



CLUB ALPINO ITALIANO

IL BOLLETTINO

**COMITATO SCIENTIFICO CENTRALE
PERIODICO DI DIVULGAZIONE SCIENTIFICA**

OTTOBRE 2025





CLUB ALPINO ITALIANO

IL BOLLETTINO

COMITATO SCIENTIFICO CENTRALE
PERIODICO DI DIVULGAZIONE SCIENTIFICA

OTTOBRE 2025





CLUB ALPINO ITALIANO
Via Petrella, 19 - 20124 Milano

COMITATO SCIENTIFICO CENTRALE

© 2025 - CAI - Comitato Scientifico Centrale

ISBN 978 88 7982 169 8

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. Marco Peresani dell'Università di Ferrara - Dipartimento Studi Umanistici: Scienze Preistoriche e Antropologiche; la prof.ssa Valentina Oliveri dell'Università di Catania - Dipartimento di Scienze Chimiche; il prof. Giuliano Bonanomi dell'Università Federico II di Napoli - Dipartimento di Agraria; il prof. Adriano Stinca dell'Università della Campania "Luigi Vanvitelli"- Dipartimento di Scienze e Tecnologie Ambientali Biologiche e Farmaceutiche; il prof. Marco Giardino dell'Università di Torino - Dipartimento di Scienze della Terra.

Pubblicato sul sito www.csc.cai.it in ottobre 2025
in pdf scaricabile gratuitamente



COMITATO SCIENTIFICO CENTRALE (periodo 2023 - 2025)

Presidente

Vice presidente

Componenti

Segretario esterno

Referenti CC e CDC

- Consigliere centrale

- Componente CDC

Piero Carlesi

Luca Pellicoli

Milena Merlo Pich

Luigi Iozzoli

Francesco Meneguzzo

Marco Peresani

Giovanni Margheritini

Antonino Gullotta

Ivano Rodighiero

Mario Vaccarella



SOMMARIO

7 EDITORIALE

ARTICOLI SCIENTIFICI

- 11 Milena Merlo Pich, Giuliano Cervi, Furio Finocchiaro, Marco Peresani, Rachele Discostii, Matteo De Lorenzi, Vincenzo Abbate, Gabriele Borghetti, Ivan Borroni, Giuseppe Borziello, Gioia Bossi, Marco Cabbai, Maria Teresa Castaldi, Sonia Glera, Marco Menichetti, Alfredo Nicastri, Carlo Natali, Sandro Tripedi, Valentina Oliveri, Sonia Zanella, Francesco Riga, Paolo Montanaro, Alessio Piccioli, Piero Carlesi
Il progetto di *Citizen Science* del Comitato Scientifico Centrale su aspetti naturalistici, culturali e antropologici di alcune tappe del Sentiero Italia CAI - Primi risultati del progetto pilota e proposte per il futuro
- 25 Claudio Smiraglia, Antonella Senese, Michele Di Biase, Roberto Ambrosini, Roberto Sergio Azzoni, Daniele Bocchiola, Giuseppe Cola, Massimo Favaron, Davide Fugazza, Daniela Marzano, Stefano Morosini, Luca Pedrotti, Giovanni Prandi, Riccardo Scotti, Andrea Toffaletti, Michele Zucali, Manuela Pelfini, Guglielmina Adele Diolaiuti
Sentieri effimeri: gli itinerari glaciologici fra scienza e divulgazione
[DOI:10.82056/cai.2025.10_01](https://doi.org/10.82056/cai.2025.10_01)
- 45 Vanessa Bianchi
Variazioni della vegetazione di pascolo nelle Alpi Marittime in un contesto di cambiamento climatico - Un monitoraggio ventennale (2003-2024)
- 57 Vanessa Bianchi
**Changes in pasture vegetation in the Maritime Alps in a scenario of climate change
A 20-year monitoring (2003-2024) - [DOI: 10.82056/cai.2025.10.02](https://doi.org/10.82056/cai.2025.10.02)**
- 69 Francesco Mantelli
Le acque in montagna e nelle aree remote - Linee generali per l'utilizzo a scopo potabile
[DOI: 10.82056/cai.2025.10_03](https://doi.org/10.82056/cai.2025.10_03)
- 99 Enzo Guzzoni, Valeria Orlandini
Viaggio lungo il confine tra il Ducato di Parma e lo Stato Sardo - Ricerca di antiche testimonianze (terza parte)

INDICE PER ARGOMENTI

EDITORIALE

Cari Soci e Socie del Club Alpino, cari appassionati, studiosi e ricercatori dell'ambiente montano, delle nostre Terre alte, ecco un nuovo numero del Bollettino del Comitato Scientifico Centrale del Club Alpino Italiano, uno strumento che non ho difficoltà a definire come un fiore all'occhiello della nostra attività, testimone e cronista di quanto al centro e nei territori si sta realizzando sul fronte della ricerca naturalistica, storica e ambientale.

Questo numero si apre con una prima relazione scritta a più mani sulle ricerche naturalistiche effettuate dai soci volontari di molte regioni del Paese su alcune tappe del Sentiero Italia che ci sono state individuate da apposito gruppo di lavoro e dalla Struttura operativa Sentieri e opere alpine (Sosec). E' stato un lavoro duro e impegnativo che ha coinvolto moltissimi soci (citizen science) coordinati da nostri esperti sotto la guida di Milena Merlo Pich e da i coordinatori per fauna, flora, geologia, antropologia e archeologia e che si è svolto nell'estate del 2024, i cui costi sono stati finanziati da appositi fondi pervenuti dal Ministero del turismo (Progetto Pei n. 4). Tutti i dati relativi alle tappe in questione caricati su apposite App per essere poi fruibili da chi percorre il SI sono stati verificati e validati anche da ISPRA, istituto con il quale abbiamo sottoscritto apposita convenzione che non mancherà di essere utile anche in futuro. A questo proposito mi preme ringraziare, oltre alla già citata Milena, i presidenti dei Comitati scientifici regionali sui cui territori sono state individuate le tappe da rilevare: il loro prezioso lavoro di coordinamento e di individuazione dei soci inviati a camminare e a osservare ogni elemento utile nel corso delle tappe è stato fondamentale e ha dimostrato ancora una volta l'importanza di avere sul territorio soci esperti, disponibili ed entusiasti, nostri titolari ONC e ONCN. La lettura del lungo articolo, un primo sommario bilancio del lavoro svolto, dà certamente un'idea già sufficientemente chiara di come si è operato.

Concludo dicendo che sono molto orgoglioso di questo lavoro svolto nel 2024 di cui ora riusciamo a trarre le prime conclusioni perché ha fortemente caratterizzato l'attività di tutto il Comitato Scientifico

Centrale che proprio ora tira i remi in barca per la fine del mandato triennale e quindi anche della mia Presidenza, impegno che ho avuto l'onore e l'onere di seguire e portare avanti con entusiasmo, grazie alla collaborazione dell'intera squadra del Comitato estesa al nostro Segretario Antonino Gullotta.

Mi sono dilungato un po' nel presentare il primo lavoro, ma non voglio certo sottacere sull'importanza anche degli altri articoli, a partire dai cosiddetti sentieri effimeri, ossia gli itinerari glaciologici, un testo anche questo scritto a più mani, ma dove emerge la firma di un mio predecessore Presidente del Comitato e noto glaciologo come Claudio Smiraglia. Il testo, con molte foto, risulta una testimonianza e anche un avvertimento di come a causa del cambio climatico questi itinerari stiano subendo una continua e inarrestabile modifica che può trasformare itinerari medio facili in inaccessibili o comunque pericolosi.

Il cambio climatico è protagonista anche dell'articolo successivo sulle variazioni della vegetazione di pascolo nelle Alpi Marittime della ricercatrice Vanessa Bianchi del CAI di Pinerolo. Il testo è ricchissimo di dati, tabelle e fotografie.

Il Bollettino presenta poi un testo didattico sulle "Acque in montagna e nelle aree remote" firmato da Francesco Mantelli, del Comitato scientifico toscano. Come comportarsi quando si trova una fonte o un ruscello in montagna? L'acqua sarà potabile? L'articolo fornisce molte informazioni al riguardo, con tabelle e foto.

La chiusura è affidata a un articolo che racconta di un viaggio lungo il confine tra il Ducato di Parma e lo Stato Sardo, a firma di Enzo Guzzoni e Valeria Orlandini, entrambi titolari del Comitato Scientifico. Il testo è la continuazione di precedenti "viaggi" lungo il confine già pubblicati nei numeri precedenti del Bollettino.

Concludo così con un saluto cordiale e sincero i lettori che con benevolenza hanno voluto seguire le cronache del nostro Comitato Scientifico attraverso le pagine del Bollettino. I ringraziamenti invece vanno a tutti i collaboratori-autori che hanno impreziosito queste pagine con le relazioni delle loro ricerche,

ai docenti che hanno compiuto il referaggio dei testi, a tutto il Comitato scientifico che mi ha supportato in questo triennio non facile, ma soprattutto a Giovanni Margheritini, vero regista, coordinatore e anche grafico di questa pubblicazione che, con la sua opera volontaria, ha contribuito a consolidare, confezionando puntualmente ogni sei mesi, un prodotto, gradevole, interessante e unico che ha reso palese il lavoro molto spesso poco noto, ma sicuramente di grande spessore, del Comitato Scientifico Centrale e a cascata, dei Comitati scientifici regionali, interregionali e sezionali di cui il nostro Club Alpino Italiano è orgoglioso di avere.

Da ultimo vi segnalo che da questo numero del Bollettino ad alcuni articoli di grande rilevanza scientifica sono stati assegnati codici DOI (*Digital Object Identifier*), che consentono l'identificazione, la citazione e l'accesso persistente al testo favorendone così una molto più ampia diffusione, non limitata quindi al solo nostro Bollettino.

Piero Carlesi
Presidente del Comitato Scientifico Centrale
del Club Alpino Italiano

ARTICOLI SCIENTIFICI



Faticosa salita al Rifugio Merelli sul Coca nelle Orobie bergamasche - ph Luca Bonfà

Il progetto di *Citizen Science* del Comitato Scientifico Centrale su aspetti naturalistici, culturali e antropologici di alcune tappe del Sentiero Italia CAI

Primi risultati del progetto pilota e proposte per il futuro

di Milena Merlo Pich⁽¹⁾, Giuliano Cervi⁽¹⁾, Furio Finocchiaro^(1, 6), Marco Peresani^(1, 3), Rachele Discosti^(1, 3), Matteo de Lorenzi^(1, 3), Vincenzo Abbate^(2, a), Gabriele Borghetti^(2, b), Ivan Borroni^(2, c), Giuseppe Borziello^(2, d), Gioia Bossi^(2, e), Marco Cabbai^(2, d), Maria Teresa Castaldi^(2, b), Sonia Glera^(2, e), Marco Menichetti^(2, f), Alfredo Nicastri^(2, g), Carlo Natali^(2, h), Sandro Tripepi^(2, i), Valentina Oliveri^(2, i), Sonia Zanella^(2, c), Francesco Riga⁽⁵⁾, Paolo Montanaro⁽⁵⁾, Alessio Piccioli⁽⁴⁾, Piero Carlesi⁽¹⁾

1. CAI - Comitato Scientifico Centrale (componenti e/o esperti coordinatori di settore)
2. CAI, Presidenti CSR ER 2024 coinvolti nel progetto, in ordine alfabetico (a: CSR Lazio; b: CSR Emilia Romagna; c: CSR LPV; d: CSR VFG; e: CSR Lombardia; f: CSR Umbria/Marche; g: CSR Campania; h: CSR Toscana; i: CSR Calabria; l: CSR Sicilia)
3. Università di Ferrara, Dipartimento di Studi Umanistici, Sezione di Scienze Preistoriche e Antropologiche
4. SOSEC, Struttura Operativa Sentieri e Cartografia. Referente: Alessio Piccioli. Collaboratori tecnici: Gennaro Manzo e Marco Barbieri. Referente per piattaforma SICAI: Lorenzo Bassi
5. ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Dipartimento per il Monitoraggio e la Tutela dell'Ambiente e per la Conservazione della Biodiversità (Direttore Dott. Luigi Ricci).
6. Università di Trieste, Dipartimento di Matematica, Informatica e Geoscienze

Riassunto

Il Consiglio Direttivo Centrale del Club Alpino Italiano negli ultimi anni sta rilanciando uno dei sentieri escursionistici più lunghi d'Europa coi suoi quasi 8000 km, il Sentiero Italia CAI (SICAI) e ha chiesto ai vari Organi Centrali di collaborare per fornire, in modo coordinato e dettagliato, servizi e informazioni sentieristiche e logistiche agli escursionisti. Il Comitato Scientifico Centrale (CSC) ha colto l'invito proponendo un progetto pilota di *Citizen Science* che ha coinvolto a livello territoriale diversi Comitati Scientifici Regionali coi loro titolari, gli Operatori Naturalistici e Culturali, gli esperti e i soci appassionati dei Comitati Scientifici sezionali per raccogliere dati di interesse scientifico, naturalistico (botanico, faunistico e geologico), archeologico e antropologico su più tratti pilota del Sentiero Italia CAI. Lo sforzo organizzativo per progettare, impiantare e coordinare questo progetto pilota, è stato notevole, ma è stata di grande soddisfazione questa prima esperienza di creazione di una squadra di ONC a livello nazionale che ha coinvolto il CAI centrale (CDC, CCIC, segreterie amministrative, Cooperativa Montagna e Servizi) e collaborazioni con altre strutture CAI quali la Struttura Operativa Sentieri e Opere Alpine (SOSEC) del CAI e un importante ente pubblico quale l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA). Grazie al loro contributo si possono già visualizzare, utilizzando una mappa interattiva, le prime rilevazioni ottenute durante i sopralluoghi effettuati nel breve periodo estivo del 2024, con l'obiettivo di continuare a implementare queste informazioni che verranno messe a disposizione di tutti gli appassionati e gli escursionisti, sia sul sito dedicato del SICAI che, col tempo, sulla relativa app. I dati naturalistici e storico-antropologico-culturale raccolti ed implementati regolarmente nel tempo mediante queste attività di *Citizen Science* del CSC costituiscono una preziosa fonte di informazioni utilizzabili per innumerevoli scopi scientifici: studio dell'impatto ambientale nel tempo dell'escursionismo sui sentieri; confronto temporale di presenze di vegetazioni e faunistiche rispetto alle carte degli habitat posseduti per valutare il cambiamento climatico o la presenza di specie aliene; valutazione dei segnali di presenza faunistici indicatori di molti aspetti (antropizzazione, sfruttamento e frammentazione degli habitat, disturbo attività umane, conseguenti variazioni comportamentali e temporali delle abitudini delle specie faunistiche, ecc.); evidenziazione di siti di interesse antropologico/archeologico; segnalazioni di nuovi punti di interesse geologico. Ma l'interesse prioritario del CSC come Organo Tecnico Centrale del CAI è senz'altro quella di divulgare il più possibile a tutti, in forma accessibile, le informazioni scientifiche che consentono di aumentare le conoscenze e la consapevolezza dei meravigliosi territori che i sentieri CAI attraversano, al fine di comprendere i rapporti tra geologia e paesaggio, i delicati e complicatissimi equilibri dinamici che ogni organismo vivente instaura nel proprio ambiente per sopravvivere e come l'uomo possa incidere con le sue attività sull'ambiente. L'obiettivo finale è quello di stimolare atteggiamenti corretti di rispetto e conservazione.

Abstract: The Central Scientific Committee's *Citizen Science* project on the naturalistic, cultural, and anthropological aspects of some stages of the CAI Italian Trail - Initial results of the pilot project and proposals for the future

In recent years, the Central Board of Directors of the Italian Alpine Club (CAI) has been relaunching one of Europe's longest hiking trails, the Sentiero Italia CAI (SICAI), at nearly 8,000 km. It has asked various Central Bodies to collaborate to provide hikers with coordinated and detailed trail and logistical services and information. The Central Scientific Committee (CSC) accepted the invitation, proposing a pilot *Citizen Science* project that involved several regional Scientific Committees with their representatives, nature and cultural operators, experts, and passionate members of the sectional Scientific Committees. The project gathered data of scientific, naturalistic (botanical, faunal, and geological), archaeological, and anthropological interest on several pilot sections of the Sentiero Italia CAI. The organizational effort to design, implement, and coordinate this pilot project was considerable, but this first experience of creating a national-level team between ONCs, involving the central CAI (CDC, CCIC, administrative secretariats, Cooperativa Montagna e Servizi), and collaborations with other CAI structures such as the CAI's Alpine Paths and Works Operations Structure (SOSEC) and an important public body such as the Higher Institute for Environmental Protection and Research

(ISPRA), was highly satisfying. Thanks to their contributions, the initial findings obtained during field surveys conducted in the short summer of 2024 can already be viewed on an interactive map. The goal is to continue expanding this information, which will be made available to all enthusiasts and hikers both on the dedicated SICAI website and, over time, on the related app. The naturalistic and historical-anthropological-cultural data collected and regularly updated over time through these CSC Citizen Science activities constitute a valuable source of information that can be used for countless scientific purposes: studying the environmental impact of hiking on trails over time; comparing vegetation and fauna over time with existing habitat maps to assess climate change or the presence of alien species; assessing signs of fauna presence that are indicators of many factors (anthropization, habitat exploitation and fragmentation, human disturbance, resulting behavioral and temporal variations in the habits of wildlife species, etc.); highlighting sites of anthropological/archaeological interest; and reporting new points of geological interest. But the primary interest of the CSC as the Central Technical Structure of the CAI is undoubtedly to disseminate to everyone, in an accessible format, the most important scientific information to increase knowledge and awareness of the wonderful environments that the CAI trails pass through. This helps to better understand the delicate and highly complex dynamic balances that every living organism establishes in its environment to survive and how humans can impact it with their activities, and thus foster prudent attitudes of respect and conservation.

Introduzione

Il turismo dei sentieri e dei cammini in Italia sta vivendo un momento di grande crescita, diventando una frontiera del viaggio sostenibile e lento. Questi percorsi, che attraversano paesaggi diversificati e ricchi di storia e cultura, offrono un'esperienza unica di scoperta del territorio, valorizzando le tradizioni locali e l'ambiente. L'Italia offre una vasta rete di sentieri e cammini, che si snodano tra montagne, colline, borghi antichi e coste, permettendo di esplorare il paese in modo attivo e consapevole.

Il Club Alpino Italiano (CAI) ha recentemente organizzato gli "Stati Generali del Turismo Outdoor – Camminare l'Italia: verso una visione comune", un evento di rilievo nazionale dedicato al futuro dei cammini e degli itinerari escursionistici italiani. La conferenza, svoltasi il 23 e 24 novembre 2024 presso il Centro Congressi dell'Isola di San Servolo a Venezia, ha riunito oltre 60 rappresentanti di istituzioni, imprese e associazioni per discutere e definire insieme le linee guida sulla governance dei cammini e della rete escursionistica italiana.

Tra i più famosi, il Sentiero Italia CAI che, coi suoi quasi 8000 km di sentieri a piedi e altrettanti di cicloescursionismo, è il sentiero più lungo d'Europa, annoverato tra le mete ambite per turisti italiani e stranieri attratti dalla possibilità di immergersi nella natura ma anche ricco di spunti storico culturali.

Il Progetto MITUR e il progetto PEI n. 4 del Comitato Scientifico Centrale - CSC - Il Ministero del Turismo e il Club Alpino Italiano hanno sottoscritto un Protocollo d'intesa n. 865 del 17/06/2021 finalizzato allo sviluppo di azioni condivise mirate alla valorizzazione e alla promozione in ambito nazionale e internazionale della conoscenza e della diffusione dell'offerta di turismo sostenibile rappresentata, in par-

ticolare in ambito montano, dalla rete sentieristica e dai relativi percorsi escursionistici, dai percorsi alpinistici e dalla rete di accoglienza dei rifugi alpini e montani. L'articolo 4 della suddetta convenzione prevede che: "Per ciascun ambito d'intervento, il CAI elabora specifici Progetti Esecutivi che sottopone al Comitato Paritetico per condivisione e approvazione. Il complesso di tali progetti costituisce il Piano Esecutivo d'Intervento (PEI), che viene approvato dal Comitato Paritetico suddetto".

In particolare, il Comitato Direttivo Centrale con delibera n. 22 del 19 gennaio 2024 ha approvato il Piano Esecutivo d'Intervento (PEI) 2024, aggiornato con successiva delibera n. 117 del 08/05/2024 e con delibera n. 156 del 12/07/2024, che ha previsto alla scheda numero 4 il progetto denominato "Citizen Science sul Sentiero Italia". Questo progetto di Citizen Science si propone di coinvolgere i frequentatori del SICAI nella raccolta di dati di interesse scientifico, archeo-antropologico e culturale lungo il sentiero Italia, dati destinati alla fruizione pubblica previa opportuna validazione. I fruitori del SICAI, interessati agli aspetti vegetazionali, faunistici, geologici e antropologici culturali, potranno, attraverso una app, beneficiare dell'accessibilità a informazioni di interesse scientifico, con possibilità di approfondimento. Alcune informazioni generali potranno essere tabellate a inizio tappa (oppure consultabili tramite QR Code) e durante il sentiero possono essere attivati avvisi sulla app per poter raggiungere punti di interesse panoramici, geositi, monumenti e siti archeologici, o punti di probabile avvistamento. Per acquisire in modo serio e rigoroso queste informazioni il progetto di Citizen Science ha previsto il coinvolgimento di soci e non soci sensibili, opportunamente formati a cascata attraverso esperti sia esterni sia interni al CAI.

Progettazione e organizzazione

Per la prima volta il CSC si è cimentato in un imponente lavoro di progettazione a livello nazionale coinvolgendo molti interlocutori sia all'interno del CAI sia all'esterno (ISPRA e Università), e includendo dettagliati cronoprogrammi e piani finanziari che dovevano rispettare regole e tempistiche correlate alle richieste ministeriali. Trattandosi di un progetto pilota, sicuramente l'impegno burocratico organizzativo ha sottoposto le segreterie della sede centrale coi suoi operatori e i volontari dei CSR coi loro referenti amministrativi e tesorieri, a un carico di lavoro ingente e stressogeno: per questo vanno ringraziati tutti i

collaboratori per gli sforzi profusi e la resilienza dimostrata nonostante innumerevoli e frustranti contrattempi.

Il progetto si è articolato in quattro tematiche principali che hanno coinvolto molti dei nostri partner scientifici e tutte le nostre organizzazioni periferiche in Comitati Scientifici Regionali e Comitati Scientifici Sezionali.

1. Monitoraggi di specie animali e vegetali rappresentative delle aree attraversate dal SICAI utilizzando la Citizen Science in modo da coinvolgere un grande numero di Sezioni e Soci guidati dai nostri ONC. Su questa tematica sono stati coinvolti ISPRA ed esperti territoriali.

2. Origini dell'impatto antropico sulle montagne: primi popolamenti preistorici e apertura dei pascoli. Con il coinvolgimento dell'Università di Ferrara e dell'Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria, si sono evidenziate le tracce dei primi popolamenti umani e delle prime attività di pastorizia in ambiente montano.
3. Su cosa camminiamo: geologia, geomorfologia, con particolare riferimento alle forme e ai depositi legati ai cambiamenti ambientali del Quaternario. Si sono posti in evidenza gli aspetti geomorfologici del paesaggio e gli elementi geologici in grado di raccontare l'evoluzione geologica del territorio lungo il tracciato del Sentiero Italia CAI, ancora poco valorizzati.
4. Il patrimonio delle Terre Alte lungo il Sentiero Italia CAI a cura del nostro Gruppo di Lavoro Terre Alte. Tramite le tecniche di *Citizen Science*, messe a punto dal Gruppo Terre Alte, sono state individuati segni antropici lungo il Sentiero Italia CAI dandogli i connotati storici e culturali.

Per coordinare l'attività del progetto nelle sue 4 sezioni, sono stati individuati dal Comitato Scientifico Nazionale, quattro referenti per ogni area coinvolta:

1. **Habitat, vegetazione e fauna:** Milena Merlo Pich (componente del CSC)
2. **Geologia:** Furio Finocchiaro (esperto, collaboratore del CSC)
3. **Archeologia:** Marco Peresani (componente del CSC)
4. **Terre Alte:** Giuliano Cervi (referente del Gruppo di lavoro Terre Alte del CSC)

Il gruppo di Lavoro del SICAI presieduto da Alessandro Geri con Lorenzo Bassi per alcuni mesi del 2023-24, ha deciso di selezionare alcune tappe SICAI secondo caratteristiche prioritarie di fruibilità, raggiungibilità dai mezzi pubblici, durata compresa tra 2 e 9 giorni e dotazione di

posti tappa, comunicandole ai referenti ai primi di Marzo 2024 (è possibile visionare le tappe successivamente nel paragrafo delle relazioni delle attività svolte).

Immediatamente il gruppo di lavoro del progetto ha preso contatto con i presidenti dei vari Comitati Scientifici Regionali o interregionali (CSR) competenti territorialmente sulle tappe assegnate e ha provveduto a incaricarli quali responsabili e referenti territoriali del progetto (alcuni presidenti sono stati affiancati/sostituiti in corso d'opera da nuovi presidenti in seguito al rinnovo del CSR nel tempo).

- CSR SICILIA, Valentina Oliveri
- CSR CALABRIA, Sandro Tripepi
- CSR CAMPANIA, Alfredo Nicastrì
- CSR LAZIO, Vincenzo Abbate
- CSR UMBRIA/ MARCHE, Marco Menichetti
- CSR EMILIA-ROMAGNA, Maria Teresa Castaldi con Gabriele Borghetti
- CSR TOSCANA, Carlo Natali
- CSR LPV, Sonia Zanella e Ivan Borroni
- CSR LOMBARDIA, Gioia Bossi e Sonia Glierà
- CSR VFG, Giuseppe Borziello e Marco Cabbai

I presidenti dei CSR di ogni regione coinvolta in questo progetto pilota a loro volta si sono relazionati con esperti del territorio e con i referenti dei vari Comitati Scientifici Sezionali ove presenti o presidenti di Sezione che hanno individuato, in mancanza di titolari Operatori Naturalistici Culturali, soci volenterosi sensibili a queste tematiche. I partecipanti sono stati davvero molti, come riportato sia nelle relazioni finali delle attività di rilevazione, sia dalle richieste di rimborso spese per gli spostamenti effettuati di cui si è dovuto produrre dettagliata documentazione per i riscontri finanziari MITUR.

La Citizen Science

La "Citizen Science" o "Scienza partecipata" o "Scienza dei cittadini" rappresenta una forma, in uso da tempo, di collaborazione tra cittadini, scienziati e istituzioni. Questa rete organizza attività di raccolta dati e produzione di informazioni, attraverso misurazioni, stime, modelli, osservazioni, valutazioni, interpretazioni o elaborazioni, con l'obiettivo di ampliare la consapevolezza personale e la conoscenza scientifica della fenomenologia a cui sono connessi.

Negli ultimi due decenni l'evoluzione della scienza accademica verso pratiche aperte a collaborazioni col Terzo Settore (organizzazioni no profit, associazioni di volontariato, ecc.) e l'espansione delle tecnologie digitali e dei social network, hanno potenziato l'interconnessione tra cittadini e comunità scientifica. Gli smartphone con varie e utili applicazioni ("app") e piattaforme internet, a portata di mano di molti appassionati, hanno semplificato notevolmente l'acquisizione capillare di dati validabili ed elaborabili dai ricercatori. Le potenzialità della *Citizen Science* di produrre informazioni utili e affidabili in diversi ambiti, sono state studiate in diversi articoli scientifici, qui uno come esempio (1) di E.D. Brown e B.K Williams "Conserv Biol. 2018 Nov 27;33(3):561–569": <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7754136/>.



Figura 1 – Schema di funzionamento della Citizen Science

Molto valida l'esperienza sullo Stambecco alpino condotta dal CSC in più sessioni da Luca Pelliccioli. Importante è stata la presentazione del progetto a livello nazionale (riunioni online, Congresso titolari del CSC del 16 marzo 2024 a Bologna, contatti email, ecc.) e costituzione del comitato di esperti del CAI provenienti da ogni CSR coinvolto nelle tappe SICAI assegnateci per:

- concordare la scelta delle specie più rappresentative delle aree attraversate dal SICAI, verifica dello stato di fatto dei geositi dell'inventario nazionale,

segnalazione di nuovi potenziali siti archeo-antropologici, storici, culturali e geologici;

- standardizzazione delle modalità di acquisizione dati durante i sopralluoghi in ambiente sul SICAI in modalità *Citizen Science*, definizione del tipo di dati di interesse per il settore geologico, archeologico, storico-culturale antropologico etnografico ecc. (Terre Alte) in un "buffer" di 250 m per lato rispetto al sentiero escursionistico appartenente al SICAI. Si possono anche includere emergenze di interesse turistico-culturale;
- coordinamento col gruppo di lavoro Geri/Piccioli per acquisire le schede di rilevazione mediante la app "Il Sentierista";
- collaborazione con l'esperta del CAI Centrale Alessandra Pollo per l'utilizzo della app "iNaturalist" da utilizzare per l'acquisizione dei dati su flora e fauna;
- formazione dei Soci volontari sulle metodologie di monitoraggio: formazione degli ONCN e a cascata degli ONC e dei referenti dei CSS a livello nazionale.

Ovviamente, si è tenuto conto di non diffondere tramite pubblicazione la posizione precisa di specie protette e rare e di tutelare altri dati ritenuti sensibili per la protezione di specie particolarmente vulnerabili.

Le app utilizzate sul campo come attività di *Citizen Science*

In conformità con i progetti sono state individuate le modalità per la raccolta dei dati in ambiente. Per questo progetto pilota, sentiti i vari referenti centrali, sono state selezionate alcune applicazioni informatiche scaricabili gratuitamente su smartphone, di seguito chiamate "app".

Le informazioni di tipo antropologico, archeologico e geologico sono state acquisite utilizzando l'app Il Sentierista già utilizzata all'interno del CAI per gli aggiornamenti dei dati sentieristici. Tuttavia, in seguito a opportuni aggiornamenti

e a un'evoluzione sostanziale nell'architettura delle app connesse alla costellazione Sentiero Italia, si preferisce attualmente l'app aggiornata del SICAI, "Mappa digitale Sentiero Italia", anch'essa scaricabile gratuitamente su smartphone. Per quanto riguarda invece le informazioni di tipo naturalistico (flora e fauna), queste sono state acquisite mediante l'app gratuita iNaturalist, utilizzata da ricercatori scientifici a livello internazionale (consigliata dalla dott.ssa Alessandra Pollo, UniTo), mentre quelle relativamente all'avifauna si è utilizzata l'app gratuita Merlin, collegata alla piattaforma internazionale e-Bird. Specifici tutorial per illustrare il funzionamento delle app sono stati condivisi durante le varie sessioni di formazione online realizzate sulla piattaforma GMeet e altri sistemi webinar per poter svolgere riunioni organizzative con i referenti ed esperti territoriali. Modalità analoghe sono state impiegate per formare/informare i volontari nello svolgimento delle attività in ambiente di raccolta dati.

Per spiegare l'utilizzo delle app si sono organizzate diverse serate esplicative e sono stati realizzati sia video-tutorial che testi dettagliati per guidare i volontari alle attività e all'uso delle app, ora scaricabili dal sito del CSC:

<https://csc.cai.it/progetti-di-ricerca/manuali-di-istruzione-per-le-app-in-uso-nei-progetti-di-ricerca-in-corso>

Indicazione: "Da questa pagina è possibile scaricare alcuni manuali per l'utilizzo delle app in uso nei progetti di ricerca in corso."

- istruzioni-app-IL-SENTIERISTA-per-dati-antropici-e-geologici [Download](#)
- COME-USARE-LA-APP-iNaturalist-CSC-SICAI [Download](#)
- app-MERLIN-canti-di-uccelli [Download](#)

Link a video tutorial, dal canale YouTube del CSC:

- <https://www.youtube.com/@ComitatoScientifico-Centrale>

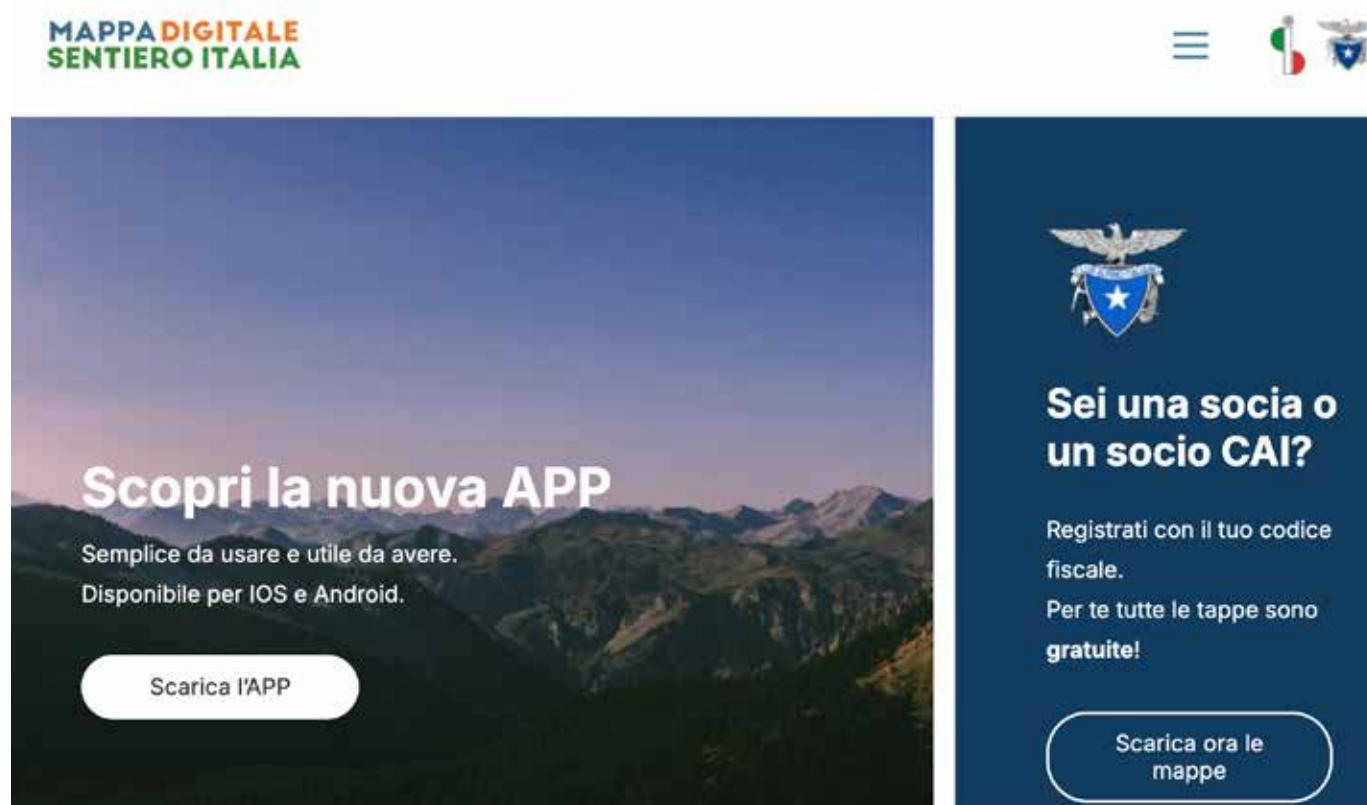


Figura 2 – app Mappa digitale Sentiero Italia - ph screenshot

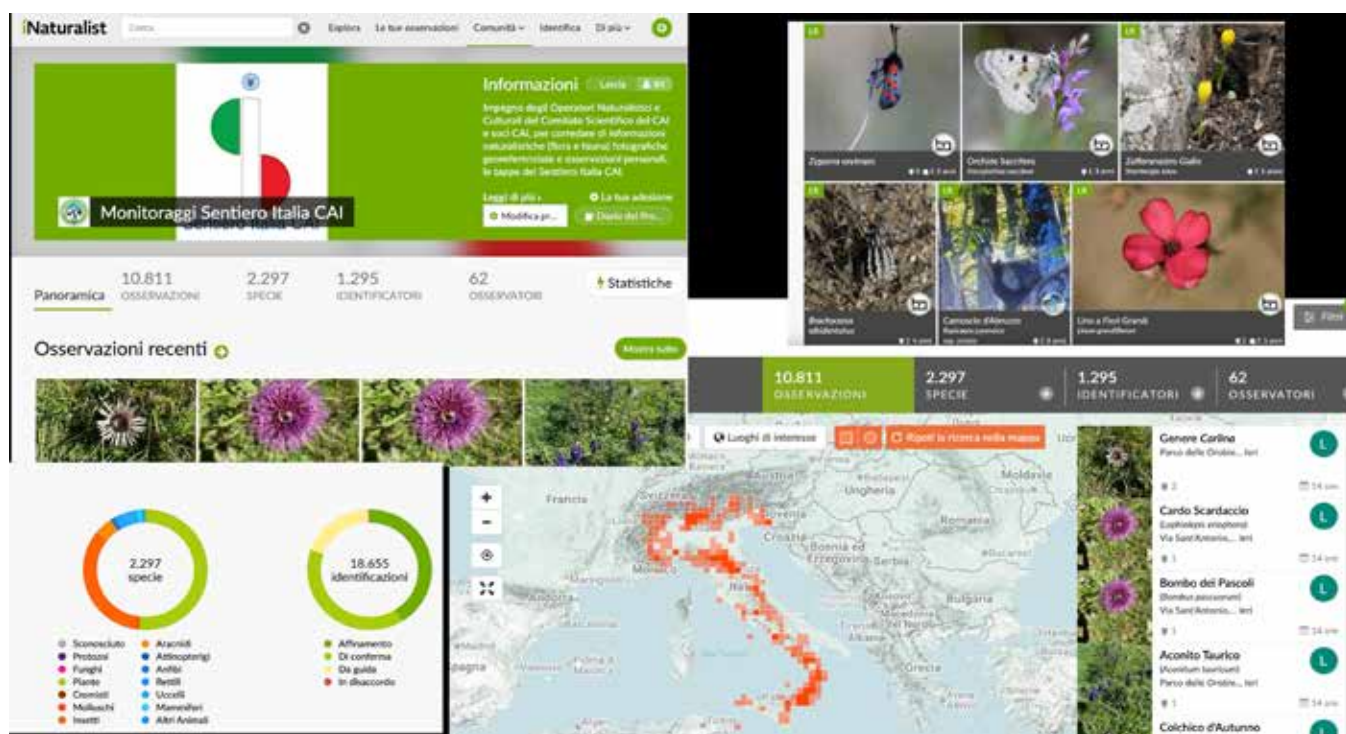


Figura 3 – App iNaturalist - ph aggregazione di screenshot



Figura 3 – App Merlin Bird - ph screenshot

Analisi e validazione dei dati raccolti mediante app

In questa prima fase di messa a punto della metodologia di acquisizione dati, ogni volontario ha potuto prendere dimestichezza con le app scaricate sul proprio smartphone, svolgendo diversi test di prova. Chiaramente si sono prodotte numerose osservazioni che sono state poi vagliate, analizzate e selezionate, sia in modo automatico utilizzando impostazioni di "ritaglio" delle aree di interesse con buffer di 250 m su entrambi i lati del sentiero SICAI, sia in modo "manuale" da parte degli esperti indicati da ogni CSR come referenti competenti per ogni area (botanici, faunisti, geologi, ecc.) e incaricati di controllare ciascuna rilevazione.

