI M.E. & ZANFERRARI A. (1994). *L'Ortogneiss della Malga delle Manze (Basamento del Sudalpino orientale - Comelico)*. Gortania-Atti del Museo di Storia Naturale, n. 16 (1994), 42-58
- POLI M.E. & ZANFERRARI A. (2002). *Da Dobbiaco a Forni Avoltri: le Alpi Carniche Occidentali*. Itinerario n. 9. In Vai G.B. et al., p. 325-349
- POLI M.E. & ZANFERRARI A. (2002). *La sequenza ercinica del Basamento Cristallino delle Dolomiti*. In Vai G.B. et al. (2002), 17-19
- UNTERPERTINGER E. (2016). *Col Quaternà: un percorso geologico alla scoperta di un vulcano permiano*. Tesi di laurea inedita. Relatore: prof.ssa M.E. Poli. Università di Udine
- VAI G.B., VENTURINI C., CARULLI G.B., ZANFERRARI A. (2002). *Alpi e Prealpi Carniche e Giulie*. BE-MA Editrice, Milano
- VISONÀ D., FIORETTI A.M., POLI M.E., ZANFERRARI A. & FANNING M. (2007). *U-Pb SHRIMP zircon dating of andesite from the Dolomite area (NE Italy): Geochronological evidence for the early onset of Permian-Volcanism in the eastern part of the southern Alps*. Swiss Journal of Geoscience, 100(2), 313-324
- ZANFERRARI A. & POLI M.E. (1992/2). *Il Basamento sudalpino orientale: stratigrafia, tettonica varisica e alpina, rapporti copertura-basamento*. St. Geol. Cam., vol. spec. CROP 1-1A, 299-302



Figura 1 – Falesia e piattaforma di abrasione presumibilmente dell'Ultimo Interglaciale sulle areniti di San Marco (MIS 7) in località San Marco di Castellabate, Cilento (Appennino meridionale). Si noti in primo piano la stratificazione incrociata - ph C. Cerrone, settembre 2023

Il *surface uplift* Quaternario dell'Appennino meridionale

Stato dell'arte e risultati preliminari

di **Ciro Cerrone**⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

1. Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica (DAIS) - Università di Venezia Ca' Foscari
2. Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse (DiSTAR) - Università di Napoli Federico II
3. Vincitore del Bando AIQUA-CAI Comitato Scientifico Centrale

Riassunto

Il progetto di ricerca, in corso di realizzazione, mira a colmare il divario tra le informazioni geologiche e quelle geomorfologiche attualmente disponibili in letteratura sui tempi e tassi del sollevamento regionale quaternario (*surface uplift* Quaternario) del sistema di *fold and thrust belt* dell'Appennino meridionale. Lo studio si focalizza sul reperimento di nuovi vincoli cronologici tramite una migliore definizione di informazioni crono-altimetriche degli indicatori del livello del mare, da siti specifici lungo la fascia costiera del Tirreno meridionale e fascia ionica della Basilicata, attraverso l'integrazione e la sintesi dei dati di letteratura con nuovi dati di campo. In particolare, l'area di studio si estende dalla Calabria settentrionale, sul versante tirrenico, alla Campania meridionale e lungo la fascia ionica della Basilicata. I nuovi dati sugli indicatori paleo-livello del mare comprendono (i) l'identificazione; (ii) la misurazione precisa della loro elevazione rispetto a un preciso sistema di riferimento e (iii) datazioni assolute al fine di poter quantificare il sollevamento quaternario dell'Appennino meridionale. Tra le tecniche di datazione assoluta, verranno utilizzate il metodo del decadimento della serie dell'Uranio (U) e la Luminescenza Otticamente Stimolata (OSL).

Abstract: Quaternary surface uplift of the southern Apennines

The research project here presented aims to fill the gap between the geological and geomorphological information available on the timing and amount of Quaternary surface uplift of the southern Apennines fold and thrust belt-foredeep system. The study focuses on getting new constraints and a better definition of sea-level indicators through the integration and synthesis of the literature data on relative sea-level indicators with new data on paleo sea-level indicators from specific sites along the southern Tyrrhenian coastal belt and the Basilicata Ionian side. In particular, on the Tyrrhenian side, the study area spans between northern Calabria to southern Campania. The new data on paleo sea-level indicators include (i) the identification; (ii) the precise measurements of their elevation above sea level and, (iii) dating in order to produce chrono-altimetric constraints to Quaternary uplift of southern Apennines. Among the absolute dating, U-series dating and Optically Stimulated Luminescence techniques will be used for this work.

Introduzione

Con il termine inglese *surface uplift* si indica lo "spostamento della superficie terrestre rispetto al geoide" (England e Molnar, 1990), che si contrappone al *rock uplift*, dove vi è spostamento tra le rocce rispetto al geoide, e al processo di *exhumation*, dove invece vi è spostamento delle rocce rispetto alla superficie terrestre (England & Molnar, 1990).

Quantificare il *surface uplift* di una catena montuosa, come può essere l'Appennino meridionale, è un compito impegnativo, che si basa sull'identificazione di indicatori geomorfologici/geologici di superfici di riferimento, come ad esempio le superfici di erosione o strati sedimentari, e sulla quantificazione dei tassi di erosione e/o denudazione.

Lungo le fasce costiere delle catene montuose invece, alcuni indicatori relativi del livello del mare consentono di documentare e quantificare il *surface uplift*. Tra questi indicatori vi sono le piattaforme

di erosione, i solchi di battente, i terrazzi marini, i depositi di spiaggia e i fori di organismi litofagi (i.e. *Lithophaga lithophaga*).

In particolare, il *surface uplift* può essere quantificato conoscendo l'età e la quota dei terrazzi marini, nel caso in cui sia nota la posizione del livello del mare al momento della loro formazione (Burbank e Anderson, 2011).

Il progetto di ricerca in corso ha l'obiettivo di apportare nuovi vincoli sui tempi e sull'entità del sollevamento superficiale quaternario del sistema di *fold and thrust belt* dell'Appennino meridionale (Figura 2), attraverso la raccolta e integrazione di nuovi dati di campo dalla fascia costiera tirrenica e ionica confrontati con dati di letteratura, per colmare le lacune esistenti sugli indicatori del livello del mare (indicatori RSL) nel passato, e in particolare durante l'Ultimo Interglaciale (MIS5e) lungo una fascia

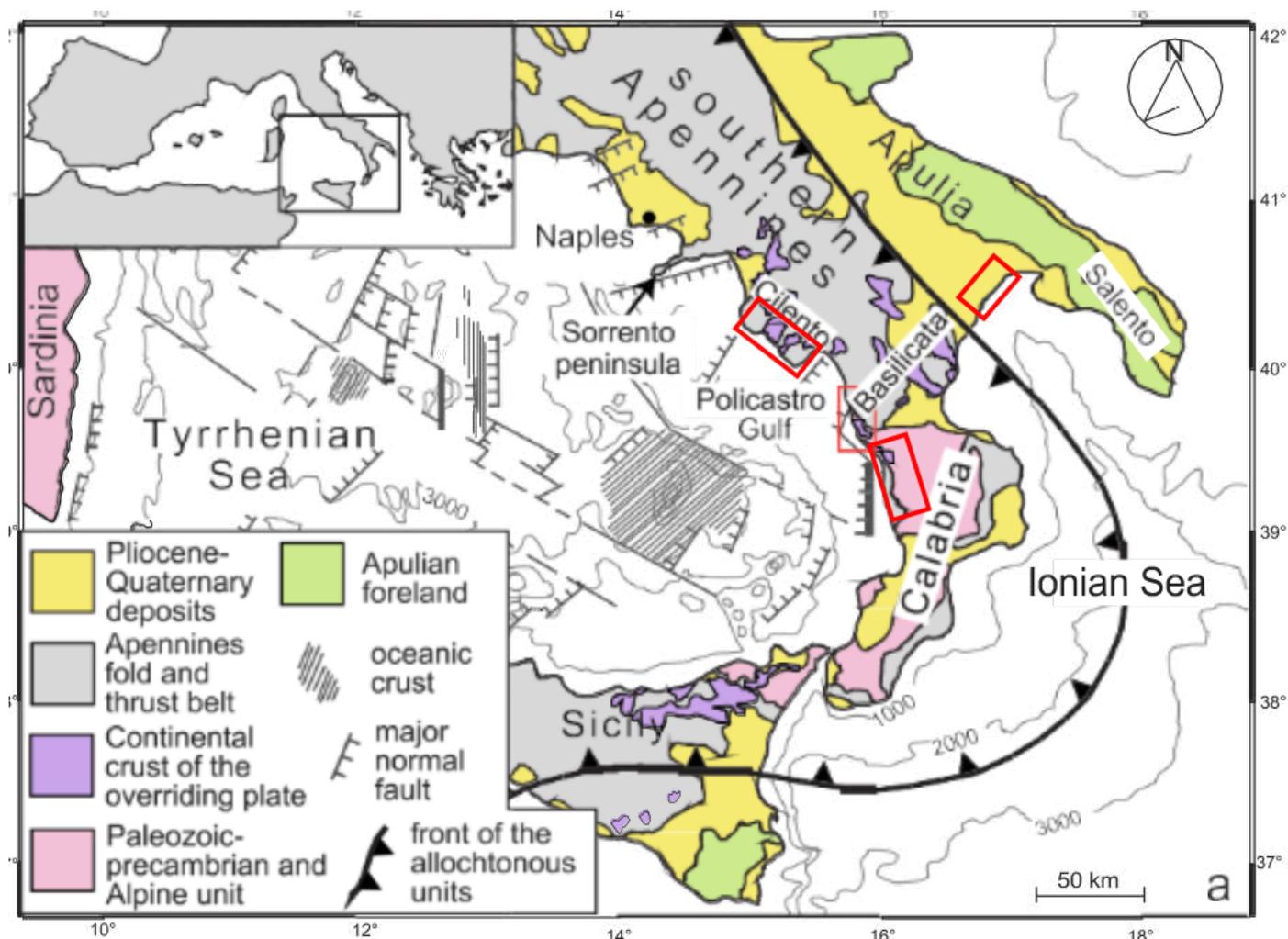


Figura 2 – Schema tettonico semplificato del bacino di retro-arco del Mar Tirreno e della fascia montuosa dell'Appennino meridionale (ridisegnato e modificato da Moussat et al., 1986)

di circa 50 km. Particolare attenzione è dedicata alla raccolta di nuovi dati, e alla reinterpretazione di studi precedenti, sugli RSL situati nell'area che va dalla Calabria settentrionale alla Campania e fascia ionica della Basilicata. L'obiettivo principale è quello di descrivere la storia del sollevamento della fascia tirrenica dell'Appennino meridionale e di confrontarla con quella registrata dal versante opposto della fascia montuosa.

L'esigenza di questa ricerca nasce dall'evidenza che gli unici dati esistenti su questo tema lungo l'Appennino meridionale sono frammentari e basati principalmente su datazioni radiometriche che risalgono agli anni 1970-1990 e perciò non del tutto affidabili come si evince da una recente review in merito (Cerrone et al., 2021b e riferimenti in esso contenuti).

Contesto geologico

L'Appennino meridionale è una catena montuosa di tipo *fold and thrust belt* con vergenza ENE. Essendo essa completamente circondata dal mare, è una delle poche catene montuose al mondo in cui si può effettuare una stima affidabile del sollevamento dei fianchi della catena montuosa tramite lo studio dei

terrazzi marini tettonicamente sollevati. L'Appennino meridionale si estende in direzione NW-SE tra il bacino di retro-arco tirrenico e l'avampaese apulo-adriatico non deformato (Bonardi et al., 2009). La sua formazione è legata alla lenta convergenza neogenica tra la placca euroasiatica, rappresentata dal blocco Sardo-Corso, a Ovest, e il promontorio adriatico della placca africana, a Est (e.g., Dewey et al., 1989). La compressione neogenica e l'arretramento flessurale dello *slab* ionico (*slab retreat*) sono stati accompagnati, a partire dal tardo Tortoniano, da processi estensionali nella zona del retro-arco che ha causato l'apertura del bacino oceanico nel Tirreno meridionale e la formazione di *graben* costieri peritirrenici (e.g., Kastens et al., 1988; Faccenna et al., 1996, 1997).

Le datazioni termocronometriche a bassa temperatura indicano che l'esumazione di unità sedimentarie originariamente tettonicamente sepolte sia avvenuta per erosione e per tettonica estensionale a partire da ~10 Ma, per poi concentrarsi soprattutto negli ultimi 6 Ma (Mazzoli et al., 2006, 2008, 2012). L'accorciamento crostale è cessato all'inizio del Pleistocene medio (circa 0,7 Ma; Patacca et al., 2008), ed è stato seguito da un sollevamento

regionale e dal *tilting* dell'area del bacino di *fore-deep* bradanico. Ciò è stato interpretato come la risposta isostatica a seguito del distacco dello *slab* Apulo (Cinque et al., 1993; Ascione et al., 2012).

Il sollevamento regionale del tardo Quaternario e il *tilting* dell'area bradanica sono stati documentati da numerosi studi su terrazzi marini sollevati (Brückner, 1980; Cosentino & Gliozzi, 1988; Dai Pra e Hearty, 1988; Cucci & Cinti, 1999; Amato, 2000; Belluomini et al., 2002; Ferranti et al., 2006; Zander et al., 2006; Caputo et al., 2010), che indicano un rapido sollevamento tardo-quaternario (circa 1 mm/anno) della fascia costiera ionica. Al contrario, meno vincolata è la storia del sollevamento quaternario della fascia costiera tirrenica dell'Appennino meridionale.

Sulla base delle conoscenze attualmente disponibili, durante il Quaternario il versante tirrenico ha subito un sollevamento bruscamente decrescente da Sud a Nord. In particolare, il segmento più meridionale della Calabria tirrenica ha registrato un sollevamento molto più rapido rispetto al settore campano (Damiani, 1970; Dumas et al., 1982; Westaway, 1993; Ascione & Romano, 1999).

Infatti, la Calabria meridionale registra sia la componente regionale, associata alla subduzione dello *slab* ionico al di sotto della Calabria nel Mar Ionio, e sia la componente locale, associata all'attività di grandi faglie normali per lo più superficiali (Cosentino & Gliozzi, 1998; Westaway, 1993; Miyauchi et al., 1994; Tortorici et al., 2003).

La quota dei terrazzi marini lungo la costa meridionale della Calabria suggerisce che il sollevamento della Calabria meridionale dal tardo Quaternario a oggi è stato di ~1 mm/anno (Dumas et al., 1982, 1987; Cosentino & Gliozzi, 1988; Miyauchi et al., 1994; Tortorici et al., 2003; Ferranti et al., 2006), mentre un sollevamento più moderato si registra invece in Calabria settentrionale (Cerrone et al., 2021a).

Infine, lungo la costa campana, gli indicatori del paleo-livello del mare riferiti all'Ultimo Interglaciale (MIS5e) sono sollevati di pochi metri sopra il livello del mare attuale suggerendo la quasi totale stabilità dell'area (Esposito et al., 2003; Cerrone et al., 2021b e riferimenti in esso contenuti).

Il confine settentrionale tra le aree a maggior sollevamento da quelle a sollevamento lento è stato recentemente meglio definito (Cerrone et al., 2021a), ma tale confine non è ancora del tutto chiaro sia per la mancanza di affioramenti in un segmento costiero lungo circa 100 km (Cerrone et al., 2021b), sia per la sostanziale assenza di vincoli crono-altimetrici affidabili nel segmento costiero di circa 50 km che va dalla Calabria settentrionale alla Campania.

Metodi e materiali

La ricerca, ancora in corso, è stata condotta attraverso l'integrazione e la sintesi dei dati di letteratura

sugli indicatori relativi del livello del mare delle fasce costiere tirreniche dell'Appennino meridionale e della fascia ionica, acquisendo dati originali sugli indicatori del livello del mare durante l'Ultimo Interglaciale attraverso l'identificazione sul campo, la misurazione e la datazione dei terrazzi marini secondo le linee guida di Rovere et al., 2016, con l'obiettivo finale di ottenere vincoli crono-altimetrici del *surface uplift* Quaternario.

L'area di studio corrisponde alla fascia costiera tirrenica dell'Appennino meridionale, che si estende dalla Calabria settentrionale alla Campania e i terrazzi marini bradanici. Tutti i siti sono già noti in letteratura ma le conoscenze geologiche in merito non risultano ancora complete (Cerrone et al., 2021b).

Per ogni sito di studio sono state effettuate analisi geomorfologiche-geologiche dettagliate per ricostruire la cronologia relativa dei singoli indicatori del livello del mare e associare ciascun indicatore alle fluttuazioni del livello del mare passato.

È stato utilizzato un approccio integrato, che combina indagini geomorfologiche-stratigrafiche a scala di dettaglio con classiche indagini morfotettoniche e analisi di laboratorio quale biostratigrafia e preparazione di campioni per datazioni radiometriche. In particolare, i dati geologici e geomorfologici saranno integrati con la datazione assoluta come il metodo di decadimento della serie dell'U e la Luminescenza Stimolata Otticamente (OSL).

In dettaglio, il progetto comprende le seguenti fasi di lavoro:

1. Analisi geomorfologico-stratigrafica volta a identificare gli indicatori erosionali e deposizionali del livello del mare nel passato attraverso lo studio integrato di carte topografiche a scala dettagliata e indagini sul campo.

La base topografica comprende carte:

(i) a scala 1:5.000 della Regione Campania, Basilicata e Calabria;

(ii) a scala 1:10.000 e 1:25.000 dell'Istituto Geografico Militare (IGM), mentre il Modello Digitale di Elevazione (DEM) di dettaglio comprende (I) DTM 5x5m Regione Calabria-Basilicata e (II) LiDAR 1x1m e 2x2 m - Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare;

2. Analisi morfotettonica, finalizzata all'identificazione di evidenze locali di superficie di movimenti verticali differenziali attraverso l'analisi di dati topografici a scala di dettaglio e indagini sul campo.
3. La datazione degli indicatori del paleo-livello marino sarà effettuata attraverso la preparazione di polveri di coralli e speleotemi per analisi mineralogiche (diffrazione a raggi X) e analisi di disequilibrio della serie U e attraverso la raccolta sul campo di campioni per analisi OSL in collaborazione con alcune università partner.



Figura 3 – a) Grotta costiera riempita da depositi marini presumibilmente dell'Ultimo Interglaciale affioranti nei pressi di Diamante; b) dettaglio dei cespi di *Cladocora caespitosa* e della biocostruzione che forma il deposito associato al terrazzo marino impostato sul bedrock; c) associazione faunistica della biocalcarenite del medesimo terrazzo affiorante qualche km più a Sud di Diamante.

Metodi e materiali

Caso studio di Amantea-Diamante

Tra Amantea, a Sud, e Diamante, a Nord, in Calabria settentrionale, la costa è caratterizzata da alte falesie alternate con piane costiere e alcune baie. In questa prima fase l'attenzione è stata rivolta principalmente alla caratterizzazione morfo-stratigrafica dei terrazzi marini situati al massimo qualche decina di metri sopra il livello del mare attuale.

In particolare, nei pressi dell'abitato di Diamante il terrazzo marino, già noto in letteratura (Carobene & Dai Pra, 1990; Bernasconi et al., 2015; Perri et al., 2016), taglia il bedrock a pochi metri sopra il livello del mare. Il deposito associato al terrazzo è costituito per lo più da una biocalcarenite formata da alghe incrostanti, frammenti di bivalvi con intatto guscio madreperlaceo, gasteropodi e cespi di coralli di *Cladocora caespitosa* in colonie globulari. Quest'ultima è stata campionata in più punti lungo l'area di studio di circa 70 km.

Campioni di *Cladocora caespitosa* sono stati preparati inanzitutto per analisi mediante diffrazione di raggi X (XRD) per potere quantificare la

percentuale di aragonite, componente originario dei coralli e calcite.

I campioni che presenteranno una percentuale di aragonite maggiore del 95% saranno datate con il metodo del decadimento della serie dell'uranio.

In particolare il deposito a *Cladocora* riempie una preesistente grotta, presumibilmente di origine marina, nel bedrock. Lo spessore massimo del deposito è di circa 2-3 metri ed è ricoperta superiormente da un deposito marino con maggiore abbondanza di alghe incrostanti.

Infine, brecce di versante sigillano l'intera successione. L'*inner edge*, ovvero il punto di intersezione tra la superficie del terrazzo marino e la retrostante falesia, non è identificabile sul campo a causa delle brecce di versante che lo mascherano.

Prospettive future

I risultati delle analisi morfo-stratigrafiche e le datazioni con il metodo dell'OSL delle unità sabbiose ascrivibili presumibilmente all'Ultimo Interglaciale per le aree della Piana del Sele (Ponte Barizzo e Gromola),



Figura 4 – Immagini di campo degli RSL analizzati. a) Piattaforma d'abrasione nei pressi dell'abitato di San Marco di Castellabate a circa 10 m s.l.m., che taglia le areniti di San Marco (MIS 7); b) stratificazione incrociata all'interno di areniti ben cementate nell'area di San Marco a circa 30 m s.l.m.; c) fori di *Lithophaga lithophaga* all'interno del bedrock carbonatico vicino al porto di Sapri; d) bivalve in sabbie marine affioranti nella zona orientale fossa bradanica; e) panoramica di un terrazzo marino lungo la falciata ionica della Basilicata.

Marina di Camerota, San Marco di Castellabate (Figura 4a-b), Sapri (Figura 4c) e lungo la falciata ionica (Figura 4d-e) sono in fase di definizione.