La validazione manuale è stata effettuata scaricando i dati di iNaturalist visualizzabili sia per area geografica sia per rilevatore, e selezionando quelli più significativi, poi trasmessi agli informatici. Per quanto riguarda i dati acquisiti tramite l'app Il Sentierista, ogni socio rilevatore ha potuto visualizzare e implementare le proprie rilevazioni sul database Osm2CAI (accedendovi tramite l'account utilizzato per myCAI), mentre la loro validazione secondo la standardizzazione messa a punto è stata assegnata ai responsabili o esperti territoriali forniti in elenco ai gestori informatici. Questa delicata fase del lavoro è ancora in fase di miglioramento.

ISPRA e CAI: una nuova collaborazione. Cos'è la "Carta della Natura"

Milena Merlo Pich per il CSC ha contattato il dott. Francesco Riga di ISPRA a inizio 2024 illustrando gli obiettivi del progetto e ricevendo riscontri di interesse da parte dei ricercatori alle attività di monitoraggio ambientale in territori montani da parte dei Soci CAI e degli ONC in particolare, che da parte loro hanno manifestato immediatamente ampia disponibilità a collaborare con i loro esperti per avvalorare e integrare le osservazioni rilevate in modalità *Citizen Science*. Abbiamo proceduto con la stesura dell'importante accordo quadriennale che potrà essere foriero di ulteriori interessanti ricerche. Questo testimonia come il CAI venga considerato un importante partner da Istituti di ricerca a livello nazionale (anche come CNR, alcune Università, ecc).

ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca sull'Ambiente), <https://www.isprambiente.gov.it/it/attività> è stato istituito nel 2008 ed è un ente pubblico di ricerca che supporta il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE).

Il 02/09/2024 è stato stipulato un accordo di collaborazione tra questo Ente e il CAI che riportiamo in stralcio nei punti salienti dell'accordo:

L'ISPRA provvederà a: a) istituire un gruppo di lavoro con gli esperti ambientali e scientifici del CAI; b) fornire dati ambientali e geologici presenti nelle aree di pertinenza dei sentieri CAI, in particolare del SICAI, e collaborare per la loro pubblicazione sul sito del Sentiero Italia CAI; c) validare i dati ambientali raccolti dai volontari CAI; d) collaborare con gli esperti informatici del CAI per la creazione

di un database ambientale collegato al sito SICAI; e) collaborare con il CAI per la ricerca di fonti di finanziamento per progetti sulla conservazione dell'ambiente montano e sulla comunicazione ambientale.

Il CAI provvederà a: a) pubblicare sul sito SICAI i dati ambientali riferiti alle singole tratte del SICAI; b) raccogliere dati ambientali (presenza di specie animali, vegetali, stato di conservazione dei Geositi) attraverso la rete di iscritti al CAI (Citizen Science), eventualmente ricorrendo allo sviluppo di una specifica app; c) promuovere la divulgazione e la disseminazione delle attività svolte nell'ambito del presente accordo; d) promuovere una frequentazione consapevole degli aspetti naturalistici, culturali e antropologici del territorio.

ISPRA ha fornito al CAI, grazie all'accordo di collaborazione, gli interessanti dati relativi agli Habitat presenti sul sistema informativo **Carta della Natura**. Il sistema informativo di Carta della Natura coniuga due principali filoni di attività: la realizzazione cartografica per conoscere e rappresentare la tipologia e la distribuzione degli ecosistemi terrestri italiani su tutto il territorio nazionale (a scala nazionale, regionale e locale); e la valutazione di ciascuna unità territoriale cartografata per dare informazioni sullo stato degli ecosistemi e per evidenziare le aree a maggior pregio naturale e quelle più a rischio di degrado.

ISPRA ha inoltre condiviso i dati presenti nell'Inventario Nazionale dei Geositi, nella cartografia CARG ed è disponibile a fornire altri dati a sua disposizione rientranti nelle finalità dell'accordo di collaborazione.

Il sistema informativo Osm2CAI, la SOSEC e le mappe interattive

La SOSEC (Struttura Operativa Sentieri e Cartografia) è un organo del CAI (Club Alpino Italiano) responsabile della gestione e della manutenzione dei sentieri e della cartografia. È da tenere presente che il CAI ha selezionato circa 60.000 km di sentieri in Italia e per legge il CAI deve provvedere "al tracciamento, alla realizzazione e alla manutenzione di sentieri, opere alpine e attrezzature alpinistiche". <https://www.cai.it/organizzazione/strutture-operative/struttura-operativa-sentieri-e-cartografia-sosec/>

La SOSEC ha definito standard e linee guida sulle modalità operative e gestionali delle attività di raccolta dei dati territoriali relativamente alla produzione di cartografie, dei sistemi informativi e applicativi geografici del CAI nel campo della cartografia e della rappresentazione territoriale.

OSM2CAI è uno strumento che permette di trasformare dati geografici open source (come quelli di OpenStreetMap) in informazioni compatibili con il sistema CAI, facilitando la creazione e l'aggiornamento della cartografia CAI.

La SOSEC e i suoi collaboratori tecnici informatici hanno organizzato il sistema di raccolta e di esportazione dei dati acquisiti mediante le varie app, integrandole con i dati ISPRA sugli habitat e l'esperto Marco Barbieri ha realizzato una mappa interattiva consultabile mediante un link dal sito SICAI: https://umap.openstreetmap.fr/it/map/sentiero-italia-cai-comitato-scientifico-centrale_1205017#9/43.8830/11.2802

Da questo link si possono già visualizzare le prime informazioni raccolte nei primi mesi del progetto, su alcuni tratti del SICAI che a livello del CAI Centrale. Nel complesso sono state acquisite circa 2000-2500 osservazioni totali, con più di 50 rilevatori da tutta Italia coinvolti dai vari CSR.



Figura 5 – Mappa interattiva - ph screenshot

Di seguito una visualizzazione di osservazioni selezionate a meno di 250 m dal SICAI dal collaboratore cartografo Marco Barbieri, che fornisce una prima idea delle numerose rilevazioni effettuate a livello nazionale, prima dell'ulteriore selezione essenziale, da fornire agli escursionisti che percorreranno il SICAI.



Figura 6 – Raponzolo di Micheli, endemismo ligure - CSR LPV

Figura 7 – Le pietre cannonne di Monte Corvo - Etna - CSR Sicilia

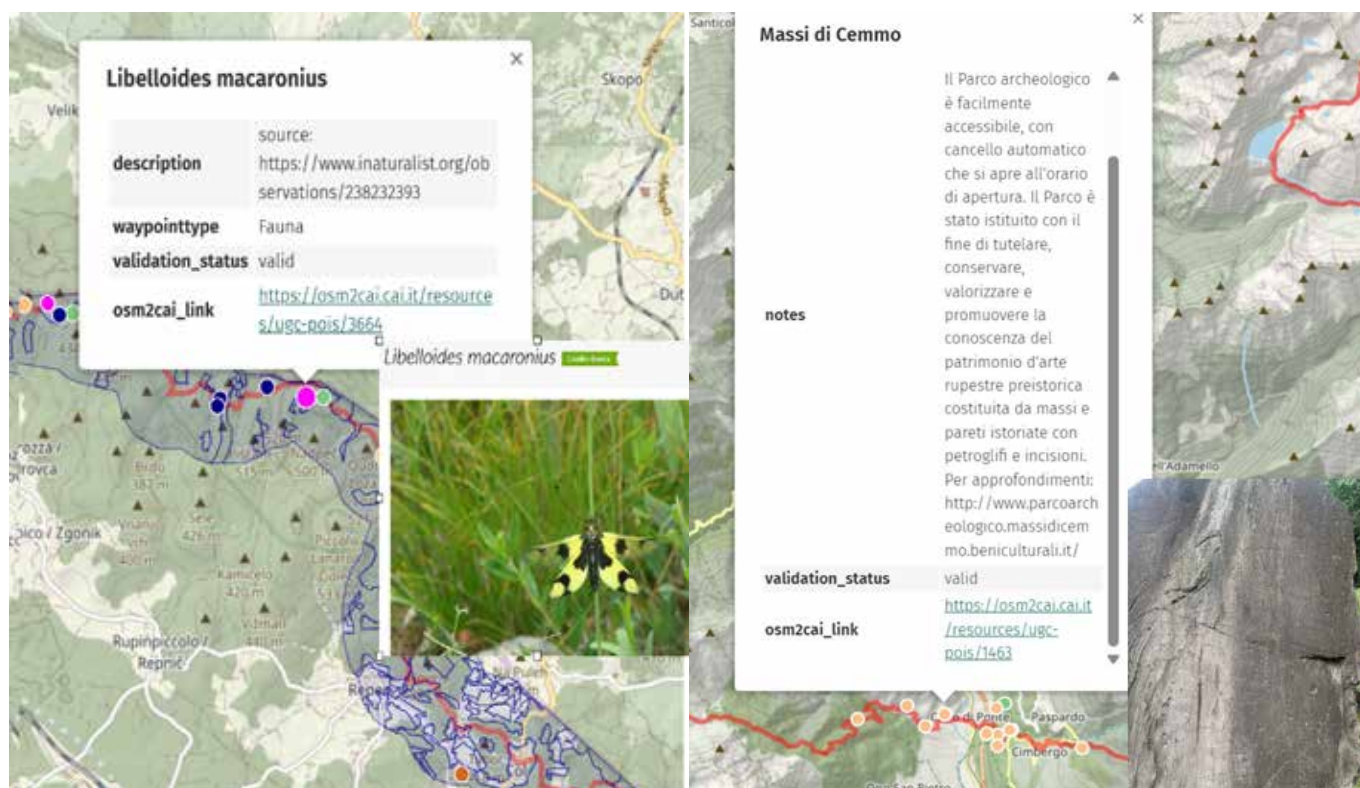


Figura 8 – Segnalazione di F. Tami: Lib. Macaronius- CSR VFG

Figura 9 – Petroglifi sui Massi di Cemmo - CSR Lombardia

Analisi dei primi dati acquisiti dai vari CSR territoriali

Di seguito, un succinto report dei sopralluoghi effettuati dai vari CSR, con indicate il numero di osservazioni selezionate su un buffer con range di 250 m a sinistra e a destra rispetto al sentiero del SICAI, che a loro volta verranno soggette a ulteriore selezione per poter indicare agli escursionisti solo le specie più significative per ogni tappa SICAI.

1. Sicilia, Presidente CSR Valentina Oliveri,

- TAPPE ETNA V23B - V23G (6 tappe)
- 8-10 Soci che hanno contribuito attivamente con 80 osservazioni su tutte le tappe, di cui 46 selezionate nei dintorni. Sono stati implementati dati faunistici grazie alla collaborazione con un faunista esperto.

2. Calabria, Presidente CSR Sandro Tripepi,

- DA GIRIFALCO SI U13 A CAPOROSA U17 (5 tappe)
- 3 soci che hanno contribuito attivamente con più di 80 osservazioni selezionate su tutte le tappe.

3. Campania, Presidente CSR Alfredo Nicastri,

- DA SANZA, SI S02 AL PASSO DELLA SENTINELLA, SI S04 (3 tappe)
- 1 Socio che ha contribuito attivamente con 16 osservazioni selezionate su tutte le tappe.

4. Lazio, Presidente CSR Vincenzo Abbate,

- DA CAMPO CATINO SI O05, A CERVERA SI O08 (4 tappe)
- 2 Soci che hanno contribuito attivamente con 59 osservazioni selezionate su tutte le tappe.

5. Umbria-Marche, Presidente CSR Marco Menichetti,

- DA AMATRICE SI O20 (+ DA SI N03 A SI N05) FINO A COLFIORITO SI O6 (7 tappe)
- 1 Socia che ha contribuito attivamente con 66 osservazioni selezionate su tutte le tappe.

6. Emilia Romagna, Presidente CSR Maria Teresa Castaldi e Toscana, Presidente CSR Carlo Natali,

- DA VERGHERETO SI L04N (+ DA SI L05 A SI L08) FINO AL PASSO DELLA FUTA SI L09
- 13 Soci che hanno contribuito attivamente con 1200 osservazioni selezionate su tutte le tappe (eccetto parte della tappa L07 interdetta al passaggio), di cui 845 selezionate nei dintorni delle tappe. Antonio Zambrini, CAI Imola, ha effettuato 600 segnalazioni.

7. Liguria - Piemonte - Valle d'Aosta (LPV), Presidente CSR Ivan Borroni, referente Sonia Zanella

- LIGURIA: DA SI G18 PASSO DEL TURCHINO A SI G22 COLLE DI CADIBONA (5 TAPPE)
- PIEMONTE: DA RIFUGIO CODA SI E43 (+E44, E45, E443B, E44B) A RIFUGIO RIVETTI SI E45B (6 TAPPE)
- Al fine di organizzare proficuamente il monitoraggio degli ONC sulle tappe della tratta ligure sono stati preventivamente selezionati, nelle varie categorie di elementi già disponibili sulle banche dati ufficiali della Regione Liguria, quelli di maggior interesse (per i fini preposti dal progetto e ubicati all'interno del buffer predeterminato ai due lati del SI) caratterizzanti il territorio. La selezione è stata curata per gli aspetti geologici dal prof. Michele Piazza DISTAV Unige, per gli aspetti floristici dal prof. Luigi Minuto DISTAV Unige e per la fauna

dal Presidente CS LPV Ivan Borroni. L'elenco degli elementi selezionati è stato fornito agli ONC per orientarli e supportarli nel monitoraggio lungo le tappe SI. Inoltre, tramite la collaborazione con un esperto informatico, le tabelle dati, con rispettive georeferenziazioni, relative a tali elementi di principale interesse selezionati in quanto presenti lungo la tratta ligure (33 punti per la flora, 13 punti per gli habitat, 451 punti per la fauna, 6 punti per la geologia e 7 punti per la categoria Segni dell'uomo) sono state "formattate" in conformità al linguaggio informatico richiesto per l'import in piattaforma Osm2CAI e quindi messe a disposizione. 1 Socia ONC ligure ha contribuito con 41 osservazioni sulle tratte liguri del SICAI.

- La tratta piemontese ha presentato alcune criticità strutturali (parti di sentieri in cattive condizioni, tappe a elevato dislivello molto lunghe, locale inagibilità in quanto funivia di Oropa chiusa) che hanno fortemente condizionato i rilievi degli ONC (Sezione di Biella, tappa SI E45). Per gli elementi di interesse in campo geologico (n. 5 elementi) i rilievi sono stati acquisiti in campo e direttamente validati dai due esperti che si erano resi disponibili a collaborare al progetto, cioè la prof.ssa Anna D'Atri del SSD GEO/02 - UniTO e il dottor. Fabrizio Piana, 1° Ricercatore CNR.

8. Lombardia, Presidente CSR Gioia Bossi, coordinatore Nicola Farella,

- DA SI DS17S RIFUGIO BALICCO A MEZZOLDO A SI D25S A RIFUGIO COLOMBE' (9 TAPPE), con un dislivello medio di 1300 m e una lunghezza media di 21 km, distribuite in 13 giornate di attività in campo.
- 12 Soci (di cui 9 ONC e 3 Soci ordinari della sezione del CAI Brescia) che hanno contribuito attivamente con 300 segnalazioni di cui il 70% circa riguarda la flora.

9. Veneto e Friuli Venezia Giulia (VFG), Presidente CSR Giuseppe Borziello, poi Marco Cabbai,

- Ultime tappe del SI nel Carso Triestino: DA GRADINA SI A23 A S. BARTOLOMEO SI A28 (6 TAPPE).
- 7 Soci Operatori Naturalistici e Culturali che in 13 sopralluoghi hanno contribuito attivamente con 300 segnalazioni su tutte le tappe, riferibili agli aspetti naturalistici (flora e fauna), a quelli geologici e geomorfologici e a quegli antropici.

Per leggere ulteriori dettagli e approfondimenti relativi alle osservazioni effettuate sulle tappe SICAI, nelle varie Regioni, si rimanda al sito del Comitato Scientifico Centrale, a questo link:

<https://csc.cai.it/progetti-di-ricerca/progetto-sicai/>

Osservazioni di tipo geologico (referente Furio Finocchiaro)

Il tema dei punti di interesse geologico è stato affrontato all'inizio attraverso alcune riunioni generali e anche con una riunione specifica (13 maggio 2024).

Queste riunioni hanno avuto come obiettivo la messa a punto di uno schema di classificazione che permettesse ai volontari di definire, non in modo eccessivamente specifico, ma nemmeno in modo generico le caratteristiche geologiche, geomorfologiche o minero-petrografiche dei punti di interesse osservati. Sono state quindi scelte 15 tipologie di siti geologici. Ai referenti geologici è stata fornita una sintetica descrizione per ognuna delle sue voci, anche se tra gli ONC non sono presenti molti esperti di questo ambito, ma diversi soci volenterosi.

Sono stati presi anche dei contatti, inizialmente informali, in attesa della definizione della convenzione con ISPRA, con la dott.ssa Elisa Brustia, che ha fornito le posizioni di tutti i geositi del Catasto dei Geositi gestito appunto da ISPRA.

La metodologia di acquisizione tramite app è stata condivisa con l'area delle Terre Alte e Archeologia.

Inoltre per alcune tappe sono stati utilizzati anche geositi identificati a livello regionale non ancora inseriti nel Catasto nazionale di Ispra.

Sintesi delle attività di sopralluogo geologico:

1. SICILIA

- 6 tappe a circondare l'Etna
- 8 Soci, in 7 uscite hanno contribuito a 32 Punti di Interesse Geologico (PIG)

2. CALABRIA

- 5 tappe da Girifalco a Caporosa
- 2 Soci in circa 3 uscite hanno contribuito a 7 Punti di Interesse su 3 tappe

3. CAMPANIA

- 3 tappe da Sanza al Passo della Sentinella
- 2 Soci, in 3 uscite, hanno segnalato 10 Punti di Interesse su 3 tappe

4. LAZIO

- 4 tappe da Campo Catino a Cervara
- 2 Soci in 4 uscite hanno segnalato 4 Punti di Interesse,

5. UMBRIA - MARCHE

- 7 tappe da Amatrice a Colfiorito
- 4 Soci in 8 uscite hanno segnalato 12 punti

6. EMILIA ROMAGNA E TOSCANA

- 9 tappe da Verghereto al Passo della Futa
- 2 Soci in due uscite. Sono stati individuati alcuni dei geositi della Regione Emilia Romagna, che sono in numero molto maggiore rispetto ai geositi ISPR che ricadono nelle vicinanze delle tappe

7. LIGURIA-PIEMONTE-VAL D'AOSTA

- Liguria (4 tappe, dal Passo del Turchino al Colle di Cadibona)
- 3 Soci hanno individuato 6 Punti di Interesse geologico su 3 tappe
- Piemonte: (6 tappe, anello intorno a Oropa)
- 1 sola uscita, 2 Soci, 5 Punti di Interesse su 1 tappa sola

8. LOMBARDIA

- 9 tappe, dal Rifugio Balicco al Rifugio Colombé
- Il gruppo di rilevazione (12 Soci) ha contribuito individuando 20 Punti di Interesse geologico

9. FRIULI VENEZIA GIULIA

- 6 tappe, dal Centro Gradina a San Bartolomeo, ultima tappa del sentiero Italia CAI)
- 13 ricognizioni da parte di 7 Soci hanno individuato 17 POI su 4 tappe

Complessivamente sono stati inseriti nella piattaforma 113 punti di interesse geologico. Va comunque ricordato che fin dall'inizio era stato programmato, per ogni tappa, un numero molto limitato (poche unità) di Punti di Interesse Geologico.

Questo numero potrà essere aumentato nelle prossime settimane, sia utilizzando ancora le banche dati Regionali e il Catasto ISPRA, sia perché alcuni Soci hanno avuto delle difficoltà nell'utilizzo delle app e hanno dei dati su supporto cartaceo, da inserire ancora nella piattaforma.

Per alcuni dei Punti di Interesse Geologico sono state utilizzate le banche dati regionali e il Catasto dell'ISPRA, in questo modo si potrà contribuire a far conoscere i geositi, un aspetto della natura del nostro Paese non ancora pienamente valorizzato.



Figura 10 – Volontari CAI: incontro al confine - ph Milena Merlo Pich

Osservazioni di tipo archeologico e dei segni dell'uomo nelle Terre Alte (coordinatore scientifico Marco Peresani, referenti operativi Rachele Discosti e Matteo De Lorenzi)

Lo svolgimento del progetto di *Citizen Science* sul Sentiero Italia CAI ha previsto il coinvolgimento di Comitati Scientifici Regionali e di Sezione, Soci ONC e volontari da tutta Italia, focalizzandosi sulle tappe campione stabilite dal CAI Centrale, nei mesi di maggio-ottobre 2024.

Il segmento dedicato alla rilevazione delle evidenze legate ai segni dell'uomo e alle aree di interesse archeologico si è avviato con alcune serate di formazione teorica dedicate all'esplorazione di casi e situazioni meritevoli di segnalazione, oltre che ai corretti comportamenti da mettere in atto in relazione alla necessità di evitare azioni che possano mettere a rischio il patrimonio archeologico e antropologico montano, potenziale o noto che sia.

Ulteriori incontri sono stati dedicati all'esposizione delle metodologie di rilevazione tramite la app Il Sentierista con la produzione di tutorial scritti e video. Tale formazione, svoltasi tra fine maggio e inizio giugno, ha visto il coinvolgimento di archeologi e archeologhe dell'Università di Ferrara e di esperti del Gruppo Terre Alte, e ha formato più di 50 soci ed esperti identificati dai CSR, prevedendo anche la messa a disposizione di materiale informativo e specifico tramite condivisione Google Drive.

I sopralluoghi e le indagini legate ai punti di interesse, svoltesi nei mesi di giugno-ottobre 2024, si sono svolti come segue:

1. la Regione FVG ha coperto interamente le tappe previste dal progetto, segnalando e relazionando puntualmente in merito;
2. i volontari lombardi hanno coperto tutte le tappe assegnate svolgendo precise e puntuali segnalazioni in merito alle emergenze archeologiche ed etnoantropologiche ritenute interessanti. Le segnalazioni sono state svolte, nonostante le difficoltà legate al funzionamento dell'app, con elevata precisione e professionalità;
3. le tappe liguri hanno visto pochi o nulli sopralluoghi sul campo per quanto riguarda i referenti Terre Alte/ Archeologia, a causa di clima avverso e scarsa disponibilità di forze e tempo. Si affida alle segnalazioni da remoto (sulla piattaforma Osm2cai) l'eventuale inserimento di dati riguardo a questo segmento di territorio;
4. in Emilia Romagna i volontari coinvolti hanno percorso per intero le tappe assegnate in un caso il sopralluogo è stato effettuato direttamente dagli archeologi dell'Università di Ferrara;
5. le tappe umbro-marchigiane sono state coperte quasi per intero dalle segnalazioni Archeologia/Se-

gni dell'Uomo, con l'eccezione della tappa N07 e parte della N05. Le segnalazioni hanno coinvolto entrambi gli ambiti e sono state in parte svolte direttamente da un'archeologa dell'Università di Ferrara e da un esperto del Gruppo Terre Alte;

6. la Regione Lazio ha messo in campo un team di volontari che ha coperto interamente le tappe previste e ha svolto segnalazioni dedicate soprattutto ai Segni dell'uomo, talvolta anche all'ambito archeologico;
7. nonostante le difficoltà legate alla scarsità di tempo e a volontari che hanno limitato il raggio d'azione delle indagini, in Campania i sopralluoghi si sono concentrati sulle tappe assegnate soprattutto allo scopo di posizionare le aree legate al culto mariano e altre forme di culto nell'area del Sentiero Italia presso i Comuni di Piaggine e Sanza senza deviare molto dal percorso;
8. in Calabria i sopralluoghi in questo ambito sono stati limitati dall'impossibilità di coinvolgimento degli esperti locali a causa di problemi di salute. Si affida alle segnalazioni da remoto l'eventuale inserimento di dati riguardo a questo segmento di territorio;
9. la Regione Sicilia ha riscontrato numerose difficoltà nel percorrere le tappe stabilite, soprattutto a causa delle elevate temperature che hanno fortemente scoraggiato la frequentazione delle tappe etnee nei mesi più caldi. Nonostante questo, alcuni sopralluoghi sono stati svolti e altre segnalazioni hanno potuto essere inserite da remoto.

Riassumendo, se per molte Regioni è stato possibile effettuare una copertura integrale delle tappe assegnate, alcune di queste sono rimaste scoperte nei sopralluoghi e nelle segnalazioni. Ci si augura che l'inserimento da remoto, reso possibile verso la fine di settembre, abbia potuto facilitare il compito di chi si sia trovato in difficoltà sotto il profilo logistico. Molti problemi sono stati riscontrati nell'utilizzo dell'app del Sentierista, che i numerosi aggiornamenti hanno potuto colmare almeno in parte, seppur ormai alla fine di agosto 2024. Senza dubbio la possibilità di inserire dati da remoto mediante la piattaforma Osm2cai ha permesso di ampliare i dati in nostro possesso e integrarli con segnalazioni che non si è stati in grado di svolgere direttamente sul campo. Attualmente, i dati raccolti in attesa di validazione si caratterizzano nel modo seguente:

- 166 segnalazioni dell'ambito "Segni dell'Uomo"
- 36 segnalazioni di ambito archeologico



Figura 11 – Sentiero Italia CAI, argille policrome in Appennino reggiano - ph Giuliano Cervi

Conclusioni e considerazioni generali relative al progetto pilota

Visto il sincero apprezzamento manifestato per il lavoro svolto finora, l'auspicio del CAI Centrale che i CSR coi loro ONC e Soci appassionati possano continuare le acquisizioni territoriali di dati relativi ai quattro ambiti, utilizzando possibilmente le stesse applicazioni (i Naturalist e Il Sentierista o la app Mappa Digitale Sentiero Italia CAI scaricabile da Play Store), appare confortante per i futuri sviluppi del progetto. I dati verranno caricati semestralmente sul database CAI e saranno organizzate riunioni regolari. Sicuramente in questo primo anno di progetto pilota sono emerse numerose difficoltà, soprattutto riguardo alle tempistiche e alle problematiche legate all'organizzazione di un progetto nazionale molto complesso nei vari ambiti. Tuttavia, gli aspetti positivi ci sono, soprattutto grazie alla maturazione di un sentimento di solidarietà che ci ha portato per la prima volta a collaborare a un vasto progetto comune.

Le maggiori potenzialità del progetto, oltre a quelle legate alla valorizzazione scientifico-culturale del Sentiero Italia, si esprimono nei seguenti filoni:

- **monitoraggio:** l'utilizzo dei dati raccolti come "stato dell'arte attuale" potrà permettere il controllo futuro delle condizioni sia dello stato degli habitat sia della presenza di specie di interesse conservazionistico o aliene, ma anche dei manufatti di interesse storico/ archeologico, per stimarne la velocità di degrado e proporre soluzioni per favorirne la conservazione. Queste rilevazioni condotte con metodologia *Citizen Science* saranno sempre più apprezzate dagli enti di ricerca e dagli organismi di controllo ambientale delle Regioni, attualmente interessati da una grave carenza di esperti operanti sul vasto territorio nazionale;
- **integrazione con dati esistenti:** la possibilità di inserire segnalazioni da remoto potrebbe permettere l'integrazione con ricerche già ampiamente sviluppate dalle Sezioni locali. Aprire loro la possibilità di inserire segnalazioni effettuate da esperti sia di tipo naturalistico sia archeo-antropologico sulle tappe del Sentiero Italia di loro pertinenza, indagate e ben conosciute a livello territoriale, potrà costituire un importante strumento di standardizzazione e registrazione massiccia di evidenze per ora note solo a livello di pubblicazioni a tiratura e diffusione limitata. Ne risulta una migliore comunicazione ai fini educativi e di protezione;
- **incoraggiamento alla "Citizen Science"** ai Soci e appassionati: l'utilizzo di app per le segnalazioni, se sostenuto a livello locale con una corretta comunicazione, potrebbe entrare nella pratica comune dei frequentatori della montagna, che anche in assenza di un programma organizzato di sopralluoghi, potrebbero integrarne l'uso all'interno di uscite ed escursioni. Questo patrimonio di informazioni dovrebbe essere corredato da brevi video informativi finalizzati a rendere l'utilizzo più semplice ed elementare rispetto agli obiettivi attuali.

Prospettive future del progetto:

- si auspica in un prosieguo di questo progetto pilota, vista l'esperienza acquisita in questi mesi, che per la prima volta ha unito tante realtà CSR e ONC a livello nazionale con un obiettivo comune che ci ha permesso di condividere una organizzazione capillare, coinvolgere specialisti e gettare le basi del metodo

scientifico tra i nostri titolari e Soci, fortificati dalla percezione di poter essere di supporto complementare alla comunità scientifica nell'acquisizione dei dati raccolti sul campo;

- riteniamo che sarebbe anche auspicabile la continuazione dei finanziamenti tesi soprattutto al supporto nella esportazione dei dati raccolti attraverso le varie app sperimentate, sui database CAI, in modo da continuare a implementarlo, mantenendo il controllo della selezione e validazione dati da parte di referenti esperti dei CSR e del CSC, sempre in collaborazione con ISPRA o altre istituzioni scientifiche di alto livello. Il CSC, con i suoi ONC e appassionati dei vari Comitati Scientifici Regionali, potrebbero in futuro essere stimolati nell'"adottare" ogni anno altre tratte SICAI e/o sentieri CAI in considerazione delle loro disponibilità e conoscenza dei territori: potrebbero in questo modo continuare ad arricchire di informazioni scientifiche e culturali i percorsi escursionistici del CAI per tutti i frequentatori, con la finalità di informare, educare al rispetto, incuriosire gli escursionisti per aumentare la loro consapevolezza e tenere comportamenti sostenibili nel proteggere i nostri fragili e unici ambienti naturali;
- le acquisizioni dei dati raccolti secondo il progetto *Citizen Science* del CSC per il SICAI del 2024 (dati riguardanti flora, fauna, geologia e informazioni riguardanti Segni dell'uomo e Archeologia), possono continuare anche prossimamente, utilizzando le stesse app (iNaturalist e la app SICAI) per implementare con informazioni naturalistiche e culturali il sistema informativo territoriale del CAI che comprende le informazioni sul SICAI. Ogni CSR potrà coordinare le segnalazioni su tappe del SICAI come meglio crede, in dipendenza delle disponibilità dei Soci, visto che non ci saranno più finanziamenti dei rimborsi spesa;
- attualmente è stata predisposta una mappa interattiva dove visualizzare i dati estratti direttamente da iNaturalist e da Il Sentierista, più alcuni dati prelevati da alcuni database e dal database ISPRA sugli habitat: https://umap.openstreetmap.fr/it/map/sentiero-italia-cai-comitato-scientifico-centrale_1205017
- si cercherà di caricare, per ogni specie rilevata utilizzando la app iNaturalist, la possibilità di poter leggere, da parte dei fruitori della mappa, approfondimenti scientifici utilizzando il link di acquisizione della segnalazione. Attualmente sono disponibili informazioni e link anche su Wikipedia. Esempio: <https://www.inaturalist.org/observations/228389966>
- i dati acquisiti con le medesime app, verranno caricati per essere sincronizzati circa ogni sei mesi, indicativamente a maggio e a novembre. Si farà il punto della situazione indicando una riunione online con tutti gli interessati (referenti SOSEC, CSR, CSC, ecc.) a fine anno. I dati caricati con la app Il Sentierista e la app SICAI vengono aggiornati su base giornaliera, quelli di iNaturalist su base semestrale;
- purtroppo, non sono visualizzabili tutti i dati che ci sono stati mandati, al di fuori delle acquisizioni tramite app o riversamenti da database, perché l'inserimento delle segnalazioni da avvistamenti, articoli, pubblicazioni locali, deve essere svolto manualmente utilizzando il database Osm2CAI (se



Figura 12 – Sentiero Italia CAI sull'Appennino modenese, gruppo del Monte Giovo - ph G.Margheritini



Figura 13 – Sentiero Italia CAI, osservazioni faunistiche sulle Orobic bergamasche - ph Luca Bonfà



Figura 14 – Sentiero Italia CAI, al Rifugio Merelli sul Coca - Orobic Bergamasche - ph Luca Bonfà



Figura 15 – Sentiero Italia CAI tramonto sull'Appennino Tosco Emiliano - ph G. Margheritini

non si posseggono foto originali, è possibile caricare anche foto presenti su Wikipedia citando la fonte). Per le modalità di inserimento, sono le stesse utilizzate per la geologia e per "i Segni dell'uomo (Terre Alte)". Nel caso di dubbi, ci si può organizzare per aggiornamenti, previo invio al CSC dei nominativi dei Soci CAI da abilitare da parte dei responsabili informatici della piattaforma;

- l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e il CAI hanno ampliato l'accordo di collaborazione in essere per includere la raccolta e la condivisione di dati micologici lungo il Sentiero Italia e la rete escursionistica CAI, a partire da una proposta avanzata dai micologi della sezione CAI di Foggia. Grazie a questa integrazione, i micologi del CAI partecipano al censimento nazionale dei macromiceti, contribuendo alla raccolta di osservazioni e campioni secondo protocolli condivisi. I dati vengono verificati da ISPRA e pubblicati nel Sistema Informativo Sentieri del CAI dedicato al Sentiero Italia, oltre che nel Sistema Informativo Funghi (SIF) di ISPRA. Le attività si svolgono nell'ambito del network per lo studio della diversità micologica, una rete nazionale coordinata da ISPRA che coinvolge micologi, associazioni micologiche e culturali, università, musei e istituti di ricerca. Il network promuove la raccolta coordinata di dati micologici, con l'obiettivo di migliorare la conoscenza, il monitoraggio e la tutela delle specie fungine, in particolare quelle rare o legate a habitat di interesse conservazionistico. I funghi sono importanti indicatori ecologici: la loro presenza e diversità forniscono informazioni sullo stato di qualità degli habitat, sulla biodiversità e sugli effetti dei cambiamenti climatici. Per questo motivo, i dati micologici raccolti rappresentano una risorsa preziosa per la conservazione della biodiversità montana e il monitoraggio degli ecosistemi. Referente progetto: Francesca Floccia, ISPRA, francesca.floccia@isprambiente.it, coordinatrice del network per lo studio della diversità micologica;
- si aggiunge come Citizen Science svolta su iNaturalist, un sottoprodotto relativo alle formiche rosse. Il progetto, che si chiama MonitAnt (<https://www.monitant.de/>) è finanziato dal programma europeo Biodiversità. Ha lo scopo di monitorare lo stato di conservazione delle formiche rosse dei boschi e di studiare gli effetti della frammentazione degli habitat sulla sopravvivenza delle loro colonie. Queste specie sono fondamentali per le foreste, i servizi ecosistemi che svolgono sono molteplici e vanno dalla dispersione dei semi e dei licheni, alla lotta biologica contro insetti pest delle conifere. Il progetto prevede diverse attività che vanno dall'utilizzo di una app e quindi della Citizen Science per mappare i nidi distribuiti nei vari paesi, da studi specifici sul grado di variabilità genetica presente lungo il gradiente di distribuzione, allo studio dell'interazione di queste formiche con i vertebrati e gli artropodi mirmecofili che abitano i nidi. Il progetto è molto articolato e affronta moltissimi aspetti dell'ecologia di queste specie, che da decenni sono in rapido declino. Referenti del progetto: Alberto Masoni e Giacomo Santini, Dipartimento di Biologia, Università di Firenze. alberto.masoni@unifi.it. Link a video sulla serata dedicata alla nuova collaborazione in essere con il CSC: <https://www.youtube.com/watch?v=RZxop7qbxio>

Ringraziamenti

Alcuni Soci si sono impegnati in modo particolare nelle attività di monitoraggio, dedicando tempo ed energie con grande passione. Tra i più attivi ricordiamo:

Salvatore Caruso, Sebastiano Calanzone, Giuseppe Chiarenza, Flavio Ferlito, Daniele Lo Monaco, Francesco Messina, Serena Nicoletti, Mauro Petralia, Rosalda Punturo, Oliveri Valentina, Loredana di Giacomo, Franco Laganà, Romano Cordella, Domenico Arringoli, Mario Menichetti,

che insieme ad altri hanno profuso un impegno costante sotto il coordinamento dei rispettivi referenti regionali, anch'essi presenti in campo nelle diverse aree di interesse.