Si è inoltre in attesa dei risultati delle datazioni U-Th dei campioni di *Cladocora caespitosa* affioranti tra Amantea e Diamante. I risultati ottenuti saranno integrati per calcolare i movimenti verticali della Calabria settentrionale e della Campania, confrontandoli con i tassi di sollevamento lungo la fascia bradanica. Gli studi sui movimenti verticali, dedotti dallo studio degli RSL tettonicamente sollevati, consentendo la

ricostruzione del *surface uplift* quaternario di una catena montuosa possono essere compiuti anche nel caso dell'Appennino meridionale. Inoltre, ciò potrebbe essere utilizzato per vincolare ulteriormente i modelli geodinamici sviluppati per la sua fascia montuosa.

Discussioni e conclusioni

Studi recenti (Cerrone et al., 2021b e riferimenti in esso contenuti, Cerrone, 2021c) hanno permesso di vincolare cronologicamente e di rimisurare con moderni strumenti di posizionamento la quota degli

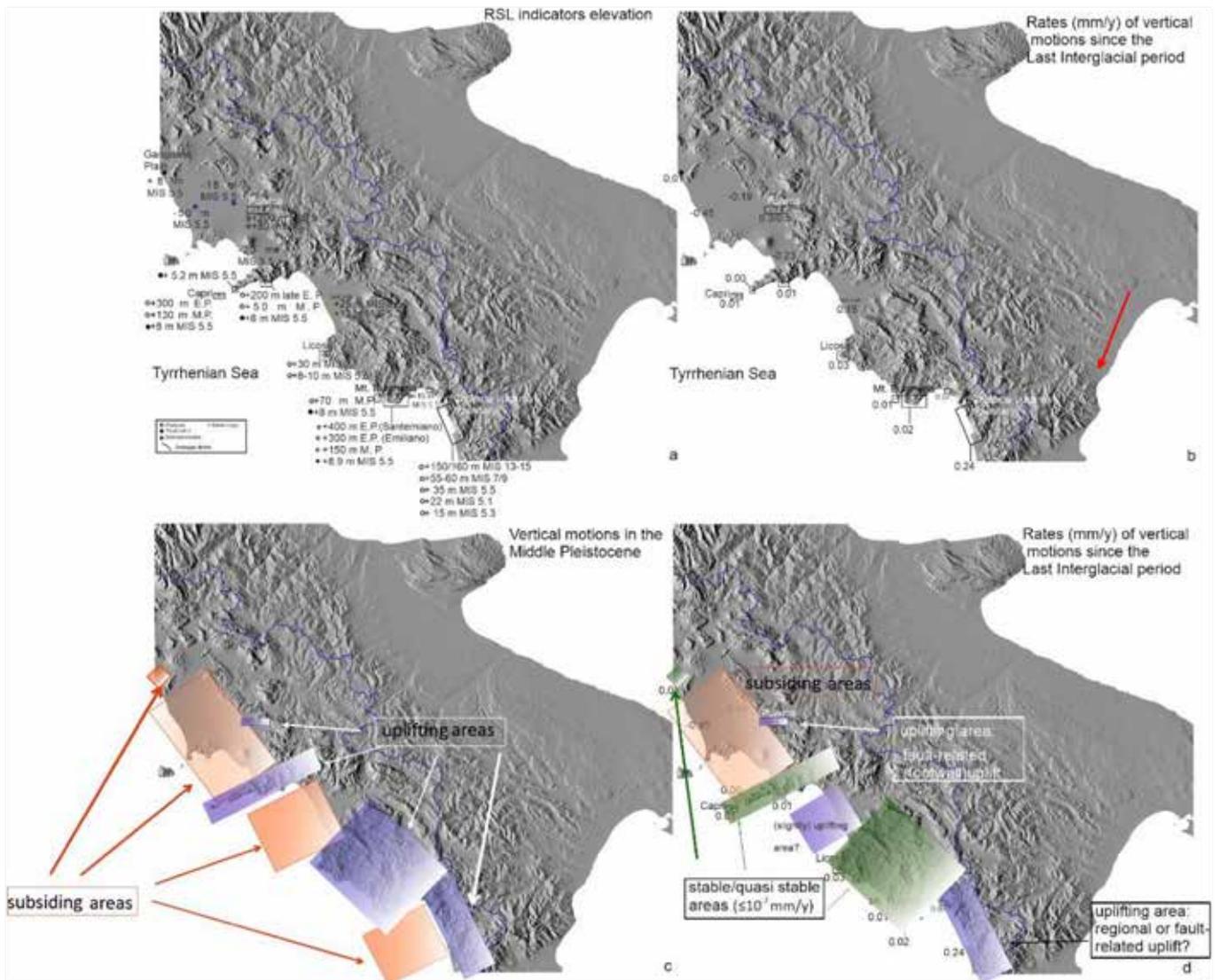


Figura 5 – a) Carta a rilievo ombreggiato dell'Appennino meridionale (risoluzione DEM 90 m) con indicazione della quota degli RSL Quaternari lungo la costa tirrenica. La linea blu indica lo spartiacque dell'Appennino meridionale; b) velocità di sollevamento calcolata per l'arco temporale dell'Ultimo Interglaciale (MIS5e) per la costa tirrenica dalla Campania alla Calabria settentrionale. L'uplift in Basilicata ionica è crescente da NE verso SW (Cerrone et al., 2021b e riferimenti in esso contenuti); c) mappa del surface uplift durante il Pleistocene medio; d) tassi (mm/a) di surface uplift a partire dall'Ultimo Interglaciale. Immagine modificata da Cerrone, 2021c

RSL lungo il bordo della Piana Campana e nel settore tirrenico tra la Calabria e la Basilicata (Figura 5a). Ciò, assieme all'integrazione di quanto noto da letteratura (Ferranti et al., 2006, e riferimenti in esso contenuti), ha permesso di definire, seppur con qualche margine di incertezza, i tassi di *uplift* nel margine tirrenico dell'Appennino meridionale dall'Ultimo Interglaciale (Figura 5b).

L'obiettivo di questo progetto è di infittire e migliorare le informazioni finora disponibili. Le due aree sopracitate, presentano numerose differenze. Infatti, mentre il sollevamento dell'*horst* che borda la Piana Campana (Mt. Avella-Fellino) è legato ad attività di faglie, poiché la componente regionale non supera il sollevamento registrato alle estremità della faglia, per l'area Nord Calabrese, invece, non è stato identificato alcun contributo al sollevamento dovuto a faglie. Gli indicatori del RSL analizzati, infatti,

non mostrano alcuna evidenza netta di dislocazioni né lungo costa né perpendicolarmente. Questa evidenza suggerisce che il sollevamento sia governato da un fenomeno su larga scala, piuttosto che dovuto a processi locali legati alle faglie. Ciò non esclude la possibile presenza di faglie nell'offshore, dove è stato segnalato qualche terremoto storico di moderata intensità (Rovida et al., 2022).

Dunque, un significativo contributo al *surface uplift* della fascia montuosa dell'Appennino meridionale deriva certamente dal sollevamento quaternario a scala regionale (Cinque et al., 1993).

Le informazioni disponibili provenienti dai vicini blocchi di *horst* del margine tirrenico (Penisola Sorrentina e Cilento) indicano che il sollevamento è stato dell'ordine di 150-200 m a partire dall'inizio del Pleistocene medio (Figura 5a-c, Cinque e Romano, 1990; Ascio-

ne e Romano, 1999), mentre al contempo i *graben* registravano diffusa subsidenza. Il sollevamento regionale è sostanzialmente cessato a partire dall'Ultimo Interglaciale in tutta l'area che va dal promontorio di Gaeta, a Nord al Cilento, a Sud (Figura 5d, Ferranti et al., 2006, e riferimenti in esso contenuti), mentre l'*horst* di Monte Fellino e il settore Nord calabrese continuavano a sollevarsi.

Ringraziamenti

Il progetto è stato finanziato dal contributo per attività di ricerca su temi del Quaternario dell'Appennino centro-meridionale riservato a un/a Ricercatore/trice *Early Career* non strutturato/a (under 35 anni) sotto la supervisione scientifica dell'Associazione Italiana per lo studio del Quaternario (AIQUA), proposto/a da AIQUA e dal Comitato Scientifico Centrale del Club Alpino Italiano (CSC-CAI).

Bibliografia

- AMATO A., CINQUE A. (1999). *Erosional landscapes of the Campano-Lucano Apennines (S. Italy): genesis, evolution, and tectonic implications*. Tectonophysics 315, 251-267. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00288-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00288-7)
- ASCIONE A., CIARCIA S., DI DONATO V., MAZZOLI S., VITALE S. (2012). *The Pliocene-Quaternary wedge-top basins of southern Italy: an expression of propagating lateral slab tear beneath the Apennines*. Basin Res. 24, 456-474. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2117.2011.00534.x>
- ASCIONE A., ROMANO P. (1999). *Vertical movements on the eastern margin of the Tyrrhenian extensional basin. New data from Mt. Bulgheria (Southern Apennines, Italy)*. Tectonophysics 315, 337-356. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00279-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00279-6)
- BELLUOMINI G., CALDARA M., CASINI C., CERASOLI M., MANFRA L., MASTRONUZZI G., PALMENTOLA G., SANSÒ P., TUCCIMEI P., VESICA P.L. (2002). *The age of Late Pleistocene shorelines and tectonic activity of Taranto area, Southern Italy*. Quaternary Science Reviews, 21(4), 525-547
- BERNASCONI M.P., CEFALÀ M., PERRI E. (2015). *Mid-latitude coralgal bioconstruction and endolithic microbialites: environmental significance during Quaternary climate variations*. Facies 61. <https://doi.org/10.1007/s10347-015-0449-1>
- BONARDI G., CIARCIA S., NOCERA S. DI. (2009). *Carta delle principali unità cinematiche dell'Appennino meridionale*. Nota illustrativa. Lias Sources Doc. Relat. To Early Mod. Hist. Ideas 128, 47-60
- BRÜCKNER H. (1980). *Marine Terrassen in Südtalien. Eine quartärmorphologische Studie über das Küstentiefland von Metapont*. Düsseldorf Geographische Schriften 14, 235 pp
- BURBANK, DOUGLAS W., ANDERSON, ROBERT S. (2011). *Tectonic Geomorphology*. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell
- CAROBENE L. & DAI PRA G. (1990). *Genesis, Chronology and Tectonics of the Quaternary marine terraces of the Tyrrhenian coast of northern Calabria (Italy). Their correlation with climatic variations*. Il Quaternario 3 (2), 75-94
- CAROBENE L. & DAI PRA G. (1991). *Middle and Upper Pleistocene sea level highstands along the Tyrrhenian coast of Basilicata (Southern Italy)*. Il Quaternario, 4 (1a), 173-202
- CAPUTO R., BIANCA M. & D'ONOFRIO R. (2010). *Ionian marine terraces of southern Italy: Insights into the Quaternary tectonic evolution of the area*. Tectonics, 29(4)
- CERRONE C., ASCIONE A., ROBUSTELLI G., TUCCIMEI P., SOLIGO M., BALASSONE G., MORMONE A. (2021). *Late Quaternary uplift and sea level fluctuations along the Tyrrhenian margin of Basilicata-northern Calabria (southern Italy): new constraints from raised paleo-shorelines*. Geomorphology, 395, 107978, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107978> 2021a
- CERRONE C., VACCHI M., FONTANA A., ROVERE A. *Last Interglacial sea-level proxies in the western Mediterranean*. Earth System Science Data, <https://doi.org/10.5194/essd-13-4485-2021> 2021b
- CERRONE C. (2021c). *Doctorate Europaeus in Earth, Environmental and Resources Science XXXIII Cycle. Surface uplift and sea*
- CINQUE A., PATACCA E., SCANDONE P., TOZZI M. (1993). *Quaternary kinematic evolution of the Southern Apennines. Relationships between surface geological features and deep lithospheric structures*, Annals of Geophysics 36, 249-260
- COSENTINO D., GLIOZZI E. (1988). *Considerazioni sulle velocità di sollevamento di depositi eutirreniani dell'Italia Meridionale e della Sicilia*. Mem., della Soc. Geol. Ital. 41, 653-665
- CUCCI L. & CINTI F. R. (1998). *Regional uplift and local tectonic deformation recorded by the Quaternary marine terraces on the Ionian coast of northern Calabria (southern Italy)*. Tectonophysics, 292(1-2), 67-83.
- DAI PRA G. & HEARTY P. J. (1988). *I livelli marini pleistocenici del Golfo di Taranto. Sintesi geocronostratigrafica e tettonica (in Italian)*. Mem. Soc. Geol. It, 41(2), 637-644
- DAMIANI A.V. (1970). *Terrazzi marini e sollevamenti differenziali fra i Bacini del Lao e del Corvino (Calabria settentrionale)*. Ital. J. Geosci. 89, 145-158
- DEWEY J.F., HELMAN M.L., TURCO E., HUTTON D.H.W., KNOTT S.D. (1989). *Kinematics of the western Mediterranean*. Geol. Soc. London Spec. Publ. 265-283. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.045.01.15>
- DUMAS B., GUEREMY P., LHENAFF R. & RAFFY J. (1982). *Le soulèvement quaternaire de la Calabrie méridionale*. Revue de Géologie Dynamique et de Géographie Physique 23, 27-40
- DUMAS B., GUÉRÉMY P., LHÉNAFF R. & RAFFY J. (1987). *Rates of uplift as shown by raised Quaternary shorelines in Southern Calabria (Italy)*. Zeitschrift für Geomorphologie, N.F., Supplementband 63, 119-132
- DUMAS B., GUEREMY P., HEARTY P.J., LHENAFF R., RAFFY J. (1988). *Morphometric analysis and amino acid geochronology of uplifted shorelines in a tectonic region near Reggio Calabria, South Italy*. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 68, 273-289. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(88\)90045-4](https://doi.org/10.1016/0031-0182(88)90045-4)
- DUMAS B. & RAFFY J. (2004). *Late Pleistocene tectonic activity deduced from uplifted marine terraces in Calabria, facing the Strait of Messina*. Quaternaria Nova, Quaternaria Nova, 8, 79-99

- ENGLAND P., MOLNAR P. (1990). *Surface uplift, uplift of rocks, and exhumation of rocks*. *Geology* 18, 1173-1177. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1990\)018<1173:-SUUORA>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1990)018<1173:-SUUORA>2.3.CO;2)
- ESPOSITO C., FILOCAMO F., MARCIANO R., ROMANO P., SANTANGELO N., SCARCIGLIA F. & TUCCIMEI, P. (2003). *Late Quaternary shorelines in southern Cilento (Mt . Bulgheria): morphostratigraphy and chronology*. *Quat.* 16 (1), 3-14
- FACCENNA C., DAVY P., BRUN J.P., FUNICIELLO R., GIARDINI D., MATTEI M. & NALPAS T. (1996). *The dynamics of back-arc extensions: a laboratory approach to the opening of the Tyrrhenian sea*. *Geophysical Journal International*, 126, 781-795
- FACCENNA C., MATTEI M., FUNICIELLO R. & JOLIVET L. (1997) *Styles of back-arc extension in the Central Mediterranean*. *Terra Nova*, 9, 126-130
- FERRANTI L., ANTONIOLI F., MAUZ B., AMOROSI A., DAI PRA G., MASTRONUZZI G., MONACO C., ORRÙ P., PAPPALARDO M., RADTKE U., RENDA P., ROMANO P., SANSÒ P., VERRUBBI V. (2006). *Markers of the last interglacial sea-level high stand along the coast of Italy: Tectonic implications*. *Quat. Int.* 145-146, 30-54. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2005.07.009>
- KASTENS K., MASCLE J., AUROUX, C., BONATTI E., BROGLIA C., CHANNELL J., CURZI P., EMEIS K.C., GLACON G., ASEGAWA S., HIEKE W., MASCLE G., MCCOY F., MCKENZIE J., MENDELSON J., MULLER C., RÉHAULT J.P., ROBERTSON A., SARTORI R., SPROVIERI R., TORI M. (1988). *ODP Leg 107 in the Tyrrhenian Sea: Insights into passive margin and back-arc basin evolution*. *Geol. Soc. Am. Bull.* 100, 1140-1156
- LAWRENCE EDWARDS R., CHEN J.H., WASSERBURG G.J. (1987). *^{238U}–^{234U}–^{230Th}–^{232Th} systematics and the precise measurement of time over the past 500,000 years*. *Earth Planet. Sci. Lett.* 81, 175-192. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(87\)90154-3](https://doi.org/10.1016/0012-821X(87)90154-3)
- MOUSSAT E., REHAULT J.P., FABBRI, A. (1986). *Rifting et évolution tectono-sédimentaire du Bassin Tyrrhénien au cours du Neogene et du Quaternaire*. *Giorn. di Geol* 3, 48, 1/2, 41-62
- MAZZOLI S., ALDEGA L., CORRADO S., INVERNIZZI C. & ZATTIN M. (2006). *Pliocene-Quaternary thrusting, syn-orogenic extension and tectonic exhumation in the southern Apennines (Italy): Insights from the Monte Alpi area, in Styles of Continental Contraction*, edited by S. Mazzoli and R.W.H. Butler, *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 414, 55-77
- MAZZOLI S., D'ERRICO M., ALDEGA L., CORRADO S., INVERNIZZI C., SHINER P., ZATTIN M. (2008). *Tectonic burial and "young" (<10 Ma) exhumation in the southern Apennines fold and thrust belt [Italy]*, *Geology*, 36, 243-246
- MAZZOLI S., ASCIONE A., BUSCHER J.T., PIGNALOSA A., VALENTE E., ZATTIN M. (2014). *Low-angle normal faulting and focused exhumation associated with late Pliocene change in tectonic style in the southern Apennines (Italy)*. *Tectonics* 33, 1802-1818
- MIYAUCHI T., DAI PRA G., SYLOS LABINI S. (1994). *Geochronology of Pleistocene marine terraces in the Tyr-*



- rhenian coast of South Calabria, Italy. *Il Quaternario* 7(1a), 17-34, 1 tav. f. t.
- PATACCA E., SCANDONE P., LUZIO E. DI, CAVINATO G.P., PAROTTO M. (2008). *Structural architecture of the central Apennines: Interpretation of the CROP 11 seismic profile from the Adriatic coast to the orographic divide - Structural architecture of the central Apennines: Interpretation of the CROP 11 seismic profile from the Adr. Tectonics* 1-36. <https://doi.org/10.1029/2005TC001917>
 - ROBERTS G.P., MESCHIS M., HOUGHTON S., UNDERWOOD C., BRIANT R.M. (2013). *The implications of revised Quaternary palaeoshoreline chronologies for the rates of active extension and uplift in the upper plate of subduction zones*. *Quat. Sci. Rev.* 78, 169-187. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.08.006>
 - PERRI E., BERNASCONI M.P., CEFALÀ M. (2016). *Quaternary carbonate deposition and climate variation (Tyrrhenian coast, Calabria, Southern Italy)*. *Rendiconti Online Societa Geologica Italiana* 38, 73-76. <https://doi.org/10.3301/ROL.2016.21>
 - ROVERE A., STOCCHI P., VACCHI M. (2016). *Eustatic and Relative Sea Level Changes*. *Curr. Clim. Chang. Reports* 221-231. <https://doi.org/10.1007/s40641-016-0045-7>
 - ROVIDA A., LOCATI M., CAMASSI R., LOLLI B., GASPERINI P. (2019). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI), versione 2.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. <https://doi.org/https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>
 - ROYDEN L., PATACCA E., SCANDONE P. (1987). *No Title Segmentation and configuration of subducted lithosphere in Italy: An important control on thrust-belt and foredeep-basin evolution*. *Geology* 15, 714-718.
 - STOCCHI P., VACCHI M., LORSCHIED T., BOER B. DE, SIMMS A.R., WAL R.S.W. VAN DE, VERMEERSEN B.L.A., PAPPALARDO M., ROVERE A. (2018). *MIS 5e relative sea-level changes in the Mediterranean Sea : Contribution of isostatic disequilibrium*. *Quat. Sci. Rev.* 185, 122-134. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.01.004>
 - TORTORICI G., BIANCA M., DE GUIDI G., MONACO C., TORTORICI L. (2003). *Fault activity and marine terracing in the Capo Vaticano area (southern Calabria) during the Middle-Late Quaternary*. *Quat. Int.* 101-102, 269-278. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00107-6](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00107-6)
 - WESTAWAY R. (1993). *Quaternary uplift of southern Italy*. *J. Geophys. Res.* 98, 21741-21772. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/93JB01566>
 - ZANDER A., FÜLLING A., BRÜCKNER H., MASTRONUZZI G. (2006). *OSL dating of Upper Pleistocene littoral sediments: A contribution to the chronostratigraphy of raised marine terraces bordering the Gulf of Taranto, South Italy*. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 29(2), 33-50





Figura 1 – Noddiebird (Nucifraga caryocatactes) - ph Giordano Ceré

Come gli uccelli si proteggono dal freddo

Strategie, adattamenti posturali e anatomici per superare l'inverno

di Antonio Gelati⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

1. Direttore del Museo Civico di Ecologia e Storia Naturale di Marano sul Panaro (CISNIAR)
2. Medico Veterinario
3. CAI Sezione di Sassuolo

Riassunto

L'articolo descrive le tre strategie messe in atto dagli uccelli per proteggersi dal freddo, oltre che gli adattamenti posturali e anatomici che permettono loro di superare i rigori dell'inverno.

Abstract: How birds protect themselves from the cold

The article describes the three strategies implemented by birds to protect themselves from the cold, as well as the postural adaptations that allow birds to overcome the rigors of the winter.