In Sicilia per l'area archeologia il referente è stato Flavio Ferlito, per quella di Terre Alte sono stati Flavio Ferlito e Valentina Oliveri per l'area habitat, vegetazione, fauna e Terre Alte Carmelo Bucolo e Valentina Oliveri, mentre per l'area geologia il ruolo di coordinamento è stato svolto da Rosalda Punturo.

Bibliografia

- Pellicoli Luca, *Capra ibex sulle Alpi Orobie - Esperienza di Citizen Science nel triennio 2017-2019*; Bollettino CSC-CAI aprile 2021, pp 39-49
- E.D. Brown e B.K Williams "Conserv Biol. 2018 Nov 27;33(3):561–569": <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7754136/>

Esempi di database naturalistici:

- <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/manuali-e-linee-guida/gli-habitat-in-carta-della-natura-schede-descrittive-degli-habitat-per-la-cartografia-alla-scala-1-50.000>
- https://natura2000.eea.europa.eu/?sitecode=I-T4050003&views=Sites_View
- <https://gn.mase.gov.it/portale/catalogo-metadati>
- <http://www.pcn.minambiente.it/viewer/index.php?project=natura>
- <https://sinacloud.isprambiente.it/portal/apps/Map-Series/index.html?appid=4a4a3792be324495b8f52f748c6649e0>



Figura 1 – Il Ghiacciaio Fellaria Orientale con la lingua che si getta nel lago omonimo, punto d'arrivo del Sentiero Glaciologico "Luigi Marson" (Valmalenco, gruppo del Bernina) – ph Claudio Smiraglia

Sentieri effimeri

Gli itinerari glaciologici fra scienza e divulgazione

di Claudio Smiraglia⁽¹⁾, Antonella Senese^(1, 2), Michele Di Biase^(2, 3), Roberto Ambrosini^(1, 2), Roberto Sergio Azzoni^(1, 2), Daniele Bocchiola^(1, 4), Giuseppe Cola^(1, 3), Massimo Favaron⁽⁵⁾, Davide Fugazza^(1, 2), Daniela Marzano⁽²⁾, Stefano Morosini^(5, 6), Luca Pedrotti⁽⁵⁾, Giovanni Prandi^(1, 3), Riccardo Scotti^(1, 3), Andrea Toffaletti^(1, 3), Michele Zucali⁽²⁾, Manuela Pelfini^(1, 2), Guglielmina Adele Diolaiuti^(1, 2)

1. Fondazione Glaciologica Italiana ETS (già Comitato Glaciologico Italiano - CGI)
2. Università degli Studi di Milano
3. Servizio Glaciologico Lombardo - SGL
4. Politecnico di Milano
5. Parco Nazionale dello Stelvio - ERSAF
6. Università degli Studi di Bergamo

Riassunto

I sentieri glaciologici rappresentano strumenti efficaci per comunicare gli effetti del cambiamento climatico nei paesaggi d'alta montagna. Questo contributo analizza l'evoluzione, le finalità e le sfide di tali itinerari. L'articolo riflette inoltre sulla natura effimera di questi percorsi, soggetti a rapide trasformazioni geomorfologiche, e sulla necessità di strategie comunicative e gestionali adattive. I sentieri glaciologici si configurano così come laboratori a cielo aperto, capaci di coniugare educazione ambientale, turismo sostenibile e consapevolezza climatica. Una particolare attenzione viene dedicata al Ghiacciaio dei Forni, laboratorio naturale nel Parco Nazionale dello Stelvio, e all'evoluzione del suo "sentiero glaciologico". Qui il nuovo sentiero "A. Stoppani – A. Desio" integra osservazione diretta, monitoraggio scientifico, tecnologie digitali e accessibilità inclusiva. Lungo il percorso, tredici punti di sosta documentano il regresso glaciale e offrono contenuti multimediali in tre lingue. Il progetto adotta un modello di governance partecipata e propone un approccio replicabile per altre aree alpine.

Abstract: Ephemeral paths: the "glaciological trails" between science and dissemination

Glaciological trails are effective tools for communicating the impacts of climate change in high mountain landscapes. This paper explores their evolution, purposes, and challenges. The article also reflects on the ephemeral nature of these trails, shaped by rapid geomorphological changes, and the need for adaptive communication and management strategies. Glaciological trails thus emerge as open-air laboratories, combining environmental education, sustainable tourism, and climate awareness. A particular focus is dedicated to the Forni Glacier in the Stelvio National Park, a natural laboratory for environmental monitoring, and to its glaciological trail. Here the new "A. Stoppani – A. Desio" trail integrates direct observation, scientific instrumentation, digital technologies, and inclusive accessibility. Thirteen observation points document the glacier's retreat and offer multilingual multimedia content. The project adopts a participatory governance model and proposes a replicable approach for other Alpine areas.

Introduzione: la crisi del glacialismo

Che il paesaggio dell'alta montagna glacializzata stia subendo rapide trasformazioni in rapporto soprattutto alla crisi climatica in atto e che queste trasformazioni stiano accelerando negli ultimi decenni, è un dato ormai acquisito a livello scientifico, ora anche percepito a livello della pubblica opinione. Fra gli effetti più evidenti vanno sottolineati la degradazione della criosfera, la variazione di bio- e geo- diversità, l'incremento di pericolosità e rischio, il deterioramento di quello che in senso generale potremmo definire "panorama montano". Qui, la degradazione della criosfera trova la sua manifestazione più evidente e di maggior impatto paesaggistico nella crisi del glacialismo.

Questa crisi è caratterizzata da imponenti riduzioni dei ghiacciai delle catene montuose (Hugonnet *et al.*, 2021), con perdite di massa che dal 2000 al 2023 hanno superato quelle delle calotte polari (The GlacIEM Team, 2025) e con estinzioni già avvenute, o in corso, di migliaia di ghiacciai (WGMS, 2025), tutti fenomeni che hanno

provocato fra il 1976 e il 2024 un incremento medio del livello marino di circa 25 mm (Dussailant *et al.*, 2025).

Per quanto riguarda le Alpi si osservano riduzioni areali e di lunghezza (Paul *et al.*, 2020), che portano alla frammentazione dei ghiacciai in corpi glaciali di minori dimensioni, con la trasformazione dei ghiacciai vallivi in ghiacciai montani e con la transizione da ghiacciai veri e propri a *glacieret* (glacionevati). Inoltre, si assiste all'incremento della copertura detritica sopragliaciale con la transizione da *debris free glacier* a *debris covered glacier*, l'ampiamiento delle aree proglaciali e la loro ricolonizzazione da parte della vegetazione e della fauna. Emerge dunque la necessità di far conoscere le caratteristiche peculiari, le dinamiche e soprattutto la fragilità dei ghiacciai, una fra le più rilevanti espressioni del paesaggio alpino. Quest'ultimo con l'insieme delle sue componenti biologiche e geologiche, può essere considerato un bene naturale risultato di relazioni complesse che è necessario conoscere, proteggere e valorizzare (Pelfini *et al.*, 2005).

Modalità di divulgazione: i sentieri glaciologici

Per favorire la divulgazione di queste tematiche e per facilitare in particolare la comprensione e l'osservazione degli elementi geomorfologici e naturalistici connessi all'ambiente glaciale attuale e passato, si è diffusa dalla fine del secolo scorso la realizzazione di particolari itinerari, denominati "sentieri glaciologici" (Bonardi, 2001).

Si tratta di percorsi escursionistici, solitamente con limitata difficoltà di percorrenza, creati con finalità dichiaratamente didattiche. Il loro scopo principale è infatti quello di evidenziare il valore e le singolarità degli ambienti attualmente (o in passato) glacializzati. In particolare questi sentieri dovrebbero offrire la possibilità di cogliere integralmente il significato dei ghiacciai come beni geomorfologici o geomorfositi, mostrandone gli attributi culturali, socioeconomici, scenici e scientifici (Giardino e Mortara, 1999; Pelfini *et al.*, 2004). A questa finalità si aggiunge quella divenuta ultimamente più importante, cioè la possibilità di osservare direttamente uno degli effetti più imponenti e significativi della crisi climatica, ossia la rapida, intensa e drammatica riduzione delle masse glaciali.

Uno dei più noti e frequentati a livello internazionale è sicuramente il Sentiero del Ghiacciaio del Morteratsch in Svizzera, che porta all'osservazione del ghiacciaio omonimo situato nel gruppo del Bernina, definibile fino a un decennio fa "l'unico ghiacciaio raggiungibile con un passeggiare". L'itinerario quasi completamente pianeggiante portava infatti fino alla fronte del ghiacciaio (Maisch *et al.*, 1993), oggi raggiungibile solo con una salita ripida su placche montonate. L'ammodernamento continuo delle modalità di comunicazione lungo l'itinerario e online, che tracciano l'evoluzione del ghiacciaio dalla Piccola Età Glaciale, e soprattutto le attuali accresciute difficoltà nel raggiungimento della fronte, ne fanno veramente un esempio significativo per questo tipo di itinerari.

Sentieri glaciologici: finalità e problemi

La progettazione e la realizzazione di questo tipo di itinerari presentano chiaramente gli stessi problemi di base di quelle dei sentieri genericamente definibili "di montagna", spesso amplificati dalle morfologie aspre e dalla quota talora elevata, cui si aggiungono aspetti peculiari legati alle loro finalità non esclusivamente escursionistiche (per le modalità operative e gestionali nel campo della sentieristica montana si può consultare il sito del Club Alpino Italiano (CAI) <https://www.cai.it/organizzazione/strutture-operative/struttura-operativa-sentieri-e-cartografia-sosec/>).

A proposito delle caratteristiche del tutto peculiari dei sentieri glaciologici si può in sintesi affermare che, una volta chiarite le finalità della loro progettazione, e ovviamente della loro percorrenza, è necessario trovare un equilibrio fra esigenze spesso fra di loro contrastanti. Riguardo alle finalità va ribadito che l'obiettivo principale dei sentieri glaciologici deve essere quello di favorire la conoscenza diretta dei ritmi accelerati di evoluzione dell'ambiente naturale collegati alla crisi climatica (Smiraglia *et al.*, 2005). In effetti la visita, debitamente guidata, alla fronte di un ghiacciaio, soprattutto se ripetuta nel corso della stessa estate, può offrire al visitatore impressioni emotivamente forti e incancellabili sulla rapidità delle trasformazioni del paesaggio glaciale. Dove fino a poche settimane prima erano ben visibili pareti o ripidi

In Italia la prima realizzazione di questo tipo risale al 1992 per opera del Servizio Glaciologico Lombardo (SGL) con il Sentiero Glaciologico "Vittorio Sella" al Ghiacciaio del Ventina nel gruppo del Disgrazia in Valtellina (SGL, 1992; SGL, 2010). Nel 1995 seguì il Sentiero Glaciologico "del Centenario" al Ghiacciaio dei Forni, nel gruppo Ortles-Cevedale, sempre in Valtellina, realizzato dal Comitato Glaciologico Italiano (CGI) in occasione dei cento anni dalla sua fondazione (Smiraglia *et al.*, 1995). Seguirono il Sentiero Glaciologico "Luigi Marson" al Ghiacciaio di Fellaria, sempre a cura del SGL (Arzuffi *et al.*, 1997) e poco dopo quelli della Val Martello (Secchieri, 1998) e dell'Antelao (Coppola, 1998). Fra le ultimissime realizzazioni vi sono il "Giardino dei Ghiacciai", sentiero glaciologico per la valorizzazione degli storici segnali posti sulle fronti del Ghiacciaio della Valnontey - Gran Paradiso (Giardino e Mortara, 2022), il Sentiero Glaciologico "Giuseppe Nangeroni - Italo Belotti" al Ghiacciaio di Dosdè Est in Val Viola, Alta Valtellina a cura dell'SGL nel 2023 e quella del Sentiero Glaciologico "Prayer", che guida alla visita dei ghiacciai della Valpelline (Valle d'Aosta), a cura della Fondazione Glaciologica Italiana ETS (già "Comitato Glaciologico Italiano - CGI") nel 2025.

Attualmente in Italia i sentieri glaciologici "ufficiali" (intendendo con questa definizione gli itinerari appositamente segnalati e descritti in Guide dedicate) sono una decina, distribuiti nei vari settori delle Alpi Italiane, con una sensibile concentrazione nelle Alpi Centrali. In realtà una recente Guida degli itinerari glaciologici sulle montagne italiane, pubblicata dalla Società Geologica Italiana (SGI) a cura del CGI, ne elenca ben ventidue, dalle Alpi Marittime fino alle Alpi Giulie e al Gran Sasso negli Appennini (SGI-CGI, 2017; Smiraglia *et al.*, 2017; Smiraglia & Casarotto, 2018).

pendii di ghiaccio "vivo", si osservano invece complessi detritici di varia granulometria (dai blocchi isolati plurimetri ai clasti centimetrici, fino agli strati sottili di limo o addirittura di argilla) e diversa morfometria (dai frammenti rocciosi squadrati e spigolosi di trasporto sopragliaciale ai clasti arrotondati, fino alle classiche morfologie da trasporto subglaciale con clasti striati a "ferro da stiro" o a "proiettile"). Il tutto spesso accompagnato da blocchi di ghiaccio di varie dimensioni derivanti dal crollo di volte, caverne e archi di ghiaccio, che fino a poco prima erano talora ben osservabili nella zona frontale del ghiacciaio. A questo solitamente si aggiungono le acque di fusione ruscellanti o incanalate, che percorrono il detrito e che creano nuove morfologie altrettanto effimere, oppure si raccolgono in laghi di varie dimensioni, dapprima di contatto glaciale, successivamente staccati rispetto alla fronte. Percorrere un sentiero glaciologico fino alla fronte glaciale attuale, dovrebbe quindi suggerire che il ghiacciaio in questo quadro evolutivo si configura veramente come *a canary in a coalmine* e si propone come il segnale più avvertibile, pronto e significativo della crisi climatica in atto (Diolaiuti & Smiraglia, 2001).

In sintesi la progettazione di un sentiero glaciologico dovrebbe tendere all'armonizzazione di interessi diversificati e all'equilibrio fra esigenze molteplici, che potrebbero così essere sintetizzate:

- interesse scientifico;
- interesse escursionistico;
- interesse paesaggistico;
- accessibilità rispetto alle difficoltà tecniche di percorrenza;
- tipologia della segnaletica e della comunicazione;
- riduzione dell'impatto paesaggistico;
- rapida evoluzione geomorfologica.

Ciascuno di questi elementi, cui si dovrebbe chiaramente aggiungere l'individuazione della tipologia di pubblico al quale il sentiero vorrebbe rivolgersi, meriterebbe un approfondimento.

In questa sede basterà osservare come in primo luogo l'interesse scientifico, quello escursionistico e quello paesaggistico, dovrebbero armonizzarsi. In altre parole e in un caso ideale, il raggiungimento di una fronte glaciale dovrebbe avvenire con un percorso non particolarmente lungo e tecnicamente poco impegnativo, con evidenze ben osservabili delle tracce morfologiche delle fasi precedenti di ritiro e di avanzata e con possibilità di osservazioni non solo glaciologiche, ma anche di altri sistemi morfodinamici (paraglaciale, periglaciale, gravitativo, fluviotorrentizio, ecc.). Ideale sarebbe anche la possibilità durante l'escursione di osservare elementi non solo del paesaggio naturale genericamente definibile "geologico", ma anche di quello vegetale e animale, nelle sue fasi di progressiva colonizzazione delle aree deglaciate, nonché di quello antropico. Si arriverebbe così all'approfondimento delle relazioni esistenti, ma anche di quelle potenziali, fra il patrimonio glaciologico-geomorfologico-geologico del paesaggio e le risorse naturali, storiche e culturali che emergono durante la percorrenza degli itinerari glaciologici. La qual cosa può certamente favorire un turismo a impronta geo(-morfo)logica che si integra con il concetto più generale

La sfida dei sentieri effimeri

Quanto accennato sulle difficoltà tecniche di percorrenza dei sentieri glaciologici deve essere approfondito tenendo conto dell'accelerazione dei processi geomorfologici in atto negli ultimi decenni in alta montagna (ma ovviamente non solo in questo contesto ambientale!). Nel campo più strettamente alpinistico ed escursionistico numerose sono le ricerche scientifiche volte a evidenziare le trasformazioni recenti degli itinerari di ascensione e di escursione, ad analizzarne le cause e soprattutto a sottolineare l'incremento di pericolosità e rischio a queste collegate, oltre a proporre metodologie di adattamento (si vedano per esempio Mourey *et al.*, 2019, che analizzano fra l'altro l'evoluzione della "via normale" francese del Monte Bianco; Ritter *et al.*, 2011; Salim *et al.* 2021; Smiraglia & Mortara, 2023). Di fatto anche i sentieri glaciologici stanno subendo una rapida evoluzione morfologica (e anche delle modalità di percorrenza e di pericolosità e quindi di rischio) che, seguendo Mourey *et al.*, 2019, possono essere ascritti: 1) alla degradazione del permafrost; 2) alla fusione della copertura di ghiaccio e neve; 3) ai processi paraglaciali; 4) al regresso glaciale.

Per quanto riguarda i sentieri glaciologici va sottolineato che nella quasi totalità degli itinerari esistenti sulle Alpi Italiane non vi è la percorrenza diretta di ghiacciai e quindi le trasformazioni derivano sostanzialmente dai processi paraglaciali e dalla fusione del permafrost, oltre che

di turismo culturale sostenibile. Altri requisiti interessanti per il sentiero glaciologico "ideale" potrebbero essere il percorso "ad anello", che offra quindi la possibilità di un ritorno con osservazioni diverse rispetto all'andata (e anche la possibilità di osservazione degli stessi elementi paesaggistici già osservati, ma da una diversa prospettiva), nonché la presenza di spazi "panoramici" aperti, che permettano suggestioni anche estetiche sulle cime e le valli circostanti.

A proposito poi di accessibilità e difficoltà tecniche di percorrenza, se si è d'accordo sul fatto che questa tipologia di itinerari e soprattutto di messaggio culturale e scientifico che si vuol trasmettere, debba coinvolgere un pubblico il più vasto possibile, è opportuno che i "sentieri" in oggetto non presentino difficoltà tecniche elevate.

Da questo punto di vista ci si può riferire alla classificazione della Commissione Centrale di Escursionismo del CAI, che suddivide gli itinerari con difficoltà crescente in Turistici (T), Escursionistici (E), per Escursionisti Esperti (EE). (<https://www.cai.it/organizzazione/organismi-centrali/commissione-centrale-escursionismo-e-cicloescursionismo/>).

Se ci riferisce alle Guide SGI-CGI sopra citate, si constata che la quasi totalità degli itinerari glaciologici è classificata (E), in qualche caso con dei tratti (EE), mentre in solo due casi si indicano tratti di EEA (ci si riferisce a itinerari per escursionisti esperti dotati di attrezzature di autoassicurazione per la percorrenza delle cosiddette "vie ferrate").

In tempi recenti, la progettazione dei sentieri glaciologici ha iniziato a considerare anche l'accessibilità per persone con mobilità ridotta, famiglie con bambini e nuovi fruitori come ciclisti con e-bike (Senese *et al.*, 2023).

L'uso di *joelettes* e altri ausili ha permesso di estendere la fruizione a un pubblico più ampio, rendendo il messaggio scientifico e ambientale più inclusivo e democratico.

dall'intervento antropico. Nel primo caso le zone a più rapida evoluzione sono le morene, soprattutto laterali, per le quali si assiste a un incremento delle dimensioni, a un aumento dell'inclinazione dei versanti, soprattutto quelli interni, e a una loro rapida destabilizzazione con un incremento delle cadute di sassi, delle frane e di colate detritiche. Quest'ultimo fenomeno caratterizza anche i versanti non morenici, grazie anche all'accelerata fusione del permafrost. Altre zone in rapida evoluzione sono quelle proglaciali con intensificazione dei processi di erosione e accumulo a opera del ruscellamento diffuso e soprattutto dei torrenti, la cui portata, derivante in massima parte dalla fusione nivale e glaciale, è estremamente irregolare e spesso imprevedibile. Sulla percorribilità dei sentieri glaciologici certamente più limitati sono gli effetti dei processi strettamente glaciali, in quanto gli itinerari solo raramente portano a contatto diretto con la fronte o, come già detto, prevedono l'attraversamento del ghiacciaio; in questo caso le modalità del regresso possono dare origine a collassi delle fronti e di caverne subglaciali, al crollo di frammenti rocciosi lungo le pareti di ghiaccio più ripide e alla formazione di laghi di contatto glaciale, solitamente molto effimeri.

Nel caso di attraversamento o di percorso direttamente sul ghiacciaio, intervengono ovviamente tutti quei fenomeni che caratterizzano le ascensioni su questo tipo di



Figura 2 – La lingua del Ghiacciaio Morteratsch con la vetta del Pizzo Bernina. La lingua è ormai osservabile solo risalendo le ripide placche rocciose che sovrastano il termine del Sentiero - ph Claudio Smiraglia



Figura 3 – Il massiccio del Monte Rosa visto dal Rifugio Pastore (Piemonte) lungo il Sentiero Glaciologico del Parco Naturale Alta Valsesia - ph Claudio Smiraglia



Figura 4 – Il Ghiacciaio del Ventina (Gruppo del Disgrazia, Lombardia) visto dall'inizio del Sentiero Glaciologico "Vittorio Sella", il primo itinerario di questo tipo realizzato dal Servizio Glaciologico Lombardo nel 1992 - ph Claudio Smiraglia



Figura 5 – Morene frontali della Piccola Età Glaciale visibili lungo il Sentiero Glaciologico "Vittorio Sella" al Ventina - ph Claudio Smiraglia

terreno, come l'incremento numerico e dimensionale dei crepacci, il crollo di seracchi, le modifiche dell'idrologia sopragliaciale. Di fatto nella progettazione di un sentiero glaciologico va tenuto conto che si tratterà di un percorso "effimero", soprattutto nel suo settore più elevato e che la sua evoluzione geomorfologica potrà avvenire in tempi relativamente brevi (questo per esempio nel caso di eventi di precipitazioni concentrate o di periodi di rapido incremento termico e di conseguente brusco aumento della portata dei corsi d'acqua ad alimentazione nivo-glaciale); sarà quindi indispensabile prevenire una serie di interventi volti a garantirne la percorribilità

La sfida della comunicazione

A fronte di questa rapida evoluzione dei percorsi alpinistici ed escursionistici, e quindi anche dei sentieri glaciologici, che si sono definiti in modo efficace "effimeri", e che spesso si concretizza in un incremento della loro pericolosità, si apre un'altra sfida: quella della comunicazione. È questo un settore in cui rapidità e dimensioni del cambiamento possono davvero essere paragonate a quelle della morfodinamica alpina. Quando in Italia sono stati creati i primi sentieri glaciologici, la divulgazione della loro realizzazione con tutto il corollario di informazioni conseguenti (descrizione dell'itinerario, note scientifiche, informazioni per la percorrenza, difficoltà tecniche, ecc.) era affidata soprattutto a guide cartacee (per esempio SGL, 1992 per il Ventina; Smiraglia *et al.*, 1995 per i Forni; Secchieri, 1998 per la Val Martello; Coppola *et al.*, 1998 per l'Antelao). Le metodologie per divulgare informazioni, e quindi caratteristiche e fattori attrattivi di questi itinerari, utilizzate da questi volumi sono paragonabili, fatte le debite proporzioni, a quelle delle ben note Guide dei Monti d'Italia editi dal Club Alpino Italiano e dal Touring Club Italiano, mitici libri sui quali si sono formate intere generazioni di alpinisti e di appassionati di montagna, pubblicati dall'inizio del secolo scorso fino al 2013. L'abbandono di questa collana può essere stato sicuramente dovuto a problemi editoriali o economici, ma certamente deve avere influito anche la constatazione che pochi anni dopo la pubblicazione del volume, la descrizione degli itinerari, soprattutto per quelli delle aree glaciali, diveniva del tutto desueta e inadeguata.

Anche per la descrizione dei sentieri glaciologici è quindi necessario utilizzare nuove strategie ed è indispensabile che le Guide cartacee vengano sostituite, o al limite affiancate, da tutte quelle tecnologie che offre la comunicazione moderna; ciò in particolare è indispensabile per aggiornare in tempi rapidi Guide e manuali e per attrarre il pubblico giovane che è sempre più connesso a Internet e utilizza massivamente cellulari, computer e altri device elettronici. Le nuove modalità di comunicazione includono l'uso di QR code collocati lungo il percorso, che permettono l'accesso a contenuti multilingue (italiano, inglese, tedesco) sotto forma di testi, immagini e video. Alcuni progetti pilota hanno anche sperimentato l'uso di realtà virtuale e video immersivi a 360°, utili per eventi divulgativi in città e per avvicinare il pubblico giovane alla glaciologia. La rapidità dell'aggiornamento delle condizioni di percorribilità dell'itinerario, nonché ovviamente delle condizioni meteorologiche, diventa essenziale per ridurre i rischi della percorrenza di questi sentieri, soprattutto in quelle zone dove i processi geodinamici di tipo paraglaciale sono in evidente accelerazione ed esten-

o addirittura a modificarne il tracciato, come è avvenuto in tempi recenti per alcuni sentieri di ghiacciai italiani, come quelli dei ghiacciai del Ventina, dei Forni, di Solida. Un cenno meritano anche le trasformazioni derivanti dai processi antropici, che solitamente si concretizzano in sbancamenti o in altre opere talora invasive, volte ad ampliare la larghezza del sentiero e a ridurre la ripidezza e le irregolarità del percorso. Questo tipo di intervento sta caratterizzando recentemente numerosi itinerari con il proposito certamente di rendere più agevole e quindi meno rischioso il percorso, ma anche di agevolarne l'accesso per le mountain bike.

sione areale. La risposta alla rapida evoluzione geomorfologica e meteo-climatica per una frequentazione il più possibile sicura dell'alta montagna va dunque ricercata in una serie di strategie basate su tre gruppi di processi:

1. informativi;
2. educazionali;
3. adattativi.

Il primo gruppo, come si è accennato, deve basarsi su una divulgazione il più possibile rapida, aggiornata e attendibile rispetto alle condizioni di percorribilità dei sentieri, soprattutto nel caso di eventi parossistici (frane, colate detritiche, ecc.).

Il secondo deve diventare un compito essenziale per gli enti e le strutture che si occupano di montagna e di scienza della montagna perché i possibili frequentatori dei sentieri glaciologici (e ovviamente di ogni altro tipo di percorso) abbiano chiare non solo le difficoltà tecniche e le possibili pericolosità e i conseguenti rischi degli itinerari, ma anche le proprie capacità e i propri limiti fisiologici e psicologici.

Il terzo gruppo di processi, l'adattamento, vede l'utilizzo di tutti quegli interventi di modifica concreta degli itinerari utili per ridurre i rischi di percorrenza (per esempio collocazione di attrezzature fisse di sicurezza, come catene, gradini, ponti, ecc., cui si possono aggiungere sbancamenti, disgaggi, pulizia dei versanti e altre tecniche di geingegneria). In questo gruppo si può inserire anche la cartellonistica che deve essere certamente informativa sullo svolgersi dell'itinerario, ma deve soprattutto, quando necessario, indicare possibili pericoli e in casi estremi segnalare che il sentiero non è più percorribile.

A tutto ciò si potrebbe aggiungere un adattamento definibile "psicologico", basato sulla necessità di adattarci e di cambiare i nostri comportamenti in relazione ai cambiamenti della montagna, ben sintetizzato da quanto scritto dal Club Alpino Accademico Orientale dopo la tragedia della Marmolada del luglio 2022: "Di questi tempi, dove la velocità del cambiamento è elevata, dobbiamo imparare ad adattare rapidamente le nostre abitudini e obiettivi, ricordando che anche la rinuncia o il cambio di programma, non rappresentano una sconfitta ma una forma di intelligenza adattativa".

Per concretizzare le strategie sopra indicate è anche necessario ripensare il modello di progettazione e di gestione dei sentieri glaciologici, finora affidati in massima parte a ricercatori e associazioni di volontariato. Diventa quindi indispensabile il coinvolgimento delle autorità locali ai vari livelli, delle Guide alpine, delle scuole, dei parchi e aree protette (ovviamente se il percorso si col-

loca al loro interno). Tutto ciò, pur tenendo conto delle complicazioni e delle lungaggini anche burocratiche che questo tipo di gestione può creare, dovrebbe favorire la realizzazione di un "prodotto" che possa soddisfare le necessità e le richieste anche di coloro che vivono in quel territorio e di quel territorio.

La necessità di un lavoro corale e comunitario, con la creazione di un vero e proprio network territoriale, diventa evidente, per esempio, nel controllo delle condizioni di percorribilità dei sentieri, negli interventi di manutenzione, nella divulgazione il più possibile rapida di interruzioni o modifiche di percorso, nella segnalazione di rischi, nella progettazione e realizzazione di una segnaletica a ridotto impatto ambientale.

A questo proposito, sempre in ambito plurigestionale e comunitario, andrebbe discussa la contraddizione di base insita nella volontà di divulgare e pubblicizzare itinerari in ambienti fragili come quello dell'alta montagna glacializzata con l'intento di richiamare un numero di fruitori sempre più elevato. L'auspicato incremento della frequentazione turistica è infatti un fenomeno che, se non opportunamente gestito attraverso efficaci adattamenti

educazionali, potrebbe portare a forme di over tourism che possono modificare o addirittura annullare quelle caratteristiche ambientali originali che fungevano da fattore polarizzante per l'itinerario in questione. I sentieri glaciologici devono quindi inserirsi in un quadro generale non solo di divulgazione della conoscenza, ma anche di sostenibilità e rispetto ambientale.

Come unico esempio di questa complessa e variegata tematica si possono ricordare le modalità di illustrazione e comunicazione *in situ* delle note escursionistiche e scientifiche di cui devono fruire i frequentatori di quell'itinerario. Come già accennato, nelle prime realizzazioni di fine Novecento il tutto era basato su una cartellonistica collocata lungo il percorso nei siti di maggiore interesse paesaggistico e scientifico, eventualmente accompagnata da una Guida cartacea in forma di volumetto o di pieghevole. Nelle realizzazioni più recenti questa modalità di comunicazione viene considerata sempre più impattante, tenendo conto anche del rapido degrado cui pannelli e cartelli sono soggetti, e viene sostituita o affiancata dalle già citate tecnologie di comunicazione da remoto.



Figura 6 – Sentiero del Morteratsch: cartello di pericolo alla fine del sentiero per i possibili rischi da caduta sassi lungo le ripide placche residue di "ghiaccio morto". Viene anche suggerito di non edificare "ometti" se non per favorire l'orientamento degli escursionisti - ph Claudio Smiraglia



Figura 7 – Pannelli esplicativi collocati all'inizio del Sentiero Glaciologico "Vittorio Sella" nei pressi del Rifugio Gerli-Porro - ph Claudio Smiraglia



Figura 8 – Pannello esplicativo all'inizio del Sentiero Glaciologico della Vallelunga-Val Venosta - ph R. Dinale

L'esempio del Ghiacciaio dei Forni

Nel quadro complesso sopra delineato è possibile collocare l'esempio di uno dei primi sentieri glaciologici realizzati sulle montagne italiane, quello del Ghiacciaio dei Forni nel settore lombardo del gruppo Ortles-Cevedale e nel Parco Nazionale dello Stelvio. Quello dei Forni è sicuramente uno dei più noti e frequentati ghiacciai italiani, sia per motivazioni escursionistiche sia per motivazioni scientifiche.

A tutt'oggi questo ghiacciaio può davvero essere considerato un laboratorio di alta montagna dove i temi più propriamente scientifico-naturalistici, affrontati in una prospettiva pluridisciplinare, si integrano con i problemi della valorizzazione turistica e del suo impatto su un ambiente molto delicato e fragile e con quelli della sua pericolosità e del rischio conseguente, soprattutto negli ultimissimi decenni (si veda Diolaiuti & Smiraglia, 2010; Smiraglia *et al.*, 2017; Smiraglia *et al.*, in revisione).

Il Ghiacciaio dei Forni è anche sede di un articolato sistema di monitoraggio ambientale, attivo da oltre vent'anni. Il progetto IdroStelvio, avviato nel 2010, ha installato una rete di stazioni idrologiche che copre oltre il 90% delle aree glacializzate del Parco, permettendo di acquisire dati fondamentali sul deflusso delle acque di fusione (Bocchiola *et al.*, in revisione). Dal 2005 è attiva una stazione meteorologica automatica (AWS) sulla lingua glaciale, che registra parametri energetici e climatici utili alla modellazione della fusione (Senese *et al.*, 2012a; 2012b; 2014; 2016; 2018). A supporto, vengono utilizzate aste ablatometriche e radiometri per la misurazione dell'albedo, confermando anche il fenomeno del *glacier darkening* osservato grazie al *remote sensing* negli ultimi anni (Fugazza *et al.*, 2019).

Il Ghiacciaio dei Forni è stato a lungo classificato come "ghiacciaio vallivo a bacini composti o confluenti", costituito da tre bacini collettori dai quali scendevano altrettante colate che confluivano in una lingua centrale. Con una superficie di circa 11 km² era il secondo ghiacciaio per estensione delle Alpi Italiane, dopo quello dell'Adamello. L'imponente regresso della lingua principale e la costante riduzione di spessore hanno determinato a partire dal 2015 la frammentazione in tre colate distinte, per cui il ghiacciaio ha perso la sua unità morfostutturale nonché toponomastica.

L'evoluzione del sentiero glaciologico dei Forni ha accompagnato l'involutione del ghiacciaio, che di fatto ne è stata la causa. Realizzato, come si è già accennato, nel 1995 per celebrare i cento anni di fondazione del Comitato Glaciologico Italiano (inizialmente Commissione Glaciologica del Club Alpino Italiano e oggi Fondazione Glaciologica Italiana ETS), venne denominato "Sentiero Glaciologico del Centenario al Ghiacciaio dei Forni".

L'itinerario partiva dal Rifugio dei Forni percorrendo il versante destro idrografico della Valle del Frodolfo lungo le morene tardoglaciali (le fasi tardoglaciali si collocano all'incirca fra 17.000 e 11.700 anni fa), raggiungeva il Rifugio Branca, seguiva la morena della Piccola Età Glaciale (PEG, con la massima espansione verso la metà del XIX secolo) e con una breve discesa raggiungeva la superficie del ghiacciaio, che veniva attraversato in tutta la sua larghezza. Si toccavano successivamente sul versante sinistro idrografico le morene della PEG e le morene del Tardoglaciale (per il Ghiacciaio dei Forni sono state recentemente individuate da Longhi & Guglielmin, 2021,

sei fasi glaciali prima della PEG da 15.000 a 1500 anni fa); si tornava poi al Rifugio dei Forni, dopo avere incontrato dieci punti di sosta in corrispondenza delle evidenze più interessanti e spettacolari dal punto di vista glaciologico e paesaggistico. Si era appena conclusa la breve fase di espansione 1965-1990 e la lingua del ghiacciaio si spingeva ancora ben al di sotto del Rifugio Branca. In breve l'itinerario divenne un classico dell'escursionismo alpino che vedeva ogni estate centinaia di escursionisti e turisti percorrere il sentiero, del quale venivano apprezzati sia l'attrazione paesaggistica, sia l'interesse scientifico, sia infine il percorso "ad anello", che poteva essere compiuto nei due sensi di marcia (Garavaglia *et al.*, 2012).

La ripresa e l'accelerazione del regresso, valutabile in oltre 1,2 km a partire dal 1990, insieme alla rapida riduzione di spessore, provocarono un incremento di pericolosità e rischio nella percorrenza del sentiero, soprattutto nella fase di discesa sulla superficie del ghiacciaio.

Le numerose lenti di ghiaccio, rimaste sepolte nel morenico, al di sotto della morena PEG, cominciarono infatti a collassare, originando frequenti colate di fango (*mud flow*) e colate di detriti (*debris flow*), che suggerirono numerose modifiche dell'itinerario. Il raggiungimento e l'attraversamento del ghiacciaio divenivano in ogni caso sempre più complicati e rischiosi, sia nella fase di discesa per raggiungere la sua superficie, sia nella fase di risalita per riprendere le morene PEG (Pelfini & Smiraglia, 2007). Il ritiro della lingua al di sopra del salto di rocce levigate dall'erosione glaciale ben visibile dal Rifugio Branca, impedì poi la percorrenza dell'itinerario "ad anello"; era infatti impossibile attraversare i due impetuosi torrenti provenienti dalla fronte del ghiacciaio, che si gettavano in due profonde forre incise sulla parete di rocce levigate. Il problema venne risolto all'inizio degli anni Duemila con la collocazione di due ponti sospesi che permettevano di superare i due torrenti, che in breve, con la denominazione di "ponti tibetani", divennero un importante ed emozionante richiamo turistico.

Successivamente il percorso divenne più articolato e suddiviso in due itinerari, il "Sentiero Glaciologico Alto" e il "Sentiero Glaciologico Basso". Il primo, più lungo e lievemente più impegnativo, ma anche più spettacolare anche dal punto di vista paesaggistico, dal parcheggio dei Forni risale il versante sinistro idrografico della valle del Frodolfo, arriva ai "ponti tibetani" e porta poi a osservare da vicino la fronte del ghiacciaio in veloce e costante disfacimento e regresso. Ritornati ai "ponti" si può scendere al Rifugio Branca e poi tornare al parcheggio del Rifugio dei Forni, dopo avere compiuto un percorso ad anello (si vedano Smiraglia & Diolaiuti, 2012; Smiraglia *et al.*, 2017).

Nella discesa al Branca è particolarmente interessante, ma da percorrere con attenzione, il tratto pianeggiante che segue la base della gigantesca morena laterale destra della PEG. La morena presenta infatti una tipica morfologia pseudocalanchiva ed è soggetta a erosione intensa con frequenti crolli di materiali a granulometria molto diversificata (dai *debris flow* ai singoli clasti). Si tratta di un classico esempio di evoluzione da un sistema morfodinamico "glaciale", che ha edificato la morena, a un sistema morfodinamico "paraglaciale" (basato su processi gravitativi e di erosione da acque incanalate – *rill erosion*), che la sta rimodellando. Di particolare interesse, oltre alle morene tardoglaciali, distribuite con

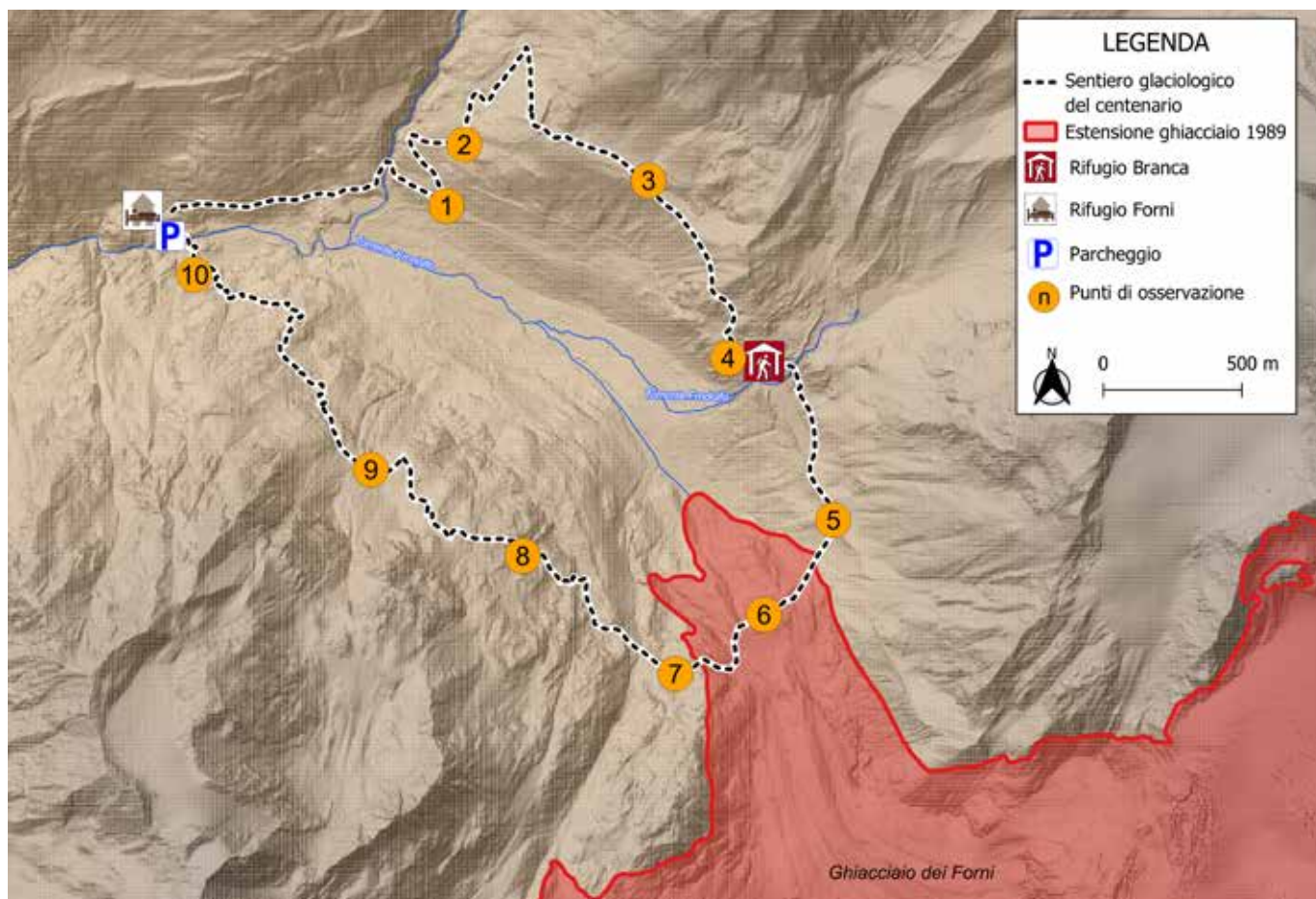


Figura 9 – Il tracciato del "Sentiero Glaciologico del Centenario al Ghiacciaio dei Forni" del 1995 con i dieci punti di sosta e di osservazione - elaborazione M. Di Biase



Figura 10 – Il "ponte tibetano" che permette il superamento del torrente glaciale principale del Ghiacciaio dei Forni lungo il "Sentiero Glaciologico Alto" - ph Claudio Smiraglia



Figura 11 – Il Ghiacciaio dei Forni, il secondo ghiacciaio per estensione delle Alpi Italiane, nel 2005. È ben visibile l'ampio bacino collettore della lingua centrale al di sotto della Punta Cadini (3524 m), con l'ampia seraccata e le morene mediane. La fronte si appoggia ancora sul ciglio della fascia trasversale di ripide rocce montonate - ph R. Scotti



Figura 12 – Il Ghiacciaio dei Forni si riflette nel piccolo lago (Laghetto delle Rosole) creato dallo sbarramento della morena laterale destra della PEG ben osservabile lungo il Sentiero Glaciologico Alto, poco a monte del Rifugio Branca - ph Claudio Smiraglia



Figura 13 – Il Ghiacciaio dei Forni nel periodo 1860-1870 con la lingua che si spinge fin quasi alla posizione dell'attuale Rifugio dei Forni durante la massima espansione della PEG. Si faccia il confronto con la situazione attuale illustrata nella Figura 14 - ph A. Vismara



Figura 14 – Il Ghiacciaio dei Forni nel 2022. Il ghiacciaio ha abbandonato quasi completamente la valle del torrente Frodolfo, che è stata rapidamente colonizzata dalla vegetazione anche arborea, ed è risalito ben oltre la fascia di rocce montonate ben visibile dal Rifugio Branca, con un regresso di oltre 2,3 km. Nel 2015 si è separato in tre frammenti; nella foto sono visibili al centro la breve lingua che scende dal bacino orientale e sulla destra una piccola parte del bacino centrale - ph R. Scotti



Figura 15 – Il masso utilizzato come segnale glaciologico dal 2010 per le misure delle variazioni frontali del Ghiacciaio dei Forni dagli operatori del Servizio Glaciologico Lombardo, quando il ghiacciaio costituiva ancora una struttura unitaria - ph Claudio Smiraglia



Figura 16 – La fronte in rapido disfacimento del Ghiacciaio dei Forni con volte e archi di ghiaccio in fase di collasso, un classico esempio di trasformazione da pericolosità a rischio attraverso la vulnerabilità e l'esposizione ben evidenziate nell'immagine - ph Claudio Smiraglia

regolari creste inerbite lungo entrambi i versanti e a quelle della PEG, come già detto in rapida fase evolutiva, è l'osservazione delle tracce del Primo conflitto mondiale (come le fortificazioni in corrispondenza del Punto 8, oltre a resti di casermette, camminamenti, trincee, ecc), spesso restaurate con cura grazie all'opera del Parco Nazionale dello Stelvio (Morosini, 2022). Recenti studi hanno evidenziato la presenza di microplastiche nei detriti sopragliaciali del Ghiacciaio dei Forni, rendendolo il primo ghiacciaio alpino dove tale contaminazione è stata documentata (Ambrosini *et al.*, 2019; Crosta *et al.* 2025). Parallelamente, ricerche ecologiche hanno analizzato le comunità microbiche e la fauna sopragliaciale, rivelando reti ecologiche complesse e dinamiche stagionali significative (Crosta *et al.* 2024). Questi risultati rafforzano il ruolo del ghiacciaio come ecosistema estremo e indicatore sensibile degli impatti antropici. In sintesi il Sentiero Glaciologico Alto è stato definito sui siti Internet "Una splendida escursione ad anello nella Valle dei Forni per ammirare da vicino i ghiacciai del Parco Nazionale dello Stelvio". Il Sentiero Glaciologico Basso è, come già osservato, sicuramente meno impegnativo e anche meno spettacolare, ma permette in ogni caso interessanti osser-

vazioni sulle varie fasi di avanzata e di ritiro del ghiacciaio e sulle morfologie create dalla sua evoluzione, nonché sulle caratteristiche e l'evoluzione delle fasce vegetazionali della valle. L'itinerario che percorre, sempre ad anello, ma a una quota più bassa, i due versanti della valle, offre comunque dei collegamenti con il Sentiero Alto, che permettono di arrivare vicino alla fronte del ghiacciaio. Negli anni più recenti, in particolare dopo la pandemia, si è assistito a due fenomeni concomitanti: da una parte si è visto un incremento numerico sensibile di escursionisti e turisti che percorrono il Sentiero Glaciologico, cui si aggiungono sempre più numerosi bikers, dall'altra si è sicuramente verificato un incremento della pericolosità e di conseguenza del rischio della sua percorrenza. Quest'ultimo fenomeno si è sviluppato sia in funzione dell'accelerazione dei processi morfodinamici sopra citati, sia spesso per la scarsa preparazione e l'equipaggiamento poco adatto di molti frequentatori. Ne deriva quindi l'esigenza di un imponente e indispensabile lavoro educativo e comunicativo da parte dei vari enti preposti alla gestione e alla pubblicizzazione del Sentiero, come il Parco Nazionale dello Stelvio, il Club Alpino Italiano attraverso le sue molteplici strutture, le varie amministrazioni.

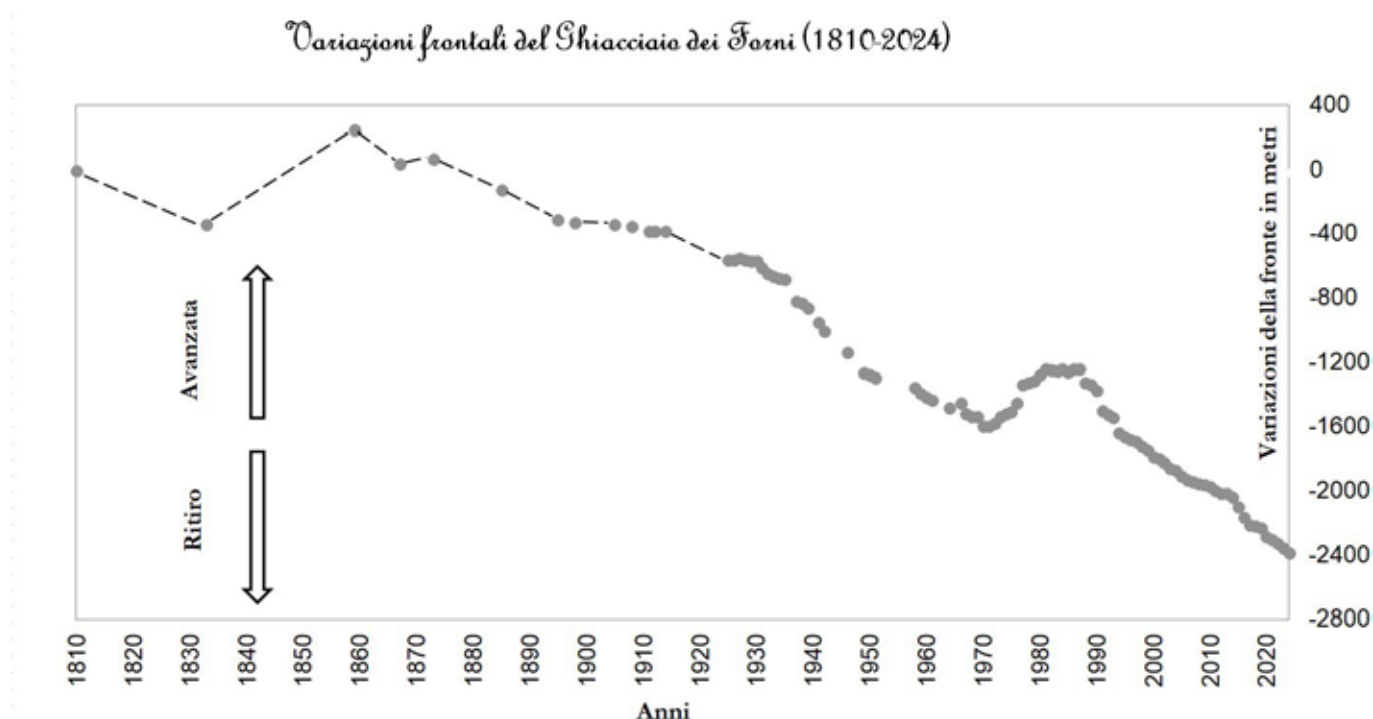


Figura 17 – Grafico delle variazioni frontali del Ghiacciaio dei Forni dal 1810 al 2024 - Elaborazione G. Cola

Un nuovo progetto: il Sentiero "Antonio Stoppani - Ardito Desio" al Ghiacciaio dei Forni

In tempi recenti il sempre maggiore interesse della pubblica opinione per gli effetti dei cambiamenti climatici e per le conseguenti trasformazioni dei paesaggi di alta montagna, in particolare glaciali, ha suggerito la progettazione di un nuovo percorso, che, partendo da sentieri preesistenti, unisce una parte del Sentiero Basso con il settore superiore del Sentiero Alto. L'obiettivo è quello di seguire e osservare, debitamente guidati, le tracce lasciate dal ghiacciaio nella sua ultrasecolare evoluzione fino alla sua fronte attuale, e in particolare le trasformazioni ambientali degli ultimi decenni. Il progetto, che nasce sulla spinta di esperti e appassionati della zona e delle Guide alpine locali, ha visto il coinvolgimento di strutture gestionali e amministrative locali e di numerosi

istituti di ricerca e divulgazione scientifica. Il sentiero, il cui progetto è stato elaborato fra il 2023 e il 2025, è dedicato a due studiosi, Antonio Stoppani e Ardito Desio, che in tempi diversi hanno compiuto importanti ricerche sul Ghiacciaio dei Forni. Fra l'altro va sottolineato come nel 2024 cadessero il bicentenario della nascita di Stoppani e il settantesimo anniversario della prima scalata del K2 condotta dalla spedizione guidata da Desio. Nel 2025 inoltre si celebra l'Anno Internazionale della Conservazione dei Ghiacciai dichiarato tale dall'Assemblea Generale delle Nazioni Unite e dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale, cui si aggiunge il trentennio di realizzazione del primo Sentiero Glaciologico dei Forni.

Il sentiero "A. Stoppani - A. Desio" si snoda lungo la Valle



Figura 18 – Paesaggio effimero: il Ghiacciaio dei Forni, dopo avere perso la sua unità strutturale ed essersi diviso in tre frammenti, sta perdendo la sua lingua centrale. La fascia di rocce emergenti si sta sempre più allargando, preludio a una prossima separazione. Il Ghiacciaio dei Forni Centrale si evolverà da "ghiacciaio vallivo" a "ghiacciaio di circo", lasciando più a valle solo una lingua di "ghiaccio morto", in gran parte coperta da detriti - ph G.P. Verza, settembre 2025

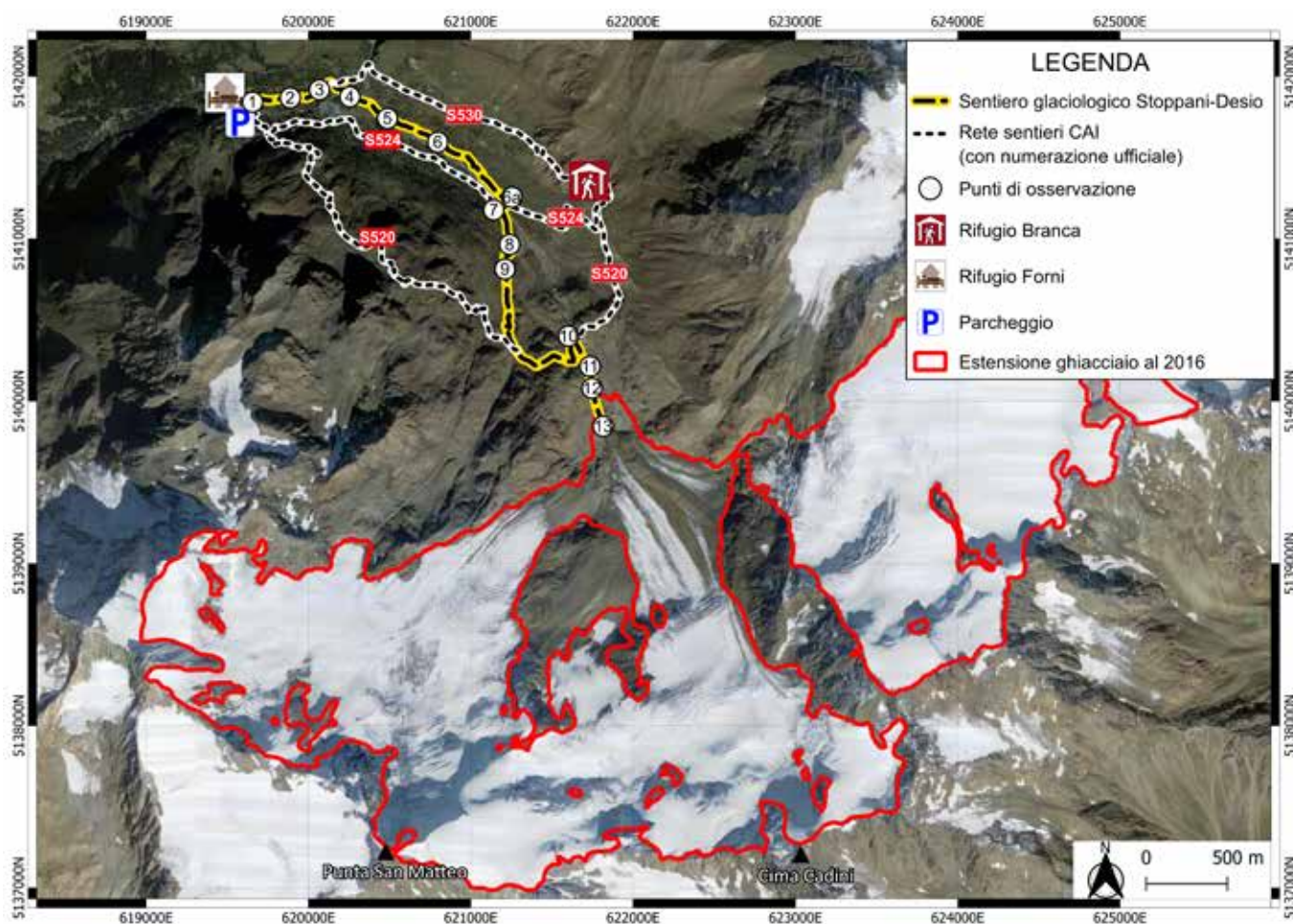


Figura 19 – Il tracciato del sentiero glaciologico "A. Stoppani – A. Desio" (evidenziato in giallo); sono tracciati anche gli altri sentieri CAI (S520-530 Sentiero Glaciologico Alto; S524 Sentiero Glaciologico Basso) - Elaborazione M. Di Biase)

dei Forni fin quasi alla fronte attuale del ghiacciaio. L'itinerario percorre inizialmente il versante destro idrografico della valle partendo dal parcheggio basso del Rifugio dei Forni, dove il ghiacciaio arrivava nel 1859 con la sua massima espansione della Piccola Età Glaciale. Successivamente, dopo avere superato il torrente Frodolfo, si alza ripido sul versante sinistro idrografico fino a incontrare il Sentiero Glaciologico Alto e spingersi verso la fronte del ghiacciaio. Lungo l'itinerario vi sono individuati tredici punti di sosta in corrispondenza delle più evidenti morfologie, in particolare lembi di morene frontali e laterali, che permettono di ricostruire le varie fasi sia di espansione e soprattutto di regresso del ghiacciaio dalla metà del XIX secolo a oggi, sia di evoluzione paesaggistica. I punti di osservazione sono segnalati da targhette su roccia e/o su paletti che riportano il numero del punto,

Conclusioni

Le imponenti trasformazioni in corso legate al cambiamento climatico stanno velocemente ridisegnando i paesaggi glaciali della montagna, la qual cosa, se ci si vuole orientare verso un turismo "culturale" e sostenibile, richiede strategie innovative che favoriscano la sensibilizzazione dei possibili fruitori. I sentieri glaciologici possono contribuire a queste finalità. Per quanto riguarda le Alpi Italiane questo tipo di itinerari cominciò a diffondersi verso la fine del secolo scorso con l'obiettivo di offrire agli escursionisti una conoscenza diretta e scientificamente corretta dell'evoluzione dei ghiacciai e dei suoi effetti sull'ambiente. Questi sentieri, al di là di permettere l'accesso ai paesaggi modellati dai ghiacciai, possono favorire la creazione di un rapporto emozionale diretto fra i visitatori e i *vanishing glaciers*, dal quale a sua volta dovrebbe scaturire una maggiore consapevolezza dei problemi ambientali e dei comportamenti più sostenibili. Da questo punto di vista i sentieri glaciologici si presentano non solo come itinerari nello spazio, ma anche come viaggi a ritroso nel tempo, fino alle "glorie della Piccola Età Glaciale". Si sollecitano quindi in questo modo lo sviluppo della conoscenza e la celebrazione della memoria, e soprattutto si genera un invito per un'azione efficace di preservazione dei valori culturali e scientifici dei ghiacciai. In altre parole il sentiero glaciologico dovrebbe presentarsi come un dinamico laboratorio *open-air*, dove convergono:

1. l'interpretazione del paesaggio;
2. la consapevolezza dell'incremento di pericolosità e rischio;
3. un primo accostamento alle metodologie della ricerca scientifica.

Al di là delle molteplici esigenze che racchiude la progettazione di un sentiero glaciologico, in tempi recenti si è constatato come questi itinerari possano veramente definirsi "effimeri", in quanto possono essere rapidamente modificati dall'accelerazione in corso dei processi morfodinamici dell'alta montagna, che può portare all'obliterazione parziale o totale del sentiero. Ne scaturisce quindi da una parte la necessità di un ripristino o di un rimodellamento dell'itinerario, dall'altra l'esigenza di una verifica degli eventuali incrementi di pericolosità e quindi di possibili rischi per i frequentatori. A questo si aggiunge l'esigenza di un ammodernamento delle modalità di progettazione e di comunicazione di tutto ciò che riguarda i sentieri glaciologici, che non possono prescindere dalle sempre più rapide e diffuse innovazioni tecnologiche. Oltre alla funzione escursionistica, questi sentieri diventano strumenti di educazione

l'anno in cui il ghiacciaio raggiungeva la posizione della targhetta, e dei QR code da inquadrare con e-device per accedere a materiale multimediale (testi, foto, filmati) che permetteranno di approfondire le conoscenze su specifici aspetti osservabili nei singoli punti.

Lungo il percorso si possono anche osservare strumenti e centraline di monitoraggio che rivelano come questa valle sia un vero e proprio laboratorio a cielo aperto per lo studio del *climate change* e dei suoi impatti ambientali. Informazioni dettagliate sul percorso, nonché approfondimenti testuali e iconografici sui singoli punti di osservazione sono disponibili sul sito <https://sites.unimi.it/glaciol/index.php/it/sentiero-glaciologico-stoppani-desio/>.

Il sentiero "A. Stoppani - A. Desio" verrà inaugurato all'inizio dell'estate 2026

ambientale e di cambiamento comportamentale, favorendo una connessione emotiva e cognitiva con i ghiacciai in regressione. Il modello del sentiero "A. Stoppani - A. Desio" può essere replicato in altri contesti alpini, grazie alla sua struttura modulare, alla *governance* condivisa e all'uso di tecnologie digitali. Le trasformazioni del sentiero che guida all'osservazione del Ghiacciaio dei Forni e della sua evoluzione nel settore lombardo del gruppo Ortles-Cevedale, Parco Nazionale dello Stelvio, dal 1995 a oggi (dal "Sentiero Glaciologico del Centenario" ai sentieri "Alto" e "Basso", fino al recente sentiero "A. Stoppani - A. Desio"), possono costituire un esempio di adattamento strategico e di valida risposta alle esigenze sopra indicate.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il Parco Nazionale dello Stelvio – ERSAF, il Comitato Glaciologico Italiano, il Servizio Glaciologico Lombardo, il Comitato Scientifico Centrale del Club Alpino Italiano, il Comune di Valfurva, il CAI Valfurva e sono grati per il supporto ricevuto nel progetto "Sentiero A. Stoppani – A. Desio al Ghiacciaio dei Forni" a Federico Secchi, Mirco Bertolina e Stefano Faifer.

Bibliografia

- AMBROSINI R., AZZONI R. S., PITTINO F., DIOLAIUTI G., FRANZETTI A. & PAROLINI M. (2019) - *First evidence of microplastic contamination in the supraglacial debris of an alpine glacier*. Environmental Pollution, 253, 297-301
- ARZUFFI L., CANETTA N. & MONTRASIO A. (1997) – *Lanzada dal Bernina allo Scalino. IL Sentiero Glaciologico al Fellaria e dieci escursioni in Valmalenco*. Lysis, Sondrio
- BOCCHIOLA D., STUCCHI L., FUGAZZA D., ALBORGHETTI M., ALMAGIONI C., AZZONI R. S., BARBAGALLO B., BERNASCONI D., COMPOSTELLA C., DEZUANNI P., FERRARIN L., MORGESE S., TRAVERSA G., VERZA G.P., SE-NESE A. & DIOLAIUTI G.A. (in revisione) - *Development of guidelines for monitoring snow-ice fed mountain streams. The IdroStelvio network (Stelvio National Park, Italy)*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria
- BONARDI L. (2001) – *Un approccio meditato all'ambiente alpino. L'esperienza dei sentieri glaciologici*. In: Smiraglia C. & Diolaiuti G. (a cura di), "Ghiacciai e aree protette. Conoscenza, conservazione, valorizzazione. Atti del Convegno Internazionale, Sondrio, Italia, 30 ottobre 1997", 11-14, Comune di Sondrio

- COPPOLA C. (a cura di) (1998) - *Il Sentiero Naturalistico-Glaciologico dell'Antelao*. Club Alpino Italiano-CSVFG, Padova, 88 pp
- CROSTA A., VALLE B., CACCIANIGA M., GOBBI M., FICETOLA F., PITTINO F., FRANZETTI A., AZZONI R.S., LEN-CIONI V., SENESE A., CORLATTI L., BUDA J., PONIECKA E., NOVOTNÁ JAROMĚŘSKÁ T., ZAWIERUCHA K. & AMBROSINI R. (2024) - *Ecological interactions in glacier environments: a review of studies on a model Alpine glacier*. *Biological Reviews*, 100, 227-244
- CROSTA A., DE FELICE B., MINOLFI V., AZZONI R.S., PITTINO F., FRANZETTI A., ORTENZI M.A., GAZZOTTI S., GIANNOTTI V., RONCOLI M., CONTEROSITO E., FICETOLA G.F., KINYANJUI R.N., PAROLINI M. & AMBROSINI R. (2025) *Latitudinal patterns of microplastic contamination in remote areas*. *Environmental Research*, 277, 121553
- DIOLAIUTI G. & SMIRAGLIA C. (2001) - *A new method for sustainable ecotourism in protected mountain environment areas: the glacier trails in the Lombardy Alps*. *Geotema*, 14, 38-41
- DIOLAIUTI G. & SMIRAGLIA C. (2010) - *Changing glaciers in a changing climate: How vanishing geomorphosites have been driving deep changes in mountain landscapes and environments*. *Geomorphologie: Relief, Processus, Environnement*, 2, 131-152.
- DUSSAILLANT I., HUGONNET R., HUSS M., BERTHIER E., BANNWART J., PAUL F. & ZEMP M. (2025) - *Annual mass change of the world's glaciers from 1976 to 2024 by temporal downscaling of satellite data with in situ observations*. *Earth System Science Data*, 17, 1977-2006
- FUGAZZA D., SENESE A., AZZONI R.S., MAUGERI M., MARAGNO D. & DIOLAIUTI G.A. (2019)- *New evidence of glacier darkening in the Ortles-Cevedale group from Landsat observations*. *Global and Planetary Change*, 178, 35-45
- GARAVAGLIA V., DIOLAIUTI G., SMIRAGLIA C., PASQUALE V. & PELFINI M. (2012) - *Evaluating Tourist Perception of Environmental Changes as a Contribution to Managing Natural Resources in Glacierized Areas: A Case Study of the Forni Glacier (Stelvio National Park, Italian Alps)*. *Environmental Management*, 50,1125-1138
- GIARDINO M., MORTARA G., (1999) - *La valorizzazione dei beni geomorfologici: uno studio di geositi nel Parco Nazionale del Gran Paradiso*. *Rev. Valdotaïne Hist. Nat.*, 53, 5-20
- GIARDINO M., MORTARA G., (2022) - *I segnali Glaciologici nella Valnontey: "Il Giardino dei Ghiacciai" - Gran Paradiso*. *Ricerca fotografica e scientifica*, Forte di Bard, Collana "L'Adieu des Glaciers", 3, 89-93
- HUGONNET R., MCNABB R., BERTHIER E., MENOUNOS B., NUTH C., GIROD L., FARINOTTI D., HUSS M., DUSSAILLANT I., BRUN F. & KÄÄB A. (2021) - *Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century*. *Nature*, 592, 726-731
- LONGHI A. & GUGLIELMIN M. (2021) - *The glacial history since the Last Glacial Maximum in the Forni Valley (Italian Central Alps). Reconstruction based on Schmidt's Hammer R-values and crystallinity ratio indices of soils*. *Geomorphology*, 387
- MAISCH M., BURGA C.A. & FITZE P. (1993) – *Lebendiges Gletschervorfeld. Gletscherlehrpfad Morteratsch*. Engadin Press, Samedan, 138 pp
- MOROSINI S. (2022) – “Following in the footsteps of history”. *Sixteen Multimedia Itineraries through the First World War sites in the Stelvio National Park and Adamello Park (Italy)*. In: Svensson D., Saltzmann K. & Sörlin S. (eds), “Pathways. Exploring the Routes of a Movement Heritage”, The White Horse Press Winwick – Cambridgeshire, 114-127
- MOUREY J., MARCUZZI M., RAVANEL L., PALLANDRE F. (2019) - *Effects of climate change on high Alpine environments: evolution of mountaineering routes in the Mont Blanc massif (Western Alps) over half a century*. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 1938- 4246
- PAUL F., RASTNER P., AZZONI R. S., DIOLAIUTI G., FUGAZZA D., LE BRIS R., NEMEC J., RABATEL A., RAMUSOVIC M., SCHWAIZER G. & SMIRAGLIA C. (2020) - *Glacier shrinkage in the Alps continues unabated as revealed by a new glacier inventory from Sentinel -2*. *Earth System Science Data*, 12, 1805-1821
- PELFINI M. & SMIRAGLIA C. (2007) - *Incremento del rischio geomorfologico e turismo naturalistico. Il caso del "sentiero Glaciologico della Valle dei Forni*. In: Piccazzo M., Brandolini P., Pelfini M. (a cura di), *Clima e rischio geomorfologico in aree turistiche*, 95-116. Patron, Bologna
- PELFINI M., DIOLAIUTI G. & SMIRAGLIA C. (2004) - *Proposte ed esempi di fruizione turistica dell'alta montagna glacializzata: metodi di indagine per la percezione dei beni geomorfologici e per la loro valorizzazione*. In: Adamo F. (a cura di), “Turismo e Territorio in Italia”, Patron, Bologna, 355-363
- PELFINI M., DIOLAIUTI G. & SMIRAGLIA C. (2005) - *I ghiacciai come beni geomorfologici dell'alta montagna alpina: identificazione e valorizzazione*. In: Teranova R., Brandolini P., Firpo M. (a cura di), “La valorizzazione turistica dello spazio fisico come via alla salvaguardia ambientale”, Patron, Bologna, 345-368
- RITTER F., FIEBIG M. & MUHAR A. (2011) - *Impacts of Global Warming on Mountaineering: A Classification of Phenomena Affecting the Alpine Trail Network*. *Mountain Research and Development*, 32, 4-15
- SALIM E., RAVANEL L., DELINE P. & GAUCHON C. (2021) - *A review of melting ice adaptation strategies in the glacier tourism context*. *Scandinavian Journal of Hospitality and Tourism*, 0(0), 1-18
- SECCHIERI F. (1998) - *Il Sentiero Glaciologico della Val Martello*. CAI Alto Adige-SG, Bolzano, 208 pp
- SENESE A., PELFINI M., MARAGNO D., BOLLATI I.M., FUGAZZA D., VAGHI L., FEDERICI M., GRIMALDI L., BELOTTI P., LAURI P., FERLIGA C., LA ROCCA L. & DIOLAIUTI G.A. (2023) - *The Role of E-Bike in Discovering Geodiversity and Geoheritage*. *Sustainability (Switzerland)*, 15 (6), 4979
- SENESE A., MAUGERI M., MERALDI E., VERZA G.P., AZZONI R.S., COMPOSTELLA C. & DIOLAIUTI G. (2018) - *Estimating the snow water equivalent on a glacierized high elevation site (Forni Glacier, Italy)*. *Cryosphere*, 12 (4), 1293-1306
- SENESE A., MAUGERI M., FERRARI S., CONFORTOLA G., SONCINI A., BOCCHIOLA D. & DIOLAIUTI G. (2016) - *Modelling shortwave and longwave downward radiation and air temperature driving ablation at the Forni Glacier (Stelvio National Park, Italy)*. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 39 (1), 89-100