Introduzione

Ai più può sembrare un mistero come facciano i pettirossi (*Erithacus rubecula*, Linnaeus, 1758) o gli scriccioli (*Troglodytes troglodytes*, Linnaeus, 1758) a sopravvivere agli inverni più rigidi mentre i beccamoschini (*Cisticola juncidis*, Rafinesque, 1810), simili per taglia, sono decimati dal freddo alle stesse temperature sopportate dai primi, oppure vedere gli aironi (*Ardea cinerea*, Linnaeus, 1758) immergere le zampe in acque gelide o i gabbiani (*Larinae*, Rafinesque, 1815) che camminano sul ghiaccio senza alcun segno evidente di sofferenza, mentre all'uomo basta immergere le mani per poco tempo nell'acqua fredda per avere problemi di circolazione sanguinea.

In inverno o più semplicemente in climi rigidi, gli uccelli, che soffrono il freddo e gli eventi climatici avversi, mettono in atto strategie che permettono loro di superare quel periodo critico che è caratterizzato da fattori che limitano le capacità di sopravvivenza. Alcune sono strategie semplici e conosciute, altre sono insolite e inaspettate.

Il modo più semplice per sopravvivere all'inverno, sembrerà scontato, ma è quello di attrezzarsi con un buon piumaggio.

Il pinguino imperatore, ad esempio, riesce ad affrontare le rigidissime temperature e i blizzards dell'Antartide (dove le temperature possono toccare i -60 °C) grazie a un piumaggio d'eccezione. Ad aiutarlo però c'è anche il contatto corporeo con gli altri individui della colonia, che gli consente di non disperdere calore.

Alcuni altri uccelli, soprattutto durante la notte, rabbriviscono per aumentare il calore del corpo. Il tremore causato dal brivido di freddo accelera il metabolismo del corpo e genera spontaneamente

calore. Purtroppo tremare non è una strategia che funziona a lungo e soprattutto richiede molte calorie che vanno reintegrate attraverso il cibo.

Molte altre specie risolvono il problema del freddo migrando verso climi più favorevoli, esponendosi a lunghi viaggi, a rischi di vario tipo, a prove fisiche che sfiorano il record.

Le oche indiane, ad esempio, sorvolano l'Himalaya a un'altitudine che può raggiungere gli 8.000 m, con temperature di diverse decine di gradi sotto zero e con venti fortissimi.

E poi ci sono le specie che non migrano. È questo il caso di alcune specie di galliformi come la pernice bianca (*Lagopus muta*, Montin, 1758), specie che si spinge sopra il limite della vegetazione, e del fagiano di monte (*Lyrurus tetrax*, Linnaeus, 1758), che mettono in atto la strategia "dell'igloo": con temperature piuttosto rigide, si infilano sotto la coltre nevosa, per non disperdere energia.

Nella freddissima foresta boreale canadese, una delle poche specie a resistere all'inverno senza migrare è una piccola cincia (*Parus atricapillus*) che, quando la temperatura cala sotto i -30 °C, cessa di muoversi e alimentarsi, poiché dedicarsi alla ricerca del cibo comporterebbe un consumo di energia superiore a quella generata dalle calorie ingerite. In condizioni di freddo estremo questo piccolo passeriforme si "tuffa" nella neve fresca, creando un'intercapedine dove può godere di una temperatura relativamente più elevata.

Questi brevi esempi non sono sufficienti per spiegare tutte le strategie e gli adattamenti posturali e anatomici messi in atto. Per gli uccelli i fattori limitanti durante la stagione fredda sono: le basse temperature, la scarsità di cibo e i siti dove potersi riparare.

La strategia degli uccelli per combattere il freddo

Gli uccelli hanno sviluppato diverse strategie difensive contro il freddo che cambiano al variare delle specie, degli habitat, delle esigenze alimentari. Discriminante per tutte le specie è la Temperatura Minima Critica.

Questa è la temperatura esterna minima alla quale ogni specie riesce a mantenere stabile la temperatura corporea; al di sotto di questa temperatura l'uccello muore.

Infatti gli uccelli sono omeotermi, cioè devono mantenere costante la temperatura corporea indipendentemente dalle variazioni dell'ambiente esterno.

Per ogni specie di uccelli esiste una temperatura esterna ideale per la quale il volatile non è costretto a consumare energie nella termoregolazione (neutralità termica). Per mantenere questa neutralità gli uccelli si avvalgono della endotermia, che è la produzione interna di calore che deve mantenere la temperatura corporea che varia da 40-42 °C di giorno a 39 °C di notte, quando l'uccello dorme; i valori si invertono negli uccelli notturni (rapaci notturni, succiacapre...) che riposano di giorno e cacciano di notte.

Il calore viene prodotto dall'ossidazione degli alimenti ingeriti e necessariamente la produzione di calore deve compensare le perdite per dispersione: alla fine è la differenza tra il calore prodotto e la temperatura esterna che permette la stabilità della temperatura corporea.

Nei mesi freddi non è facile mantenere l'omeotermia e quindi gli uccelli mettono in pratica almeno tre strategie di sopravvivenza (Ferraresi et al. 1994).

La prima e meglio conosciuta e vistosa è la migrazione verso paesi caldi, come fanno ad esempio le rondini, i rondoni e tante altre specie, soprattutto insettivore, che hanno un elevato consumo metabolico, si nutrono di insetti che scarseggiano in inverno e che, per questi due fattori limitanti, devono necessariamente migrare; viceversa chi è in grado di risparmiare energia, proteggersi dal freddo e trovare fonti alimentari caloriche può sfidare il clima rigido.

La seconda è l'introduzione di alimenti altamente energetici per accumulare riserve di grasso (iperfagia) a cui attingere nel momento del bisogno.

L'energia introdotta col cibo può essere subito utilizzata ma anche accumulata come riserva (il grasso). Inoltre il freddo stimola i centri encefalici della fame e dell'aggressività: quest'ultima è importante perché il freddo richiede più cibo per produrre calore corporeo che assicuri l'omeotermia, le giornate invernali sono più corte e sono meno le ore per procurarsi il fabbisogno, così che la competizione per il cibo è spesso esasperata.

Non è trascurabile anche il fatto che il grasso, oltre che riserva energetica, è anche un ottimo isolante che mantiene alto il livello di risparmio energetico e per questi motivi gli uccelli tendono a ingrassare.

Alcuni uccelli come, ad esempio, il picchio muratore, la ghiandaia, la nocciolaia, sono abili nell'accumulare semi in piccole riserve che potranno utilizzare al bisogno. La nocciolaia, uccello tipico delle alte montagne, in modo particolare, quando c'è abbondanza di semi del pino cembro di cui si nutre, vola senza sosta per preparare le sue scorte



Figura 2 – La rondine, al sopravvenire dell'autunno, abbandona i luoghi di riproduzione e migra in Africa - ph Antonio Gelati



Figura 3 – Tipici atteggiamenti minacciosi di verdoni in mangiatoie invernali - ph T. De Cristian

invernali e in ogni viaggio può trasportare decine di semi, raccolti nel gozzo, che poi sotterra in buche scavate nel terreno e che alla fine saranno accuratamente ricoperti di terra. Grazie all'incredibile memoria visiva di cui è provvista, riesce a ricordare i punti dove ha sepolto i semi per poi utilizzarli per sfamarsi durante l'inverno. Questa attività, oltre che importante per la sopravvivenza della nocciolaia lo è pure per la diffusione del pino cembro. I suoi semi infatti sono molto pesanti e sprovvisti di samare, per cui non sono in grado di diffondersi da soli nell'ambiente circostante.

Grazie alla nocciolaia i semi vengono portati anche molto lontano dalla pianta madre e dato che spesso i depositi non sono esauriti del tutto o addirittura sono dimenticati, in primavera i semi germogliano e il pino cembro può spuntare in luoghi impensabili.

La terza è il risparmio energetico che consiste nella protezione dal freddo e nella conservazione del calore, ovvero, evitare di dissipare il calore corporeo: per mettere in atto questa strategia gli uccelli hanno particolari adattamenti anatomici e fisiologici:

- gli uccelli usano gonfiare le piume mediante la contrazione dei muscoli erettori delle piume (*muscoli pennati*) che variano l'angolazione delle piume che si sollevano dalla cute (Del Hoyo et al. 1992): le piume gonfie creano una camera d'aria che trattiene l'aria riscaldata

dalla cute, riduce quindi al minimo la superficie disperdente e favorisce l'omeotermia;

- con l'uccello a riposo il becco viene generalmente protetto sotto un'ala, così da poter respirare l'aria riscaldata della camera d'aria creata dal piumaggio gonfio (vedi sopra); ugualmente le zampe vengono spesso raccolte sempre sotto il piumaggio rigonfio del petto e dell'addome (vedi sopra). Questi adattamenti posturali consentono all'uccello un significativo risparmio di produzione di calore interno che sarebbe servito altrimenti per mantenere in temperatura le zampe esposte e soprattutto ai sacchi aerei e ai bronchi per riscaldare l'aria fredda inspirata.

Per il piumaggio, tipici esempi sono i rapaci notturni che di giorno si mettono in risparmio energetico e si possono osservare con il piumaggio gonfio; lo stesso vale per i rapaci diurni che cacciano da fermi in luoghi esposti.

Per avere un buon isolamento e non avere dispersioni quando si formano le, così chiamate, camere d'aria calde, il piumaggio deve essere integro e per questo motivo in autunno avviene la muta, cioè la sostituzione del manto estivo con un soffice e folto mantello invernale. La muta solitamente avviene nei mesi autunnali, durante i quali gli uccelli aumentano gradualmente il numero delle piume in base al raffreddamento della temperatura ambientale e spesso



Figura 4 – La Nocciolaia - ph Giordano Cerè



Figura 5 – Piovanello tridattilo in modalità risparmio energetico: una zampa è al caldo tra le piume dell'addome e col becco respira aria riscaldata da sotto l'ala - ph T. De Cristian



Figura 6 – Civette con piumaggio gonfio durante una fredda giornata invernale - ph T. De Cristian



Figura 7 – Gheppio che durante una gelida giornata invernale aspetta che una preda venga allo scoperto - ph Antonio Gelati

Figura 8 (a sinistra) – I rapaci notturni hanno i tarsi e le dita dei piedi ricoperti di piume, una sorta di calzettoni che li protegge dal freddo notturno. Anche le aquile che volano alte hanno i calzettoni - ph T. De Cristian

comporta una diversa colorazione del mantello che assume toni mimetici (abito eclissale) al fine di rendere l'uccello meno visibile agli occhi dei predatori, cosa che può significare la salvezza. La muta avviene anche per gli uccelli che scelgono la prima strategia, la migrazione verso paesi caldi: un piumaggio più efficiente permette migliori performances nel volo che spesso è lungo e difficoltoso.



Figura 9 – La pernice bianca è in muta pressoché continua tutto l'anno, con costanti adattamenti della colorazione del piumaggio al mutevole ambiente alpino: passa da una colorazione marrone con tonalità di fondo grigie in estate al bianco candido d'inverno. In inverno scava nella neve dei ricoveri sotterranei che utilizza soprattutto la notte per ripararsi dal vento e dal freddo - ph Giordano Cerè

Scambio vascolare di calore in contro tendenza

Perché gli uccelli stanno con i piedi sul ghiaccio senza che questi si congelino, come accadrebbe a un uomo? Inoltre, le zampe sono ponti termici?

Nella parte bassa del tibio/tarso la circolazione sanguinea assume un particolare aspetto anatomico chiamato rete mirabile (Hildebrand M. 1988).

Questa rete circolatoria intreccia il sangue caldo del cuore dell'uccello con le vene che trasportano sangue freddo dalle sue zampe.

Nella parte distale della tibia si trovano numerose arteriole che fanno scorrere il sangue contro corrente rispetto a un equivalente sistema di capillari venosi che irrorano la zampa al di sotto dell'articolazione tibio-tarsica.

Questo sistema parzialmente chiuso consente un minimo scambio tra le due reti, ma il contatto permette di mantenere una temperatura di non congelamento del tarso e del piede (di solito pochi gradi sopra la temperatura di congelamento) e nel contempo l'uccello risparmia calore, impedendo che le zampe si comportino come ponti termici.

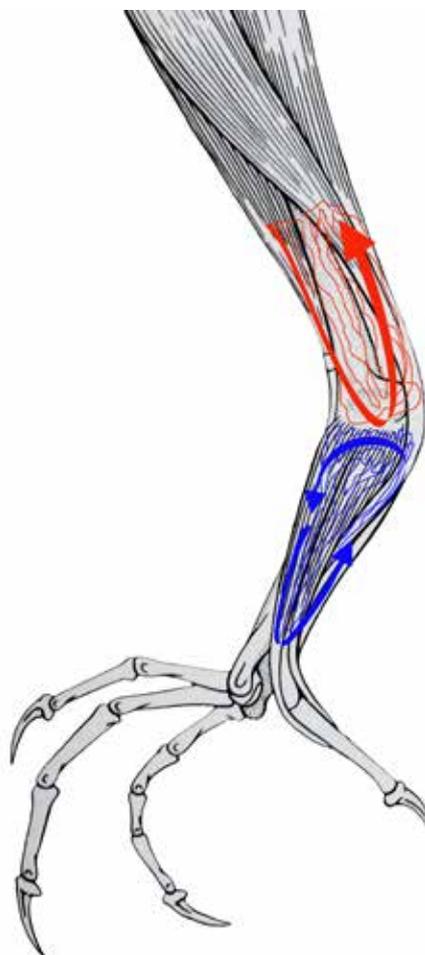


Figura 10 – Esempio di rete mirabile: si noti come nel tarso la circolazione sia prettamente venosa, dato che le strutture ossee e tendinee presenti non necessitano di un costante apporto di ossigeno - Tavola tratta e modificata da Noble S. Proctor & Patrick J. Lynch - Manual of Ornithology



Figura 11 – Senza la rete mirabile che permette lo scambio di calore contro corrente, i trampolieri andrebbero presto incontro a morte per assideramento: si noti come alcuni aironi cenerini tengano una zampa sollevata e ben riparata sotto le piume dell'addome e il lungo collo ben ripiegato per offrire una minor superficie corporea all'aria fredda - ph V. Bergamini

La respirazione

L'aria fredda inspirata prima di arrivare ai polmoni deve scaldarsi assorbendo calore, mentre l'aria espirata esce ancora calda.

Il vapore acqueo caldo espirato, a contatto con l'aria molto più fredda, si condensa e forma quella nebbiolina che si vede al momento del contatto dell'aria espirata con l'ambiente. Quindi viene disperso calore. Nell'uomo proteggere il naso e la bocca con una sciarpa aiuta a non raffreddarsi.

E gli uccelli? Gli uccelli anche nell'apparato respiratorio hanno, come nelle zampe, lo scambio di calore contro corrente (vedi disegno sotto).

L'aria fredda entra dalla trachea (freccia blu), assorbe calore dal contatto con la soprastante struttura dei sacchi aerei anteriori, che contengono aria calda, e quindi entra nei bronchi parzialmente riscaldata (freccia rosa).

Nella fase dell'espirazione l'uccello fa uscire l'aria che nei sacchi aerei anteriori aveva già ceduto per convezione calore a quella in entrata e quindi si è parzialmente raffreddata (freccia azzurra).

Questo adattamento fisiologico permette di respirare anche aria gelida senza raffreddare il corpo e quindi perdere calore.

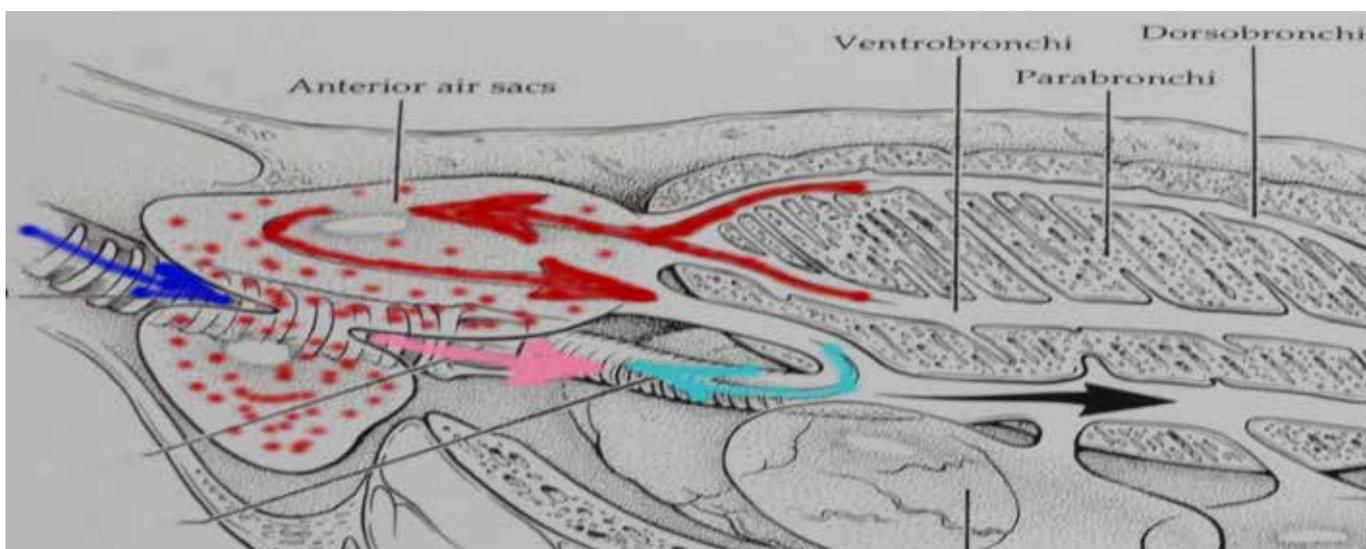


Figura 12 – Tavola tratta e modificata da Noble S. Proctor & Patrick J. Lynch - Manual of Ornithology



Figura 13 – Esporsi ai raggi del sole durante le fredde giornate invernali permette al tarabuso di riscaldarsi - ph Antonio Gelati

Considerazione conclusiva

Gli uccelli hanno modificazioni anatomiche e comportamenti che nei climi rigidi ottimizzano il consumo energetico per mantenere l'omeotermia e questo già da centinaia di migliaia di anni.

L'uomo soltanto recentemente si sta sempre più interessando al risparmio energetico con soluzioni "innovative" che tali non sono per i nostri amici alati.

Il cuscino di aria calda trattenuto dal piumaggio gonfio potremmo paragonarlo allo strato di aria tra le vetrocamere, regolamentate dalla normativa UNI EN 1279 che gli uccelli non conoscono ma applicano, pur non essendo marchiati CE.

Lo scambio di calore contro corrente (Bonsignori et al.), è descritto dal secondo principio della termodinamica ed è usato nelle industrie farmaceutiche per la produzione di farmaci e nelle industrie alimentari per raffreddare, per esempio, il latte in modo veloce e senza un grande dispendio di energia.

Gli uccelli non conoscono la termodinamica ma ne applicano il secondo principio da sempre, soprattutto lo fanno, con un particolare adattamento anatomico dell'apparato respiratorio – ad esempio i cigni – che volando molto alto respirano aria gelida, che senza lo scambio di calore contro corrente, li ucciderebbe.

Ultima considerazione: i piumini di famose marche di abbigliamento e anche le trapunte più pregiate, avevano l'imbottitura di piume di edredone (*Somateria mollissima*), un'anatra del Nord Europa che foderà il nido di piume, piume che venivano asportate dal nido per fare l'imbottitura dei piumini. Ancora oggi, insieme a materiali sintetici, per l'imbottitura si usano piume, anche se non più di edredone.

Bibliografia

- DEL HOYO, J., ELLIOTT, A. & SARGATAL, J. EDS. (1992) *Handbook of the Birds of the World*. Vol. 1 pag. 49-53
- FERRARESI M., GELATI A., *Picus*. Anno 200 N. 3 settembre – dicembre 1994. Pag. 169-171.
- HILDEBRAND M., GOSLOW G., WILEY & SONS INC. (1988) *Analysis Vertebrate Structure*. Pag. 509-514
- NOBLE S. PROCTOR & PATRICK J. LYNCH. YALE UNIVERSITY PRESS (1993) *Manual of Ornithology: avian structure and function*. Pag. 212-213



Figura 1 – Camoscio appenninico su pendio innevato - ph Angelina Iannarelli

Il camoscio più bello del mondo

Rupicapra pyrenaica ornata

Uomo e natura uniti da una storia di conservazione grazie alla quale, ancora oggi, è possibile ammirare camosci appenninici arrampicarsi sulle rocce e sui pendii innevati

di Benedetta Orsini⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

1. Naturalista
2. Operatrice Naturalistica e Culturale del CAI
3. Sezione CAI di Guardiagrele

Riassunto

Tra le alture impervie e fiabesche dell'Appennino centrale, trova rifugio il camoscio appenninico *Rupicapra pyrenaica ornata* Neumann, 1899. Endemismo italiano, è una sottospecie di camoscio meridionale unica al mondo, che ha rischiato l'estinzione nel secolo scorso. È da molti definito "il camoscio più bello del mondo" per l'eleganza e la bellezza del suo mantello. Storicamente presente nei territori montani del Parco Nazionale d'Abruzzo Lazio e Molise, da dove nasce la sua storia di conservazione, oggi è possibile ammirarlo anche nel Parco Nazionale della Maiella, nel Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga, nel Parco Nazionale dei Monti Sibillini e nel Parco Naturale Regionale Sirente-Velino, grazie ad alcune importanti operazioni di traslocazione e di reintroduzione. Direttive e regolamenti comunitari legati alla protezione della specie, avvenute a partire dagli anni '90 hanno fatto sì che oggi il numero della popolazione sia stabile ma non del tutto fuori da rischio di scomparsa. È infatti definita vulnerabile d'estinzione dalla IUCN, Unione Mondiale per la Conservazione della Natura. Attualmente si stima una popolazione di camoscio appenninico di circa 3.500-3.900 individui presente sui massicci montuosi delle cinque maggiori aree protette dell'Appennino Centrale (conteggio autunno 2023).