- SENESE A., MAUGERI M., VUILLERMOZ E., SMIRAGLIA C. & DIOLAIUTI G. (2014) - *Using daily air temperature thresholds to evaluate snow melting occurrence and amount on Alpine glaciers by T-index models: The case study of the Forni Glacier (Italy)*. *Cryosphere*, 8 (5), 1921-1933
- SENESE A., DIOLAIUTI G., MIHALCEA C. & SMIRAGLIA, C. (2012a) - *Energy and mass balance of Forni glacier (Stelvio National Park, Italian Alps) from a four-year meteorological data record*. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 44 (1), 122-134
- SENESE A., DIOLAIUTI G., VERZA, G.P. & SMIRAGLIA C. (2012b) - *Surface energy budget and melt amount for the years 2009 and 2010 at the Forni Glacier (Italian Alps, Lombardy)*. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 35 (1), 69-77
- SERVIZIO GLACIOLOGICO LOMBARDO (a cura di Catasta G.) (1992) - *Il sentiero glaciologico "Vittorio Sella" al Ghiacciaio della Ventina*. Il Melograno, Milano, 32 pp
- SERVIZIO GLACIOLOGICO LOMBARDO (a cura di Catasta G.) (2010) - *Il Ghiacciaio Ventina e il Sentiero Glaciologico "Vittorio Sella"*. Morbegno, 33 pp
- SMIRAGLIA C. & CASAROTTO C. (2018) - *Itinerari glaciologici sulle montagne italiane: un importante strumento didattico per capire meglio l'ambiente glaciale e la sua evoluzione*. *Rendiconti Online Società Geologica Italiana*, 45, 101-106
- SMIRAGLIA C. & DIOLAIUTI G. (2012) - *Sentieri Glaciologici dell'Alta Valtellina Itinerari sulle aree 'liberate' dall'arretramento dei ghiacciai*. *Montagne 360°*, Giugno 2012, 23-26
- SMIRAGLIA C. & MORTARA G. (2023) - *Cambiamenti climatici e cambiamenti degli itinerari in alta montagna. Un'introduzione al tema*. Il Bollettino. Comitato Scientifico Centrale Club Alpino Italiano, 11-28
- SMIRAGLIA C., CASAROTTO C. & BARONI C. (2017) - *Montagna che cambia. i sentieri glaciologici come utile strumento per la conoscenza di un paesaggio in rapida evoluzione*. 6° Congresso Nazionale Geologia e Turismo – Milano, 28-29 settembre 2017
- SMIRAGLIA C., CASARTELLI G. & PELFINI M. (1995) - *Il Ghiacciaio dei Forni in Valfurva. Sentiero Glaciologico del Centenario*. Lysis, Sondrio, 64 pp
- SMIRAGLIA C., DIOLAIUTI G. & PELFINI M. (2005) - *Valorizzazione e salvaguardia dell'alta montagna. I sentieri naturalistici: riflessioni teoriche, realizzazioni, proposte*. In: Terranova R., Brandolini P. & Firpo M. (a cura di), "La valorizzazione turistica dello spazio fisico come via alla salvaguardia ambientale", Patron, Bologna, 303-316
- SMIRAGLIA C., DIOLAIUTI G., PELFINI M., AZZONI R.S., BOLLATI I. & ZUCALI M. (2017) - *Il Ghiacciaio dei Forni. Sulle tracce di Antonio Stoppani e del suo Ghiacciaio del Forno*. In: Società Geologica Italiana-Comitato Glaciologico Italiano, "Itinerari glaciologici sulle montagne italiane", vol. 3, 107-134
- SMIRAGLIA C., SENESE A., DI BIASE M., AMBROSINI R., AZZONI R.S., BOCCHIOLA D., COLA G., FAVARON M., FUGAZZA D., MARZANO D., MOROSINI S., PEDROTTI L., PRANDI G., SCOTTI R., TOFFALETTI A., PELFINI M. & DIOLAIUTI G.A. (in revisione) - *The challenges of the "ephemeral path". Problems and issues of explaining climate change and its environmental impact through the development of glaciological trails*. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*
- SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA-COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO (a cura di Smiraglia C., Casarotto C. e Baroni C.) (2017) - *Itinerari glaciologici sulle montagne italiane*. 3 vol., 639 pp
- The GlAMBIE Team (2025) - *Community estimate of global glacier mass changes from 2000 to 2023*. *Nature*, 639, 382-388
- WGMS (2025) - *Fluctuations of Glaciers Database*. World Glacier Monitoring Service (data set)



Variazioni della vegetazione di pascolo nelle Alpi Marittime in un contesto di cambiamento climatico

Un monitoraggio ventennale (2003-2024)

di Vanessa Bianchi^(1,2)

1. Università degli Studi di Torino - Corso di Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie dei Sistemi e Territori Forestali

2. CAI - Sezione di Pinerolo

Riassunto

Le praterie seminaturali alpine, modellate da secoli di gestione antropica estensiva, rappresentano ecosistemi chiave per la biodiversità e la sostenibilità agricola, ma sono attualmente minacciate dai cambiamenti climatici e d'uso del suolo. Questo lavoro intende offrire un contributo alla comprensione delle trasformazioni vegetazionali avvenute tra il 2003 e il 2024 nelle praterie delle Aree Protette delle Alpi Marittime (Italia nordoccidentale, 1.300-2.400 m s.l.m.). L'indagine si basa sul ricampionamento di 58 rilievi vegetazionali condotti nei medesimi punti nel 2003 e la successiva valutazione dei cambiamenti della composizione floristica mediante analisi statistiche. I dati climatici evidenziano un incremento delle precipitazioni cumulate e delle temperature medie annuali, con una forte variabilità interannuale delle piogge e diversi episodi di siccità estiva, causa di possibili stress. La vegetazione ha mostrato un aumento complessivo della diversità specifica, in particolare nelle praterie termofile e nei nardeti montani e subalpini (habitat prioritario della Direttiva Habitat). È stata rilevata una generale espansione di specie tipiche di praterie ricche di nutrienti, ma anche di praterie xeriche e comunità ruderali, insieme a un aumento dell'indice di nitrofilia (N) che denota un arricchimento dei suoli. Si ipotizza che una gestione poco sostenibile del pascolo, con intensificazione nelle aree più accessibili e il conseguente abbandono in quelle economicamente marginali, abbia generato questo mosaico vegetazionale sempre più eterogeneo. I risultati mettono in luce l'urgenza di approfondire gli aspetti gestionali e avviare un monitoraggio della vegetazione a lungo termine, al fine di adottare opportune strategie di gestione che garantiscano la conservazione di questi ecosistemi alpini fragili, ma di fondamentale importanza ecologica.

Abstract: Changes in pasture vegetation in the Maritime Alps in a scenario of climate change: a 20-year monitoring (2003-2024)

Alpine semi-natural grasslands, shaped by centuries of extensive human management, represent key ecosystems for biodiversity and agricultural sustainability, but are currently threatened by climate change and land-use transformations. This study aims to contribute to the understanding of vegetation changes that occurred between 2003 and 2024 in the grasslands of the Protected Areas of the Maritime Alps (Northwestern Italy, 1,300-2,400 m a.s.l.). The research is based on the resampling of 58 vegetation surveys conducted in the same locations in 2003, followed by an assessment of changes in floristic composition through statistical analyses. Climatic data show an increase in mean annual temperature and total annual precipitation, along with high interannual variability in rainfall and several summer drought events, which may have caused stress to the vegetation. The vegetation showed an overall increase in species diversity, particularly in thermophilous grasslands and in montane and subalpine *Nardus* grasslands (a priority habitat under the Habitats Directive). A general expansion of species typical of nutrient-rich grasslands was observed, as well as species characteristic of xeric grasslands and ruderal communities, accompanied by an increase in the nitrogen indicator value (N), indicating soil enrichment. It is hypothesized that unsustainable grazing practices – with intensification in more accessible areas and consequent abandonment in economically marginal ones – have led to an increasingly heterogeneous vegetation mosaic. These findings highlight the urgent need to deepen the understanding of management practices and to initiate long-term vegetation monitoring, in order to adopt management strategies that ensure the conservation of these fragile yet ecologically crucial alpine ecosystems.

Premessa

L'articolo sintetizza i risultati della tesi di laurea magistrale dal titolo "Variazioni ventennali (2003-2024) della vegetazione di pascolo nelle Aree Protette delle Alpi Marittime in un contesto di cambiamento climatico" (candidata Vanessa Bianchi; relatore prof. Michele Lonati). Il lavoro è stato realizzato dal gruppo di ricerca "Ecologia e gestione dei sistemi agropastorali" dell'Università degli Studi di Torino - DISAFA (Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari),

con il contributo dell'Ente di Gestione delle Aree Protette delle Alpi Marittime, in attuazione della convenzione per lo "Studio della vegetazione pastorale, dell'offerta foraggera e delle aree umide dei siti della rete natura 2000 delle aree protette Alpi Marittime in relazione ai cambiamenti climatici" (responsabile scientifico prof. Giampiero Lombardi), stipulata nell'ambito del progetto Interreg VI-A Francia-Italia ALCOTRA 2021-2027 n. 20138 "ACLIMO" – Azione 4.2.

Introduzione: le praterie seminaturali alpine e le minacce del cambiamento globale

Le praterie seminaturali dell'arco alpino costituiscono uno degli ecosistemi più ricchi di biodiversità e al contempo più vulnerabili. La presenza di queste cenosi è legata a secoli di gestione antropica estensiva degli ambienti altomontani (Hejman *et al.*, 2013), rappresentata dalle pratiche agricole tradizionali di pascolamento e sfalcio, che hanno contribuito nel tempo a modellare il paesaggio e a mantenere l'equilibrio tra le diverse componenti ecosistemiche (Figura 1).

L'importanza dei pascoli e dei prati permanenti è connessa alla loro multivalenza: i cotici erbosi producono foraggio per il bestiame, sono dotati di una plasticità a effetto migliorativo sulla fertilità del suolo e ospitano un'elevata ricchezza floristica (Gusmeroli, 2012). Nelle sole Alpi piemontesi sono presenti un totale di 92 tipi e 646 facies pastorali (Cavallero *et al.*, 2007), che variano dalle praterie xerofile di alta quota alle praterie mesofile di fondovalle, ciascuna caratterizzata da una peculiare



Figura 1 – Mandria di bovini al pascolo, Valle Stura (CN) - ph Vanessa Bianchi

composizione floristica e da specifiche dinamiche ecologiche.

L'equilibrio nato dalla coesistenza millenaria tra attività umane e dinamiche naturali risulta oggi minacciato su più fronti: da un lato l'intensificazione agricola, che tende a semplificare le comunità vegetali e impoverire il suolo, dall'altro l'abbandono delle aree marginali, che favorisce la ricolonizzazione di specie legnose (Giarrizzo *et al.*, 2016).

In questo scenario, il cambiamento climatico rappresenta un ulteriore fattore di disturbo, capace di alterare la fenologia, la composizione e la struttura delle comunità vegetali.

Esistono vari studi, anche recenti, che analizzano i possibili effetti del cambiamento climatico sui pascoli alpini (Bellocchi & Cochard, 2021; Matteodo *et al.*, 2016; Vittoz *et al.*, 2009; Pauli *et al.*, 2003).

Per esempio, diversi autori hanno osservato aumenti della ricchezza di specie nella vegetazione alpina e subnivale

delle Alpi (Pauli *et al.*, 2007; Vittoz *et al.*, 2006; Walther *et al.*, 2005). Secondo l'ultimo report dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2023), nei prossimi decenni è previsto un ulteriore aumento delle temperature medie globali tra 1,5 °C e 2 °C rispetto ai livelli preindustriali, con possibili conseguenze significative sugli ecosistemi montani.

Gli scenari futuri suggeriscono un'accelerazione della perdita di habitat per molte specie alpine e una crescente competizione tra specie adattate a climi differenti.

In questo contesto, è cruciale monitorare le variazioni della vegetazione nel tempo per comprendere le dinamiche in atto e predisporre strategie efficaci di conservazione. Il presente studio risponde a questa esigenza, proponendosi di documentare e interpretare le modificazioni della composizione floristica avvenute in vent'anni nelle praterie seminaturali delle Alpi Marittime (Italia Nordoccidentale).

Il contesto ecologico delle Alpi Marittime

Il territorio tutelato dall'Ente di Gestione delle Aree Protette delle Alpi Marittime (Figura 2) rappresenta un mosaico di ambienti naturali e semi-naturali, situato in una zona di contatto tra le Alpi e il Mediterraneo. Questa transizione ecologica si traduce in un'elevata eterogeneità floristica, con la presenza di numerose specie endemiche e una straordinaria varietà di habitat. Secondo Casazza *et al.* (2005),

nelle sole Alpi Marittime italiane si contano oltre 3000 taxa, di cui più di cento sono endemismi locali. Questo fa della regione uno dei dieci *hotspot* di biodiversità del bacino del Mediterraneo (Médail & Quézel, 1997), nonché una delle aree biogeografiche più importanti d'Europa.

Il paesaggio è dominato da praterie d'altitudine, brughiere, boschi subalpini e ambienti rupestri (Figura 3 e 4).



Aree protette Alpi Marittime

Figura 2 – Logo dell'Ente

Le condizioni climatiche sono caratterizzate da un regime pluviometrico sublitoraneo occidentale, con massimi in primavera e autunno e un'estate relativamente secca ma non arida. La complessa orografia e la varietà litologica del suolo (substrati calcarei, silicei e serpentinosi) contribuiscono a diversificare ulteriormente la vegetazione.

In questo complesso contesto ecologico si colloca la presente ricerca, realizzata grazie al contributo dell'Unione Europea nell'ambito del progetto Interreg ALCOTRA n° 20138 "ACLIMO", volto a supportare il territorio, in particolare le attività pastorali, nella sfida al cambiamento climatico, con specifica attenzione alla disponibilità idrica e alla conservazione degli habitat naturali.



Figura 3 – Vista di una delle valli nell'area di studio (lago Visaisa, Val Maira, CN) - ph Vanessa Bianchi



Figura 4 – Il Colle della Maddalena (CN) - ph Vanessa Bianchi



Figura 5 – Rilievo di un festuceto a *Festuca paniculata* sito a 1.930 m s.l.m. in Valle Stura (comune di Vinadio) - ph Vanessa Bianchi



Figura 6 – Rilievo di un festuceto a *Festuca rubra* sito a 2.086 m s.l.m. in Valle Maira (comune di Canosio) - ph Vanessa Bianchi



Figura 7 – Rilievo di un trifoglieto a 2.065 m s.l.m. in Valle Ellero (Comune di Roccaforte Mondovì) – ph Vanessa Bianchi

Metodo: ricampionamento della vegetazione e analisi statistiche

Il lavoro si basa sul ricampionamento della vegetazione in punti noti, già oggetto di rilievo nel 2003 nell'ambito del progetto volto a caratterizzare i pascoli presenti sul territorio della Regione Piemonte (Cavallero *et al.*, 2007). La tecnica utilizzata è il metodo fitopastorale di Daget & Poissonet (1969), che prevede la registrazione puntuale delle specie presenti lungo un transetto lineare di 25 metri, suddiviso in 50 punti di osservazione (Figure 5, 6, 7).

La nomenclatura adottata fa riferimento alla flora italiana (Bartolucci *et al.*, 2024; Galasso *et al.*, 2024).

Per l'attuale studio sono stati selezionati 58 rilievi, localizzati a quote comprese tra 1.300 e 2.400 m s.l.m. in diverse vallate (Figura 8) e appartenenti ai tipi pastorali maggiormente diffusi sul territorio (Cavallero *et al.*, 2007), di seguito elencati in base ai gruppi ecologici di appartenenza:

- praterie xerofile (secche), su suoli poco evoluti: tipo 13 a *Sesleria varia* (= *Sesleria coerulea*) e tipo 19 a *Festuca ovina* aggr.;
- praterie termofile, su suoli evoluti: tipo 25 a *Brachypodium rupestre* e tipo 26 a *Festuca paniculata* (= *Patzkea paniculata*);
- praterie oligotrofiche (povere di sostanze nutritive), su suoli acidi: tipo 30 a *Nardus stricta* (30a – nardeti montani e subalpini, 30b – nardeti alpini) e tipo 33 a *Trifolium alpinum* e *Carex sempervirens*;
- praterie mesotrofiche (livello intermedio di nutrienti), su suoli acidi: tipo 52 a *Festuca rubra* aggr. e *Agrostis tenuis* (= *Agrostis capillaris*).

I tipi pastorali sono stati inoltre messi in relazione con gli habitat protetti dalla Direttiva Habitat europea, secondo la corrispondenza descritta da Biondi *et al.* (2010); per esempio, i nardeti montani e subalpini rientrano nell'habitat prioritario 6230*.

Per ogni rilievo sono state calcolate le coperture e le proporzioni percentuali di ciascuna specie vegetale, gli indici di biodiversità (ricchezza specifica, *Effective Number of Species*, indice di Simpson), gli indici ecologici – che descrivono le esigenze di temperatura dell'aria, sostanze nutritive, umidità e pH del suolo di ciascuna specie (Landolt *et al.*, 2010) – e la composizione in “*Social Behaviour Types*” (sensu Borhidi, 1995), utile a interpretare l'equilibrio tra gruppi di specie ecologicamente affini.

Per confrontare i dati storici con quelli attuali, sono state eseguite delle analisi statistiche (tb-PCA su tutte le specie rilevate, t-test per dati appaiati su 26 variabili vegetazionali) abbinando i dati dei rilievi svolti nel 2003 e nel 2024.

Parallelamente, sono stati estratti e analizzati i dati climatici dal dataset NWIOI (Arpa Piemonte), per il periodo 2003-2024, relativi a temperature medie annuali e precipitazioni totali (annue ed estive) delle diverse sezioni del territorio in cui ricadono i 58 punti di rilievo (9 celle, risoluzione 12x12 km).

L'analisi statistica ha incluso correlazioni lineari tra le variabili climatiche e gli anni, al fine di verificare se gli andamenti risultassero statisticamente significativi nel corso del tempo.

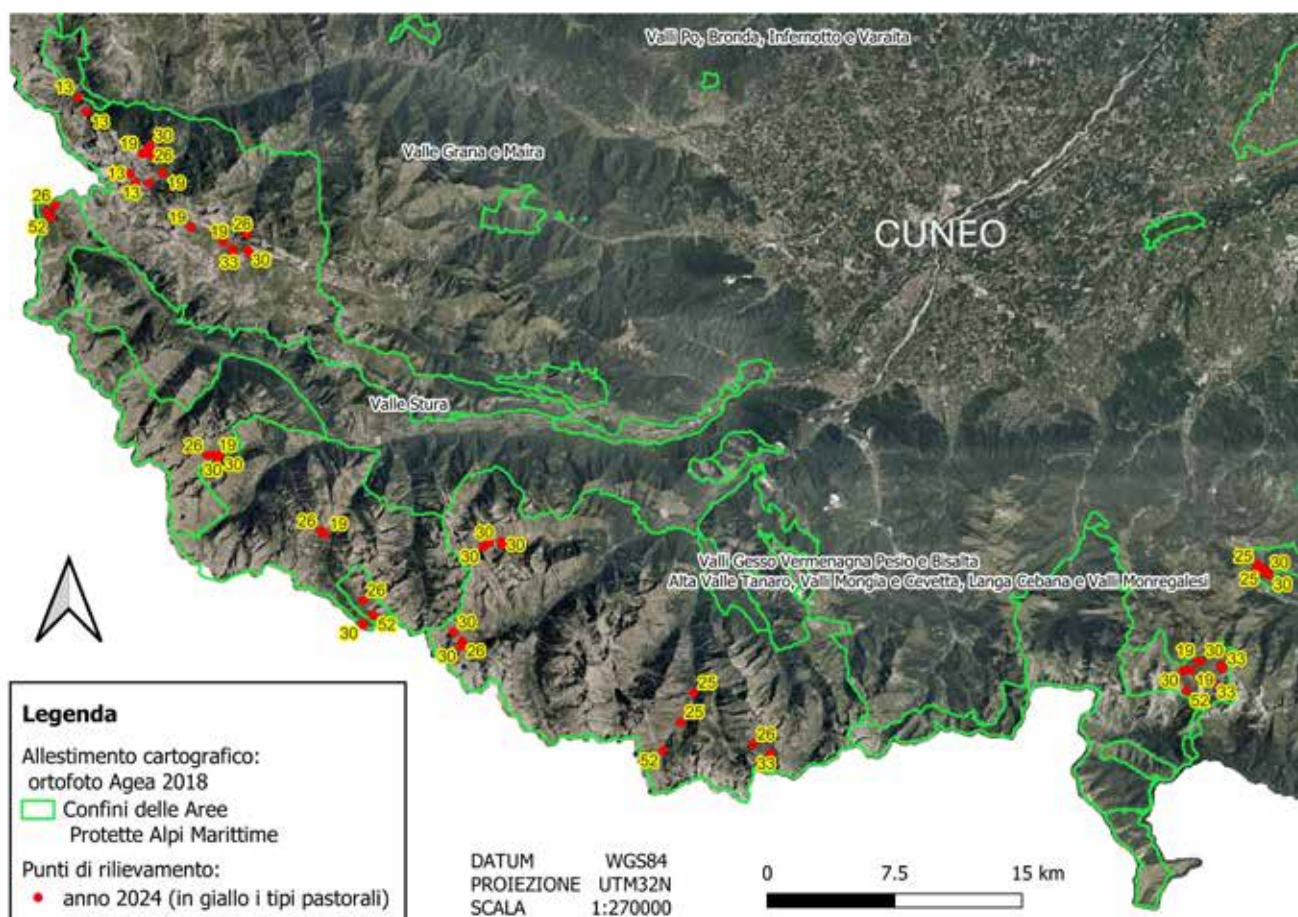


Figura 8 – Localizzazione dei 58 punti rilevati nel 2024 in 5 vallate delle Aree Protette delle Alpi Marittime (in ordine da Est: Valle Ellero, Valle Gesso, Valle Stura di Demonte, Valle Grana e Valle Maira)

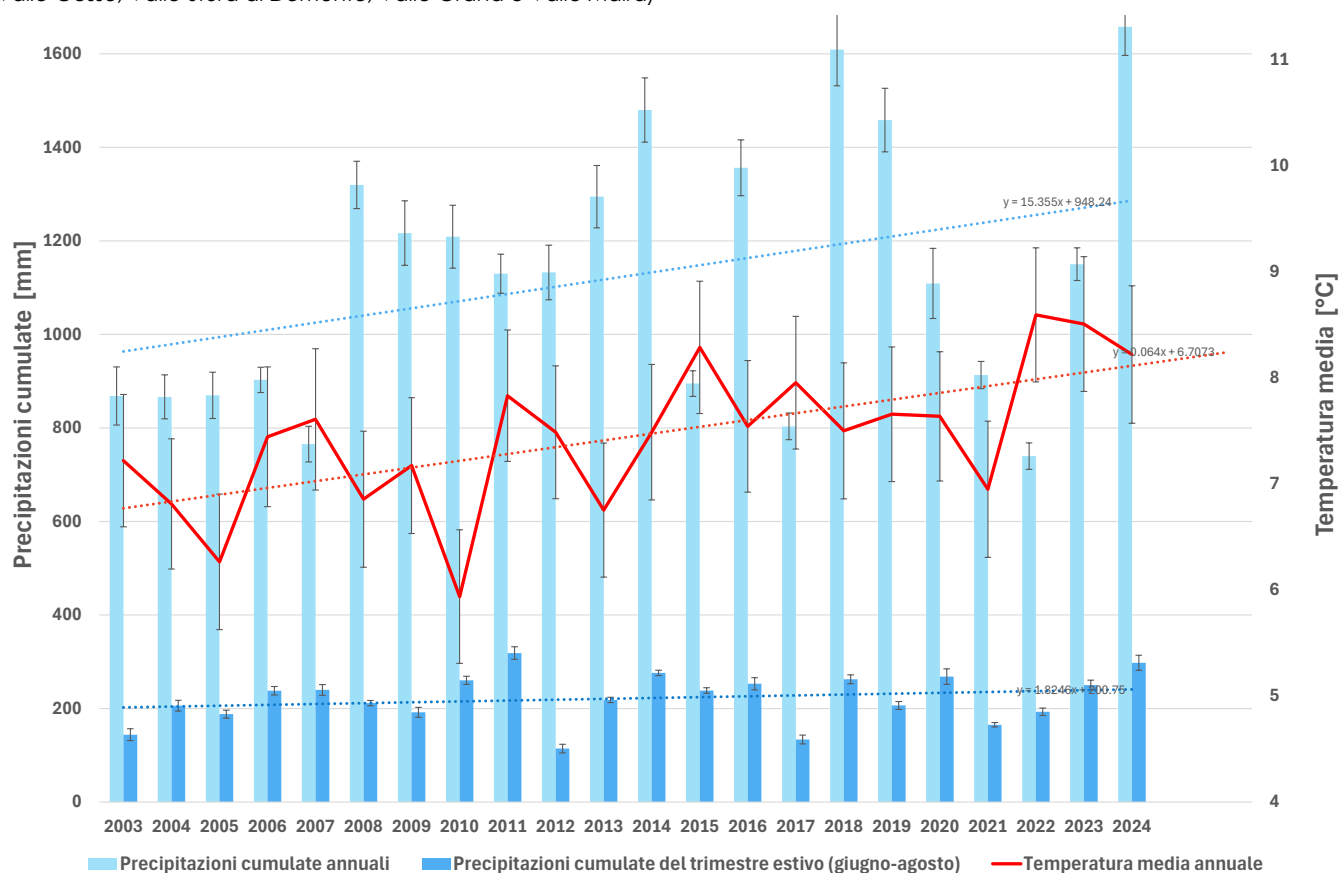


Figura 9 – Diagramma termo-pluviometrico (periodo 2003-2024) con valori medi delle 9 celle del raster selezionate e relative linee di tendenza e barre di errore standard

Risultati: segnali di cambiamenti climatici e vegetazionali

L'analisi dei dati termo-pluviometrici (Figura 8) ha evidenziato un progressivo aumento della temperatura media annua nell'intervallo 2003-2024, con una variazione media di + 0,064 °C/anno (+ 1,34 °C in vent'anni). Anche le precipitazioni cumulate annuali hanno mostrato una tendenza all'aumento (+ 15,24 mm/anno, + 322,5 mm in vent'anni), seppur con una notevole variazione della stagionalità, caratterizzata da annate molto piovose (2024, 2018 e 2014) alternate ad annate siccitose (2022, 2017, 2007).

Per quanto riguarda le precipitazioni del trimestre giugno-agosto, picchi di siccità estiva si riscontrano durante gli anni 2021, 2017, 2012 e 2003, causando possibili stress da aridità per la vegetazione pascoliva. Tali tendenze sono coerenti con i dati IPCC e ISTAT e sottolineano l'urgenza di approfondire gli effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi alpini, dove la presenza e l'abbondanza delle specie vegetali sono in gran parte determinate

dalle basse temperature e da stagioni vegetative brevi (Körner, 2003).

L'analisi dei dati raccolti nel 2024 ha evidenziato significative variazioni nella composizione delle comunità vegetali. Complessivamente, sono state identificate 409 specie, delle quali 36 endemiche alpine, contro le 356 specie individuate durante i rilievi del 2003. Sono stati osservati incrementi di specie eutrofiche/buone foraggiere (es. *Lolium pratense*, *Poa pratensis*, *Dactylis glomerata*) e della specie nitrofila *Rumex alpinus*, associate a un'elevata intensità gestionale; parallelamente, sono aumentate le specie arbustive (es. *Juniperus communis*, *Vaccinium* spp.), associate tipicamente all'abbandono delle pratiche agricole tradizionali.

Le maggiori riduzioni interessano soprattutto specie oligotrofiche, come *Carex sempervirens*, *Nardus stricta* e *Festuca ovina* aggr.

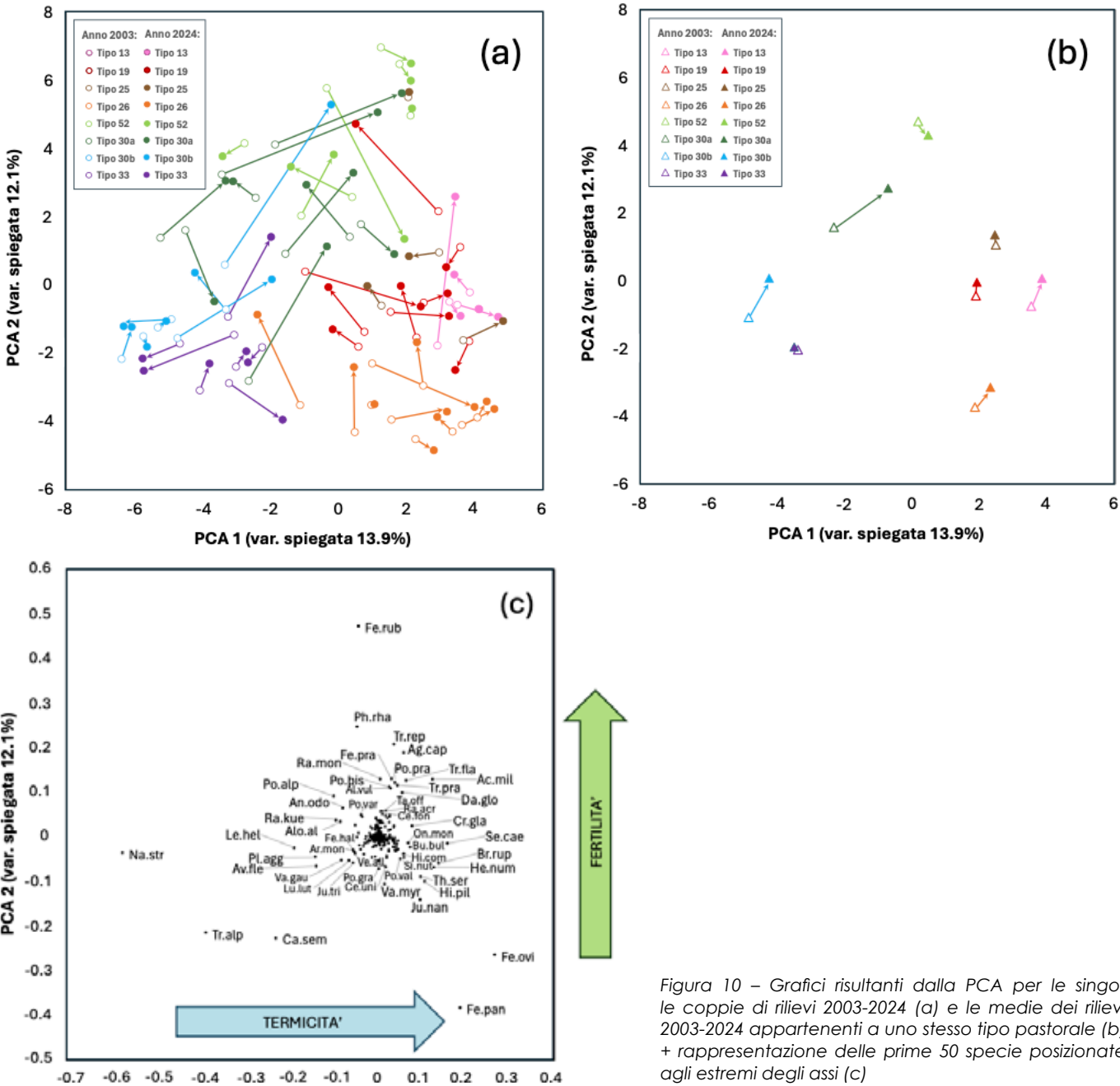


Figura 10 – Grafici risultanti dalla PCA per le singole coppie di rilievi 2003-2024 (a) e le medie dei rilievi 2003-2024 appartenenti a uno stesso tipo pastorale (b) + rappresentazione delle prime 50 specie posizionate agli estremi degli assi (c)

L'analisi multivariata (Figura 9) ha permesso di proiettare sul piano cartesiano i dati di composizione floristica e di studiare la correlazione tra i punti in base alla loro distanza. Nel grafico c sono riportate le prime 50 specie che definiscono gli estremi degli assi; la loro distribuzione rivela la presenza di due gradienti ecologici: un gradiente di termicità crescente lungo l'asse delle ascisse (lato sinistro – specie tipiche di ambienti a quote più elevate; lato destro – specie di ambienti più caldi siti a quote inferiori) e un gradiente di fertilità del suolo crescente lungo l'asse delle ordinate (parte inferiore – specie oligotrofiche; parte superiore – specie tipiche di ambienti più fertili).

Tenendo conto di essi, i grafici a e b permettono di visualizzare i cambiamenti della vegetazione, rappresentati dalle frecce che uniscono i rilievi svolti nel 2003 a quelli del 2024. Il grafico b, in particolare, mostra le variazioni dei gruppi di rilievi appartenenti ai diversi tipi pastorali e suggerisce che ci sia stato un generale aumento della termicità delle specie, possibilmente connesso al fenomeno della "termofilizzazione" (Gottfried *et al.*, 2012), con il conseguente spostamento verso l'alto della distribuzione altitudinale delle specie legato all'aumento delle temperature. Lo stesso grafico mette in luce un complessivo aumento del livello di fertilità, che è influenzato da complesse interazioni tra clima, suolo, gestione pastorale e dinamiche delle specie. Tuttavia, osservando il grafico a riferito ai singoli rilievi, si nota che le dinamiche vegetazionali sono abbastanza variabili all'interno di ogni singolo tipo pastorale (es. il tipo 33 – trifoglieti, in viola, mostra cambiamenti sia in positivo sia in negativo dei due gradienti); ciò potrebbe essere legato alle differenze stazionali e ambientali dei punti di rilievo, essendo localizzati in differenti valloni.