Abstract: The most beautiful chamois in the world - *Rupicapra pyrenaica ornata*

*Among the impervious and fairy-tale heights of the central Apennines, the Apennine chamois (*Rupicapra pyrenaica ornata* Neumann, 1899) finds refuge Italian endemism, it is a subspecies of southern chamois, unique in the world, which risked extinction in the past century. It is defined by many as "the most beautiful chamois in the world" for the elegance and beauty of its coat. Historically present in the mountain territories of the Abruzzo, Lazio and Molise National Park, where its history of conservation originates, today it is also possible to admire it in the Maiella National Park, in the Gran Sasso and Monti della Laga National Park, in the Sibillini Mountains and in the Sirente-Velino Regional Natural Park, thanks to some important translocation and reintroduction operations. Community directives and regulations linked to the protection of the species, which have occurred since the 1990s, have meant that today the number of the population is stable but not entirely out of risk of disappearing. It is in fact defined as vulnerable to extinction by the IUCN, International Union for Conservation of Nature. Currently, an Apennine chamois population of around 3.500-3.900 individuals is estimated to be present on the mountain massifs of the five major protected areas of the central Apennines (autumn 2023 count).*

Introduzione

Una scoperta nata per caso

Nel 1899 lo studioso tedesco Oskar Neumann vide per la prima volta una pelle di camoscio appenninico esposta nel Museo Civico di Storia Naturale di Genova.

Trasformata in tappeto e proveniente dalla Marsica, arrivò in Liguria grazie al marchese G. Doria, presidente della Società Geografica Italiana, che la vide in casa di un suo amico e lo convinse a donarla. Neumann decise di attribuire quella pelle a una nuova specie di camoscio, ben diversa per colorazione e pezzatura da quella del camoscio delle Alpi a lui nota. In seguito decise invece di associare la

scoperta a una sottospecie di camoscio alpino, la *Rupicapra rupicapra ornata* (Lovari, 1984). Da allora in poi numerose ipotesi e opinioni si susseguirono per giustificare la presenza di quel nuovo ungulato in Appennino. Specie o sottospecie? Venne perfino sospettato di provenire dai Pirenei e dai Monti Cantabrici! A oggi, il camoscio dell'Appennino risulta essere una sottospecie del camoscio meridionale, *Rupicapra pyrenaica ornata*, così riconosciuta dalla Unione Internazionale per la Conservazione della Natura (IUCN), che la considera "vulnerabile di estinzione" (Corlatti et al. 2011).

La nascita del PNALM per salvare il camoscio appenninico

Proprio per la conservazione di questa sottospecie, venne istituito nel 1921-22, il Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise salvando l'ungulato da estinzione certa (lo stesso percorso venne intrapreso per la salvaguardia dell'orso bruno marsicano).

Le guerre mondiali portarono infatti le popolazioni e le truppe d'occupazione a decimare i camosci, soprattutto per fame. Nel bel mezzo della Grande Guerra erano presenti nella zona della Camosciera, circa 30 individui di camoscio. Al giungere degli anni '20, grazie ai regimi di protezione istituiti dal PNALM, ci fu un aumento della popolazione fino

ad arrivare nel 1929 a una conta di 100 esemplari. Purtroppo però, durante la Seconda Guerra Mondiale, a causa dell'aumento del bracconaggio, ci fu di nuovo un drastico decremento del numero di camosci (40 nel 1949).

L'Ente Parco, nel 1976, commissionò all'Università di Siena uno studio di ampio raggio su biologia e conservazione dei camosci stimando la presenza di 250-300 camosci (fonte Ispra). Tra il 1994 ed il 1998 si verificò una nuova fase di crescita grazie alla quale oggi si ha un numero elevato di camosci con densità locali anche molto elevate.

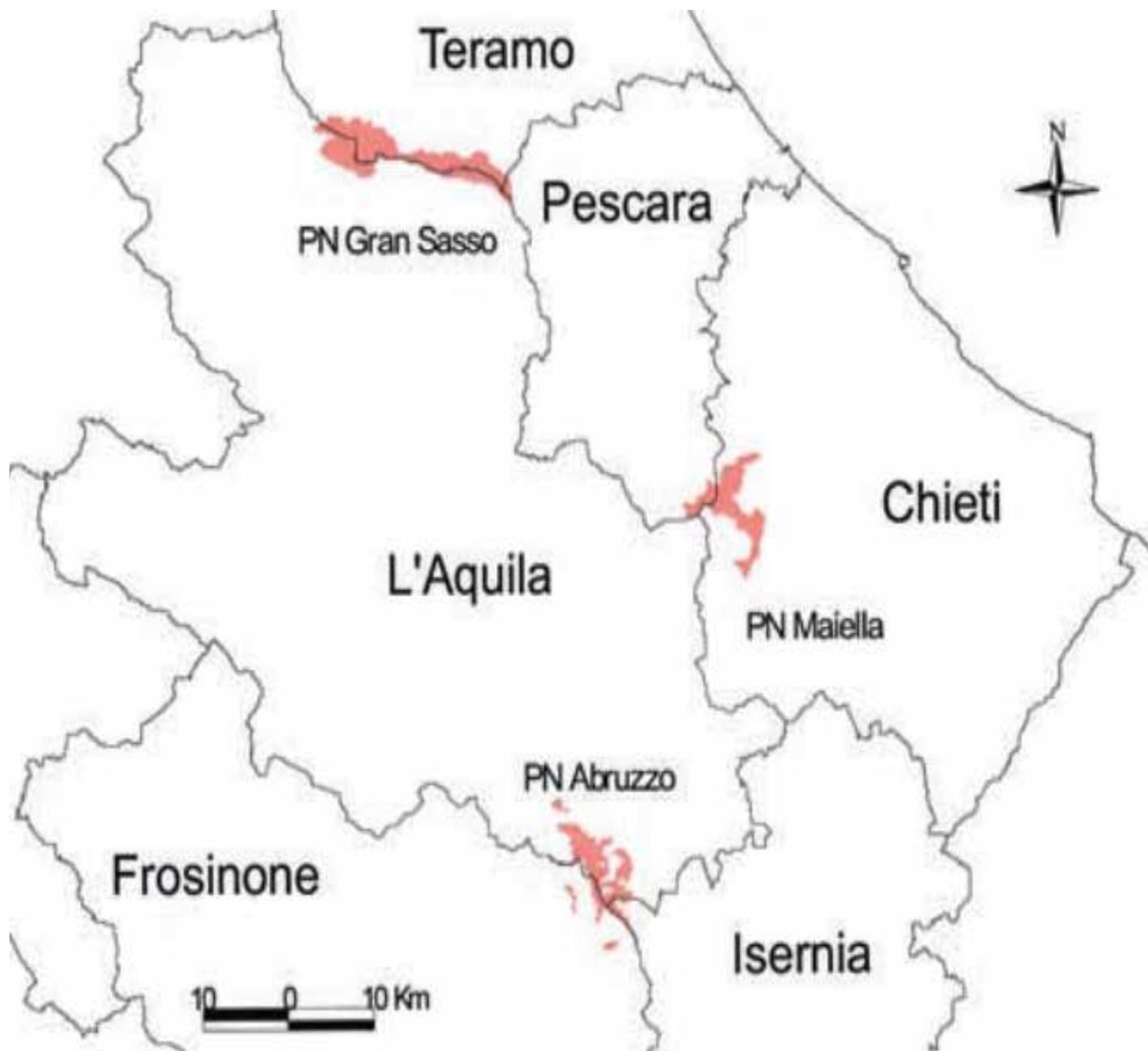


Figura 2 – Areale del camoscio appenninico nel 1998 (fonte Ispra). Questa mappa è molto datata e in essa mancano le popolazioni traslocate nel decennio prima del 2010 del Parco Regionale Sirente-Velino e del Parco Nazionale dei Monti Sibillini

Rupicapra pyrenaica ornata

Morfologia

Il peso degli individui adulti è di circa 30 kg per i maschi e 27 kg per le femmine. Nel camoscio appenninico le corna, presenti in entrambi i sessi, uncinata e rivolte all'indietro, hanno un asse osseo molto robusto e sono molto sviluppate in lunghezza, raggiungendo in media 25-28 cm e un'altezza di 18-19 cm (Scala e Lovari, 1984).

Il mantello cambia colorazione in base alla stagione. Il manto estivo si presenta nocciola tendente al rossiccio mentre quello invernale è più folto, marrone scuro con cinque grandi pezzature giallastre su gola, collo e quarti posteriori oltre a una piccola banda frontale dello stesso colore. (Neumann 1899, Couturier 1938, Lovari 1989)

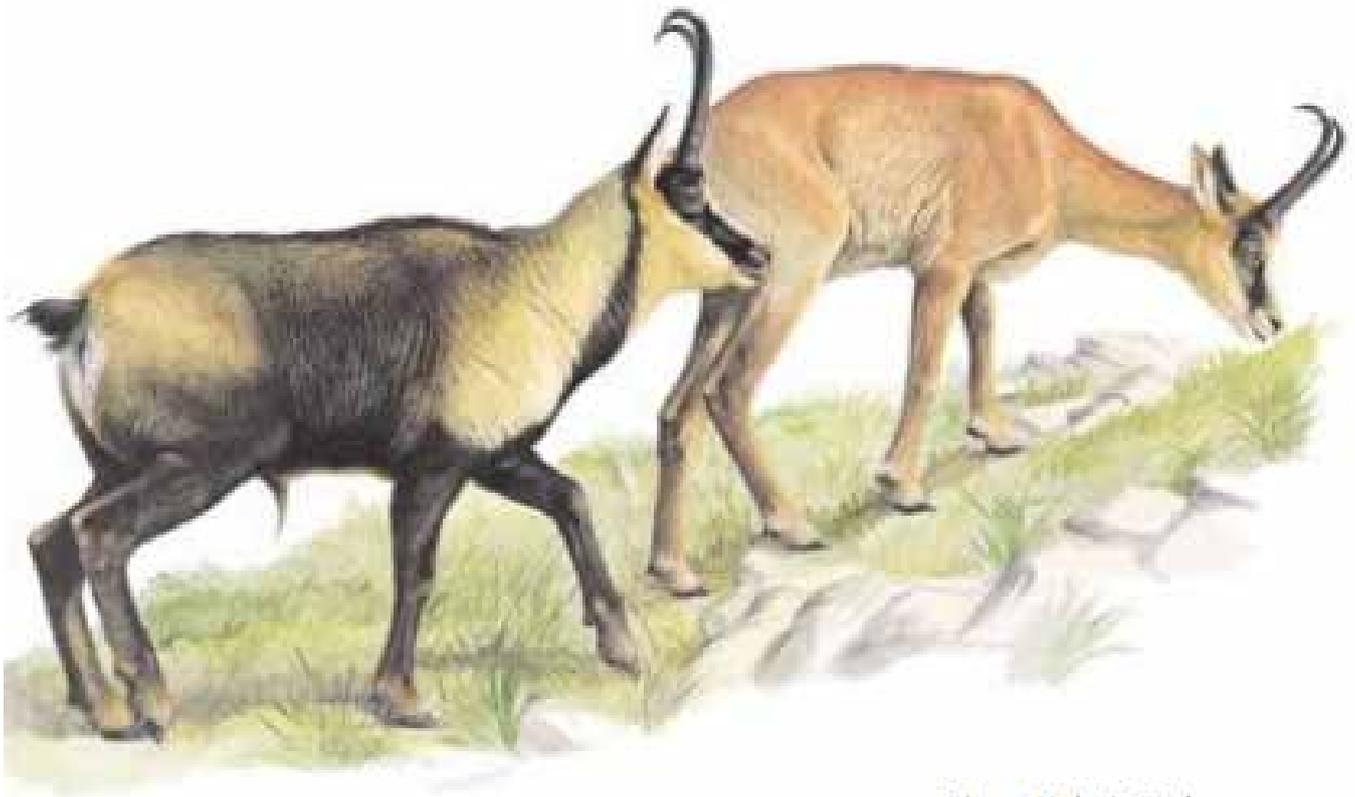
- Classe: Mammiferi (Mammalia)
- Ordine: Artiodattili (Artiodactyla)
- Famiglia: Bovidi (Bovidae)
- Sottospecie italiana: camoscio appenninico *Rupicapra pyrenaica ornata* Neumann, 1899
- Vita: 15 anni
- Curiosità: se allarmato emette un fischio

Differenze con il camoscio alpino

Occorre fare attenzione a non confondere il camoscio appenninico *Rupicapra pyrenaica ornata* con il più diffuso camoscio alpino *Rupicapra rupicapra*. È nel periodo invernale che emergono le più notevoli diversità. La più evidente e che ci aiuta a distinguerli è dovuta alla diversa colorazione del mantello nei mesi freddi dell'anno.

Mentre in estate il mantello si presenta di colore marrone chiaro per entrambi (zampe, maschera facciale e linea vertebrale scure), in inverno il mantello del camoscio alpino diventa uniformemente molto scuro tranne nelle zone biancastre in corrispondenza della fronte, della gola e sottocoda, mentre nel camoscio appenninico si presenta di colore marrone scuro con ampie zone biancastre o isabelline sulla gola, lati del collo sino alla spalla e sui quarti posteriori.

Ulteriori differenze si evidenziano anche a livello craniometrico con misure significativamente minori nel camoscio appenninico.



Disegno Umberto Catalano

Figura 3 – Il camoscio appenninico Rupicapra pyrenaica ornata Neumann, 1899

Il mantello estivo è color nocciola-rossiccio, quello invernale è marrone scuro con cinque grandi aree isabelline o giallastre: una sulla gola che si estende fino al petto, due sui lati del collo fino a coprire le spalle, due sui quarti posteriori. I maschi sono poco più massicci delle femmine, con corna leggermente più spesse e di solito più uncinata; in corrispondenza del pene hanno un ciuffo di pelo



Figura 4 (a sinistra) – Camoscio appenninico con il mantello invernale in muta. La struttura corporea è più robusta rispetto a quella del camoscio appenninico e le corna sono più corte - ph Paolo Martinelli



Figura 5 (a sinistra sotto) e 6 (a destra sotto) – Nel camoscio alpino il mantello invernale è uniforme e scuro mentre nel camoscio dell'Appennino il mantello è più chiaro con ampie zone isabelline - ph Paolo Martinelli (5) e Angelina Iannarelli (6)



Biologia e status

Il Camoscio Sud-occidentale (*Rupicapra pyrenaica* - Bonaparte, 1845) è attualmente presente in tre sottospecie nell'Europa Sud-occidentale:

- *Rupicapra pyrenaica pyrenaica*, diffusa nella catena dei Pirenei tra Spagna e Francia
- *Rupicapra pyrenaica parva*, diffusa sui monti Cantabrigi in Spagna
- *Rupicapra pyrenaica ornata*, distribuita nella porzione centrale della penisola italiana

Nell'Olocene, la seconda epoca del periodo quaternario, il camoscio appenninico risultava essere distribuito dai Monti Sibillini fino al Monte Pollino (Masini e Lovari 1988).

I primi fossili di camoscio in Europa, portano a pensare a una sua immigrazione (o a quella di una forma a esso affine l'antilope-camoscio *Procamptoceras brivatense*) da Est lungo le catene montuose asiatiche avvenuta nel Pleistocene medio-inferiore o forse anche prima. Un reperto fossile presente nei Pirenei centrali suggerisce l'esistenza del camoscio durante le glaciazioni del Riss (250-150 mila anni fa) che, Masini e Lovari (1988) attribuiscono alla sottospecie *Rupicapra pyrenaica*. Ulteriori dati paleontologici, che confermano la distinzione tra *Rupicapra pyrenaica* e *Rupicapra rupicapra*, sono costituiti

dai tanti ritrovamenti fossili risalenti alle glaciazioni di Wurm, 80-60 mila anni fa, che documentano la presenza di camosci del tipo Sud-occidentale in Spagna e Italia. Il camoscio alpino si diffuse invece dall'Europa Nord-orientale fino alle Alpi Apuane e agli Appennini settentrionali (Masini 1985).

Gli antenati del camoscio

In Asia centro-orientale viveva, circa 5-7 milioni di anni fa, quello che è considerato da molti l'antenato più antico del camoscio, la *Pachygazella grangeri*. Bisogna arrivare a circa un milione e cinquecentomila anni fa per incontrare in Europa Sud-orientale il bovide più prossimo al camoscio, la cosiddetta antilope-camoscio *Procamptoceras brivatense* (Masini e Lovari 1988).

Direttamente o indirettamente il continente asiatico fu dunque la terra d'origine di questo ungulato e da lì gradualmente giunse in Europa. Altre forme colonizzarono invece il Nord America superando la Beringia, il gelido "ponte" di ghiaccio in passato situato tra l'Asia e il Nuovo Mondo, oggi lo Stretto di Bering. Solo dopo le glaciazioni di trecentocinquanta-centotrentamila anni fa si può ipotizzare la presenza di camosci appartenenti proprio alla specie meridionale, oggi confinata ai Cantabrigi, ai Pirenei e all'Appennino centrale, mentre quella settentrionale – alla quale appartiene il camoscio

delle Alpi – sarebbe comparsa nelle successive glaciazioni di centoquindicimila-dodicimila anni fa, di provenienza da qualche area montuosa dell'Est o Sud-Est dell'Europa, rimpiazzando l'altra specie senza però arrivare fino alla catena dei Pirenei e agli Appennini centro-meridionali (Lovari e Scala 1980).

Habitat

Gruppi misti di maschi e femmine frequentano le praterie d'altitudine tra i 1.200 ed i 1.700 m s.l.m., nel periodo compreso tra luglio e dicembre. In altri periodi dell'anno possiamo invece trovarli in aree boschive, ripide ma poco esposte al vento, tra i 1.000 e i 1.200 m s.l.m., in branchi frammentati e meno numerosi. I maschi, che raggiungono l'età adulta a 3-4 anni, tendono a essere solitari e nomadi, frequentando i boschi per tutto l'anno tranne che nel periodo riproduttivo, durante il quale raggiungono le femmine in alta quota.

Le femmine invece rimangono nel gruppo di appartenenza della madre (Lovari e Cosentino 1986).

I predatori

I grandi carnivori per eccellenza, lupo e orso, appaiono come i predatori naturali del camoscio appenninico. Il lupo agisce soprattutto nei mesi invernali (Lovari 1984) anche se le predazioni risultano modeste (Patalano e Lovari 1993). Occasionale risulta anche la predazione da parte dell'orso bruno che tende ad assalire il camoscio principalmente nel bosco (Fico et al. 1984).

La regina dei cieli, l'aquila reale, attacca maggiormente i piccoli di camoscio ma le sue incursioni sono quasi sempre sventate dall'azione di difesa delle femmine adulte (Locati 1990).

Un grande problema invece lo arrecano i cani vaganti con azioni di forte disturbo. La reazione dei camosci è quella della fuga. Gruppi di cani randagi

non sembrano comunque essere organizzati per azioni di caccia efficaci sugli agili camosci (Lovari 1984-1988).

Organizzazione sociale

La stagione degli amori coincide con il mese di novembre. Con l'arrivo dei primi freddi autunnali alcuni maschi diventano aggressivi e difendono un territorio cercando di mantenere al suo interno gruppi di femmine. Si scatenano delle spettacolari lotte tra maschi che possono evolversi in scontri quando un altro maschio invade il territorio. Ergono la "barba" dorsale, assumono atteggiamenti di imposizione con il collo e il muso protesi verso l'alto o abbassano le corna pronte all'uso per intimidire i rivali. Se questo non è sufficiente a far abbandonare il campo al maschio rivale, l'usurpatore si lancia in spettacolari corse lungo le praterie d'altitudine rincorrendo sui pendii l'avversario e non di rado si assiste anche a scontri fisici tra i due individui. Marcano olfattivamente l'ambiente frequentato depositando il secreto delle ghiandole sovra-occipitali, dall'odore pungente.

Tra pendici scoscese e ripide, le femmine danno alla luce i piccoli, generalmente uno o più raramente due, tra la prima decade di maggio e l'ultima di giugno dopo 26 settimane di gestazione.

I camosci formano i cosiddetti "asili nido" cioè gruppi di alcune madri che si alternano nella custodia dei piccoli in modo da potersi nutrire senza impegni di sorveglianza e allattamento. I piccoli si abituano presto a nascondersi tra rocce e pendii irraggiungibili per i predatori terricoli come i lupi, ma possono cadere preda delle aquile. Mentre i giovani maschi tendono a spostarsi anche per alcuni chilometri dal sito natale, fino a stabilire una loro area di residenza, per le femmine gli spostamenti sono rari e da ciò scaturisce la difficoltà di colonizzazione di nuove aree. A causa di questi e altri motivi, negli ultimi trent'anni, la popolazione ha mostrato un tasso di accrescimento basso, pari al 2,5%, mentre nel PNALM, nelle aree di translocazione, il tasso di accrescimento è stato anche del 20-23%.