Discussione: interpretazione dei cambiamenti

Un aumento della biodiversità vegetale indotto dal cambiamento climatico è stato rilevato in diversi studi sulle praterie di altitudine (Pauli *et al.*, 2012), che lo hanno attribuito a una migrazione altitudinale delle specie (Gottfried *et al.*, 2012; Lenoir *et al.*, 2008), ma anche all'espansione di specie già presenti (Cannone & Pignatti, 2014).

Nelle praterie delle Alpi Marittime, questo aumento ha coinvolto differenti Social Behaviour Types a seconda del

L'analisi delle variabili vegetazionali ha rivelato poi un complessivo aumento della biodiversità (Figura 10), in particolare nelle praterie termofile e nei nardeti montani e subalpini. Questo incremento è risultato meno evidente nelle praterie di alta quota (tipi 30b e 33) e in quelle xerofile (tipo 19): possibili spiegazioni sono legate all'atteso declino di specie di altitudine adattate al freddo e meno competitive (Gottfried *et al.*, 2012) e alla resistenza delle specie xerofile agli stress idrici causati dall'aumento delle temperature (Dibari *et al.*, 2020). Più nel dettaglio, si è registrato un aumento delle specie tipiche di praterie fertili (afferenti alla classe *Molinio-Arrhenatheretea*) e dell'indice di nitrofilia (N), che denotano un generale arricchimento dei suoli. Questo processo potrebbe essere attribuito a un'intensificazione gestionale, che avviene tipicamente nelle aree più accessibili e fertili, oppure a un altro fenomeno connesso al cambiamento climatico: l'incremento delle deposizioni a terra dei composti azotati, presenti nell'atmosfera e prodotti dalle attività umane (Boutin *et al.*, 2016). Parallelamente, si è rilevata una lieve espansione di specie tipiche di lande (classi *Calluno-Ulicetea* e *Loiseleurio-Vaccinietea*) e di orli erbacei (classi *Epilobietea angustifolii*, *Mulgedio-Aconitetea* e *Trifolio-Geranietea sanguinali*), che sono indicative di una riduzione o abbandono delle pratiche agricole tradizionali. Per quanto concerne i diversi tipi pastorali, le praterie xerofile sono apparse relativamente stabili, probabilmente grazie alla maggiore adattabilità delle specie dominanti agli stress ambientali. Le trasformazioni più marcate si sono registrate nei nardeti montani e subalpini (tipo 30a – habitat prioritario), con un aumento della biodiversità, dell'indice di nitrofilia e della copertura di specie tipiche di praterie fertili, a scapito di *Nardus stricta* e delle altre specie oligotrofiche.

tipo pastorale considerato, con incrementi di specie sia tipiche di ambienti fertili, sia tipiche di praterie oligotrofiche, arbusteti e comunità ruderali.

Una plausibile spiegazione risiede nelle dinamiche di sovra- e sottoutilizzo della vegetazione legate a una gestione pastorale non sostenibile, che determina una riduzione della pressione pastorale nelle aree economicamente marginali (es. lontane dal centro dell'alpeggio) insieme a

Gruppo di analisi	tutti i rilievi					tipo 13 - <i>Sesleria varia</i>					tipo 19 - <i>Festuca ovina</i> aggr.				
Anno	2003		2024		p-value	2003		2024		p-value	2003		2024		p-value
<i>Indici di biodiversità</i>	media ± ES		media ± ES			media ± ES		media ± ES			media ± ES		media ± ES		
Ricchezza specifica	42.9	1.74	51.9	2.51	***	47.0	4.64	64.0	7.73	*	54.9	5.26	59.3	6.80	ns
Effective Number of Species	14.5	0.83	17.8	1.05	***	15.2	3.22	21.0	4.04	*	20.6	2.44	20.6	2.49	ns
Indice di Simpson	0.87	0.01	0.89	0.01	*	0.86	0.03	0.91	0.01	ns	0.91	0.02	0.92	0.01	ns
Gruppo di analisi	tipo 25 - <i>Brachypodium rupestre</i>					tipo 26 - <i>Festuca paniculata</i>					tipo 30a - Nardeti montani e subalpini				
Anno	2003		2024		p-value	2003		2024		p-value	2003		2024		p-value
<i>Indici di biodiversità</i>	media ± ES		media ± ES			media ± ES		media ± ES			media ± ES		media ± ES		
Ricchezza specifica	55.8	5.12	81.5	8.05	*	45.9	2.37	52.6	2.87	†	36.6	3.62	50.4	5.16	*
Effective Number of Species	20.8	2.13	26.7	2.60	*	13.3	0.74	15.7	1.61	†	12.8	2.48	20.4	2.92	*
Indice di Simpson	0.91	0.01	0.94	0.00	ns	0.87	0.01	0.87	0.01	ns	0.83	0.03	0.91	0.02	*
Gruppo di analisi	tipo 30b - Nardeti alpini					tipo 33 - <i>Trifolium alp.</i> e <i>Carex semp.</i>					tipo 52 - <i>Festuca rubra</i> aggr. e <i>Agrostis t.</i>				
Anno	2003		2024		p-value	2003		2024		p-value	2003		2024		p-value
<i>Indici di biodiversità</i>	media ± ES		media ± ES			media ± ES		media ± ES			media ± ES		media ± ES		
Ricchezza specifica	32.9	2.46	39.6	4.48	ns	37.6	4.39	36.9	6.12	ns	36.9	3.47	45.9	4.93	*
Effective Number of Species	9.8	1.23	11.4	2.13	ns	11.8	0.93	13.7	2.89	ns	14.4	1.98	17.7	2.36	ns
Indice di Simpson	0.83	0.02	0.82	0.03	ns	0.87	0.01	0.87	0.02	ns	0.88	0.02	0.91	0.01	ns

un'intensificazione gestionale nelle restanti aree più fertili e accessibili, con conseguente alterazione dell'abbondanza di specie favorite o ostacolate dal pascolo.

La minaccia dell'abbandono è ormai nota e sta determinando la perdita di importanti ecosistemi, basti pensare che tra gli anni Novanta del secolo scorso e il 2013 in Europa si è verificata una riduzione delle superfici prato-pascolive pari a oltre 5 milioni di ettari (FAOSTAT, 2025). Inoltre, da un punto di vista ecologico, l'aumento di biodiversità non corrisponde sempre a un miglioramento: ne sono un esempio l'incremento di specie nitrofile o ruderali, spesso associate a processi di degrado del cotico erboso o a un

disturbo del pascolo, oppure l'espansione di arbusti pionieri o specie tipiche di orli erbacei, indice di un processo di evoluzione della vegetazione che, se non contenuto, potrebbe portare alla chiusura delle superfici erbacee. La perdita di questi ecosistemi comporterebbe, in aggiunta, una grave riduzione e frammentazione degli habitat di molte specie animali (per esempio le delicate comunità di lepidotteri). Tutto ciò impone una riflessione sulle strategie di gestione futura delle praterie permanenti, che dovrebbero prevedere un monitoraggio regolare della vegetazione, la valorizzazione dei pascoli attivi e un'attenzione particolare alla prevenzione dell'abbandono.

Conclusioni

Considerando la loro importanza per la biodiversità e la loro vulnerabilità ai cambiamenti del clima, conoscere le dinamiche vegetazionali che hanno luogo nelle praterie seminaturali è cruciale ai fini della loro conservazione (Giarrizzo *et al.*, 2016).

I risultati emersi dallo studio suggeriscono che non solo il cambiamento climatico, ma anche il cambiamento d'uso del suolo, stanno determinando una progressiva riorganizzazione delle comunità erbacee nelle Aree Protette delle Alpi Marittime. In particolare, la crescente eterogeneità del mosaico vegetazionale fa supporre che, nel corso del ventennio, si siano verificate dinamiche di sovra- e sottoutilizzo dei pascoli, ma un'ulteriore analisi sugli aspetti gestionali nell'area di studio sarebbe fondamentale per la comprensione di questo processo.

Questi risultati sottolineano l'urgenza di approfondire gli effetti del pascolamento, raccogliendo informazioni sui carichi animali adottati nell'area di studio, o, su scala ridotta, monitorando il comportamento animale mediante dei collari GPS.

A ciò si aggiunge la necessità di effettuare un monitoraggio a lungo termine della vegetazione, possibilmente istituendo una rete di stazioni permanenti accuratamente stratificate (Chytrý *et al.*, 2013), al fine di comprendere quali saranno gli effetti dei cambiamenti climatici sulle dinamiche delle comunità vegetali alpine.

L'obiettivo ultimo è garantire la conservazione delle praterie delle Alpi Marittime, ecosistemi fragili ma di fondamentale importanza ecologica.



Figura 12 – *Trollius europaeus* (Botton d'oro) – Frabosa Soprana - ph Vanessa Bianchi

Bibliografia

- Bellocchi G., Cochard C.P. (2021) - *Effects of climate change on grassland biodiversity and productivity*. *Agronomy* 11(6): 1047
- Borhidi A.L. (1995) - *Social behaviour types, the naturalness and relative indicator values of the higher plants in the Hungarian Flora*. *Acta Botanica Hungarica* 39: 97-182
- Boutin M., Corcket E., Alard D., Villar L., Jiménez J.J., Blaix C., Lemaire C., Corriol G., Lamaze T., Pornon A. (2016) - *Nitrogen deposition and climate change has increased vascular plant species richness and altered the composition of grazed subalpine grasslands*. *Journal of Ecology* 105(5): 1199-1209
- Cannone N., Pignatti S. (2014) - *Ecological responses of plant species and communities to climate warming: upward shift or range filling processes?* *Climatic Change* 123(2): 201-214
- Casazza G., Barberis a., Minuto L. (2005) - *Ecological characteristics and rarity of endemic plants of the Italian Maritime Alps*. *Biological Conservation* 123: 361-371
- Cavallero A., Aceto P., Gorlier A., Lombardi G., Lonati M., Martinasso B., Tagliatori C. (2007) - *I tipi pastorali delle Alpi piemontesi*. Alberto Perdisa Editore, Bologna
- Chytrý M., Tichý L., Hennekens S.M., Schaminée J.H.J. (2013) - *Assessing vegetation change using vegetation-plot databases: a risky business*. *Applied Vegetation Science* 17(1): 32-41
- Daget P., Poissonet T. (1969) - *Analyse phytologique des prairies: applications agronomiques*. CNRSB.P., Montpellier, France
- Dibari C., Costafreda-Aumedes S., Argenti G., Bindi M., Carotenuto F., Moriondo M., Padovan G., Pardini A., Staglianò N., Vagnoli C., Brilli L. (2020) - *Expected changes to alpine pastures in extent and compo-*



Figura 13 – Vista dal Colle della Maddalena (CN) - ph Vanessa Bianchi

- sition under future climate conditions. *Agronomy* 10(7): 926
- Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT), 2025 - *Dati sulle superfici prato-pascolive in Europa*. <https://www.fao.org/fao-stat/en/#home>. Accesso 14 febbraio 2025
 - Giarizzo E., Burrascano S., Chiti T., de Bello F., Lepš J., Zavattero L., Blasi C. (2016) - *Re-visiting historical semi-natural grasslands in the Apennines to assess patterns of changes in species composition and functional traits*. *Applied Vegetation Science* 20(2): 247-258
 - Gottfried M., Pauli H., Futschik A., Akhalkatsi M., Barancok P. et al. (2012) - *Continent-wide response of mountain vegetation to climate change*. *Nature Climate Change* 2: 111-115
 - Gusmeroli F. (2012) - *Prati, pascoli e paesaggio alpino*. SoZooAlp, Nuove Arti Grafiche, Trento
 - Hejcman M., Hejcmanová P., Pavlů V., Beneš J. (2013) - *Origin and history of grasslands in Central Europe - a review*. *Grass and Forage Science* 68: 345-363
 - IPCC (2023) - *Climate Change 2023: Synthesis Report*. IPCC, Ginevra, Svizzera
 - Körner C. (2003) - *Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin, Germany
 - Landolt E., Bäumler B., Erhardt A., Hegg O., Klötzli F.A., Lämmli W., Nobis M., Rudmann-Maurer K., Schweingruber F.H., Theurillat J., Urmi E., Vust M., Wohlgemuth T. (2010) - *Flora indicativa: Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen*. Haupt Verlag AG, Bern, Switzerland
 - Lenoir J., Gélout J.C., Marquet P.A., de Ruffray P., Brisse H. (2008) - *A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century*. *Science* 320: 1768-1771
 - Matteodo M., Ammann K., Verrecchia E.P., Vittoz P. (2016) - *Snowbeds are more affected than other subalpine-alpine plant communities by climate change in the Swiss Alps*. *Ecology and Evolution* 6(19): 6969-6982
 - Médail F., Quézel P. (1997) - *Hot-Spots Analysis for Conservation of Plant Biodiversity in the Mediterranean Basin*. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 84: 112-127
 - Pauli H., Gottfried M., Dullinger S., Abdaladze O., Akhalkatsi M. et al. (2012) - *Recent Plant Diversity Changes on Europe's Mountain Summits*. *Science* 336: 353-355
 - Pauli H., Gottfried M., Grabherr G. (2003) - *Effects of climate change on the alpine and nival vegetation of the Alps*. *Journal of mountain ecology* 7: 9-12
 - Pauli H., Gottfried M., Reiter K., Klettner C., Grabherr G. (2007) - *Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994-2004) at the GLORIA master site Schrankogel, Tyrol, Austria*. *Global Change Biology* 13(1): 147-156
 - Vittoz P., Cristoforo R., Dutoit A., Bonnet F., Hegg O. (2009) - *Low impact of climate change on subalpine grasslands in the Swiss Northern Alps*. *Global Change Biology* 15(1): 209-220
 - Vittoz P., Jutzeler S., Guisan A. (2006) - *Flore alpine et réchauffement climatique: observation de trois sommets valaisans à travers le 20ème siècle*. *Bulletin de la Murithienne* 123: 49-59
 - Walther G.R., Beißner S., Burga C.A. (2005) - *Trends in the upward shift of alpine plants*. *Journal of Vegetation Science* 16: 541-548



Acceglio (Val Maira, Piedmont, NW Italy) – Photo by Vanessa Bianchi

Changes in pasture vegetation in the Maritime Alps in a scenario of climate change A 20-year monitoring (2003-2024)

by Vanessa Bianchi^(1,2)

1. University of Turin – Master's Degree Program in Forest Systems and Territory Sciences and Technologies

2. CAI – Pinerolo Section

Premise

This article summarizes the findings of the Master's thesis entitled *"Twenty-year variations (2003-2024) in pasture vegetation in the Protected Areas of the Maritime Alps in a scenario of climate change"* (candidate: Vanessa Bianchi; supervisor: prof. Michele Lonati). The study was conducted by the research group "Ecology and Management of Agro-Pastoral Systems" at the University of Turin – DISAFA (Department of Agricultural, Forest and Food Sciences), with the contribution of the *Ente di Gestione delle Aree Protette delle Alpi Marittime* (Maritime Alps Protected Areas Management Authority). The research was carried out as part of the agreement on the *"Study of Pastoral Vegetation, Forage Availability and Wetlands in Natura 2000 Sites of the Maritime Alps Protected Areas in Relation to Climate Change"* (scientific coordinator: prof. Giampiero Lombardi), within the framework of the Interreg VI-A France-Italy ALCOTRA 2021-2027 project no. 20138 "ACLIMO" – Action 4.2.

Abstract:

Alpine semi-natural grasslands, shaped by centuries of extensive human management, represent key ecosystems for biodiversity and agricultural sustainability, but are currently threatened by climate change and land-use transformations. This study aims to contribute to the understanding of vegetation changes that occurred between 2003 and 2024 in the grasslands of the Protected Areas of the Maritime Alps (northwestern Italy, 1300-2400 m a.s.l.). The research is based on the resampling of 58 vegetation surveys conducted in the same locations in 2003, followed by an assessment of changes in floristic composition through statistical analyses. Climatic data show an increase in mean annual temperature and total annual precipitation, along with high interannual variability in rainfall and several summer drought events, which may have caused stress to the vegetation. The vegetation showed an overall increase in species diversity, particularly in thermophilous grasslands and in montane and subalpine *Nardus* grasslands (a priority habitat under the Habitats Directive). A general expansion of species typical of nutrient-rich grasslands was observed, as well as species characteristic of xeric grasslands and ruderal communities, accompanied by an increase in the nitrogen indicator value (N), indicating soil enrichment. It is hypothesized that unsustainable grazing practices – with intensification in more accessible areas and consequent abandonment in economically marginal ones – have led to an increasingly heterogeneous vegetation mosaic. These findings highlight the urgent need to deepen the understanding of management practices and to initiate long-term vegetation monitoring, in order to adopt management strategies that ensure the conservation of these fragile yet ecologically crucial alpine ecosystems.

Introduction: alpine semi-natural grasslands and the threats of global change

Semi-natural grasslands of the Alpine arc represent one of the most biodiversity-rich ecosystems, while also being among the most vulnerable.

Their existence is closely linked to centuries of extensive human management in high mountain environments (Hejckman *et al.*, 2013), primarily through traditional agricultural practices such as grazing and mowing. These practices have historically shaped the landscape and contributed to maintaining the balance among the various ecosystem components (Figure 1).

The importance of permanent pastures and meadows lies in their multifunctionality: grass swards provide forage for livestock, enhance soil fertility through their plasticity, and host high levels of floristic richness (Gusmeroli, 2012).

In the Piedmont Alps alone, there are 92 pasture types and 646 pasture facies (Cavallero *et al.*, 2007), ranging from xerophilous high-altitude grasslands to mesophilous valley-bottom meadows, each characterized by a distinct floristic composition and specific ecological dynamics.

The millennia-old balance between human activities and natural processes is now under threat from multiple fronts: on one hand, agricultural intensification tends to simplify plant communities and deplete soil quality; on the other, the abandonment of marginal areas promotes the recolonization by woody species (Giarrizzo *et al.*, 2016). Within this scenario, climate change represents an additional disturbance factor, capable of altering the phenology, composition, and structure of plant communities.



Figure 1 – Herd of cattle grazing in the Stura Valley (Piedmont, NW Italy) - Photo by Vanessa Bianchi

Several studies, including recent ones, have examined the potential impacts of climate change on alpine grasslands (Bellocchi & Cochard, 2021; Matteodo *et al.*, 2016; Vittoz *et al.*, 2009; Pauli *et al.*, 2003).

For instance, various authors have reported increases in species richness in alpine and subnival vegetation (Pauli *et al.*, 2007; Vittoz *et al.*, 2006; Walther *et al.*, 2005).

According to the latest report from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2023), global mean temperatures are projected to rise by an additional 1.5 °C to 2 °C above pre-industrial levels over the coming

decades, with potentially significant consequences for mountain ecosystems. Future scenarios suggest an accelerated loss of habitat for many alpine species and increasing competition among species adapted to different climatic conditions. In this context, monitoring vegetation changes over time is crucial for understanding the ongoing dynamics and developing effective conservation strategies.

This study addresses that need by documenting and interpreting the changes in floristic composition that have occurred over the past twenty years in the semi-natural grasslands of the Maritime Alps (northwestern Italy).

The ecological context of the Maritime Alps

The territory safeguarded by the Management Authority of the Maritime Alps Protected Areas includes two parks, eight nature reserves, and twenty sites within the European Natura 2000 Network, covering nearly 100,000 hectares in the Province of Cuneo. This area forms a mosaic of natural and semi-natural environments situated at the ecological interface between the Alps and the Mediterranean. This ecological transition results in high floristic heterogeneity, characterized by the presence of numerous endemic species and an extraordinary variety of habitats. According to Casazza *et al.* (2005), the Italian Maritime Alps alone host over 3,000 taxa, more than one hundred of which are local endemics. This makes the region one

of the ten biodiversity hotspots of the Mediterranean Basin (Médail & Quézel, 1997), and one of the most important biogeographical areas in Europe.

The landscape is dominated by high-altitude grasslands, heathlands, subalpine forests, and rocky environments (Figures 2 and 3).

The climate is characterized by a western sublittoral rainfall regime, with precipitation peaks in spring and autumn, and relatively dry, but not arid, summers. The complex topography and diverse lithological substrates (calcareous, siliceous, and serpentine) further contribute to vegetation heterogeneity.

This research was carried out within this complex ecological context, supported by the European Union through the Interreg-ALCOTRA project no. 20138 "ACLIMO," aimed at supporting the territory – particularly pastoral

activities – in addressing the challenges of climate change, with specific attention to water availability and the conservation of natural habitats.



Figure 2 – View of one of the valleys in the study area (Lake Visaisa, Val Maira, Piedmont) – Photo by Vanessa Bianchi



Figure 3 – The Colle della Maddalena pass (Piedmont, NW Italy) – Photo by Vanessa Bianchi



Figure 4 – Survey of a *Festuca paniculata* grassland at 1,930 m a.s.l. in the Stura Valley (municipality of Vinadio) – Photo by V. Bianchi



Figure 5 – Survey of a *Festuca rubra* grassland at 2,086 m a.s.l. in the Maira Valley (municipality of Canosio) – Photo by V. Bianchi



Figure 6 – Survey of a *Trifolium* meadow at 2.065 m a.s.l. in the Ellero Valley (municipality of Roccaforte Mondovì) – Photo by V. Bianchi

Methods: vegetation resampling and statistical analyses

The study is based on the resampling of vegetation at known sites, originally surveyed in 2003 as part of a project to characterize pastures in the Piedmont region (Cavallero *et al.*, 2007). The method used is the phytopastoral technique developed by Daget & Poissonet (1969), which involves recording plant species at 50 observation points along a 25-meter linear transect (Figures 4, 5, and 6). Nomenclature follows the most recent Italian flora (Bartolucci *et al.*, 2024; Galasso *et al.*, 2024).

A total of 58 surveys were selected for the present study, located between 1,300 and 2,400 m a.s.l. across several valleys (Figure 7), and representative of the most widespread pasture types in the region (Cavallero *et al.*, 2007), listed below according to ecological group:

- Xerophilous grasslands on poorly developed soils: type 13 – *Sesleria varia* (= *S. caerulea*), type 19 – *Festuca ovina* aggr.
- Thermophilous grasslands on developed soils: type 25 – *Brachypodium rupestre*, type 26 – *Festuca paniculata* (= *Patzkea paniculata*).
- Oligotrophic grasslands on acidic soils: type 30 – *Nardus stricta* (30a: montane and subalpine, 30b: alpine), type 33 – *Trifolium alpinum* and *Carex sempervirens*.
- Mesotrophic grasslands on acidic soils: type 52 – *Festuca rubra* aggr. and *Agrostis tenuis* (= *A. capillaris*).

These pasture types were also matched to habitats protected under the EU Habitats Directive, following the correspondences proposed by Biondi *et al.* (2010); for example, montane and subalpine *Nardus* grasslands fall under the priority habitat 6230*.

For each survey, the cover and relative abundance of each plant species were calculated, along with biodiversity indices (species richness, Effective Number of Species, Simpson's index), ecological indicator values (temperature, nutrients, moisture, and soil pH, per Landolt *et al.*, 2010), and composition in "Social Behaviour Types" (as defined by Borhidi, 1995), which helps in interpreting ecological balances among species groups.

To compare the historical (2003) and current (2024) data, statistical analyses were performed (tb-PCA on all recorded species, and paired t-tests on 26 vegetation variables), pairing surveys from both years.

Additionally, climatic data for the 2003-2024 period were extracted and analysed from the NWIOI dataset (ARPA Piemonte), specifically annual mean temperatures and total precipitation (annual and summer), corresponding to the territorial sections in which the 58 survey points are located (9 grid cells, 12x12 km resolution).

Statistical analyses included linear correlations between climate variables and years, aimed at assessing the significance of temporal trends.

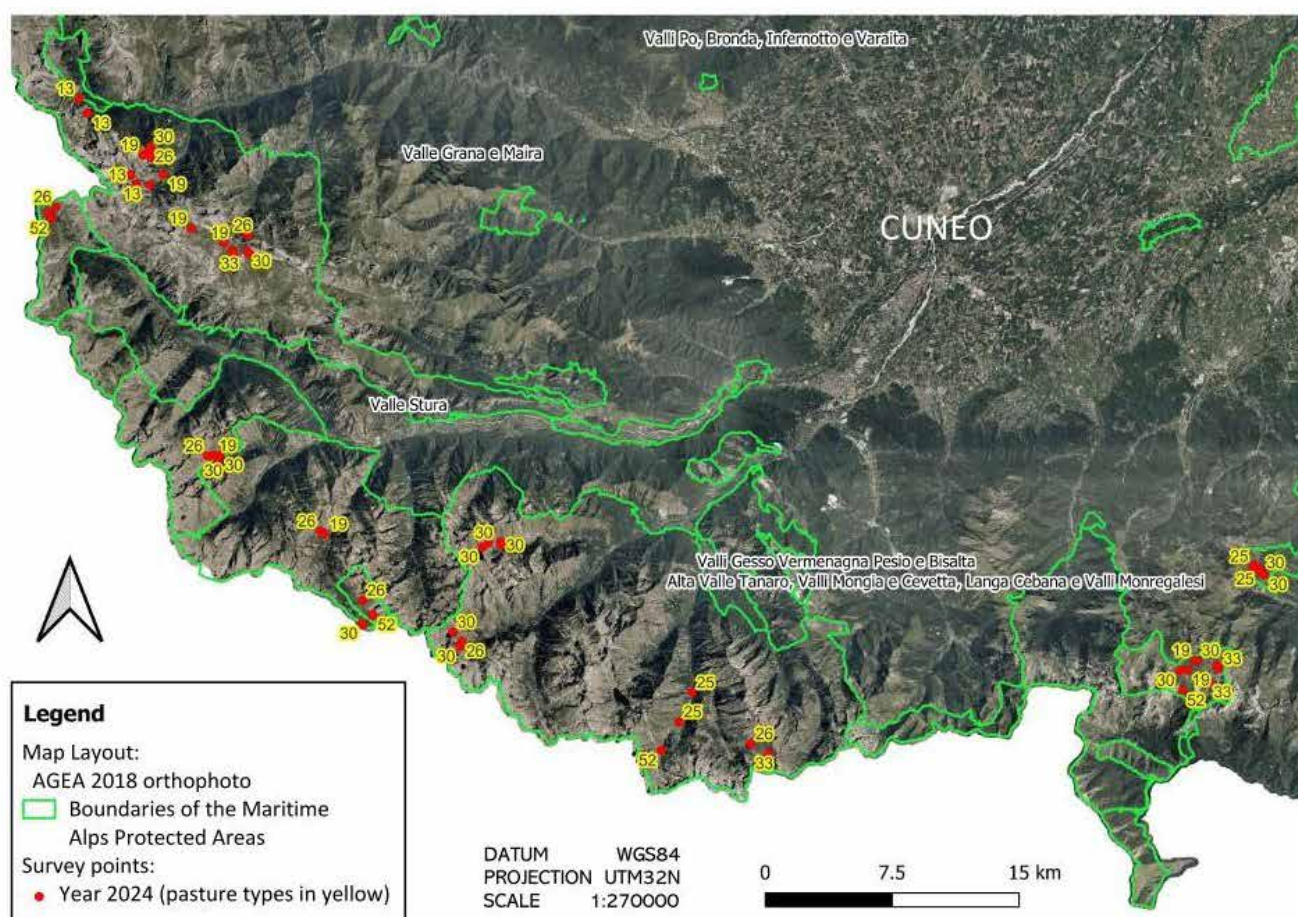


Figure 7 – Boundaries of the Protected Areas of the Maritime Alps and location of the 58 survey points recorded in 2024 across five valleys (from East to West: Ellero Valley, Gesso Valley, Stura di Demonte Valley, Grana Valley, and Maira Valley)



Figure 8 – Thermo-pluviometric diagram (2003–2024) showing mean values of the 9 raster cells (12 × 12 km resolution) containing the 58 survey points, with corresponding trend lines and standard error bars

Results: signals of climate and vegetation change

Analysis of temperature and precipitation data (Figure 8) showed a steady increase in annual mean temperatures between 2003 and 2024, with an average variation of +0.064 °C/year (+1.34 °C over 20 years). Annual cumulative precipitation also increased (+15.24 mm/year, +322.5 mm in twenty years), though with marked seasonal variability: very wet years (2024, 2018, 2014) alternated with drought years (2022, 2017, 2007). Summer droughts (June–August) occurred in 2021, 2017, 2012, and 2003, likely causing water stress for pasture vegetation. These trends align with both IPCC data and national data from ISTAT, highlighting the urgent need to assess the impacts of climate change on alpine ecosystems, where plant distribution and abundance are primarily influenced by low temperatures and short growing seasons (Körner, 2003).

Analysis of the 2024 vegetation data revealed significant shifts in community composition. A total of 409 species

were recorded, including 36 alpine endemics, compared to 356 species in 2003. Increases were observed in eutrophic/good forage species (e.g., *Lolium pratense*, *Poa pratensis*, *Dactylis glomerata*) and the nitrophilous species *Rumex alpinus*, all associated with high management intensity. Concurrently, shrub species (e.g., *Juniperus communis*, *Vaccinium* spp.) increased, typically linked to the abandonment of traditional agricultural practices. The greatest declines were observed in oligotrophic species such as *Carex sempervirens*, *Nardus stricta*, and *Festuca ovina* aggr.

Multivariate analysis (Figure 9) enabled the projection of floristic composition data onto a cartesian plane and the study of correlations among points based on their spatial distance. Figure 9c shows the top 50 species defining the axis extremes; their distribution reveals two ecological gradients: increasing temperature along the x-axis (left –

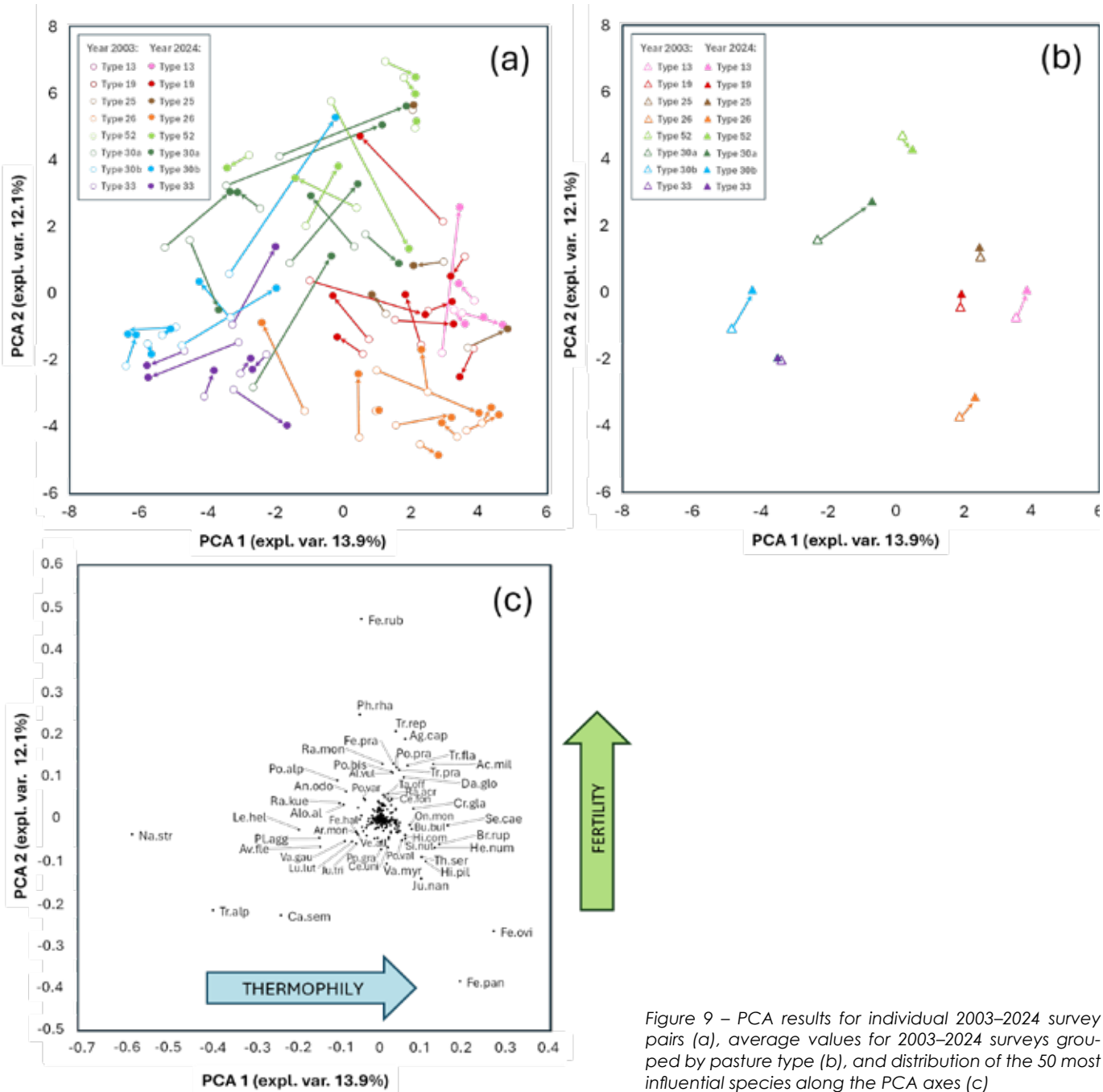


Figure 9 – PCA results for individual 2003–2024 survey pairs (a), average values for 2003–2024 surveys grouped by pasture type (b), and distribution of the 50 most influential species along the PCA axes (c)

high-altitude species; right – lower-elevation, thermophilous species) and increasing soil fertility along the y-axis (bottom – oligotrophic species; top – species typical of more fertile environments). Based on these gradients, figures 9a and 9b visualize vegetation changes as arrows connecting the 2003 and 2024 surveys.

Figure 9b groups surveys by pasture type and suggests a general increase in species thermophily, possibly linked to “thermophilization” (Gottfried *et al.*, 2012), which refers to the upward shift of species distributions due to warming.

The same figure shows a general increase in fertility, influenced by complex interactions between climate, soil, grazing management, and species dynamics. However, figure 9a (individual surveys) reveals notable variability within each pasture type; for instance, type 33 (*Trifolium* grasslands, shown in purple) exhibits both positive and negative shifts along the two gradients. This variability likely reflects differences in site-specific environmental conditions due to the locations of survey points across different valleys.

Vegetation variable analysis revealed an overall increase in biodiversity (Figure 10), particularly in thermophilous grasslands and montane/subalpine *Nardus* grasslands.

This trend was less evident in high-altitude grasslands (types 30b and 33) and xerophilous grasslands (type 19), possibly due to the decline of cold-adapted, less com-

petitive species (Gottfried *et al.*, 2012) and the stress resilience of xerophilous species under warming conditions (Dibari *et al.*, 2020).

Specifically, increases were observed in species typical of fertile grasslands (*Molinio-Arrhenatheretea* class) and in the nitrogen indicator value (N), denoting a general enrichment of soils.

This may result from intensified management, which typically occurs in more accessible and fertile areas, or from climate change-related processes, such as the increased atmospheric deposition of nitrogen compounds produced by human activities (Boutin *et al.*, 2016).

Simultaneously, a slight expansion was observed in species typical of heathlands (classes *Calluno-Ulicetea* and *Loiseleurio-Vaccinietea*) and herbaceous fringe communities (classes *Epilobietea angustifolii*, *Mulgedio-Aconitetea* and *Trifolio-Geranietea sanguinei*), indicative of a reduction or abandonment of traditional agricultural practices.

Among pasture types, xerophilous grasslands appeared relatively stable, likely due to the greater adaptability of dominant species to environmental stress. The most pronounced changes occurred in montane and subalpine *Nardus* grasslands (type 30a – a priority habitat), with increases in biodiversity, the nitrogen indicator value, and the cover of species typical of fertile grasslands, at the expense of *Nardus stricta* and other oligotrophic species.

Discussion: interpreting the changes

An increase in plant biodiversity driven by climate change has been reported in various studies on high-altitude grasslands (Pauli *et al.*, 2012), attributed to altitudinal species migration (Gottfried *et al.*, 2012; Lenoir *et al.*, 2008) or expansion of pre-existing species (Cannone & Pignatti, 2014). In the Maritime Alps grasslands, this increase involved various Social Behaviour Types depending on pasture type, with gains in species from both fertile and oligotrophic grasslands, as well as shrubs and ruderal communities.