Alimentazione

Il camoscio appenninico è un erbivoro. Particolarmente importante nella dieta delle femmine, per la ricchezza di proteine vegetali, è l'associazione vegetale di *Festuco-Trifolietum thalii* che si sviluppa in aree esposte a Nord, e in substrati debolmente acidi e fornisce un'alimentazione particolarmente ricca nel periodo dell'allattamento e soprattutto di svezzamento

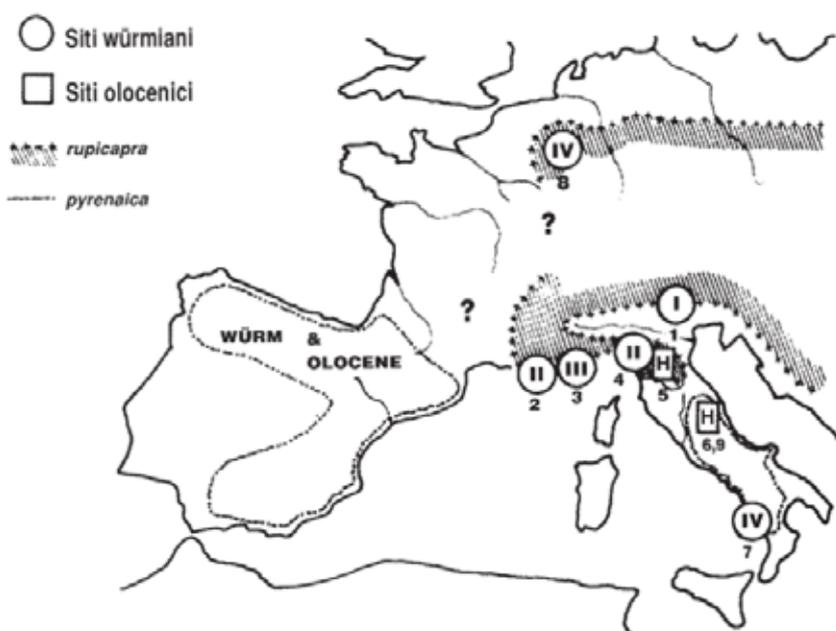


Figura 7 – Possibile ricostruzione della distribuzione di *Rupicapra Pyrenaica* e *Rupicapra rupicapra* in Europa occidentale nel periodo wurmiano e olocenico (da Masini 1985, modificato). I numeri romani indicano i diversi strati wurmiani.

dei piccoli. Nel PNALM, nei mesi estivi e autunnali, le femmine e i piccoli frequentano le praterie d'altitudine nutrendosi nei festuceti e trifolietti. L'assunzione di ricche sostanze alimentari nei mesi estivi consentirà loro il superamento dell'inverno. I maschi adulti frequentano invece stagionalmente altre associazioni vegetali, per esempio l'*Avena versicolor*-*Koeleria splendens* mostrando cambiamenti qualitativi in base alle stagioni (Ferrari et al. 1988).

La conservazione del nucleo storico

Nel 1922, anno dell'istituzione del Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise, la popolazione di camoscio appenninico era costituita da non più di circa 30 esemplari, circoscritta alle ripide balze della Camosciara. Il Piano di Riassetto del Parco Nazionale d'Abruzzo (1968) stimava la presenza di 150-200 camosci concentrati tra Monte Amaro, la Camosciara, la Val di Rose e la Valle Iannanghera suggerendo due azioni prioritarie per la salvaguardia della specie:

1. l'ampliamento del Parco ai massicci montuosi dove la specie era già presente suggerendo aree idonee all'espansione (come il Monte Marsicano);
2. la costituzione delle Riserve Integrali: aree riservate esclusivamente al camoscio con almeno il 50% dei pascoli posti al di sopra del limite delle foreste.

Il Parco si attivò inoltre per bloccare i tagli industriali a danno delle foreste, cercando di garantire ai comuni, proprietari di quei boschi, un giusto indennizzo. Nella catena delle Mainarde, Monte Meta e cime circostanti, ritenuti areali validi di espansione per continuità geografica con l'areale storico del camoscio, vennero effettuate requisizioni dei pascoli d'alta quota.

Il massiccio del Monte Marsicano venne incluso nel Parco nel 1979 e l'anno dopo venne istituita la zona A (Riserva Integrale), promulgando la zonizzazione dell'intera area protetta che comprendeva tutti i pascoli d'alta quota dell'areale storico del camoscio appenninico.

Tutela



Figura 11 e 12 – Alcune immagini di allattamento - ph Angelina Iannarelli



Figura 8 – Gruppo di camosci in prateria d'altitudine - ph Angelina Iannarelli



Figura 9 – Due maschi si rincorrono in difesa del territorio - ph Angelina Iannarelli



Figura 10 – Femmina con cucciolo tra le rocce - ph Angelina Iannarelli





Figura 13 e 14 – “Asili nido”. Gruppi formati da una femmina adulta che custodisce i piccoli - ph Angelina Iannarelli

Sottospecie endemica di interesse comunitario inserita nella Convenzione di Berna, ratificata dall'Italia con la Legge n. 503/81, quale specie di fauna rigorosamente protetta (Allegato II); nella Convenzione di Washington sul commercio internazionale delle specie di fauna e flora minacciate di estinzione (Normativa CITES), resa esecutiva dall'Italia con Legge n.150/92 e modificata dalla Legge n. 59/93, integrata dal decreto legislativo 275/01 quale specie gravemente minacciata di estinzione per la quale è rigorosamente vietato il commercio (Appendice I); nella Direttiva Habitat 92/43/CEE, recepita dall'Italia con DPR 8 settembre 1997 n. 357, modificato e integrato dal DPR 12 marzo 2003, n. 120, quale specie di interesse comunitario la cui conservazione richiede la designazione di zone speciali di conservazione (Allegato II) e quale specie che richiede una protezione rigorosa (Allegato IV). Inoltre la Legge nazionale 11 febbraio 1992 n. 157 inserisce il camoscio appenninico tra le specie particolarmente protette (art. 2, comma 1).

È classificato come “vulnerabile” d'estinzione nella lista rossa dei mammiferi redatta nel 2008 dall'IUCN/SSC *Caprinae Specialist Group* (Shackleton 1997).

Il quadro normativo comunitario, europeo e nazionale impone dunque allo Stato Italiano la responsabilità di assicurare uno stato di conservazione soddisfacente alle popolazioni di camoscio appenninico presenti sul territorio nazionale ed ai loro habitat, e impegna le Regioni a mettere in atto azioni di tutela e gestione.

Aspetti conservazionistici

Agli inizi degli anni '90 venne effettuata la traslocazione di nuclei di camosci appenninici su rilievi montuosi nel Parco Nazionale della Maiella e Parco Nazionale e del Gran Sasso-Laga.

Negli anni successivi, altri rilasci avvennero nel Parco Nazionale dei Monti Sibillini e nel Parco Regionale del Sirente-Velino (Mari e Lovari 2006).

Questi progetti si rivelarono di successo e soprattutto lungimiranti. È proprio grazie alle traslocazioni e alla presenza di sottopopolazioni che oggi il nume-

ro dei camosci è superiore ai 3.500 individui.

Per la conservazione della specie il cambio climatico in corso è sicuramente un aspetto preoccupante ma non è il solo. Ciò che turba il delicato equilibrio ecologico creatosi nei decenni tra specie diverse per coesistere è caratterizzato dagli spostamenti geografici e topografici di piante e animali. Negli anni '70 e '80 nel PNALM venne avviato il processo di reintroduzione del Cervo – *Cervus elaphus* – con circa 80 esemplari. A poco a poco, nell'area storica – cioè dove il camoscio era sopravvissuto – la prateria utilizzata dai camosci per alimentarsi è stata fortemente usurata dai cervi. Tutto questo ha indotto un'accelerazione del processo innescato dal cambio meteorologico, che già da sé altera le praterie a trifolieto e a festuceto (Ferretti et al. 2015). Sarà interessante seguirne l'evoluzione negli anni a venire con nuove ricerche sul tema.

Monitoraggio delle popolazioni di camoscio appenninico

Sul sito del PNALM è possibile trovare le relazioni sulle attività di monitoraggio realizzate negli ultimi anni e/o nei siti natura 2000 ricompresi in tutto o in parte nel Parco stesso. Incaricato al monitoraggio è il personale del Servizio Scientifico e del Servizio di Sorveglianza del Parco, impiegato solitamente in estate e in autunno per la conta in simultanea delle popolazioni di camoscio appenninico. Tale metodica consente di determinare il numero minimo di individui presenti in un'area distinti per sesso ed età e fornire inoltre gli indici del successo riproduttivo (numero di piccoli/sul totale della popolazione) e quelli di sopravvivenza al primo anno di vita (numero di piccoli che superano il primo anno di vita).

Effetti del cambiamento climatico sulla specie

Le temperature medie primaverili in Appennino centrale, negli ultimi dieci anni, hanno subito un rialzo termico pari a 1.5 °C, provocando variazioni dello spessore e della permanenza del manto nevoso. Sono dunque variati i tempi di crescita e distribuzione della vegetazione criofila d'alta montagna che tende sempre più a spostarsi verso quote elevate.

Gli animali erbivori, come il camoscio appenninico, si sono negli anni adattati a questo cambiamento risalendo le quote e scegliendo i versanti più freddi. Alcuni studi portati a compimento dal prof. Lovari e dai suoi collaboratori/studenti tra il 1976 e il 2012 nel PNALM hanno evidenziato un significativo aumento delle temperature solo nei mesi primaverili provocando l'anticipo di quasi un mese della stagione vegetativa rispetto a qualche decina di anni fa (Lovari et al. 2020).

Intervento del prof. Sandro Lovari

Per la stesura di questa ricerca ho avuto l'idea di contattare il prof. Lovari che, con i suoi studi e ricerche, contribuì a diffondere le conoscenze sulla vita di questo simbolo della natura appenninica e fu per anni docente di Etologia, Gestione della Fauna Selvatica e Biologia della Conservazione all'Università di Siena. Di seguito le sue dichiarazioni: "Nel comprensorio Monte Amaro-Alta Val di Rose (PNALM), l'area storica di sopravvivenza dei camosci, dove la maggior parte delle nostre osservazioni sono state condotte, i camosci erano abbondantissimi fino a una ventina di anni fa: circa venti individui per chilometro quadrato, mentre oggi sono meno della metà a causa della quasi totale scomparsa delle praterie secondarie a festuceto e trifolieto".

In questo territorio le montagne sono relativamente basse, circa 1.900 m, imponendo così un limite alla

migrazione verso l'alto della vegetazione criofila pascolata dai camosci nei mesi estivi.

"Quella poca vegetazione che è oggi rimasta nasce con quasi un mese di anticipo e dunque è già secca e fibrosa al momento dello svezzamento dei camoscetti, costituendo un pascolo inadatto a favorirne l'adeguata crescita corporea prima dei rigori invernali. In alcuni anni, fino al cento per cento dei piccoli di camoscio muore durante l'inverno, determinando la lenta estinzione locale della specie."

La situazione è preoccupante?

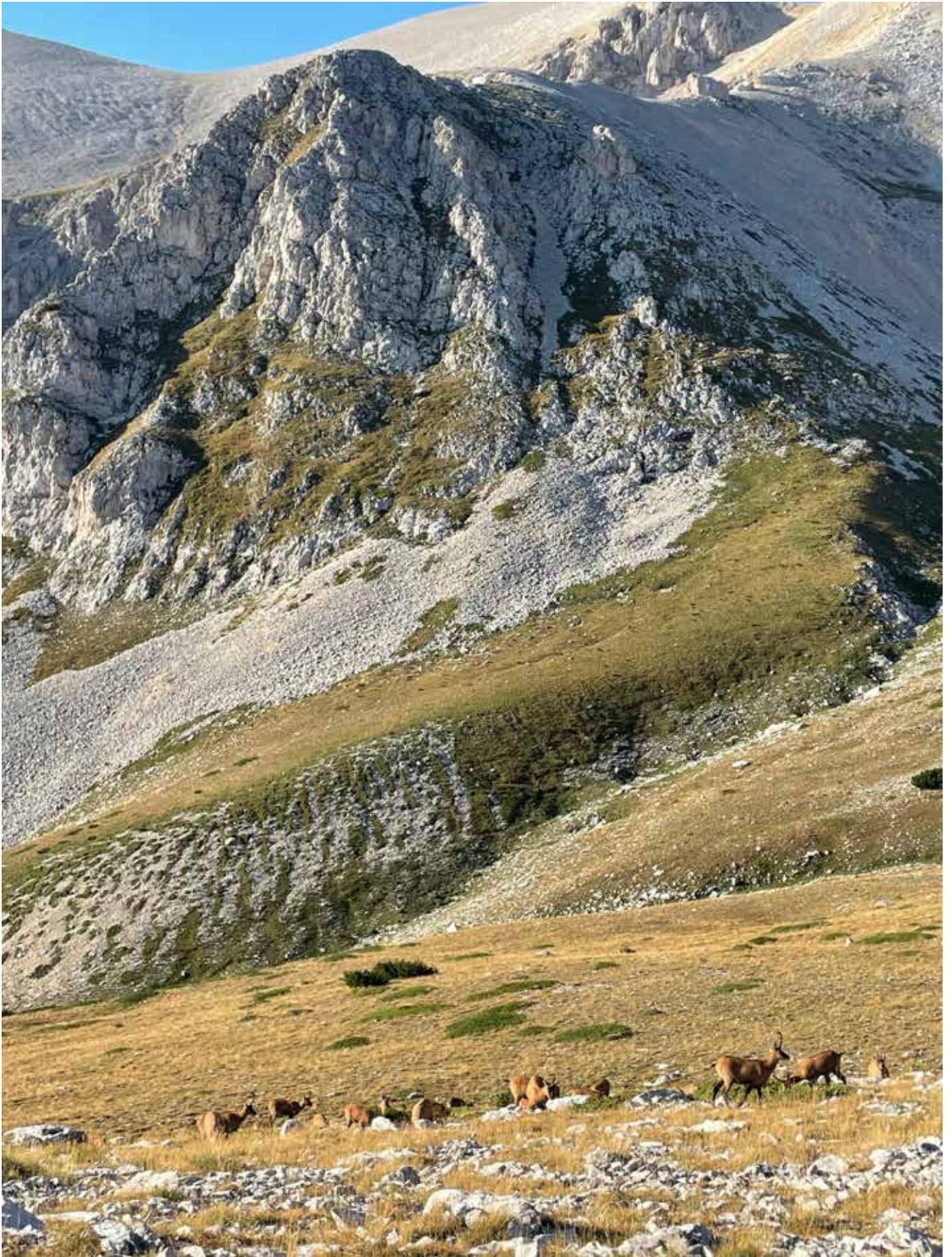
"Sì e no. Tutto dipenderà dalla durata e dall'intensità del cambio meteorologico in corso. Si sono formati infatti branchi numerosi di camosci in aree dove fino a qualche decennio fa vivevano soltanto pochi maschi solitari, sul Monte Mèta e sul Marsicano, entrambe montagne di altitudine superiore al comprensorio Monte Amaro-Alta Val di Rose, a conferma di quanto prima esposto."

Quale futuro per il camoscio appenninico dunque?

"Se il cambio climatico dovesse continuare per decenni – come è molto probabile – molte aree oggi idonee per il camoscio non saranno più tali e il futuro di questa particolare sottospecie appare almeno grigio, se non nero, nonostante il suo aumento numerico nelle aree di recente immissione, per esempio Maiella e Gran Sasso, che fortunatamente hanno vette più alte di quelle del PNALM (Lovari et al. 2020)."



Figura 15 – Rocce esposte a Nord e arroccamenti rappresentano il luogo migliore dove potersi alimentare per la presenza di comunità vegetali ricche di proteine - ph Angelina Iannarelli



*Figura 16 – Anfiteatro delle Murelle, Parco Nazionale della Maiella. Una delle aree di maggiore presenza del camoscio appenninico
- ph Marilisa Addario*

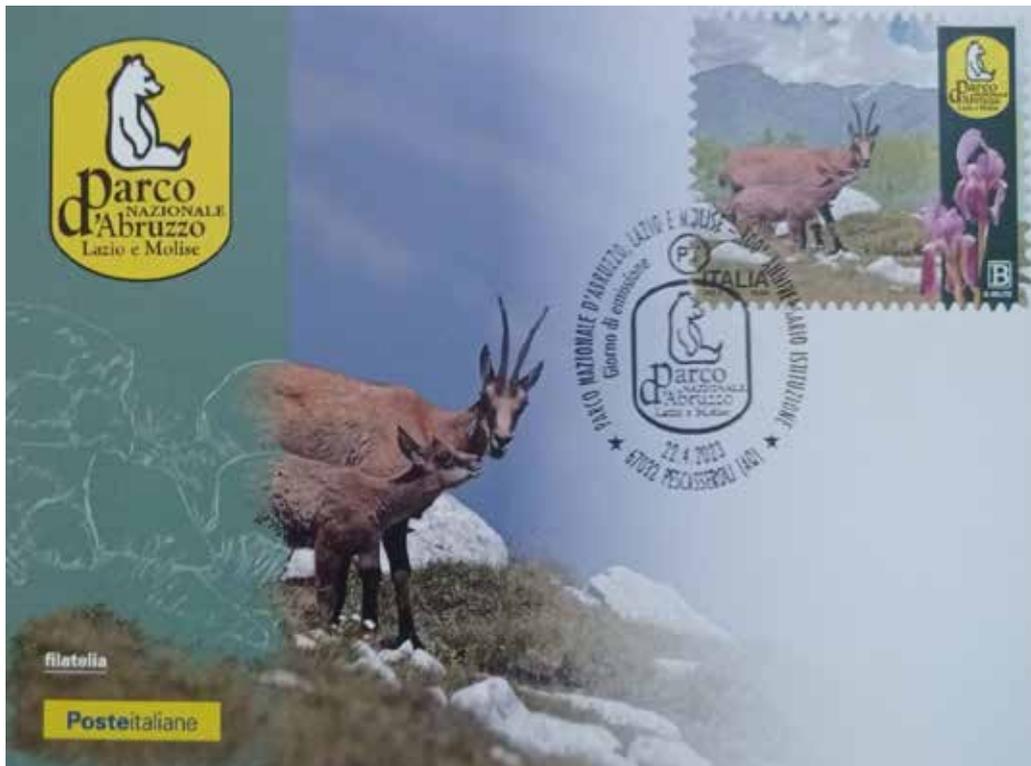


Figura 17 – La vignetta - Fonte Poste Italiane - La foto ufficiale del francobollo che Poste Italiane ha dedicato al Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise è di Angelina Iannarelli.

Un francobollo per i 100 anni del Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise

Nel 100° anniversario dall'istituzione del PNALM, Poste Italiane, tramite il Ministero delle Imprese e del Made in Italy, dedica al Parco un francobollo ordinario appartenente alla serie tematica "il Patrimonio Naturale e Paesaggistico", stampato dall'Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato S.p.A.

Il bozzetto è a cura di Giustina Milite. La vignetta raffigura una composizione di fauna e flora rappresentative del Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise: una coppia di camosci appenninici e i giaggioli della Marsica; sullo sfondo un particolare della Camosciara, riserva naturale integrale protetta che rappresenta il nucleo originario del Parco. In alto, a destra è riprodotto il logo del Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise.

Effetti dell'attività outdoor e utilizzo dei droni

Le attività sportive all'aria aperta, comunemente chiamate outdoor, possono alterare i comportamenti abituali della fauna selvatica causando reazioni di stress e allarme, cambiamenti nell'uso dell'habitat e nei ritmi giornalieri di pascolo, nonché avere impatto sulla sopravvivenza e sulla riproduzione. Un lavoro di ricerca svolto con la collaborazione dal PNALM evidenzia come nei mesi con maggior numero di escursionisti, giugno e settembre, si rileva un aumento della concentrazione di ormoni dello stress (glucocorticoidi) nelle feci di camoscio. Negli ultimi anni sta aumentando tantissimo l'utilizzo dei droni, sia per uso professionale che ricreativo, per svariate attività come ecoturismo,

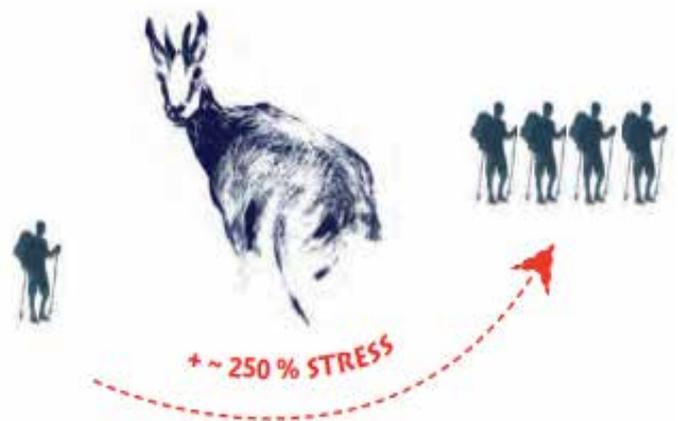


Figura 18 – La presenza umana contribuisce allo stress - Manuale per passare inosservati in Natura - Edizioni del Parco

caccia, pesca e falconeria. In quota i camosci sono spesso disturbati dal volo dei droni e questo provoca fastidio soprattutto ai cuccioli.

Ricordiamo che l'uso dei droni, come anche quello delle fototrappole, deve avere l'autorizzazione degli Enti preposti e dei Parchi.

Centro Visita Del Parco Nazionale della Maiella - Museo Naturalistico-Archeologico "M. Locati"

Mi sono recata personalmente presso il Centro visita del Parco Nazionale della Maiella situato nel paese di Lama dei Peligni (Chieti-Abruzzo). Inaugurato nel 1990, in concomitanza con l'operazione di reintroduzione del camoscio appenninico sulla Maiella, oggi è dotato anche di un meraviglioso giardino botanico ed è gestito dalla Cooperativa Maiella.