A plausible explanation lies in the over- and underutili-

zation of vegetation caused by unsustainable grazing management. This results in reduced grazing pressure in economically marginal areas (e.g., distant from alpine pastures), and increased intensity in more accessible and fertile zones, altering the abundance of species either favored or suppressed by grazing.

The threat of abandonment is well known and leads to the loss of key ecosystems. Between the 1990s and 2013, Europe lost over 5 million hectares of meadow and pastu-
reland (FAOSTAT, 2025).

Analysis group	all surveys					type 13 - <i>Sesleria varia</i>					type 19 - <i>Festuca ovina</i> aggr.				
	2003		2024		p-value	2003		2024		p-value	2003		2024		p-value
Biodiversity indices	mean ± SE		mean ± SE			mean ± SE		mean ± SE			mean ± SE		mean ± SE		
Species richness	42.9	1.74	51.9	2.51	***	47.0	4.64	64.0	7.73	*	54.9	5.26	59.3	6.80	ns
Effective Number of Species	14.5	0.83	17.8	1.05	***	15.2	3.22	21.0	4.04	*	20.6	2.44	20.6	2.49	ns
Simpson's index	0.87	0.01	0.89	0.01	*	0.86	0.03	0.91	0.01	ns	0.91	0.02	0.92	0.01	ns
Analysis group	type 25 - <i>Brachypodium rupestre</i>					type 26 - <i>Festuca paniculata</i>					type 30a - montane/subalpine <i>Nardus</i> grasslands				
	2003		2024		p-value	2003		2024		p-value	2003		2024		p-value
Biodiversity indices	mean ± SE		mean ± SE			mean ± SE		mean ± SE			mean ± SE		mean ± SE		
Species richness	55.8	5.12	81.5	8.05	*	45.9	2.37	52.6	2.87	†	36.6	3.62	50.4	5.16	*
Effective Number of Species	20.8	2.13	26.7	2.60	*	13.3	0.74	15.7	1.61	†	12.8	2.48	20.4	2.92	*
Simpson's index	0.91	0.01	0.94	0.00	ns	0.87	0.01	0.87	0.01	ns	0.83	0.03	0.91	0.02	*
Analysis group	type 30b - alpine <i>Nardus</i> grasslands					type 33 - <i>Trifolium alp.</i> & <i>Carex semp.</i>					type 52 - <i>Festuca rubra</i> aggr. & <i>Agrostis t.</i>				
	2003		2024		p-value	2003		2024		p-value	2003		2024		p-value
Biodiversity indices	mean ± SE		mean ± SE			mean ± SE		mean ± SE			mean ± SE		mean ± SE		
Species richness	32.9	2.46	39.6	4.48	ns	37.6	4.39	36.9	6.12	ns	36.9	3.47	45.9	4.93	*
Effective Number of Species	9.8	1.23	11.4	2.13	ns	11.8	0.93	13.7	2.89	ns	14.4	1.98	17.7	2.36	ns
Simpson's index	0.83	0.02	0.82	0.03	ns	0.87	0.01	0.87	0.02	ns	0.88	0.02	0.91	0.01	ns

Figure 10 – Analysis of changes in biodiversity indices, showing means, standard errors (SE), and statistical significance (p-values) for all surveys and for each pasture type [*** = $p < 0.001$; ** = $0.01 > p > 0.001$; * = $0.05 > p > 0.01$; † = marginally significant $0.10 > p > 0.05$; ns = not significant]

Moreover, from an ecological perspective, increased biodiversity does not always equate to improvement. Examples include the spread of nitrophilous or ruderal species, often linked to sward degradation or grazing disturbance, and the expansion of pioneer shrubs or herbaceous fringe species, which indicate a successional process that, if not contained, can lead to the closure of grassland areas. This would result in substantial habitat loss and fragmentation for many animal species, including the sensitive butterfly communities.

Conclusions

Given their ecological importance and vulnerability to climate change, understanding vegetation dynamics in semi-natural grasslands is crucial for their conservation (Giarrizzo *et al.*, 2016).

The study's results suggest that both climate change and land-use changes are driving a progressive reorganization of herbaceous communities in the Protected Areas of the Maritime Alps.

Notably, the increasing heterogeneity of the vegetation mosaic indicates that over- and underutilization dynamics may have occurred over the past two decades. A more in-depth analysis of pastoral practices in the study area would be essential to fully understand this process.

These findings highlight the urgent need to investigate grazing impacts by collecting information on livestock densities or, on a smaller scale, monitoring animal behavior via GPS collars. Furthermore, establishing long-term vegetation monitoring – ideally through a network of well-stratified permanent plots (Chytrý *et al.*, 2013) – is necessary to understand how climate change will shape alpine plant communities.

The goal is to ensure the conservation of the Maritime Alps grasslands – fragile yet ecologically fundamental ecosystems.

Bibliography

- Bellocchi G., Cochard C.P. (2021) - *Effects of climate change on grassland biodiversity and productivity*. *Agronomy* 11(6): 1047
- Borhidi A.L. (1995) - *Social behaviour types, the naturalness and relative indicator values of the higher plants in the Hungarian Flora*. *Acta Botanica Hungarica* 39: 97-182
- Boutin M., Corcket E., Alard D., Villar L., Jiménez J.J., Blaix C., Lemaire C., Corriol G., Lamaze T., Pornon A. (2016) - *Nitrogen deposition and climate change has increased vascular plant species richness and altered the composition of grazed subalpine grasslands*. *Journal of Ecology* 105(5): 1199-1209
- Cannone N., Pignatti S. (2014) - *Ecological responses of plant species and communities to climate warming: upward shift or range filling processes?* *Climatic Change* 123(2): 201-214
- Casazza G., Barberis a., Minuto L. (2005) - *Ecological characteristics and rarity of endemic plants of the Italian Maritime Alps*. *Biological Conservation* 123: 361-371
- Cavallero A., Aceto P., Gorlier A., Lombardi G., Lonati M., Martinasso B., Tagliatori C. (2007) - *I tipi pastorali delle Alpi piemontesi*. Alberto Perdisa Editore, Bologna
- Chytrý M., Tichý L., Hennekens S.M., Schaminée J.H.J. (2013) - *Assessing vegetation change using vegetation-plot databases: a risky business*. *Applied Vegetation Science* 17(1): 32-41
- Daget P., Poissonet T. (1969) - *Analyse phytologique des prairies: applications agronomiques*. CNRSB.P., Montpellier, France
- Dibari C., Costafreda-Aumedes S., Argenti G., Bindi M., Carotenuto F., Moriondo M., Padovan G., Pardini A., Staglianò N., Vagnoli C., Brilli L. (2020) - *Expected changes to alpine pastures in extent and sition under future climate conditions*. *Agronomy* 10(7): 926
- Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT), 2025 - *Dati sulle superfici prato-pascolive in Europa*. <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Accesso 14 febbraio 2025
- Giarrizzo E., Burrascano S., Chiti T., de Bello F., Lepš J., Zavatner L., Blasi C. (2016) - *Re-visiting historical semi-natural grasslands in the Apennines to assess patterns of changes in species composition and functional traits*. *Applied Vegetation Science* 20(2): 247-258

These considerations highlight the need to reassess future management strategies for permanent grasslands, which should include regular vegetation monitoring, the promotion of actively grazed pastures, and particular attention to the prevention of land abandonment.



Figure 11 – *Trollius europaeus* (Globeflower), *Frabosa Soprana* – Photo by Vanessa Bianchi



Figure 12 – View from the Maddalena Hill (CN) - Photo by Vanessa Bianchi



- Gottfried M., Pauli H., Futschik A., Akhalkatsi M., Barancok P. et al. (2012) - *Continent-wide response of mountain vegetation to climate change*. *Nature Climate Change* 2: 111-115
- Gusmeroli F. (2012) - *Prati, pascoli e paesaggio alpino*. SoZooAlp, Nuove Arti Grafiche, Trento
- Hejcman M., Hejcmanová P., Pavlů V., Beneš J. (2013) - *Origin and history of grasslands in Central Europe - a review*. *Grass and Forage Science* 68: 345-363
- IPCC (2023) - *Climate Change 2023: Synthesis Report*. IPCC, Ginevra, Svizzera
- Körner C. (2003) - *Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin, Germany
- Landolt E., Bäumler B., Erhardt A., Hegg O., Klötzli F.A., Lämmli W., Nobis M., Rudmann-Maurer K., Schweingruber F.H., Theurillat J., Urmi E., Vust M., Wohlgemuth T. (2010) - *Flora indicativa: Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen*. Haupt Verlag AG, Bern, Switzerland
- Lenoir J., Gégout J.C., Marquet P.A., de Ruffray P., Brisse H. (2008) - *A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century*. *Science* 320: 1768-1771
- Matteodo M., Ammann K., Verrecchia E.P., Vittoz P. (2016) - *Snowbeds are more affected than other subalpine-alpine plant communities by climate change in the Swiss Alps*. *Ecology and Evolution* 6(19): 6969-6982
- Médail F., Quézel P. (1997) - *Hot-Spots Analysis for Conservation of Plant Biodiversity in the Mediterranean Basin*. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 84: 112-127
- Pauli H., Gottfried M., Dullinger S., Abdaladze O., Akhalkatsi M. et al. (2012) - *Recent Plant Diversity Changes on Europe's Mountain Summits*. *Science* 336: 353-355
- Pauli H., Gottfried M., Grabherr G. (2003) - *Effects of climate change on the alpine and nival vegetation of the Alps*. *Journal of mountain ecology* 7: 9-12
- Pauli H., Gottfried M., Reiter K., Klettner C., Grabherr G. (2007) - *Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994–2004) at the GLORIA master site Schrankogel, Tyrol, Austria*. *Global Change Biology* 13(1): 147-156
- Vittoz P., Cristoforo R., Dutoit A., Bonnet F., Hegg O. (2009) - *Low impact of climate change on subalpine grasslands in the Swiss Northern Alps*. *Global Change Biology* 15(1): 209-220
- Vittoz P., Jutzeler S., Guisan A. (2006) - *Flore alpine et réchauffement climatique: observation de trois sommets valaisans à travers le 20ème siècle*. *Bulletin de la Murithienne* 123: 49-59
- Walther G.R., Beißner S., Burga C.A. (2005) - *Trends in the upward shift of alpine plants*. *Journal of Vegetation Science* 16: 541-548



Lago Karakul e monte Muztagata (7546 m), nel Pamir. È un lago fra quelli a più alta salinità di gran parte dell'Asia. Le sue acque non possono essere utilizzate ai fini potabili da un occasionale viaggiatore, ma solo attraverso complessi processi di desalinizzazione - ph Francesco Mantelli

Le acque in montagna e nelle aree remote

Linee generali per l'utilizzo a scopo potabile

di Francesco Mantelli⁽¹⁾⁽²⁾

1. Comitato Scientifico Regionale Toscana "Fiorenzo Gei"

2. CAI - Sezione di Valdarno inferiore

Riassunto

Con questo lavoro si forniscono dei criteri, comunque di tipo generale, sulla possibilità di utilizzare acque a scopo potabile sia in ambienti di montagna che in aree remote. Vengono indicate le principali tipologie di composizione delle acque in relazione all'interazione acqua-roccia e riportati esempi di utilizzo di acque su alcune montagne e in particolari aree remote. Sono infine indicati i principali sistemi di potabilizzazione che possono essere utilizzati in questi ambienti.

Abstract: Waters in the mountains and remote areas - General guidelines for use for drinking purposes

This work provides criteria, however of a general nature, on the possibility of using water for drinking purposes both in mountain environments and in remote areas. The main types of water composition in relation to the interaction - water and rock are indicated and examples of water use on some mountains and in particular remote areas are reported. Finally, the main drinking water systems that can be used in these environments are reported.

Introduzione: definizione di acqua potabile

Il concetto di potabilità dell'acqua nasce da valutazioni molto antiche che hanno subito nel corso dei secoli notevoli modifiche in conseguenza dell'approfondirsi delle conoscenze scientifiche.

Gli antichi avevano elaborato, sulla base di conoscenze empiriche, vari criteri per valutare la potabilità dell'acqua e per preservare la sua salubrità.

Palladio, V secolo d.C., in *De re rustica* riporta: «*Aquae salubritas sic agnoscitur: primum ne a lacunis ne a palude ducatur, ne de metallis originem sumat*». Con questa affermazione l'autore individuava già alcune criticità che potevano rendere le acque non potabili: le acque stagnanti non sono mai salubri, quelle che sono venute in contatto con metalli sono contaminate.

Per molti secoli l'umanità ha cercato di preservare l'acqua da possibili contaminazioni, tuttavia senza conoscere le principali tipologie di inquinanti né i meccanismi di trasmissione delle malattie attraverso l'acqua. Occorre arrivare al XVII secolo quando Antoni van Leeuwenhoek, ottico e naturalista olandese, osservò per la prima volta i batteri; tuttavia, bisognerà attendere ancora a lungo per riconoscerli come microscopici agenti patogeni in grado di moltiplicarsi e generare infezioni. Furono i lavori sui batteri, di Pasteur, Koch e Cohn realizzati nella seconda metà dell'Ottocento, a gettare le basi per la moderna microbiologia.

In Italia, in seguito all'epidemia di colera del 1884-85, viene posta particolare attenzione sulla distribuzione delle acque potabili e sul sistema fognario, nel loro insieme ritenuti responsabili della diffusione delle malattie infettive. In quegli anni vengono definiti i criteri utilizzati per valutare la qualità chimica delle acque (prof. Giorgio Roster - *Dei Criteri per giudicare la potabilità di un'acqua*, 1893), si procede alle prime opere ingegneristiche con costruzione di dighe, si iniziano i primi processi di disinfezione delle acque. L'evoluzione della cultura inerente la potabilità delle acque si muove

comunque lentamente; tuttavia, a inizio Novecento viene emanata una serie di atti normativi che, giustamente, pongono prevalentemente l'attenzione sugli aspetti batteriologici dell'acqua.

I primi metodi "ufficiali" delle analisi chimiche, fisiche e anche microscopiche e microbiologiche sono del 1905, data di pubblicazione della prima edizione del *Report of the Committee on Standard Methods of Water Analysis to the Laboratory Section of the American Public Health Association*.

In Italia occorre arrivare al 1950, quando Puntoni riporta nella sua trattazione alcuni metodi d'analisi abbastanza dettagliati e allargati alla ricerca degli streptococchi fecali, delle spore di *Bacillus perfringens*. Il percorso verso una legislazione evoluta sulle acque potabili è ancora lento: dal 1950 fino al termine del 1970 i controlli chimici e microbiologici delle acque potabili ricalcavano, in linea generale, la serie dei parametri del documento "Criteri di potabilità e norme di potabilizzazione delle acque" del 1936.

Dopo ulteriori passaggi normativi in cui progressivamente si individuano riferimenti avanzati di tipo chimico e microbiologico (DPCM 8 febbraio 1985), si giunge finalmente al 1988 quando si realizza il primo vero salto di qualità nella definizione di tali requisiti. In seguito al recepimento della Direttiva europea n. 80/778/CEE viene emanato il DPR 236/1988 che di fatto rappresenta la vera norma di attuazione della direttiva comunitaria e quindi non si limita solo a disciplinare gli aspetti sanitari, ma interviene anche sulla tutela delle risorse idriche destinate all'utilizzo potabile.

Sarà emanato negli anni seguenti il Decreto legislativo 2 febbraio 2001, n. 31 a cui seguirà l'attuale legislazione in materia, costituita dal Decreto legislativo del 23 febbraio 2023, n. 18, dal recepimento della Direttiva UE 2020/2184 del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2020, concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano.

Quindi un'acqua, sulla base della normativa vigente, per possedere i requisiti di potabilità deve soddisfare una serie molto numerosa di parametri di tipo chimico e microbiologico indicati nei numerosi allegati del citato Decreto.

In questo lavoro, per semplicità sono riportate solo le tabelle 1 e 2, dove sono indicati i parametri più significativi in relazione al contesto affrontato e i rispettivi valori di parametro, che in pratica rappresentano dei valori limite.

Qual è il significato di valore limite? Se un'acqua contiene una o più sostanze in quantità superiore al valore limite, tale acqua non presenta i requisiti di potabilità; è insomma un valore che non può essere superato.

Per esempio, per quanto riguarda il contenuto in nitrati, il valore limite è 50 milligrammi per litro (mg/L); pertanto, un'acqua con nitrati superiori a questo valore non ha i requisiti di potabilità. Occorre infine precisare che i valori limite sono calcolati supponendo un consumo giornaliero di due litri di acqua per l'intero arco della vita; ne consegue che brevi e temporanei superamenti di tali valori, pur determinando la non potabilità dell'acqua, non costituiscono pregiudizio per la salute, in particolare per le sostanze che non hanno caratteristiche di tossicità acuta.

Fu sulla base di questo assunto che in passato sono state date delle deroghe (previste anche nella normativa europea) a tali valori per alcuni parametri (boro, arsenico, nitrati, solfati e altri), limitate nel tempo, nell'attesa che i gestori degli acquedotti allestissero adeguati sistemi di trattamento al fine di risolvere quelle criticità.

Un discorso diverso deve essere fatto per la microbiologia delle acque: il superamento dei valori limite dei parametri microbiologici indica, nella maggior parte dei casi, che l'acqua ha subito una contaminazione e che pertanto può contenere microrganismi patogeni; il suo impiego a uso potabile può produrre un'infezione che può evolvere in malattia più o meno grave a seconda del tipo di microrganismo responsabile. Pertanto, in nessun caso è possibile derogare dai valori limite microbiologici.

Parametri	Unità di misura	Valore di parametro (Valore limite)
Antimonio	µg/L	10
Arsenico	µg/L	10
Benzene	µg/L	1,0
Benzo (a) pirene	µg/L	0,010
Boro (come B)	mg/L	1,5
Cadmio	µg/L	5,0
Cromo	µg/L	50 - 25*
Rame	mg/L	2,0
Fluoruro	mg/L	1,50
Piombo	µg/L	10*
Mercurio	µg/L	1,0
Nickel	µg/L	20
Nitrato	mg/L NO ₃	50
Nitrito	mg/L NO ₂	0,50
Selenio	µg/L	20
Vanadio	µg/L	140
Uranio	µg/L	30

Tabella 1 – Parametri chimici indicati nella parte B allegato 1 D.lgs. 23 febbraio 2023, n. 18 (µg/L: microgrammi/litro; mg/L: milligrammi/litro). *Per il Cromo il valore limite 25 andrà in vigore nel 2026, per il Piombo il valore si abbasserà a 5 dal 2036.

Il D.lgs. 23 febbraio 2023, n. 18 riporta anche una serie di parametri definiti indicatori (parte C1 dell'allegato 1). Per questi è prevista la conformità ai rispettivi valori (Tabella 2). Questi non sono veri e propri valori limite, ma quando si verificano dei superamenti, l'articolo 15 comma 1, lettera d, prevede l'adozione di provvedimenti correttivi, comunque subordinati all'evidenza di rischio per la salute umana.

Parametri	Unità di misura	Valore di parametro per cui è prevista la conformità
Alluminio	µg/L Al	200
Ammonio	mg/L NH ₄	0,50
Cloruro	mg/L Cl	250
<i>Clostridium perfringens</i>	UFC/100 mL	0
Conduttività	µS/cm a 20 °C	2500
pH	Unità pH	6,5 - 9,5
Ferro	µg/L Fe	200
Manganese	µg/L Mn	50
Solfato	mg/L SO ₄	250
Sodio	mg/L Na	10
Batteri coliformi	UFC/100 mL	0
Torbidità	NTU	Accettabile per i consumatori e senza variazioni anomale
Residuo secco a 180 °C	mg/L	1500

Tabella 2 – Parametri indicatori riportati nel D.lgs. 23 febbraio 2023, n. 18.

In assenza di contaminazione di tipo chimico e microbiologico, il contenuto dei solidi disciolti (residuo secco a 180 °C, più frequentemente denominato residuo fisso, anche TDS: *total dissolved solids*) costituisce il fattore limitante nell'uso di un'acqua ai fini potabili: acque pochissimo mineralizzate (acque di pioggia e di fusione di neve e ghiaccio) non hanno i requisiti di potabilità, né le acque molto mineralizzate; il limite di legge (non tassativo) è 1500 mg/L (Tabella 2).

È possibile comunque bere acque con residuo fisso superiore (non troppo) per un tempo limitato senza incorrere in particolari rischi sanitari. Si ricorda che gli ioni prevalenti (componenti principali) che costituiscono il residuo fisso sono: sodio, potassio, calcio, magnesio, cloruro, solfato e idrogenocarbonato (o bicarbonato).

Per la valutazione delle caratteristiche microbiologiche il D.lgs. 23 febbraio 2023, n. 18, richiede la ricerca dei parametri riportati nell'allegato 1 parte A e parte C1: enterococchi intestinali, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* (devono essere assenti in 100 ml di campione di acqua) conteggio delle colonie a 22 °C (non devono verificarsi variazioni anomale), batteri coliformi (assenti in 100 ml di campione acqua).

La presenza di questi batteri nelle acque può essere associata a microrganismi patogeni e pertanto mette in evidenza una contaminazione da infiltrazioni di materiale fecale. Tra i batteri più noti possiamo indicare l'*Escherichia coli* o colibacillo. Di solito non è direttamente patogeno, anche se esistono rare forme, geneticamente differenziate, che sono in grado di provocare gravi malattie in soggetti a rischio come neonati e immunodepressi.

In sintesi, in relazione allo stato di potabilità delle acque, occorre quindi valutare sempre gli aspetti chimici e microbiologici.

Per quanto riguarda i parametri chimici, la legislazione attuale prevede l'analisi di centinaia di sostanze fra le centinaia di migliaia che l'uomo ha immesso, e continua a immettere, nell'ambiente, spesso non degradabili e quindi ad alta persistenza. Oltre ai derivati clorurati come percloroetilene e tricloroetilene, si pensi alle numerose e differenti famiglie degli antiparassitari, ai PCB (Policlorobifenili) e alle sostanze perfluoroalchiliche (PFAS, PFOS), composti questi ultimi recentemente divenuti quasi ubiquitari. Fra questi l'acido trifluoroacetico è il derivato fluorurato più abbondante nelle acque della Terra per l'elevato impiego e per la sua elevata solubilità; attualmente si ritiene che questa molecola sia quella presente in maggiore quantità anche nei mari, nei campioni di ghiaccio, nelle piogge e nell'aria, quindi con trasporto anche in aree lontane dai luoghi di produzione e utilizzo. Poiché si presume che al momento sulle montagne e nelle aree remote tali composti abbiano bassa probabilità di essere presenti nelle relative acque in concentrazioni significative (tuttavia non assenza), per semplicità sono state omesse le tabelle relative a questi contaminanti i cui valori limite sono dell'ordine dei microgrammi e nanogrammi/litro (per esempio, antiparassitari aldrin, dieldrin e altri, valore limite 30 ng/L); quindi, per ulteriori approfondimenti, si deve fare riferimento alle tabelle complete riportate nel D.lgs. 23 febbraio 2023, n. 18.

Ai fini della valutazione, pur sommaria e certamente incompleta, della potabilità dell'acqua restano ancora come "macroindicatori" di contaminazione le forme di azoto: ammonio, nitriti e nitrati. Su nitriti e i nitrati nell'acqua potabile viene posta molta attenzione poiché nell'organismo umano queste forme di azoto possono combinarsi con le ammine derivate dai processi degradativi delle proteine, originate dai cibi, che avvengono nello stomaco e possono produrre le nitrosammine, sicuri agenti cancerogeni, nitriti e nitrati inoltre possono produrre metaemoglobinemia nei neonati.

Le acque in montagna

Acque superficiali - L'acqua in montagna è sia allo stato liquido, sia in forma di neve e ghiaccio. Sulle montagne dove l'acqua è liquida, questa può fuoriuscire da sorgenti, fluire nei torrenti o essere presente in pozze e laghi.

Le acque dei torrenti e dei ruscelli di montagna, anche quando scorrono a quote elevate e appaiono limpide, sono sempre a rischio dal punto di vista microbiologico. Anche in zone apparentemente disabitate, vi possono essere presenze animali o umane che danno luogo a dispersione nel terreno di deiezioni e altri reflui con conseguente contaminazione microbica; pertanto, per i corsi superficiali non c'è garanzia di sicurezza.

Sono ritenute relativamente a minor rischio sotto il profilo microbiologico le acque superficiali che provengono da territori dove è nota l'assenza di insediamenti umani, allevamenti di animali o significativa presenza di selvaggina, che possiedono inoltre una notevole portata, con materiale sospeso assente, cioè limpide, e che sono ben ossigenate in modo da consentire la degradazione in tempi brevi delle sostanze organiche eventualmente presenti; sono queste le acque di montagne in alta quota, acque che scorrono in ambiente di praterie e in aree prevalentemente rocciose; tuttavia anche in questi ambienti le

L'ammonio è in relazione a processi di decomposizione di sostanze proteiche ed è spesso in relazione con acque reflue, fenomeno generalmente, ma non sempre, da escludere in un'area montuosa o remota; pertanto, la sua presenza può avere relazione con la decomposizione di selvaggina morta e quindi con una possibile contaminazione microbiologica. Tuttavia, occorre ricordare che in alcune acque sotterranee l'ammoniaca può avere origine geologica, in particolare negli acquiferi che sono in contatto con terreni e sedimenti di origine palustre o con torbiere, talvolta con valori fino a 10 mg/L. Il nitrito costituisce un successivo passaggio ossidativo dell'ammonio, così come il nitrato che costituisce l'ossidazione finale dell'azoto. La presenza di nitrato in concentrazione elevata (il limite di legge è 50 mg/L) è molto rara nelle acque delle aree montuose e in aree remote, dove si presume l'assenza di fertilizzanti chimici azotati e altri fonti di diffusione di azoto nitrico. In realtà i nitrati possono provenire da passaggi successivi di ossidazione dell'ammonio, come una volta si è verificato nell'acqua di un pozzo in un'area semidesertica della Mongolia: l'intorno del pozzo era luogo di stazzo di numerose pecore che avevano inquinato il suolo attorno; i nitrati in concentrazioni elevate riscontrati nell'acqua di quel pozzo erano riconducibili all'ossidazione (batteri nitrificatori) dell'ammonio contenuto nelle deiezioni animali.

Vedremo nel corso di questo lavoro come in molte acque in montagna e nelle aree remote si riscontrino valori molto bassi delle varie forme di azoto, spesso non rilevabili dalla strumentazione analitica; per il nitrato si riscontrano valori spesso fra 0,1 e 5 mg/L, che costituiscono il fondo naturale di questa sostanza nelle acque, proveniente in larga parte da ossidi di azoto presenti nell'atmosfera, a loro volta prodotti per sintesi fra azoto e ossigeno in seguito a scariche elettriche e da altri processi naturali come incendi delle foreste ed emissioni vulcaniche.

Resta difficile analizzare sul posto le acque in relazione a questi tre importanti indicatori; solo in casi particolari si è potuto utilizzare un fotometro portatile, utile per misurare in tempo reale alcune forme di azoto nelle acque.

Acque superficiali mantengono comunque una certa possibilità di contaminazione di natura microbiologica: ad esempio, nei torrenti del Parco del Denali in Alaska ed in gran parte delle acque superficiali del Nord America, spesso aree remote e ambienti completamente naturali, la *Giardia intestinalis*, un protozoo patogeno, è diffusa a livello endemico ed è causa di una malattia detta giardiasi. Inoltre, l'elevata torbidità dovuta a materiale in sospensione proveniente dalla fusione della neve e ghiaccio, assieme alle frequenti piogge che immettono limo e argilla nei corsi idrici, può costituire un limite all'utilizzo di queste acque; l'impiego può essere effettuato attendendo la spontanea deposizione del materiale sospeso, processo generalmente molto lento, impossibile mentre si percorre quell'immenso territorio, o filtrando l'acqua attraverso cotone o un tessuto a maglie fitte; è comunque questo uno dei casi fra i più difficili per ricavare acqua potabile perché talvolta si può avere presenza di argilla dispersa allo stato colloidale, materiale non eliminabile con questo sistema. Può sorprendere che in un ambiente così ricco di acque ci si possa trovare in una situazione di carenza di acqua utilizzabile ai fini potabili.

Occorre inoltre fare attenzione alle acque superficiali di



Figura 1 – Piccolo corso d'acqua nella foresta del Monte Falterona (Provincia di Firenze). Le acque superficiali sono quelle più a rischio anche in aree montane: nonostante la freschezza e la trasparenza, in queste acque possono essere presenti batteri e parassiti - ph Francesco Mantelli



Figura 2 – Monte Denali, 6190 m, Alaska. Le acque di scorrimento superficiale nel Parco del Denali possono contenere, in relazione alla stagione, molto materiale sospeso (limo e argilla), perché proveniente dalla fusione glaciale e dalle acque di ruscellamento superficiale in seguito alle frequenti piogge; questa torbidità le rende di difficile utilizzo ai fini potabili - ph Francesco Mantelli

tipo stagnante che mostrano talvolta quelle che sono chiamate "fioriture algali"; si tratta in realtà di cianobatteri, organismi unicellulari, chiamati impropriamente un tempo alghe verdi per il loro colore.

Queste acque non solo non sono potabili per presenza di cianotossine prodotte da questi batteri, ma sono a rischio anche ai fini della balneazione, per contatto con la pelle e inalazione. Il Decreto 18/2023, ai fini della valutazione della potabilità, in relazione ai cianobatteri, prevede la ricerca della microcistina-LR, la più tossica fra decine di tossine prodotte da questi batteri, con un valore limite di 1 microgrammo per litro.

Acque di sorgente - Le acque di sorgente sono spesso ritenute quelle di maggior interesse ai fini potabili poiché si ritiene che un'acqua sotterranea che sgorga da una sorgente sia abbastanza pura, valutazione che si basa sul fatto che nell'ambiente sotterraneo le acque sono protette dagli strati delle formazioni di copertura dell'acquifero. La ricarica di un acquifero è spesso lenta e quindi le acque possono, ma non sempre, come vedremo negli ambienti carsici, subire un processo di "filtrazione". In qualche modo un'acqua di sorgente proviene da un ambiente sotterraneo che si ritiene protetto (Figura 3).

In realtà un'acqua sotterranea, anche in un ambiente montano, può essere esposta a fenomeni di inquinamento sia di tipo chimico che microbiologico, questo in seguito a fattori naturali o per pressioni antropiche.

Negli ambienti montani le contaminazioni di tipo chimico connesse all'attività antropica sono per lo più legate alle attività estrattive di cave, all'attività mineraria, alla presenza di rifugi in alta quota, qualora non dotati di adeguati sistemi di smaltimento dei reflui.

Per quanto possibile, è pertanto necessario avere una conoscenza del territorio dove la sorgente è ubicata; per esempio, lungo tutto l'Appennino toscano - emiliano, costituito da arenarie quarzose-feldspatiche che occupano una vasta estensione con omogeneità litologica, le formazioni geologiche sono molto protettive per le acque sotterranee grazie anche alla presenza di marne e argille, pertanto le relative sorgenti forniscono acque molto pure sotto il profilo di tipo chimico e microbiologico, tanto che questo territorio è considerato ricco di giacimenti finalizzati all'imbottigliamento di acque minerali. Si tratta di acque con bassa mineralizzazione, con residuo fisso fra 50 e 100 mg/L.

La dorsale dell'Appennino centrale, in larga parte costituita da formazioni carbonatiche, produce acque di alto valore ai fini del loro utilizzo potabile; è noto l'acquedotto del Peschiera, principale acquedotto di Roma che convoglia le acque delle sorgenti localizzate alle falde del Monte Nuria (provincia di Rieti).

Sui Monti Sibillini, esteso gruppo montuoso costituito da rocce carbonatiche, varie sorgenti localizzate nelle aree percorse dai sentieri, presentano un residuo fisso fra 100 e 250 mg/L con tipologia idrogenocarbonato-calcica, fonti di utilizzo da parte dei numerosi escursionisti.

Per le valutazioni di tipo chimico delle acque dell'arco alpino, l'acqua delle relative sorgenti (prevalentemente quelle localizzate a quote elevate) è generalmente di buona qualità e raramente si osservano contaminazioni.

Molto sommariamente le interazioni acqua-roccia si possono ricondurre a contatti con rocce granitiche e metamorfiche nelle Alpi Occidentali e Centrali, con dolomie e

calcari in quelle Orientali. Localmente occorrerà valutare la possibile presenza di attività umane in quelle zone.

Occorre rimarcare che anche per le acque di sorgente, in assenza di analisi chimiche e microbiologiche non possiamo affermare con sicurezza la potabilità di un'acqua e pertanto i criteri da usare per valutarne la potabilità restano sommari. Si utilizzano pertanto le acque di sorgente disponendo, possibilmente, della conoscenza di possibili criticità del territorio (presenza di discariche, contaminazioni di origine naturale, presenza di abitati nei dintorni, altro...), confidando nel sapore e in altre caratteristiche organolettiche come uniche possibilità di valutazione della qualità: vengono scartate le acque torbide o particolarmente amare, quelle salate, le sulfuree, queste ultime facilmente riconoscibili per l'odore di uova marce che emanano, infine devono essere evitate anche le acque calde (abbastanza frequenti su montagne di natura vulcanica) perché solitamente portano in soluzione elementi tossici (antimonio, arsenico, nichel, mercurio, tallio...) che pur non determinando una tossicità acuta (se non in concentrazioni molto elevate) possono indurre problemi di accumulo nell'organismo e tossicità nel lungo periodo.

Le possibili contaminazioni di tipo chimico connesse all'attività antropica possono ricondursi a interazioni di acque con discariche derivanti da miniere abbandonate o ancora attive. Le aree interessate da attività mineraria, soprattutto quelle in cui l'escavazione veniva condotta con antichi sistemi, hanno lasciato spesso, in prossimità dei relativi siti, discariche abbandonate di materiale sterile contenente, comunque, anche tracce di minerali, inoltre le stesse gallerie estrattive possono mettere in circolo acque fortemente contaminate da metalli pesanti che poi possono distribuire tale inquinamento anche su vaste aree (Figura 5). Soprattutto nelle miniere dove venivano estratti solfuri misti (blenda, galena, pirite e altri), questi minerali contenuti, seppur in minima quantità, nelle discariche di materiale di scavo, esposti all'aria e alla circolazione di acque, tendono a ossidarsi dando luogo a soluzioni acide che portano in soluzione molti metalli pesanti, in gran parte di natura tossica, assieme al ferro, ben evidente dalla colorazione gialla delle acque.

Contaminazioni da elementi tossici possono essere presenti anche nelle acque di sorgente per fenomeni del tutto naturali: molte rocce vulcaniche contengono minerali accessori ricchi di arsenico così che le acque ne vengono contaminate, fenomeno purtroppo molto comune in varie montagne vulcaniche nel mondo. L'arsenico si è riscontrato anche in alcune aree del sistema alpino dove alcune rocce metamorfiche (ortogneiss) contengono tracce di mineralizzazione ad arsenopirite che determina evidenti contaminazioni da arsenico in varie acque sotterranee.

Per quanto riguarda il contenuto dei solidi disciolti è abbastanza difficile effettuare una trattazione sintetica delle acque di sorgente data l'estrema variabilità della loro composizione che è funzione dell'interazione acqua-roccia, tempo di residenza, temperatura e altre variabili che determinano la tipologia di composizione delle acque. Interessante è osservare come la composizione delle acque provenienti da differenti sistemi montuosi sia piuttosto simile, seppur a distanze notevoli, quando non sussistono apprezzabili varietà litologiche. Per esempio, le acque degli gneiss del Gran Paradiso presentano una similitudine di composizione con le acque che sgorgano da sistemi montuosi lontani ma di simile costituzione

litologica, così come le acque di differenti aree dell'Appennino toско-emiliano, caratterizzate da formazioni prevalentemente arenacee, presentano una composizione chimica fra loro molto simile.

Ai fini della sicurezza microbiologica, per le acque di sorgente il parametro temperatura è di notevole interesse: temperature basse e costanti nel corso dell'anno indicano la provenienza di un'acqua da una significativa profondità, quindi ben protetta sotto il profilo microbiologico. Quanto più le acque sono profonde, maggiori sono le garanzie dal punto di vista microbiologico. Tuttavia, in montagna occorre valutare con attenzione la tipologia della sorgente, assicurarsi che nelle sue prossimità ci sia un'adeguata copertura rocciosa che possa costituire una protezione da infiltrazioni di acque superficiali (Figura 6).