Protagonista della sezione naturalistica è il camoscio appenninico: qui sono illustrati gli ambienti nei quali vive, le sue caratteristiche fisiche e le attitudini comportamentali.

Attraverso il Percorso Botanico si raggiunge l'Area Faunistica del camoscio appenninico dove, equipaggiati di strumenti adeguati, è possibile osservare a distanza l'erbivoro.

I camosci vivono in una condizione di semilibertà all'interno dell'area, istituita con lo scopo di migliorare la conservazione della specie. Oggi, grazie a operazioni di reintroduzione che iniziano anche da qui, si stima una popolazione totale di circa 3.900 individui presente sui massicci montuosi delle cinque maggiori aree protette dell'Appennino Centrale, anche ai fini di future immissioni.

A pochi passi dal Centro visita c'è la Banca del germoplasma: il luogo dove sono conservate *ex situ* alcune specie autoctone della Maiella, molte delle quali rare o in via di estinzione.

Oggi è un fiorente centro di ricerca del Parco Nazionale della Maiella attorno a cui gravitano Enti di ricerca e Università per sviluppare importanti progetti sperimentali.



Figura 19 – L'ingresso del Centro visita del camoscio appenninico sito nel comune di Lama dei Peligni nel cuore della Maiella orientale - ph Benedetta Orsini



Figura 20 – Nelle sale del Centro visita dedicate al camoscio appenninico - ph Benedetta Orsini

Sentiero faunistico - Scheda tecnica

Sigla sentiero: **H10**

Denominazione sentiero: **anello Eremo Sant'Angelo di Lama dei Peligni (dall'area faunistica del Camoscio)**

Località di inizio: **area faunistica del Camoscio**

Località di arrivo: **area faunistica del Camoscio**

Difficoltà escursionistica: **EEA**

Dislivello in salita: **480 m circa**

Dislivello in discesa: **540 m circa**

Lunghezza: **Km 6,900 circa**

Tempo di percorrenza: **3 h 20' circa**



Figura 21 – L'inizio del sentiero H10 nell'area faunistica del camoscio appenninico - ph Benedetta Orsini

Ringraziamenti

Le foto pubblicate in questa ricerca sono di Angelina Iannarelli, Marilisa Addario e Paolo Martinelli che ringrazio per la disponibilità. Ringrazio sentitamente il prof. Sandro Lovari per il tempo che mi ha dedicato e concesso e per il materiale scientifico che mi ha fornito.

Bibliografia

- BOLLETTINO DI ZOOLOGIA 47:113-124
- CEDERNA A. & S. LOVARI (1985). *The impact of tourism on chamois feeding activities in an area of the Abruzzo National Park (Italy)*. In: Lovari S. (a cura di). *The biology and management of mountain ungulates*, Croom-Helm, London, pp. 216-225.
- CORLATTI L., LORENZINI R. & LOVARI S. (2011). *The conservation of the chamois Rupicapra spp.* Mammal Review 4: 163-174. doi: 10.1111/j.1365-2907.2011.00187.x
- CORLATTI L., HERRERO J., FERRETTI F., ANDERWALD P., GARCÍA-GONZALEZ R., HAMMER S.E., NORES C., ROSSI L. & LOVARI S. (2022). *Northern chamois Rupicapra rupicapra (Linnaeus, 1758) and Southern chamois Rupicapra pyrenaica Bonaparte, 1845.*
- CORLATTI L. & F. E. ZACHOS (a cura di), *Terrestrial Cetartiodactyla*, Handbook of the Mammals of Europe, pp 325-366, https://doi.org/10.1007/978-3-030-24475-0_30
- EUGENIO DUPRÈ, ANDREA MONACO E LUCA PEDROTTI, "Piano d'Azione Nazionale per il Camoscio appenninico (*Rupicapra pyrenaica ornata*) Quaderni di conservazione della Natura. A cura di - Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica "Alessandro Ghigi" - Ministero dell'ambiente e della Tutela del Territorio Servizi di Conservazione della Natura - ISSN 1592-2901
- FERRARI, C., ROSSI, G., CAVANI, C. (1988). *Summer food habits and quality of female, kid and subadult Apennine chamois, Rupicapra pyrenaica ornata*, Neumann, 1899 (*Artiodactyla*, *Bovidae*). *Z. Säugetierk.* 53: 170-177.
- FERRETTI, F., CORAZZA, M., CAMPANA, I., PIETROCINI, V., BRUNETTI, C., SCORNAVACCA, D. & LOVARI S. (2015). *Competition between wild herbivores: reintroduced red deer and Apennine chamois*. *Behavioural Ecology* 26: 550-559.
- LOVARI S. (1984). *Il popolo delle rocce*. Rizzoli, Milano.
- LOVARI S. & SCALA C. (1980). *Revision of Rupicapra Genus. I. A statistical re-evaluation of Couturier's data on the morphometry of six chamois subspecies.*
- LOVARI S., FRANCESCHI S., CHIATANTE G., FATTORINI L., FATTORINI N. & FERRETTI F. (2020). *Climatic changes and the fate of mountain herbivores*. *Climatic Change* 162: 2319-2337. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02801-7>
- *Manuale per passare inosservati in Natura* - Edizioni del Parco - Supervisione Luciano Sammarone Coordinamento e revisione del progetto Daniela D'Amico, Antonio Di Nunzio Ideazione e testi Roberta Latini, Daniela Gentile, Elisabetta Tosoni, Laura Scillitani Progetto e coordinamento editoriale, art direction Giovanni Tavano / CARSA Edizioni Illustrazioni, veste grafica e impaginazione Marilena Legnini Realizzazione editoriale CARSA Edizioni
- MARI, F. & S. LOVARI (2006). *Il camoscio appenninico: un ritorno in corso*. In: Fraissinet M. & F. Petretti. (a cura di) *Salvati dall'Arca*. Perdisa, Bologna, pp. 131-142.
- MASINI F. & S. LOVARI (1988). *Systematics, phylogenetic relationships and dispersal of the chamois (Rupicapra spp.)*. *Quaternary Research* 30: 339-349.
- MONITORAGGIO DELLA POPOLAZIONI DI CAMOSCIO NEL PNALM - anno 2022
- MONITORAGGIO DELLA POPOLAZIONI DI CAMOSCIO NEL PNALM - anno 2023



Figura 22 – Primo piano del camoscio appenninico - ph Angelina Iannarelli



Il masso di Luseto - ph Giancarlo Sani

Le rocce di Lulseto

Situate nell'Appennino reggiano, sono ciò che probabilmente rimane di un antico luogo di culto legato alla venerazione delle rocce

di Giancarlo Sani,⁽¹⁾⁽²⁾ Giuliano Cervi⁽³⁾⁽⁴⁾

1. Sezione CAI Valdarno Inferiore
2. Componente Gruppo Terre Alte del Comitato Scientifico Centrale del CAI
3. Sezione CAI Reggio Emilia
4. Presidente del Gruppo Terre Alte del Comitato Scientifico Centrale del CAI

Riassunto

Questo lavoro ha voluto dare continuità alla ricerca archeologica iniziata nel 2016 quando fu individuata, nel cuore della Val Tassarò, una estesa superficie rocciosa solcata da sette profonde scanalature quasi del tutto nascoste dalla vegetazione e ricoperte da muschi e licheni. Una prima interpretazione del sito ha indirizzato a un antico luogo di venerazione preistorica.

Abstract: The Lulseto rocks

This work aimed to give continuity to the archaeological research begun in 2016 when a large rock furrowed by seven large grooves almost completely hidden by vegetation and covered with moss was identified in the heart of Val Tassarò. An initial interpretation of the site pointed to an ancient place of prehistoric veneration.

La scoperta

Nel corso del 2016 fu individuata, nel cuore della Val Tassarò in comune di Vetto d'Enza, provincia di Reggio Emilia, (Figura 1), da parte del Comitato Scientifico della Sezione reggiana del Club Alpino Italiano, una estesa superficie di arenaria ad alto tenore siliceo disposta a franapoggio e avente dimensioni di circa 10 x 7 m, solcata da sette lunghe scanalature quasi del tutto nascoste dalla vegetazione e ricoperte dai muschi.

Fu subito avviata una ricerca, articolata su due fasi di indagine, la prima delle quali consistente nel chiedere agli abitanti del luogo se conoscevano la roccia e quanto si ricordavano del luogo; il risultato di questa prima indagine fu quello di una realtà ormai dimenticata e nota solo agli abitanti più anziani della zona che tuttavia ben conoscono questa grande pietra incisa poiché da bambini essa costituiva il loro preferito luogo di gioco: si lasciavano

infatti scivolare lungo i profondi solchi incisi nella pietra. La seconda fase di indagine è invece stata rivolta alla ripulitura della superficie rocciosa (Figura 2) che ha consentito di individuare una ricca e inaspettata sequenza di varie incisioni con presenza di numerose piccole coppelle, vaschette, canalette e tenui solchi quadrangolari che indirizzano verso una antica frequentazione antropica.

Per meglio studiare e interpretare i segni ritrovati fu effettuato un accurato rilievo con la tecnica del laser scanner, che ha permesso di individuare altri segni quasi evanescenti, resi tali dalla profonda erosione della roccia. A tal fine il Comitato Scientifico Sezionale del CAI di Reggio Emilia si è rivolto a personale esperto per effettuare un rilievo con la moderna tecnica del laser scanner (Figura 5). Il rilievo fu portato a termine nell'agosto 2016 da Mancassola e Zoni.



Figura 1 – Panorama della Val Tassarò - ph Giancarlo Sani

Ipotesi interpretative del sito

Una prima interpretazione del sito (di seguito indicato come "roccia 1") indirizzava a un ipotetico antico utilizzo del luogo per finalità legate ad attività culturali, come parrebbero indicare alcune cospicue interconnesse da canalette assai abrase dagli agenti atmosferici e quindi riconducibili a un remoto ambito temporale.

Per quanto riguarda le sette scanalature che attraversano la roccia, dopo aver esaminato svariate ipotesi relative in merito al loro utilizzo e alla loro realizzazione, si è convenuto che esse non siano associate alle cospicue e ai segni geometrici presenti sulla roccia (vedi scheda 1).

Le numerose cospicue (si intendono come tali incisioni su roccia con sezione conica, ellittica o circolare di diametro e profondità variabili che si suppongono eseguite mediante rotazione di una pietra di durezza elevata, come selce o quarzite), prevalentemente posizionate nella parte alta della roccia e spesso unite da canaletti, hanno indirizzato verso l'ipotesi che potessero svolgere una funzione mantica (Figure 6 e 7).

Tra i segni particolari che sono stati evidenziati ne segnaliamo alcuni quadrangolari e lineari che compaiono in alcuni settori della roccia, la cui conformazione richiama profili molto stilizzati di antiche capanne (Figura 8).

Ma il segno più significativo è probabilmente costituito da una croce (Figura 9), molto consunta, incisa nell'estremità Nord-Est della pietra, al di sopra di tutta la superficie scolpita, il cui significato potrebbe essere molto probabilmente riconducibile a un messaggio di "damnatio memoriae" nei confronti delle pratiche idolotriche pagane.

La presenza della croce in funzione di cristianizzazione dei luoghi di culto "pagani" costituisce una costante nel panorama dei petroglifi dell'area alpina e trova un esplicito riferimento ai dettami dei concili di Arles (452), Tours (567), Toledo (681) che emanarono atti di condanna nei confronti degli "adoratori delle pietre".

A partire dai primi secoli del cristianesimo si assiste infatti a una incisiva e capillare operazione di "revisionismo", che trova con la apposizione della croce cristiana sulle pietre dei "santuari pagani", la propria massima e più evidente attestazione.

Dopo alcuni anni dal ritrovamento e dopo un notevole impegno divulgativo e di segnalazione del sito portata avanti dalla sezione CAI di Reggio Emilia e da Giuliano Cervi, presidente del Comitato Scientifico Centrale, nel 2022 sono riprese le attività di studio sia in corrispondenza della roccia 1 che nell'area del monte Lulseto.



Figura 2 – Il masso del Lulseto prima del lavoro di ripulitura - ph Giancarlo Sani



Figura 3 – Fase di ripulitura della grande roccia - ph Giancarlo Sani



Figura 4 – Pulitura della grande cospicua - ph Giancarlo Sani

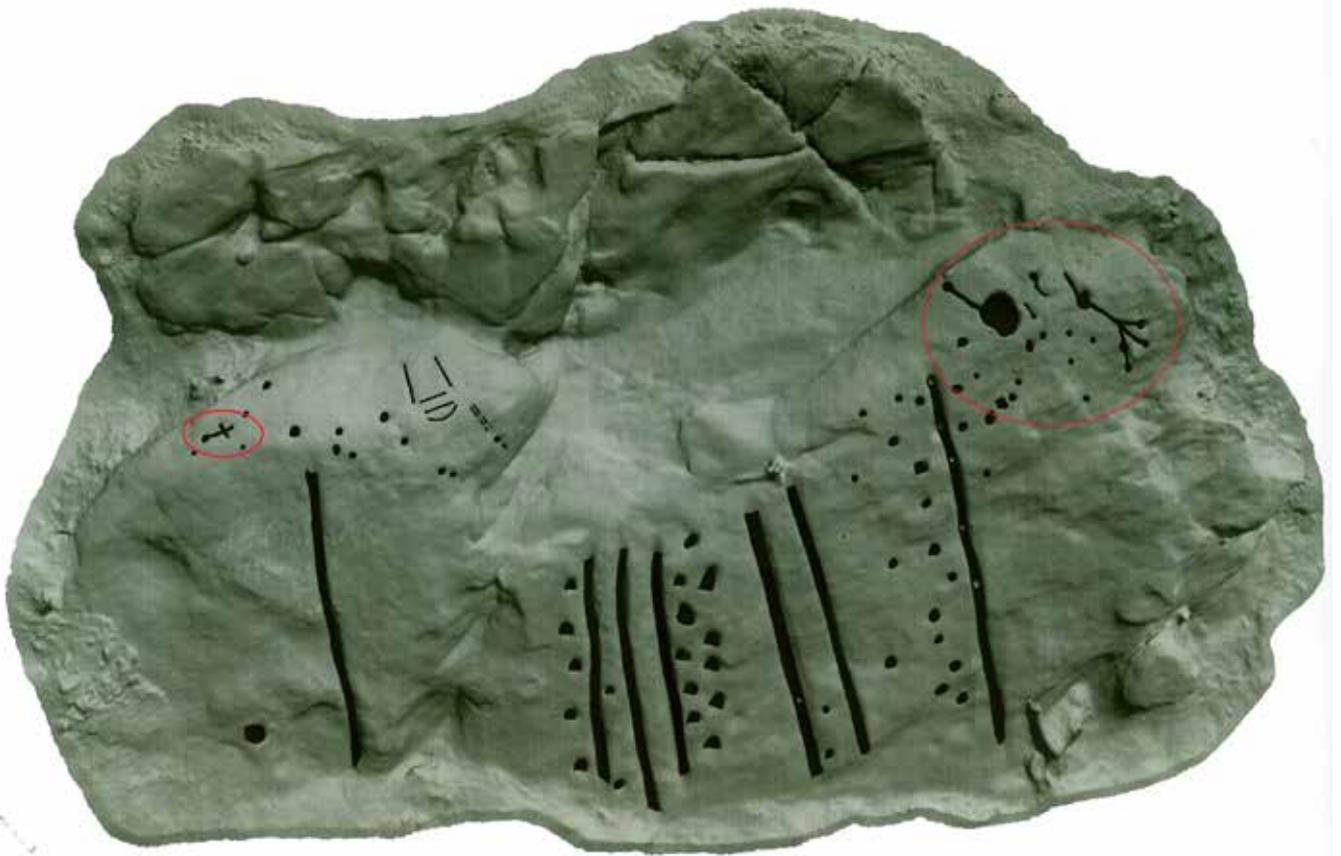


Figura 5 – rilievo del masso con evidenziata la distribuzione delle incisioni - UNIBO 2017



Figura 6 – La grande coppella con il canaletto che la unisce a un'altra coppella - ph Giancarlo Sani



Figura 7 – Sistema di coppelle e canaletti - ph Giancarlo Sani



Figura 8 – Un segno quadrangolare (capanna?) - ph Giancarlo Sani



Figura 9 – La croce di cristianizzazione - ph Giancarlo Sani

Le nuove ricerche

Data: 14 settembre 2022

Soci CAI partecipanti:

Carla Baragnani, Gianluca Bartolini, Giuliano Cervi, Giuse Pilastrì, Roberto Ronchetti, Giancarlo Sani

Data: 15 settembre 2022

Soci CAI partecipanti:

Giuse Pilastrì, Roberto Ronchetti, Giancarlo Sani

Data: 12 novembre 2022

Soci CAI partecipanti:

Miria Bellotti, Davide Arnaldi, Giovanni Fiori, Fabio Ligabue, Luca Negroni, Giuse Pilastrì, Anna Pratissoli, Roberto Ronchetti, Giancarlo Sani

Data: 13 novembre 2022

Soci CAI partecipanti:

Davide Arnaldi, Giuse Pilastrì, Giancarlo Sani

Tra i risultati raggiunti in questa seconda fase di indagine i più interessanti consistono nella individuazione nell'estremità settentrionale della superficie della roccia 1 di numerose altre coppelle di medie e piccole dimensioni, che inizialmente non erano state rilevate a causa di una notevole patina di liche-

ni che ricopriva tutta la superficie; in questa zona è inoltre stato evidenziato un ulteriore segno quadrangolare (Figura 10) e un nuovo segno cruciforme (Figura 11). In sede di sopralluogo si è inoltre sperimentalmente verificato che alcune cavità della roccia erano distribuite in modo regolare e funzionale a un loro utilizzo per facilitare la discesa o la salita lungo la superficie inclinata (Figure 12 e 13).



Figura 10 – Il segno quadrato individuato nella parte superiore della roccia - ph Giancarlo Sani

Si è inoltre proceduto a una completa documentazione fotografica del sito (Figura 15), a una accurata misurazione delle sette scanalature (lunghezza, larghezza e altezza), cercando anche di analizzarne le specificità, con l'aiuto di un microscopio portatile USB nell'intento di capire con quali strumenti fossero state realizzate. In base a questi approfondimenti si ritiene non sostenibile l'ipotesi che le solcature longitudinali siano riconducibili a una roccia utilizzata come scivolo della fertilità dato che l'esperienza in tal senso maturata in Toscana a sull'Arco Alpino, esclude che su di esse si svolgesse ritualità (vedi scheda 2). Si ritiene scartabile anche l'ipotesi che le scanalature avessero finalità mantiche e divinatorie e che al loro interno vi scorresse acqua o altri liquidi, cosa invece possibile per le coppelle unite da canaletti. Le ricerche sono inoltre state estese al territorio immediatamente contermina alla roccia 1, attenzionando in particolare altre superfici arenacee, parimenti caratterizzate da cavità coppelliformi che a un primo esame richiedono tuttavia ulteriori approfondimenti per verificarne l'origine naturale o antropica. Le esplorazioni si sono concentrate nel settore sommitale rivolto a Ovest del monte Lulseto, rilevando con GPS la posizione di tutte le situazioni di interesse, procedendo anche alla loro documentazione fotografica. In questa fase è inoltre stato individuato un masso, denominato: roccia 2 recante elementi incisi di probabile origine antropica, che lo rendono particolarmente significativo (Figura 14) a causa della presenza di coppelle di varie dimensioni unite da canaletti a zig/zag e l'incisione di un grande segno a V (vulva). La roccia si trova a circa cento metri prima della roccia 1, lungo la traccia di sentiero alla sua destra e in posizione sopraelevata (Figura 17). Nella stessa area di indagine è stata individuata una grande croce incisa su roccia situata nella parte più bassa di un sentiero e parzialmente nascosta (Figura 16). Questi nuovi ritrovamenti inducono a proseguire le ricerche in zona, rivolgendo anche particolare attenzione alla ricerca di ulteriori fonti (tradizioni, leggende e ricordi) che possano parlarci del vissuto più o meno recente nella zona del Monte Lulseto (vedi scheda 3).



Figura 11 – Le scanalature centrali con le "orme" per salire e scendere - ph Giancarlo Sani



Figura 12 – Il punto del nuovo cruciforme - ph Giancarlo Sani



Figura 13 – Risalita della roccia del Lulseto - ph Giancarlo Sani



Figura 14 – La roccia 2 del Lulseto - ph Davide Arnaldi

Considerazioni generali sulle incisioni

È nostra convinzione che l'approccio all'enigma, rappresentato dalle incisioni rupestri non figurative documentate nell'area alpina e altrove, debba avvenire necessariamente a partire dalla collocazione di queste nel territorio. Ove manchino le dirette associazioni a contesti archeologici, le quali sono peraltro molto rare, non vi è infatti altro riferimento certo che questo per cominciare a considerare un fenomeno così abbondante, diffuso tanto da rappresentare, ormai con assoluta certezza, un linguaggio popolare e universale del quale, tuttavia, abbiamo perso le chiavi di accesso.

L'affermazione non è tanto lapalissiana quanto potrebbe sembrare poiché quando si parla di collocazione nel territorio non ci si deve limitare ad

annotare un toponimo e delle coordinate ma si debbono estendere le considerazioni all'evoluzione storica di quel lembo di territorio, alla funzione, o alle funzioni, che questo ha avuto nel tempo, al ruolo che ha esercitato nella pluri-millennaria società agro-pastorale prima che essa scomparisse. Man mano si procede nel tempo, questa operazione diviene sempre più difficile poiché, con i vecchi che se ne vanno, muore la cultura, in genere tutta orale, dei luoghi, e pertanto le memorie più che affievolirsi si troncano.

Si perde così un indicatore preziosissimo poiché, come è stato sottolineato più volte e da più parti, le società rurali hanno a lungo mantenuto la loro connotazione preindustriale essendo rimaste nei gesti, nelle consuetudini, nelle frequentazioni, persino negli attrezzi del lavoro, fino a non molti decenni fa, quasi immutate, nei loro tratti essenziali, da millenni. Questo per spiegare la difficoltà da superare nello studio dei massi del Lulseto 1 e 2 con le loro coppelle e canaletti di unione.

Da subito si cercarono parametri di datazione, in quanto nella quasi totalità dei casi le coppelle si trovano a cielo aperto senza collegamento con alcun elemento archeologico che possa provarne una datazione certa. Le incisioni rupestri dette coppelle sono rimaste a lungo un fenomeno affrontato dalla maggioranza degli studiosi malvolentieri e spesso disdegnato, tanto che le coppelle vennero inglobate in una specie di archeologia minore. Dal 1800 a oggi, molte sono le interpretazioni date: giochi su tavola, passatempi oziosi da parte dei pastori, mappature del territorio, mappe stellari, contenitori di lumi, contenitori per offerte, crogioli per fondere metalli, raccoglitori di sangue, essiccatoi per *Amanita muscaria* da cui ricavare agenti allucinogeni, ecc. A nostro avviso, la motivazione dell'esecuzione delle coppelle riconduce essenzialmente a due possibili varianti:

1. espressione culturale religiosa: culti del sole, della luna e delle stelle;
2. espressione magico rituale sciamanica: culti legati alla religiosità popolare, alla fertilità, alle acque, agli alberi, alla cima delle montagne, a riti sacrificali e a scopo taumaturgico.

Molte coppelle vennero eseguite con ogni probabilità, con intenti esclusivamente collegati alle divinità adorate e temute, trasformando in luoghi sacri determinate località, ben esposte al sole, quasi sempre sopraelevate e dove la natura forniva acqua in abbondanza e ameni orizzonti (Figura 18).

In altri casi, secondo la nostra opinione, la coppella non è da ritenersi il risultato di una micro-escavazione fine a se stessa, ma condotta allo scopo di procurarsi parte del minerale pietroso a uso taumaturgico. È questa l'ipotesi che vogliamo portare all'attenzione degli studiosi e appassionati delle incisioni rupestri del territorio della Val Tassarò sul significato delle coppelle e canaletti presenti sulle rocce esaminate (Figura 19).



Figura 15 – I ricercatori Ronchetti, Sani e Cervi (da sinistra) in fase di documentazione fotografica - ph Giancarlo Sani



Figura 16 – La profonda croce scoperta - ph Giancarlo Sani



Figura 17 – Il ricercatore Arnaldi documenta dall'alto il sito - ph Giancarlo Sani

Coppelle taumaturgiche

La "coppella" non è più da ritenersi come eseguita per realizzare una forma geometrica con riferimenti a divinità zoomorfe, antropomorfe o astrali, ma è il risultato di una operazione per procurarsi la polvere di quella determinata roccia, che si ritiene possieda poteri straordinari, sia per la guarigione tramite determinati medicinali, sia come amuleto per richiedere la protezione per se stessi e i propri animali, dal luogo considerato sacro da cui il minerale proviene, compresi alcuni luoghi di culto cristiani ancora in epoche molto recenti (chiese e cimiteri di inizio '800). In questa categoria a nostro avviso, vanno anche incluse le tante coppelle unite tra di loro da canaletti, dove il liquido (acqua, sangue o altro) che si faceva scorrere tra una coppella e l'altra servendosi proprio dei canaletti, veniva a sua volta considerato sacro, perché messo a contatto di una roccia considerata "sacra", oppure situata in un luogo considerato "sacro".

Per fare un semplice esempio, possiamo paragonare questa sacralità a quella dei pellegrini che oggi si recano a Lourdes e poi ritornano a casa con l'acqua "sacra" del luogo, usandola poi in vari modi: bevendola contro i malesseri della persona, cospargendola per tener lontano dalla propria abitazione il "male". Non è forse questo un uso taumaturgico di un elemento, in questo caso l'acqua, molto simile a quello adottato in tempi precristiani e giunto poi fino ai giorni nostri? (Figura 21).

Concludiamo questa prima disamina delle rocce del Lulseto 1 e 2 con due immagini: la figura ornitomorfa e la prova dello scorrimento dell'acqua (Figure 22 e 23).

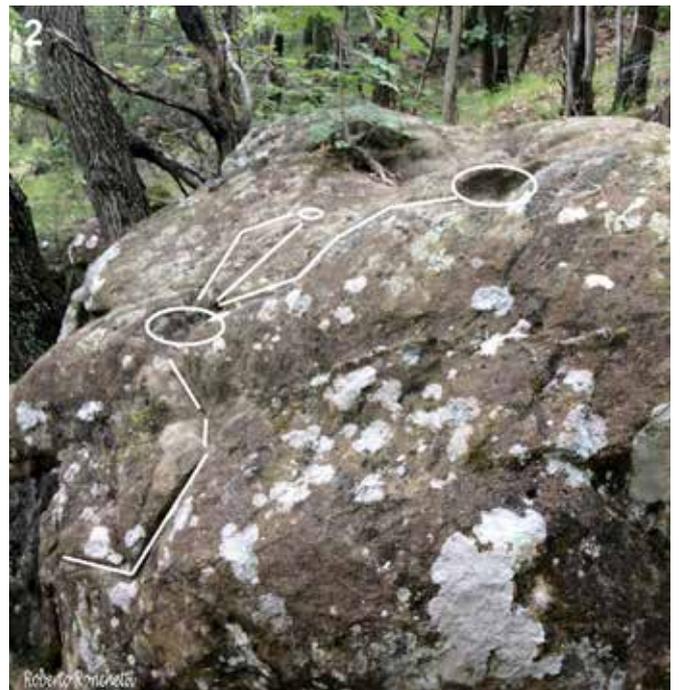


Figura 18 – La roccia 2 con l'elaborazione delle principali incisioni - ph R. Ronchetti



Figura 19 – Visione generale della roccia 2 - ph Giancarlo Sani



Figura 20 – Particolari delle principali incisioni - ph Giancarlo Sani



Figura 21 – Panoramica della zona coppellata del masso del Lulseto - ph Giancarlo Sani



Figura 22 – La figura ornitomorfa - ph Giancarlo Sani



Figura 23 – La prova dello scorrimento di acqua - ph Giancarlo Sani

Le schede

Scheda 1: Osservazioni sulle sette scanalature

Una ricerca accurata ha portato alla conclusione che non è stato individuato nessun manufatto simile su tutto il territorio della nostra Penisola con cui fare confronti.

A un primo esame la cosa che immediatamente passa per la mente è che avessero un utilizzo pratico per fare scivolare qualcosa (?) verso valle.

Le foto dettagliate della nostra ricognizione del 12/13 settembre sono state visionate da Ausilio Priuli uno dei massimi esperti italiani dell'arte rupestre che ha confermato questa impressione di un uso pratico, finalizzato a far scorrere qualcosa di molto pesante a valle nonché la datazione, certamente storico-moderna.

Tutti i canali finiscono sfumati prima della fine attuale della roccia.

La visione di alcune foto eseguite con il microscopio usb della superficie interna dei solchi ha confermato che sono stati realizzati con uno scalpello e successivamente lisciati dallo scorrere di qualcosa al loro interno o in altro modo.

Poiché con tali manufatti veniva superato solo un breve salto roccioso, una delle poche spiegazioni possibili è che venisse trasportato qualcosa di molto pesante in linea diretta da una quota superiore, come già suggerito da Priuli.

Non siamo convinti che dentro i canali potesse scivolare materiale pesante ma pensiamo che potessero ospitare qualcosa (legni?) utilizzato per favorire una calata (tipo le lizze per il marmo delle Alpi Apuane).

Da qui la necessità di esplorare la parte superiore e inferiore del bosco e delle rocce per vedere se esistono tracce in merito e un punto di partenza e d'arrivo.

Si è notato che i canali non sono dritti come sembrano a una prima occhiata ma presentano andamento sinusoidale anche se di pochi mm/cm.

La lunghezza dei canali misura da oltre 5 m a circa 3 – 4 m; l'altezza del solco oscilla da 4 a 6 cm; la larghezza oscilla tra 8 e 12 cm.

Scheda 2: Le rocce della fertilità

Le ricerche condotte in merito alle testimonianze petroglifiche presenti in area alpina, schiudono un ulteriore scenario interpretativo per la pietra del Lulseto: quello del "masso della fertilità". In numerose località alpine, infatti, sino a tempi relativamente recenti, si assiste al perpetuarsi dell'antichissimo rito dello "scivolo della fertilità".

Questi scivoli, ampiamente diffusi in zone celtiche, fino a tempi piuttosto recenti venivano usati dalle donne desiderose di procreare e il rito consisteva nel lasciarsi scivolare su particolari rocce (glissade) che col passare dei secoli sono diventate lisce lungo il tracciato utilizzato.

Nei dintorni della Val d'Ayas si trovano scivoli a Us-sel, Machaby e Bard (accanto alle incisioni rupestri). Sotto la Chiesa dedicata ai S.S. Pietro e Paolo a Elvas, a Nord di Bressanone, una grande pietra ricca di coppelle si presenta usurata da centinaia e centinaia di scivolate o "frizioni" effettuate dalle donne contro la sterilità e le malattie.

Inutilmente la furia dei religiosi ha tentato di chiudere la fessura del grande masso della fertilità ubicato a fianco della chiesa dello Spirito Santo a Predoi, in Val Aurina. Fino a pochi anni fa le donne della valle vi strofinavano il ventre, così come scivolavano sulla pietra presente nell'importante sito archeologico di Castelfeder a Ora.

Soltanto che qui una mano ha inciso una croce, allontanando riti e miti pericolosi. Le donne desiderose di prole si lasciavano infatti scivolare lungo queste rocce, ben identificate e scelte per il loro posizionamento.

Nella antica società rurale è sempre stato altissimo il bisogno di figli che rafforzassero la capacità produttiva della famiglia patriarcale; la fertilità delle donne è pertanto stata concepita come vera e propria "produzione": di qui l'importante valore del rito religioso assegnato alla domanda di figli rivolto alle divinità o panteisticamente alle forze naturali prima e poi in epoca cristiana alla madre per eccellenza: la Madonna.

È emblematica la ritualità del gesto dello scivolo sulla roccia: esso esprime il compartecipato contatto diretto con la dea madre per eccellenza: la Madre Terra, qui espressa dalle sue più forti manifestazioni, ovvero le rocce.

(Testo tratto da un articolo di Giuliano Cervi)

Scheda 3: Il diavolo di Crovara

Su una parete esterna della chiesa di Crovara è murata una scultura della stessa roccia scura del Lulseto. La chiamano "il diavolo", ma più che le corna sembra avere due orecchie e, nell'insieme, somiglia a un orso.

Silvia, una signora di Felina che ha vissuto da quelle parti da bambina, ricorda:

"Raccontava don Angelo (che veniva spesso a casa mia insieme a don Giorgio e don Raimondo), che quella l'aveva portata giù lui. Ma da lassù, dove c'erano le canalette... Non era qua dal castello, era lassù. Diceva anche che avevano portato via moltissimi reperti storici, da lassù in cima, quin-

di lui è andato, ha trovato quella, l'ha portata giù e l'ha fatta murare sulla chiesa. Di quello ne sono sicura perché ce l'aveva detto lui..."

Tutto ciò è molto interessante, perché la dea etrusca Hortia, o Nortia, era rappresentata, in alcuni casi, come un'orsa con un piccolo in braccio. E ad Artemide era sacra l'orsa, anzi... In origine, era essa stessa un'orsa, la temibile "Signora delle belve" (Potnia theron) detta anche Hortia. C'è chi parla di sabba delle streghe sul Lulseto, ma forse era solo un modo per tenere lontano i bambini dai posti pericolosi.

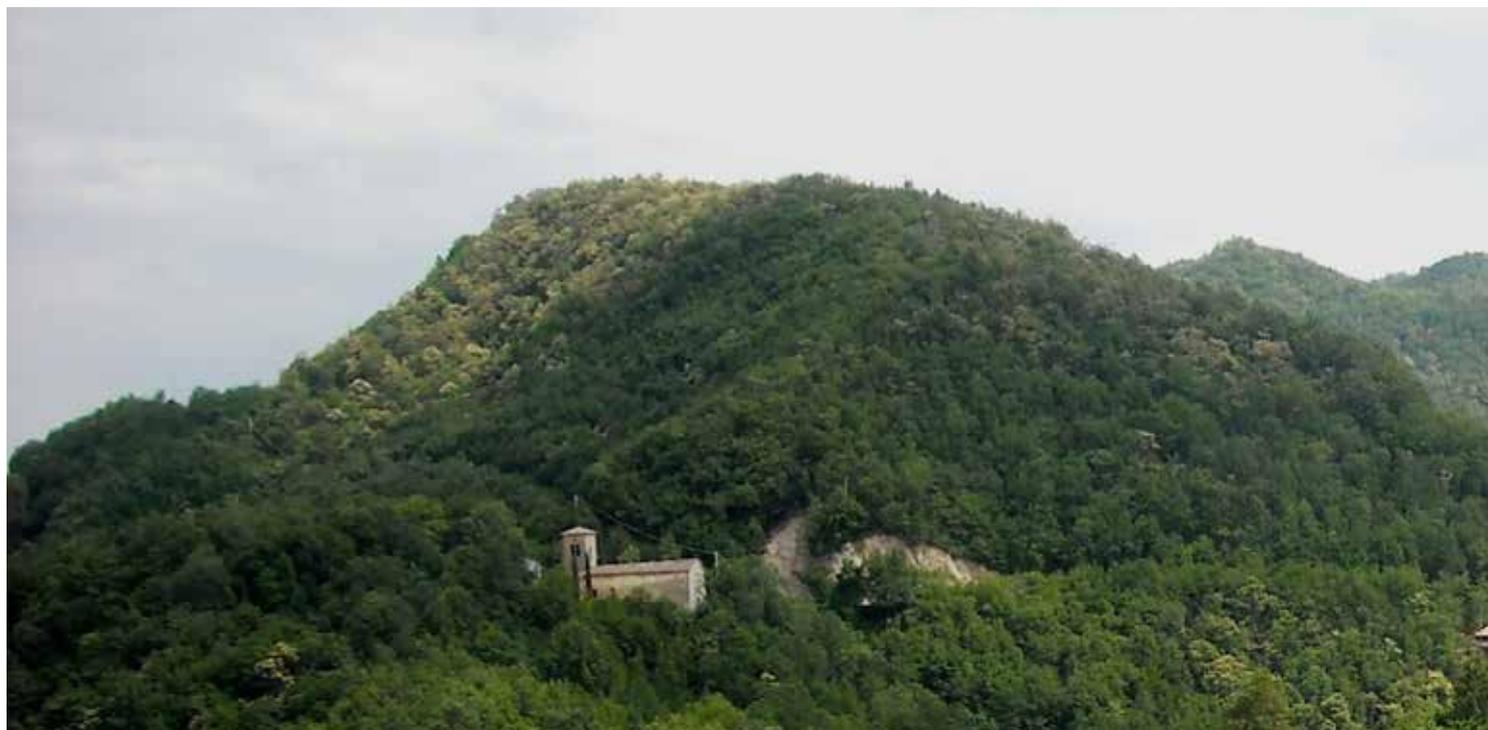
Certo, l'incisione di una croce "di cristianizzazione" sul masso indica che lassù si tenevano culti pagani, poi a fatica sradicati dal cristianesimo; un luogo dove cresceva una pianta resistente al fuoco, con la quale gli sciamani o le sacerdotesse costruivano le scope usate per aspergere l'acqua della sorgente sui partecipanti ai riti.

(Testo tratto da un articolo di Normanna Albertini)

Scheda 4: Le coppelle

Nel panorama delle incisioni a coppelle del Verbano-Cusio-Ossola si incontrano con una certa frequenza delle incisioni con canaletti che terminano ai bordi dei massi avendo prima interconnesso delle coppelle o collegandosi con depressioni nella roccia, oppure ancora delle coppelle da cui si diparte un breve canaletto o uno "svaso", che "scarica" al bordo. Per questi petroglifi si può ipotizzare la funzione di convogliamento di liquidi; a volte (se l'erosione che "abbassa" la superficie del masso e rende più labili incisioni o naturali depressioni presenti lo permette) si può verificare l'ipotesi versando un poco di acqua e seguendone il percorso, altrimenti la funzione si può semplicemente intuire. Saranno espressioni di un culto o semplicemente un gioco?

Nel 2010, uno tra i maggiori archeologi rupestri a livello mondiale: l'austriaco Robert G. Bednarik, specialmente attivo in Australia, affronta il problema del significato delle incisioni coppelliformi e raccoglie ben 71 interpretazioni suddivise in 11 argomenti:



1. *Rituali di culto o di magia non specificati o specificati*
2. *Preparazione di sostanze per utilizzi vari*
3. *Dispositivi mnemonici o di archiviazione (calendari, elenchi di merci, ecc.)*
4. *Elementi dei sistemi di credenze (contenitori di sostanze, uso funerario, ecc.)*
5. *Rappresentazione di corpi celesti*
6. *Rappresentazione di elementi topografici*
7. *Giochi*
8. *Simbolismi che non sono più recuperabili (cabbale, messaggi)*
9. *Contenitori per offerte rituali*
10. *Simbolismi specifici*
11. *Altri scopi puramente utilitari (un'infinità di usi pratici, ad esempio: contenitori di olio, per illuminazione percorsi, altro...)*

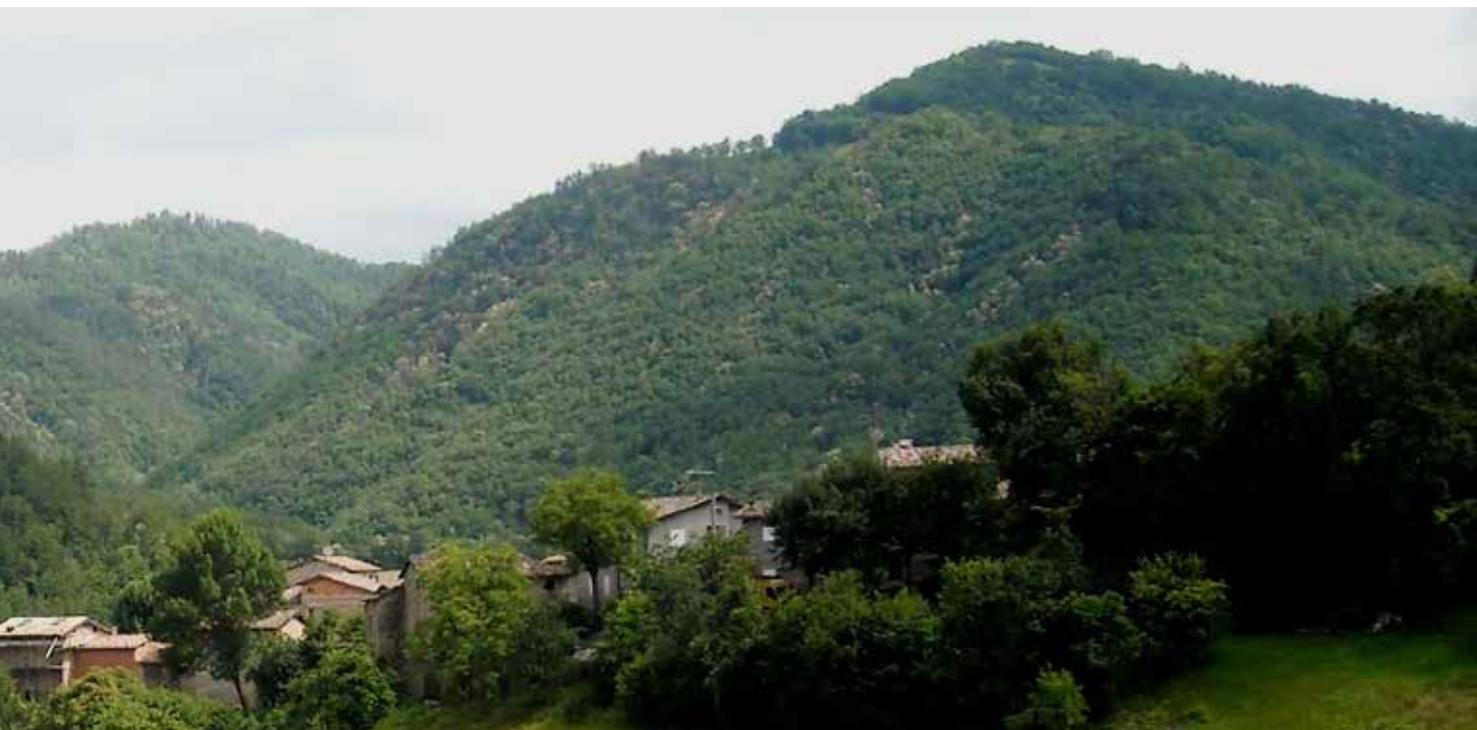
Tuttavia neppure il Bednarik privilegia qualcuna delle interpretazioni e di fatto, alla fine del suo saggio, ammette: "...tuttavia, possiamo osservare che, quando consideriamo le coppelle come una delle più semplici forme di arte rupestre, e constatiamo la nostra profonda incapacità di comprenderle – anche per quantificare efficacemente il corpus sopravvissuto finora, e gestirlo in modo completo e scientificamente corretto – iniziamo a debolmente comprendere la nostra accademica impotenza nel trattare con forme molto più complesse di arte rupestre o di altre arti paleolitiche di cui disponiamo oggi giorno.

Conveniamo tutti sul fatto che studi scientifici sull'arte rupestre sono infinitamente più complessi di quanto potessimo immaginare in precedenza e che richiederanno maggiori sforzi negli anni a venire...".

(Testo tratto da Antonio Biganzoli - *Massi coppellati e scorrimento liquidi* - 2023)

Bibliografia

- ALBERTINI N. (2022). *La Pietra incisa e la divinazione delle rocce*. TuttoMontagna
- BIGANZOLI A. (1998). *Il territorio segnato*. Museo del Paesaggio
- BIGANZOLI A. (2023). *Massi coppellati e scorrimento liquidi*. Museo del Paesaggio
- CERVI G. (2022). *La sacralità delle vette*. Montagne360
- COCCHI GENICK D. (2009). *Preistoria*. QuiEdit
- SANI G. (2009). *I segni dell'Uomo*. Edizioni dell'Acero
- SANI G. (2016). *La Memoria della Roccia*. Tra le Righe libri



INDICE PER ARGOMENTI

In questo indice si trovano tutti gli articoli pubblicati sui Bollettini CSC suddivisi per argomenti e con le indicazioni del Bollettino di riferimento e delle pagine.

ARCHEOLOGIA

CAMBIAMENTI CLIMATICI

FAUNA

GEOLOGIA, PALEONTOLOGIA, GEOMORFOLOGIA

GLACIOLOGIA, VULCANOLOGIA

PAESAGGIO

VEGETAZIONE

ALTRO

ARCHEOLOGIA

Autori e titolo	Bollettino	pagine
• HENRY DE SANTIS - <i>L'antropizzazione del comprensorio toiraneso tra preistoria e protostoria. Censimento e attualizzazione dello status quo delle grotte aventi tracce di frequentazione poste nel territorio di Toirano (SV)</i>	ottobre 2020	7-41
• GIUSEPPE BORZIELLO - <i>I siti mesolitici ai laghi del Colbricon nella catena dei Lagorai (Trentino orientale)</i>	ottobre 2020	43-67
• DIEGO ANGELUCCI, FRANCESCO CARRER - <i>Alpes - Un progetto di ricerca archeologica sulla pastorizia delle Terre Alte della Val di Sole</i>	aprile 2021	51-65
• ALFREDO NICASTRI - <i>La chiesa fortezza del Monte Bastiglia. Un insediamento medievale per il controllo e la difesa del territorio di Salerno</i>	aprile 2021	81-103
• DARIO SIGARI, ANGELO E. FOSSATI - <i>I cervidi nelle rocce - Primi risultati del progetto di ricerca sulle raffigurazioni dei cervidi nell'arte rupestre della Valcamonica</i>	ottobre 2021	25-41
• ANNA LOSI, MONICA MIARI - <i>Monte Sassoso - Un insediamento fortificato a controllo della valle del fiume Secchia</i>	ottobre 2021	75-83
• ANNA LOSI, MONICA MIARI - <i>Monte Sassoso - La seconda campagna di ricerca</i>	aprile 2022	81-91
• GIANCARLO SANI - <i>Le incisioni rupestri del Monte Prato Fiorito - Val di Lima - Toscana</i>	aprile 2022	103-121
• GIANCARLO SANI - <i>Le rocce dei Pennati - Sulle tracce delle rocce sacre dei Liguri Apuani sulle Alpi Apuane</i>	aprile 2023	93-105
• ENRICO CROCE, DIEGO E. ANGELUCCI, JACOPO ARMELLINI, FEDERICO CONFORTINI, FRANCESCO DORDONI, CHIARA ROSSI, DIEGO VENEZIANO, LAURA VEZZONI, STEFANIA CASINI - <i>Archeologia di montagna alle sorgenti del Brembo</i>	aprile 2023	11-29
• RACHELE DISCOSTI, STEFANO BERTOLA, CECILIA MILANTONI, MICHELANGELO MONTI, LORENZO URBINI, ROMINA PIRRAGLIA, MARCO PERESANI - <i>Il sito mesolitico di Comignolo sull'Appennino romagnolo - Ricerche, studi e prospettive di valorizzazione</i>	ottobre 2023	67-75
• ANNA LOSI, MONICA MIARI - <i>Primi sondaggi di verifica archeologica a Cà Bertacchi - Regnano (RE)</i>	ottobre 2023	77-87
• GIANCARLO SANI, GIULIANO CERVI - <i>Le rocce di Lulseto - Situate nell'Appennino reggiano, sono ciò che probabilmente rimane di un antico luogo di culto legato alla venerazione delle rocce</i>	aprile 2024	109-121

CAMBIAMENTI CLIMATICI

Autori e titolo	Bollettino	pagine
• GIOVANNA BARBIERI - <i>Monitoraggio climatico e atmosferico presso C.A.M.M. (Centro Aeronautica Militare di Montagna) di Monte Cimone. Sintesi della relazione tenuta dal Ten. Col. Antonio Vocino il 27 giugno 2020 al Giardino Botanico Esperia</i>	aprile 2021	31-37
• GIOVANNA BARBIERI - <i>Monitoraggio botanico di alcune specie target, possibili indicatrici di cambiamento climatico, al Monte Cimone. Report del primo anno del progetto</i>	aprile 2021	23-29
• GIOVANNA BARBIERI - <i>Monitoraggio botanico di alcune specie target, possibili indicatrici di cambiamento climatico, al Monte Cimone. Report del secondo anno del progetto</i>	ottobre 2022	59-75
• GIOVANNA BARBIERI, EDOARDO PINOTTI - <i>Monitoraggio botanico di alcune specie target, possibili indicatrici di cambiamento climatico, nell'area Groppo Rosso - Valle Tribolata - Ciapa Liscia - Appennino settentrionale (piacentino-genovese). Report del primo anno del progetto</i>	ottobre 2022	77-83
• GIOVANNA BARBIERI - <i>Monitoraggio botanico di alcune specie target, possibili indicatrici di cambiamento climatico, al Monte Cimone. Report del terzo anno del progetto con focus sul Geranium argenteum</i>	aprile 2023	45-61
• PAOLO BONASONI, LUCA FREZZINI, SILVIO DAVOLIO, GUIDO NIGRELLI, PAOLO VINCENZO FILETTO, GIAN PIETRO VERZA - <i>Rifugi montani sentinelle del clima e dell'ambiente - Un progetto CAI-CNR che si estende dalle Alpi al Mediterraneo</i>	aprile 2022	9-17
• GUIDO NIGRELLI, MARTA CHIARLE - <i>Temperature in aumento nell'ambiente periglaciale alpino - Evoluzione nel periodo 1990-2020</i>	aprile 2022	45-51
• CLAUDIO SMIRAGLIA, DAVIDE FUGAZZA, GUGLIELMINA DIOLAIUTI - <i>Continua inarrestabile il regresso dei ghiacciai italiani e alpini. Le evidenze dei recenti catasti</i>	aprile 2021	7-21
• MARIO GOBBI, ROBERTO AMBROSINI, CHRISTIAN CASAROTTO, GUGLIELMINA DIOLAIUTI, GENTILE FRANCESCO FICETOLA, VALERIA LENCIONI, ROBERTO SEPPI, CLAUDIO SMIRAGLIA, DUCCIO TAMPUCCI, BARBARA VALLE, MARCO CACCIANIGA - <i>Ghiacciai in estinzione e crisi della biodiversità</i>	aprile 2022	53-65
• CLAUDIO SMIRAGLIA, GIANNI MORTARA - <i>Cambiamenti climatici e cambiamenti degli itinerari in alta montagna. Un'introduzione al tema</i>	ottobre 2023	11-27
• GIOVANNA BARBIERI, ELISA MARINO - <i>Cambiamenti climatici e piante officinali - Il caso della coltivazione della salvia comune (Salvia officinalis) e della lavanda vera (Lavandula angustifolia) al Giardino Botanico Esperia - Rifugio Sentinella del clima e dell'ambiente</i>	aprile 2024	59-65
• GIOVANNA BARBIERI, EDOARDO PINOTTI - <i>Monitoraggi botanici in Appennino settentrionale - Nell'ambito del progetto Rifugio Sentinella del clima e dell'ambiente con riferimento alle aree dell'Osservatorio CNR "O.Vittori" e del Rifugio Esperia</i>	aprile 2024	49-57
• GUIDO NIGRELLI, MARTA CHIARLE - <i>Il periodo climatologico normale 1991-2020 sulle Alpi - Un focus sull'ambiente di alta quota</i>	aprile 2024	11-21

FAUNA

Autori e titolo	Bollettino	pagine
<ul style="list-style-type: none"> • LUCA PELLICOLI - <i>Stambecchi (Capra ibex) sulle Alpi Orobie - Esperienza di Citizen Science nel triennio 2017-2019</i> 	aprile 2021	39-49
<ul style="list-style-type: none"> • MATTIA BRAMBILLA, DAVIDE SRIDEL, PAOLO PEDRINI - <i>Quale futuro per il fringuello alpino <i>Montifrigilla nivalis</i> sulle Alpi italiane?</i> 	ottobre 2021	17-23
<ul style="list-style-type: none"> • ALBERTO TARRONI, FABRIZIO FABBRI, GIOVANNA BARBIERI - <i>Biodiversità in ambienti in quota - Analisi della comunità macrozoobentonica del laghetto del Giardino Esperia (Passo del Lupo - Sestola - MO)</i> 	ottobre 2022	111-137
<ul style="list-style-type: none"> • ANTONIO GELATI - <i>Avvelenamento da piombo in fenicotteri rosa (<i>Phoenicopterus roseus</i>) rinvenuti nel Parco Regionale Veneto del Delta del Po</i> 	aprile 2023	31-37
<ul style="list-style-type: none"> • ANTONIO GELATI, MAURIZIO FERRARESI - <i>Radioattività e conservazione dell'Ambiente</i> 	ottobre 2023	61-65
<ul style="list-style-type: none"> • ANTONIO GELATI - <i>Come gli uccelli si proteggono dal freddo - Strategie, adattamenti posturali e anatomici per superare l'inverno</i> 	aprile 2024	77-83
<ul style="list-style-type: none"> • BENEDETTA ORSINI - <i>Il Camoscio più bello del mondo - Uomo e natura uniti da una storia di conservazione grazie alla quale, ancora oggi, è possibile ammirare camosci appenninici arrampicarsi sulle rocce e sui pendii innevati - <i>Rupicapra pyrenaica ornata</i></i> 	aprile 2024	85-97

GEOLOGIA

Autori e titolo	Bollettino	pagine
• MARIA TERESA CASTALDI - <i>Insediamiento estrattivo di lapis specularis nel Parco della Vena del Gesso romagnola in epoca romana</i>	ottobre 2020	69-113
• GIULIANO CERVI - <i>Rapporto tra costruito storico e assetto geomorfologico lungo il sentiero appenninico dei Ducati</i>	ottobre 2020	115-123
• LORENZA CAVINATO - <i>Val Imperina nel Parco Nazionale delle Dolomiti Bellunesi</i>	ottobre 2020	125-142
• ROSALDA PUNTURO, ROSANNA MANISCALCO, GIOVANNI CASSARINO - <i>La pietra pece di Ragusa, una roccia semplice che ha fatto molta strada</i>	ottobre 2021	55-73
• DOMENICO ARINGOLI, PIERLUIGI FERRACUTI, PIETRO PAOLO PIERANTONI, DOMENICO PISTONESI, ANGELO ROMAGNOLI - <i>Sorgenti e fonti d'alta quota del Parco Nazionale dei Monti Sibillini</i>	ottobre 2021	117-135
• MARCO BASTOGI - <i>Glacialismo nelle Alpi Apuane e nell'Appennino settentrionale - Le testimonianze</i>	ottobre 2022	85-101
• SONIA ZANELLA, ANDREA BAUCON, ENRICO COLLO, MICHELE PIAZZA - <i>La forma è sostanza - Scelte didattiche per l'aggiornamento degli ONC del CSR LPV</i>	ottobre 2022	103-109
• VALENTINA ALICE BRACCHI - <i>Pinna nobilis del torrente Stirone - Un archivio paleoclimatico e paleoambientale ancora inesplorato</i>	ottobre 2023	29-37
• FRANCESCO MARTELLI - <i>Le acque carsiche - Caratteristiche, utilizzo e rischi di inquinamento</i>	ottobre 2023	39-59
• MARCO BASTOGI - <i>Le palestre di roccia in Toscana - Una opportunità per svelare la geodiversità di una regione contraddistinta da un ricco patrimonio geologico</i>	ottobre 2023	99-139
• TIZIANO ABBÀ, ERIK UNTERPERTINGER - <i>Aspetti geologici del Col Quaternà in Comelico - Un percorso geologico nel Permiano superiore</i>	aprile 2024	67-75
• CIRO CERRONE - <i>Il surface uplift Quaternario dell'Appennino meridionale: stato dell'arte e risultati preliminari</i>	aprile 2024	77-85

PAESAGGIO

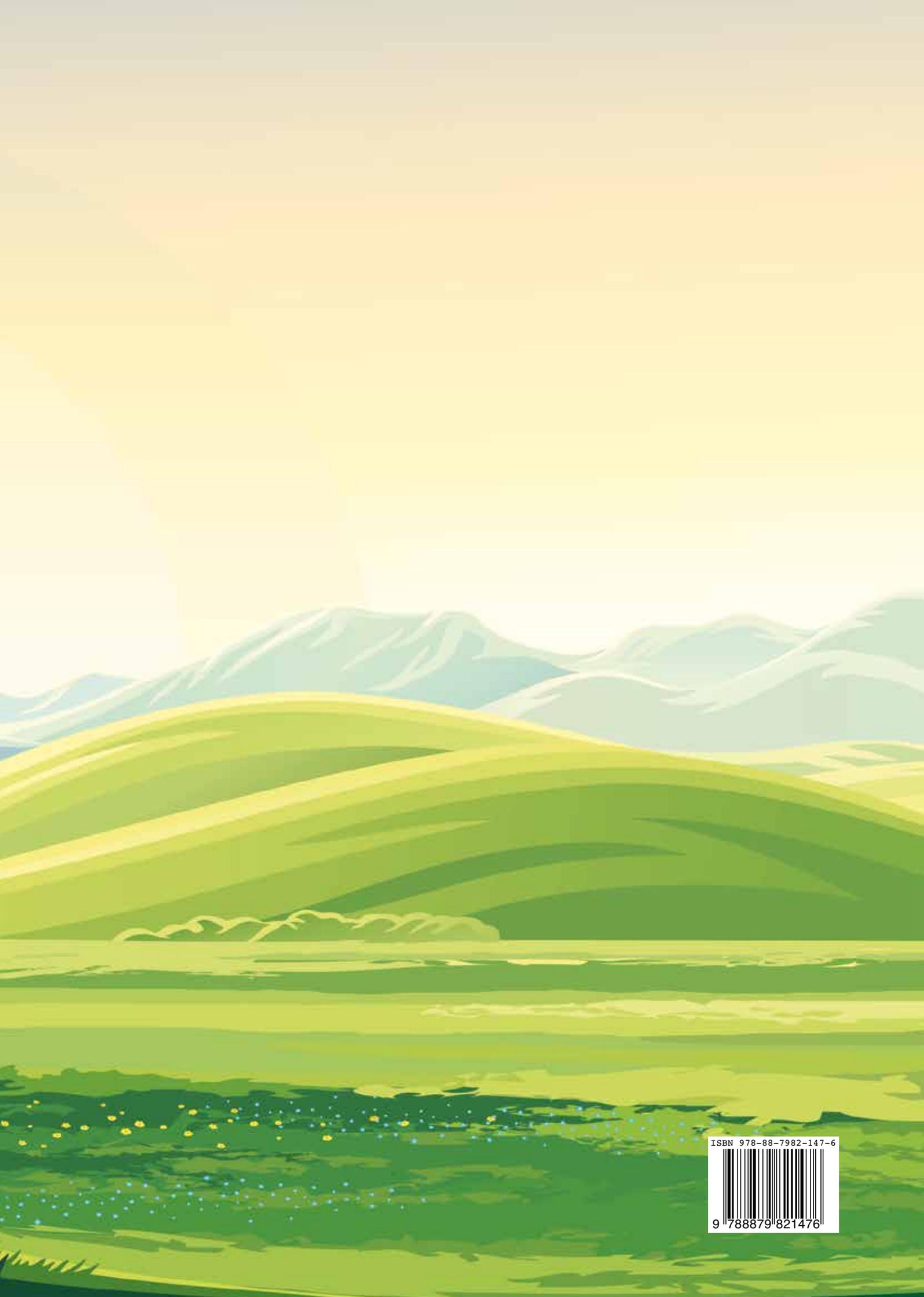
Autori e titolo	Bollettino	pagine
• GIULIANO CERVI - <i>Il paesaggio italiano - Il ruolo del Club Alpino Italiano nell'affermarsi in Italia del concetto di paesaggio, dai primordi dello Stato unitario all'articolo 9 della Costituzione</i>	aprile 2021	67-71
• ENZO GUZZONI - <i>Sentinelle di crinale - I termini di confine, serie 1828, fra Ducato di Parma e Granducato di Toscana</i>	ottobre 2021	43-53
• CARLO NATALI - <i>Territori di carta - Indicazioni di metodo per l'interpretazione dei luoghi</i>	ottobre 2021	93-115
• CARLO NATALI - <i>Centri storici e montagna toscana</i>	ottobre 2022	31-57
• ROBERTA PINI - <i>Fuoco, foreste e uomini: le trasformazioni del paesaggio cominciano nella Preistoria</i>	ottobre 2021	85-91
• ROBERTO DINI, CRISTIAN DALLERE, MATTEO TEMPESTINI - <i>Rigenerazione e riuso del patrimonio costruito alpino - Esperienze didattiche in Valdigne</i>	aprile 2022	67-79
• PIERO DONATI - <i>Il censimento delle maestà in Lunigiana</i>	aprile 2022	93-101
• LUCIANO MASETTI, FRANCESCO MENEGUZZO - <i>Il cielo naturale notturno</i>	aprile 2022	123-129
• MARIA CONTE - <i>V come Vajont, V come Vallesella - Risonanze di paesaggi lungo la Piave, tra hybris idraulica e resistenze</i>	ottobre 2022	19-29
• ENZO GUZZONI - <i>Sentinelle di crinale, alla ricerca di antiche testimonianze - I termini di confine, serie 1823 - Tra Ducato di Parma e lo Stato Sardo</i>	ottobre 2023	89-97

VEGETAZIONE

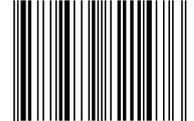
Autori e titolo	Bollettino	pagine
<ul style="list-style-type: none"> FEDERICA ZABINI, FRANCESCO MENEGUZZO - <i>Terapia Forestale: efficace per la salute umana ma a certe condizioni. Ricerca congiunta CNR, CAI, CERFIT per il riconoscimento della Terapia Forestale quale medicina complementare</i> 	aprile 2021	73-79
<ul style="list-style-type: none"> ANDREA PIOTTI, CAMILLA AVANZI - <i>Alla scoperta delle abetine dell'Appennino Tosco-Emiliano</i> 	aprile 2022	21-31
<ul style="list-style-type: none"> GIULIANO BONANOMI - <i>Il limite superiore del bosco in Appennino</i> 	aprile 2022	33-43
<ul style="list-style-type: none"> ANNA CORLI, RITA BARALDI, LUISA NERI - <i>I composti organici volatili biogenici e i loro effetti sulla salute umana durante i percorsi di Terapia Forestale</i> 	aprile 2023	39-43
<ul style="list-style-type: none"> FULVIO DUCCI - <i>Gli antichi rifugi glaciali degli alberi forestali nell'Appennino settentrionale</i> 	aprile 2023	63-91
<ul style="list-style-type: none"> GIULIANO BONANOMI, EMILIA ALLEVATO, GIANDOMENICO AMOROSO, FRANCESCA BELLUCCI, ALFREDO NICASTI, MOHAMED IDBELLA - <i>Ricostruzione della storia della vegetazione di alta quota del Monte Cervati, del Gran Sasso e di Campo Imperatore mediante analisi pedoantracologica e del DNA antico - Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente</i> 	aprile 2024	23-35
<ul style="list-style-type: none"> DEBORA BAROLIN, GUIDO TEPPA - <i>La vegetazione del bacino glaciale della Bessanese - Contributo alla conoscenza della colonizzazione vegetale di un'area glaciale nelle Alpi Graie - Rifugio Gastaldi - Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente</i> 	aprile 2024	37-47

ALTRO

Autori e titolo	Bollettino	pagine
• GIULIANO CERVI - <i>I 90 anni del Comitato Scientifico Centrale - Un lungo cammino tra passato e futuro all'insegna dell'etica delle montagne e delle nuove sfide nelle Terre Alte</i>	ottobre 2021	9-10
• MAURO VAROTTO - <i>Dall'Excelsior al Paulo Infra - Trent'Anni del Gruppo Terre Alte</i>	ottobre 2021	11-13
• GIOVANNI MARGHERITINI - <i>La questione "Terapia Forestale" all'interno del CAI</i>	ottobre 2022	9-15



ISBN 978-88-7982-147-6



9 788879 821476