Le acque che provengono da acquiferi di natura calcarea (rocce molto frequenti sulle nostre montagne italiane) sono quasi sempre acque di buona qualità sotto il profilo chimico: con una composizione prevalentemente bicarbonato-calcica, raramente queste rocce hanno mineralizzazioni a metalli pesanti (se non in ambienti particolari).

Come descritto di seguito, alcune rocce calcaree sono spesso esposte a fenomeni di carsismo che rendono quindi le relative acque sotterranee poco protette data la scarsa capacità di filtrazione; tuttavia, quando questi fenomeni non sono molto evidenti le acque degli acquiferi

carbonatici possono avere buoni requisiti di qualità anche sotto il profilo microbiologico.

Nella Figura 7 è riportata una sorgente con acqua che ha un'elevata probabilità di essere potabile: grande portata, scarsissima presenza di vita animale e assenza di presenza umana a quote superiori, litologia costituita da calcari, rocce che in questa zona non presentano mineralizzazioni evidenti a metalli pesanti. Siamo nei dintorni del campo di Aflafel, 2390 m, dorsale del monte M'Goun (regione del Drâa Tafilalet, Alto Atlante, Marocco).

In relazione agli aspetti microbiologici, a eccezione delle aree carsiche, le acque di sorgente sono molto più sicure delle acque di scorrimento superficiale in quanto subiscono una naturale depurazione (filtrazione) attraverso gli strati del terreno e le stesse possono trovare occasionale momento di contaminazione solo nei pressi della scaturigine, in quanto la roccia può essere più soggetta a fenomeni di infiltrazioni esterna nei punti in cui l'acqua fuoriesce.

Quanto sia difficile mantenere la "purezza microbiologica" di un'acqua sotterranea che sgorga da una sorgente lo dimostra il fatto che le captazioni per acque minerali ai fini dell'imbottigliamento e immissione sul mercato, avvengono ormai per lo più da pozzi, mentre le sorgenti, anche quelle storiche, sono per lo più abbandonate nonostante in molti casi si sia provveduto a scavare dei tunnel a loro volta con pareti cementate per la protezione di possibili infiltrazioni dall'esterno (Chetoni, 2000).



Figura 3 – Sorgente Ermicciolo, Monte Amiata. Le aree montuose sono importanti riserve idriche con acque di notevole valore ai fini dell'approvvigionamento idropotabile. L'acquifero del Monte Amiata, con circa 700.000 utenze, è il corpo idrico più importante della Toscana - ph Francesco Mantelli



Figura 4 – Sorgente del Parco Archeologico di Siracusa. Da oltre due millenni quest'acqua limpidissima e fresca sgorga alla sommità del Teatro greco di Siracusa; è un'acqua che non può avere i requisiti di potabilità in quanto sullo strato roccioso sovrastante (calcareniti) molte costruzioni recenti costituiscono una sicura fonte di inquinamento - ph Francesco Mantelli



Figura 5 – Inquinamento di acque superficiali proveniente da miniere abbandonate di ferro e altri minerali sulle Alpi Apuane - ph Francesco Mantelli

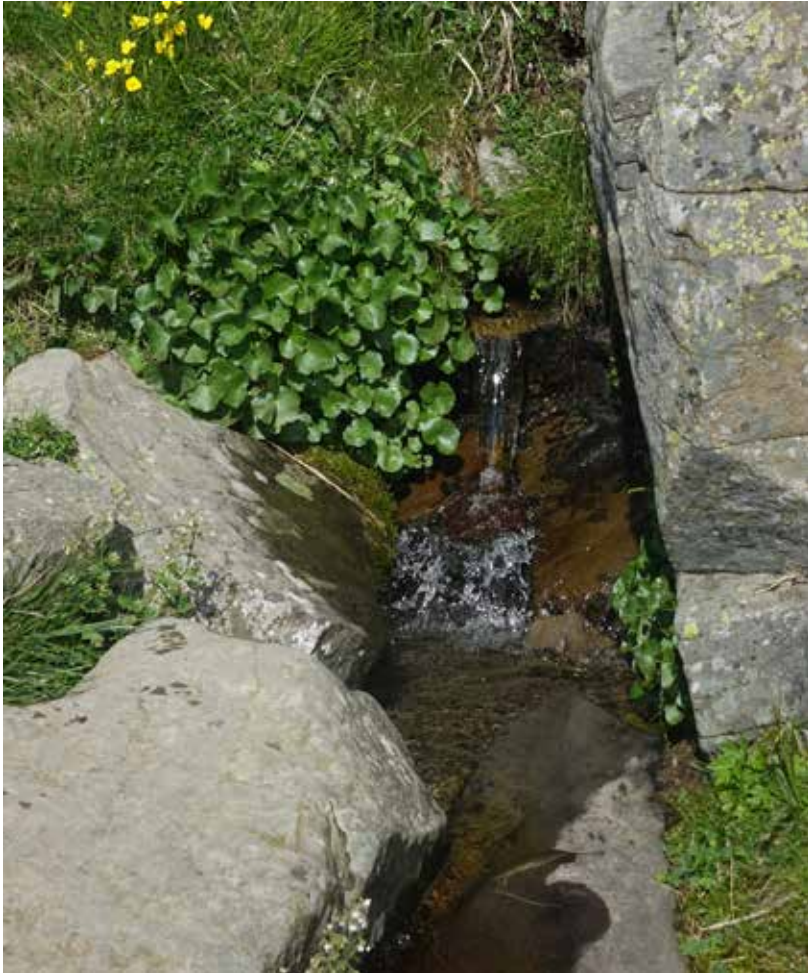


Figura 6 – A sinistra, sorgente localizzata in un'area di montagna su un versante di elevata pendenza e protetta da oltre 100 metri di formazione rocciosa, quindi con scaturigine poco soggetta a rischi di inquinamento: Fonte dell'Uccelliera 1670 m, Monte Gennaio, Appennino toscano-emiliano. Sorgente caratterizzata da bassa temperatura (mediamente 5,5 °C), residuo fisso 78 mg/L, portata da 8 a 60 litri/min e con costante assenza di indicatori di contaminazione microbiologica - ph Francesco Mantelli



Figura 7 – Una sorgente nei calcari del Monte M'Goun (Alto Atlante, Marocco) - ph Francesco Mantelli

Acque di laghi di montagna - L'isolamento di questi corpi idrici situati spesso ad alta quota non costituisce necessariamente una garanzia di protezione da contaminazioni di tipo microbiologico.

A differenza delle acque dei torrenti, nei laghi l'impossibilità di un considerevole ricambio delle acque in tempi brevi e la scarsità dei moti turbolenti in grado di consentire la necessaria ossigenazione, depongono negativamente in relazione ai fenomeni di depurazione spontanea delle acque.

Sotto il profilo chimico, le acque dei laghi presentano composizione molto variabile: si va dai laghi appenninici

con acque di composizione simile alle precipitazioni, a quelle poco più mineralizzate di molti laghi alpini, fino ad acque ipersaline di laghi situati in bacini endoreici in varie zone delle Terra.

In sintesi, si tratta ancora di acque superficiali e non valgono requisiti come la bassa torbidità ("limpidezza"), la freschezza e "l'elevata naturalità" della zona per garantire l'assenza di rischi.

Come vedremo in seguito le acque con bassa mineralizzazione sono facilmente utilizzabili come acque potabili in seguito ad adeguati trattamenti, mentre sono impossibili da trattare le acque ipersaline.



Figura 8 – Acque limpide e con bassa mineralizzazione. Lago Santo Parmense (Appennino tosco-emiliano) - ph Francesco Mantelli

Acque provenienti da neve e ghiaccio - Le acque di fusione dei ghiacciai hanno probabilmente una bassa carica microbica dato l'isolamento dell'ambiente elevato, ma spesso non sono utilizzabili per la presenza di materiale finissimo in sospensione. Talvolta si è osservato in alcuni rifugi e bivacchi di alta quota attingere acque di fusione del ghiacciaio sfruttando particolari situazioni in cui l'acqua si mantiene limpida per scarsa presenza di materiale sospeso. Tuttavia, queste acque vengono usate nei rifugi solo ai fini igienici nei bagni (con possibile trattamento di disinfezione) e non possono essere considerate potabili soprattutto per l'assenza di sali disciolti che rendono queste acque simili ad acqua distillata.

L'acqua prodotta dalla fusione di neve e ghiaccio, fatte le dovute attenzioni, per esempio evitando di utilizzare neve colorata dalle polveri sahariane, solitamente non ha problemi di tipo microbiologico. Le acque di fusione presentano spesso una temperatura molto bassa, fattore che inibisce la crescita microbica e inoltre provengono

da zone (ghiacciai e nevai) dove, generalmente, è scarsa la presenza di contaminanti microbiologici.

Occorre comunque accertarsi dell'assenza nei dintorni immediati, ma anche a distanze considerevoli, di bivacchi, rifugi e di altri insediamenti, fissi o temporanei, che non dispongono di adeguati sistemi di smaltimento dei liquami. Acquisire oggi queste informazioni è più facile che nel passato data la disponibilità di tipologie molto diverse di cartografia e nuovi sistemi informativi, oltre alla maggior attenzione ambientale dei grandi rifugi di alta montagna che non rilasciano inquinanti nei ghiacciai dei dintorni ma reflui e rifiuti sono portati a valle tramite voli di elicottero. In occasione di permanenza di più giorni in tenda in ambiente innevato o su un ghiacciaio, si ricava acqua da bere dalla fusione di neve e ghiaccio aggiungendo miscele di sali generalmente a base di calcio, potassio e magnesio, facilmente acquistabili anche in bustine o pasticche nei supermercati o in farmacia (integratori salini).

L'acqua di fusione di neve ghiaccio è poverissima di sali: contiene solfati e cloruri prodotti dall'aerosol marino e da altri fenomeni, varie forme di azoto (nitrati e ammoniac) in concentrazioni molto basse, pochissimo calcio e magnesio.

Nella Tabella 3, dove è riportata la composizione della neve di un consistente numero di campioni raccolti sull'Appennino toско-emiliano e sulle Alpi Apuane, si osserva come l'acqua risultante sia povera di sali (in questa Tabella non è riportato lo ione idrogenocarbonato data la concentrazione molto bassa).

Purtroppo, in seguito alla circolazione globale degli inquinanti, è accertata la presenza di microplastiche anche nella neve di alta quota. Recenti studi nelle nevi di un ampio settore alpino ad altitudini fino a circa 3000 metri mostrano presenza di microfibre di natura artificiale formate da polimeri di polietilentereftalato (PET), polipropilene (P) e polistirene (PS) provenienti da tessuti, bottiglie di acqua minerale e imballaggi di tipologia varia. Al momento non è possibile definire il significato sanitario dell'ingestione di queste fibre. Si tenga inoltre presente che le acque provenienti dalla fusione di neve e ghiaccio, in relazione alla circolazione globale degli inquinanti possono contenere tracce di sostanze organiche e inorganiche trasportate anche ad altissima quota dalle perturbazioni. È sempre più frequente incontrare in bassa e alta montagna deposizioni di "neve rossa" dovute a correnti meridionali d'origine nord-africana che portano grandi quantità di polveri direttamente dal Sahara (in realtà sembra che gran parte di questa polvere sia costituita da diatomee fossili – alghe fossili – assieme a ematite e magnetite provenienti dal bacino della depressione di Bodélé, nella parte meridionale del Sahara).

Non è così raro in inverno che le ondate di maltempo siano collegate a flussi d'origine sahariana, che trasportano polveri anche in occasioni di precipitazioni nevose, come è stato recentemente osservato nell'estate del 2024 lungo la Via Normale al Gran Paradiso. È quindi necessario escludere tali nevi da un possibile utilizzo ai fini potabili in quanto il materiale depositato, in larga parte costituito da silice e carbonato di calcio, può contenere assieme al ferro, sempre presente, anche tracce di metalli pesanti di natura tossica come il piombo (elemento rilevato durante campagne di studio sulle nevi nell'Appennino toско-emiliano).

Parametro	Unità di misura	Valore minimo	Valore mediano	Valore massimo
pH	Unità pH	4,3	5,6	6,4
Residuo fisso a 180 °C	mg/L	0,4	6,5	18
Sodio	mg/L	0,02	0,2	4,3
Potassio	mg/L	< 0,1	4,3	0,56
Calcio	mg/L	<0,01	0,06	2,6
Magnesio	mg/L	<0,05	0,34	0,49
Cloruro	mg/L	0,1	0,3	4,3
Nitrato	mg/L	0,1	0,4	1,7
Solfato	mg/L	0,02	0,4	1,9

Tabella 3 – Componenti principali e parametri chimico-fisici in campioni di neve dell'Appennino toско-emiliano e delle Alpi Apuane (n. 20 campioni relativi agli inverni 1990-92 in aree prevalentemente fra le più elevate di queste montagne)



Figura 9 – Durante una permanenza in alta montagna senza appoggio di rifugi diviene indispensabile utilizzare acqua di fusione dalla neve. L'acqua prodotta deve essere addizionata di integratori salini per essere resa potabile (nella foto, tenda sul Dome du Goûter, Monte Bianco) - ph Francesco Mantelli



Figura 10 – Neve rossa nei pressi della cima del Cerro Veleta, 3392 m, Sierra Nevada, Spagna, 17 aprile 2017 - ph Francesco Mantelli

Ulteriori fenomeni molto particolari possono inoltre contribuire all'inquinamento della neve e dei ghiacciai anche a quote molto elevate: durante varie spedizioni in un settore delle Ande di Catamarca (Argentina) si è riscontrata presenza di arsenico nelle nevi fino a quote oltre i 6000 metri. Tale contaminante viene trasportato fino a grande altezza dai moti convettivi dell'atmosfera attraverso l'aerosol che si origina dai laghi ipersalini di quel territorio, contenenti acque ricche in arsenico, elemento rilasciato per alterazione dei minerali arsenicali contenuti in particolari rocce vulcaniche di un vasto settore della Cordigliera argentino-cilena. Il quantitativo di arsenico che fu riscontrato nelle nevi a differenti quote, da circa 4000 metri a fino a 6400 m circa, in alcune montagne di quel settore delle Ande, si collocava intorno al valore limite per le acque potabili di 10 µg/L (valore minimo 3,7 µg/L, massimo 19,4 µg/L; Tabella 4).

In altri settori delle Ande, dove tali estesi bacini idrici non sono presenti e pertanto non ne consegue la diffusione nell'ambiente di arsenico, le nevi non indicano significativa contaminazione da parte di questo elemento. Ricerche effettuate nelle nevi del Nevado Ruiz, Cordigliera Centrale della Colombia, con campionamenti non lontano dalla cima, intorno a circa 5150 metri di quota, ri-



Figura 11 – Polvere di origine sahariana raccolta in campioni di neve sull'Appennino tosco-emiliano, inverno 2004 - ph Francesco Mantelli

Data	17/01/1995	17/01/1995	17/01/1995	28/01/1995	28/01/1995	28/01/1995
Zona prelievo	Lagunas Frias	Lagunas Frias	Lagunas Frias	Incahuasi	Incahuasi	Incahuasi
Altitudine prelievo	5.240 m	5.240 m	5.260 m	6.080 m	6.310 m	6.450 m
Arsenico µg/L	3,7	7,3	10,3	19,4	10,8	11,3
Arsenico µg/L 10 - Limite legge acque potabili Europa						

Tabella 4 – Concentrazione in microgrammi/litro (µg/L) di arsenico in alcuni campioni di neve raccolti sul Cerro de Lagunas Frias e sul Nevado Incahuasi (Ande argentine)

portano una concentrazione di arsenico compresa fra <0,1 e 0,4 µg/L, ben inferiore al limite di legge di 10 µg/L. In Italia, per le nevi che interessano le montagne alpine e appenniniche non è ipotizzabile una contaminazione da arsenico in quanto non ci sono fonti di immissione di questo elemento nell'atmosfera in alta quota. Uno studio sulla presenza di metalli ed elementi di natura non metallica effettuata nelle nevi campionate sulle montagne della Toscana, non mostra infatti concentrazioni significative di arsenico (Tabella 5), né significative concentrazioni degli altri elementi in relazione ai rispettivi valori limiti stabiliti dalla normativa vigente.

Elemento	Concentrazione µg/L (valori medi su 29 campioni)
Alluminio	4,3
Arsenico	0,04
Cadmio	0,01
Rame	0,28
Cromo	0,12
Ferro	3,40
Manganese	0,59
Nickel	0,13
Piombo	0,44
Zinco	1,25

Tabella 5 – Metalli e metalloidi in 29 campioni di neve dell'Appennino tosco-emiliano e delle Alpi Apuane (campionamenti anni 1990-2002)



Figura 12 – Campionamento di neve presso la cima del Cerro de Lagunas Frias, 5349 m, Ande argentine - ph Nora Valera



Figura 13 – Nevado Incahuasi, 6640 m, Ande di Catamarca (Argentina). Nelle nevi di questa montagna e di altre localizzate in questo vasto settore della Cordigliera, si è riscontrata presenza di arsenico fino a valori poco superiori ai valori limite stabiliti dalla legislazione inerente alle acque potabil - ph Francesco Mantelli

Le acque dei sistemi carsici ipogei

Le grotte, oltre che oggetto di fruizione turistica, costituiscono prevalentemente luoghi di frequentazione ai fini esplorativi con permanenza degli speleologi spesso per più giorni. Pertanto, l'acqua da utilizzare ai fini potabili costituisce materia di interesse per coloro che devono restare a lungo in tali ambienti.

Generalmente le acque circolanti in questi sistemi, prevalentemente di natura calcarea e localizzati in aree montuose, sono caratterizzate da bassa mineralizzazione (intorno a 100 milligrammi per litro di sali disciolti) e da buoni requisiti di qualità di tipo chimico. L'elevata permeabilità per fratturazione delle rocce carsiche non permette la formazione di una valida "barriera filtrante" nei confronti dei possibili inquinanti; solo l'isolamento della zona, l'assenza o la scarsità in superficie di fonti di inquinamento consentono a questa particolare tipologia di acque sotterranee di mantenere in questi casi elevati livelli di "purezza". Per esempio, durante una campagna di controllo delle acque ipogee del sistema carsico del Monte Corchia (Alpi Apuane), si è riscontrato che in particolari periodi dell'anno (lungi periodi con assenza di piogge) la quasi totalità delle acque circolanti presentava requisiti di potabilità. Tuttavia, in quell'ambito specifico, occorre tenere presente la possibile contaminazione indotta dall'attività estrattiva del marmo che può compromettere queste acque per sversamenti di fanghi, lubrificanti e combustibili (come occasionalmente è accaduto).

Altre tipologie di acque sotterranee si riscontrano in grotte scavate nei gessi (acque spesso torbide per argille associate ai gessi) o nelle quarziti (acque poverissime di

sali), oppure in zone carsiche in aree tropicali, dove le elevate precipitazioni, i grandi condotti di adduzione e le particolari morfologie determinano nelle acque ipogee le stesse problematiche di rischio delle acque superficiali. Sono quindi gli aspetti microbiologici le principali criticità di queste acque che raramente rientrano nei limiti previsti dalla normativa vigente poiché l'elevata fratturazione dell'epicarso, la porzione rocciosa posta subito sotto il suolo, non costituisce un adeguato sistema di filtraggio delle acque di pioggia che si infiltrano nel sistema. Le piogge dilavano l'ambiente esterno del sistema carsico e trascinano all'interno, oltre a materiale sospeso, determinando talvolta una certa torbidità, i batteri presenti nell'ambiente, diffusi sia in seguito all'abbandono di feci prodotte da animali selvatici o al pascolo, sia connessi a eventuali insediamenti umani non dotati di adeguati sistemi di smaltimento delle acque reflue.

Spesso i suoli carsici sono poveri di argilla e altro materiale fine; tuttavia, in condizioni di particolari flussi intensi di pioggia le acque di scorrimento nel sistema possono avere torbidità superiore a 1,0 NTU (unità di torbidità nefelometrica), valore di parametro previsto per le acque potabili. Per esempio, nella Grotta di Bossea (Frabosa Sopra, Cuneo) dove per anni hanno circolato acque di elevata purezza, in seguito a lavori di sterramento nella corrispondente area assorbente (zona di alimentazione tramite le precipitazioni) dove è iniziato lo stazionamento di persone e bovini, hanno saltuariamente circolato acque torbide e con elevata carica microbica tanto da rendere ancora più rara la presenza di *Niphargus*, un pic-



Figura 14 – In un sistema carsico le acque circolanti sono spesso contaminate dal punto di vista microbiologico per la mancanza di capacità di filtrazione delle formazioni carbonatiche dove di solito le grotte sono localizzate - ph Francesco Mantelli

colo crostaceo endemico di questa grotta. Nella Grotta di Stiffe (San Demetrio, L'Aquila) un tempo fluiva acqua dove era evidente la contaminazione da nitrati e tensioattivi in seguito a scarichi mal condottati provenienti da numerosi insediamenti sull'altopiano sovrastante.

Una captazione da un acquifero carbonatico ai fini del processo di potabilizzazione prevede sempre un trattamento per eliminare la torbidità delle acque e un processo finale di disinfezione.

Per quanto riguarda il contenuto dei solidi disciolti, un tempo prolungato di contatto delle acque con le rocce dell'acquifero determina una maggiore mineralizzazione delle acque; le acque nelle rocce carbonatiche, caratterizzate da differenti livelli di carsismo, mostrano composizione con una certa variabilità; nella Tabella 6 si osserva come le acque che scorrono velocemente siano meno mineralizzate rispetto a quelle che vi stazionano per tempi prolungati (acque stagnanti nelle pozze o laghetti).

Per l'utilizzo di un'acqua di grotta ai fini potabili, sulla base di molti anni di studio delle acque sotterranee del complesso carsico dell'Antro del Corchia, principalmente in relazione agli aspetti microbiologici, si possono fornire le seguenti indicazioni:

1. disporre di una certa conoscenza dell'ambiente montuoso dove la grotta si apre (assenza di cave, insediamenti umani, aree di pascolo e altro);
2. verificare sommariamente il livello di torbidità: un'acqua posta in una bottiglia da 1 litro in vetro bianco deve apparire limpida;
3. evitare di bere l'acqua se recentemente il sistema carsico è stato interessato dalle piogge;
4. preferire l'utilizzo delle acque stagnanti;
5. eventualmente utilizzare i sistemi di trattamento che sono descritti di seguito.

Parametri	Unità di misura	Laghetto Galleria Alta delle Stalattiti	Laghetto del Venerdi	Cascata dei Romani	Fiume Vidal
Data prelievo		29/02/2012	04/03/2012	04/03/2012	20/08/2012
Portata	L/min	-	-	8	250
Temperatura acqua	°C	7,7	7,8	8,2	7,5
Residuo fisso 180 °C	mg/L	187	148	119	113
pH	Unità pH	8,3	8,3	8,1	7,0
Ammonio	mg/L NH ₄	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Nitrito	mg/L NO ₂	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Fluoruro	mg/L F	0,34	0,42	<0,10	<0,05
Cloruro	mg/L Cl	5,4	5,8	8,7	4,8
Nitrato	mg/L NO ₃	1,0	1,5	3,1	1,1
Solfato	mg/L SO ₄	34,5	9,5	4,2	11,6
Idrogeno carbonato	mg/L HCO ₃	168	156	116	125
Sodio	mg/L Na	4,2	3,8	4,5	3,0
Potassio	mg/L K	0,3	0,26	0,2	0,2
Calcio	mg/L Ca	29,6	28,0	33,2	28,9
Magnesio	mg/L Mg	25,0	17,3	5,7	10,5

Tabella 6 – Esempio di differente mineralizzazione in relazione al tempo di contatto acqua-roccia. Si osservi la differenza del residuo fisso fra acque stagnanti (Laghetto Galleria Alta delle Stalattiti e Laghetto del Venerdi) e acque a scorrimento rapido (Cascata dei Romani e Fiume Vidal). Ambiente carsico dell'Antro del Corchia, Alpi Apuane

Le acque delle aree remote

Una descrizione esaustiva delle acque che si possono incontrare nelle aree remote è ovviamente impossibile; pertanto, si riportano brevi note e alcuni esempi per mostrare, tra l'altro, come la relazione acqua-roccia sia decisiva per la composizione chimica delle acque.

Per quanto possibile sarebbe bene disporre di informazioni sul territorio che intendiamo percorrere, operazione spesso non facile.

Sui Monti Altai, in Mongolia, era stato impossibile valutare, anche con approssimazione, la tipologia delle acque dato che la natura delle rocce, dove occasionalmente potevano sgorgare acque di sorgente, non sempre veniva riconosciuta né era stato possibile sapere di eventuali mineralizzazioni a metalli in quelle formazioni (Figura 15).

Infatti, anche in luoghi apparentemente selvaggi e ad elevata naturalità, come si è visto, possono esserci contaminazioni da estrazioni minerarie in atto o presenza di siti minerari dismessi che possono determinare fenomeni di contaminazione in acque anche a notevole distanza.

Ad esempio, in un vasto territorio del Canada orientale si sono incontrati avvisi sulla contaminazione da metalli pesanti dei numerosi torrenti che percorrevano quell'ambiente naturale disabitato, una vasta area remota che avrebbe fatto pensare a una buona qualità delle acque che scorrevano limpide in numerosi corsi superficiali e che avrebbero richiesto solo una modesta disinfezione per un utilizzo come acque da bere, mentre una contaminazione da metalli pesanti, non individuabile dai caratteri

organolettici, rende un'acqua impossibile da trattare se non con tecniche complesse. In molte aree della Terra la quantità di acqua che può essere resa potabile con piccoli interventi è veramente esigua.

Se si escludono, ovviamente, le acque marine, in tante zone le acque utilizzabili per produrre acqua potabile non sono molto frequenti.

Per esempio, in una parte della Dancalia, una regione calda e arida appartenente all'Etiopia e all'Eritrea, con estensione fino a 1200 km², per la caratteristica del suolo, formato da estese superfici saline e aree vulcaniche che determinano forti contaminazioni di tipo chimico, è molto difficile trovare acqua potabile o che possa essere sottoposta a un trattamento di potabilizzazione di tipo semplice.



Figura 15 – Monti Altai, Mongolia. In un'area remota spesso non si conosce la litologia del territorio, né se sono presenti pressioni di origine antropica (miniere e altro) ed è pertanto impossibile fare valutazioni, seppure sommarie, sulla qualità delle acque di sorgente sotto il profilo chimico - ph Francesco Mantelli



Figura 16 – Paesaggio della Dancalia con vaste distese di spessi depositi di sale; impossibile trovare in queste aree acque con caratteristiche di potabilità - ph Francesco Mantelli



Figura 17 – Altopiano argilloso di Ak Say Canyon, Kirghizistan - ph Francesco Mantelli



Figura 18 – Paesaggio del Mustang (Nepal settentrionale) non lontano da Tsarang. Affioramento di conglomerati lungo la traccia di sentiero per Lo Mantang: i conglomerati sono solitamente buone rocce acquifere - ph Francesco Mantelli

Numerose zone semi-aride della Terra, spesso con terreni argillosi, raramente concedono acqua di possibile uso potabile; l'argilla è una roccia impermeabile, non costituisce rocce serbatoio e lascia scorrere l'acqua in superficie che subito si carica di solidi sospesi di lenta e difficile rimozione. Nella Figura 17 è riportato l'altopiano argilloso di Ak Say Canyon (Kirghizistan) dove scorre solo acqua torbida in superficie in occasione delle piogge ed è improbabile la presenza di sorgenti.

Nelle solitarie e un tempo remote terre del Mustang, nel nord del Nepal, nonostante l'apparente aridità, oltre ai corsi d'acqua nei fondovalle, alimentati dallo scioglimento di lontani ghiacciai, fu possibile incontrare acqua di sorgente grazie alla notevole variabilità litologica dove sono localizzati acquiferi di una certa rilevanza.

Le acque campionate lungo il sentiero che un tempo costituiva l'unica via di accesso alla capitale Lo Mantang, erano caratterizzate da scarsa mineralizzazione con gli ioni predominanti costituiti da idrogenocarbonato, calcio e in misura minore da solfato. Non furono rilevati metalli pesanti in concentrazioni significative tanto che tutte le acque di sorgente e di piccoli corsi superficiali avevano i requisiti di potabilità di tipo chimico. Per gli aspetti microbiologici solo le acque che provenivano da sorgenti potevano dare una certa sicurezza per un loro utilizzo come acque da bere.

Nelle aree desertiche, che costituiscono vastissime aree remote, le acque sono prevalentemente attinte dai pozzi

che estraggono acque da falde sotterranee, talvolta molto profonde. Anche nel Sahara piove, seppur molto raramente, così che in alcune aree vengono alimentate le falde acquifere (solitamente quelle più superficiali), inoltre, in seguito a precipitazioni piuttosto intense, si ha perfino la formazione di laghi.

Nel Sahara sono captate a volte acque fossili, cioè giacimenti che si sono formati durante il periodo umido sahariano, iniziato circa 15.000 anni fa e terminato circa 5000/6000 anni fa. Le acque sotterranee in queste aree sono generalmente sicure sul piano microbiologico data la scarsità di esseri viventi nel territorio e per la loro profondità; tuttavia, la composizione può essere la più varia in funzione della litologia (spesso sconosciuta per la copertura sabbiosa) e per il tempo di residenza nel sottosuolo. Tempi prolungati nel contatto acqua-roccia portano a un arricchimento delle acque in solidi disciolti; le acque fossili possono essere talvolta molto mineralizzate e in alcune aree sahariane possono contenere anche idrocarburi. Il chimismo di queste acque può essere molto variabile; nella Tabella 7 si osserva un insieme di acque campionate nel Sahara libico: si va da quelle poco mineralizzate fino a quelle di media mineralizzazione; la torbidità può essere talvolta un fattore limitante del loro possibile uso potabile; le acque profonde possono avere buoni requisiti di tipo microbiologico, mentre quelle superficiali (laghi temporanei) sono da ritenersi non potabili perché è facile trovare anche resti di deiezioni animali trasportati fino da grandi distanze. Nel deserto iraniano si

Località		Germa	Akakus	Aramat	Tanut Mellet
Parametri	Unità di misura	Pozzo del punto di sosta	Pozzo di Talouaouet	Pozzo uadi Aramat	Lago sotto la grande duna
Tipologia emergenza		pozzo	pozzo	pozzo	lago
Altitudine	m	350	766	711	730
Litologia		Sabbie e arenarie	Arenarie (Devoniano)	Sabbie e arenarie	Arenarie (Devoniano)
Temperatura acqua	°C	19,0	16,5	20,4	12,9
Conducibilità elettrica	μS/cm 25 °C	1168	319	251	474
Residuo fisso 180 °C	mg/L	732	176	143	216
Torbidità	N.T.U.	0,6	0,8	35,0	12,0
pH	Unità pH	7,4	8,1	7,8	8,5
Fluoruro	mg/L F	0,3	<0,1	0,1	0,2
Cloruro	mg/L Cl	85,0	13,8	3,1	29,8
Nitrato	mg/L NO ₃	36,2	0,7	2,9	2,1
Solfato	mg/L SO ₄	318	43,6	16,8	94,6
Idrogenocarbonato	mg/L HCO ₃	104	110	127	106
Sodio	mg/L Na	65,0	14,1	12,6	28,9
Potassio	mg/L K	4,4	2,5	9,4	13,8
Calcio	mg/L Ca	137	34,5	29,4	46,3
Magnesio	mg/L Mg	27,3	9,5	4,2	8,4
Ammonio	mg/L NH ₄	-	-	0,13	<0,1
Arsenico	μg/L As	1,4	<0,2	-	-
Mercurio	μg/L Hg	<0,5	<0,5	-	-
Piombo	μg/L Pb	<0,02	0,4	-	-
Cadmio	μg/L Cd	<0,1	<0,1	-	-
Vanadio	μg/L V	2,1	0,4	-	-
Uranio	μg/L U	4,9	0,3	-	-

Tabella 7 – Composizione chimica di alcune acque del deserto del Sahara libico (anni 2000-2002)



Figura 19 – Lago di Tanut Mellet, Sahara libico, 2002. Sistema formatosi in seguito a grandi piogge nella parte terminale di un wadi (antico corso fluviale) - ph Francesco Mantelli



Figura 20 – Pozzo di ingresso a un kanat, deserto di Dasht-e Kavir, Iran - ph Francesco Mantelli



Figura 21 – Brockman iron formation, Dales Gorge (Karijini National Park, Australia) - ph Francesco Mantelli

possono incontrare i kanat (Figura 20), di cui si osservano i pozzi di scavo e di ispezione, che raccolgono acqua dalle falde profonde di aree montuose per poi trasportarla verso le oasi dove le acque fuoriescono dal sottosuolo e sono distribuite attraverso canali a vari settori.

Si tratta spesso di acque limpide e con assenza di indici di contaminazione batterica: le acque in profondità sono protette dallo spessore delle rocce, mentre dall'ingresso dei pozzi di scavo e manutenzione è poco probabile che possano cadervi animali data l'area desertica con quasi assenza di fauna.

Per gli aspetti chimici, si osserva una notevole differenza di tipologie: generalmente sono acque di media mineralizzazione, con contenuto dei componenti principali molto variabile in relazione alla composizione mineralogica delle rocce di contatto.

In Australia le acque di sorgente e di scorrimento superficiale

provenienti dal Dales Gorge (Karijini Natural Park) nel Pilbara, mostrano una mineralizzazione bassa essendo in contatto con la Brockman iron formation.

Questa formazione geologica è costituita da rocce antichissime (intorno ai 2500 milioni di anni - Proterozoico) di origine sedimentaria, poco metamorfosate, che contengono ingentissime quantità di ferro in forma di ossidi assieme a selce, siltite e altri depositi di origine marina.

Generalmente sono rocce poco alterabili (silice e ossidi di ferro) che rilasciano pochi elementi e composti nelle acque; il ferro è in una forma poco mobile e nonostante il prolungato contatto con le acque, è pochissimo quello che in quelle condizioni chimico-fisiche passa in soluzione.

Queste acque mostrano una composizione con parametri nei termini di legge, in particolare si osserva il bassissimo contenuto in nitrati, valori rappresentativi del fondo naturale (Tabella 8).

Luoghi di campionamento		Dales Gorge (Karijini Natural Park) Pilbara	Hancock George (Karijini Natural Park) Pilbara	Windiana campsite (Windiana Natural Park) Kimberley
Tipologia emergenza		sorgente	torrente	acqua sotterranea
Altitudine	m	520	655	-
Litologia		Brockman iron formation	Brockman iron formation	Rocce metamorfiche (Precambriano)
Portata	L/min	80	50	-
Temperatura acqua	°C	19,5	-	26,3
Conducibilità elettrica	µS/cm 25 °C	268	183	601
Residuo fisso a 180 °C	mg/L	158	98	328
Torbidità	N.T.U.	0,5	0,8	0,2
pH	Unità pH	7,2	7,3	7,1
Ammonio	mg/L NH ₄	<0,1	<0,1	<0,1
Nitrito	mg/L NO ₂	<0,05	<0,05	<0,05
Fluoruro	mg/L F	<0,1	<0,1	<0,1
Cloruro	mg/L Cl	23,6	21,7	17,5
Nitrato	mg/L NO ₃	1,6	<0,5	1,8
Solfato	mg/L SO ₄	8,1	2,1	4,3
Idrogenocarbonato	mg/L HCO ₃	122	76,3	348
Sodio	mg/L Na	17,9	15,0	18,6
Potassio	mg/L K	3,2	2,2	0,9
Calcio	mg/L Ca	17,4	9,6	107
Magnesio	mg/L Mg	13,3	8,7	1,8
Arsenico	µg/L As	<1	<1	-
Ferro	µg/L Fe	<5	100	<5
Manganese	µg/L Mn	<2	<1	<2

Tabella 8 – Composizione chimica di alcune acque campionate in aree remote dell'Australia (Pilbara e Kimberley, 1999)

Le grandi foreste

Nei vasti territori forestali della Terra, si possono incontrare le più diverse situazioni in relazione alle acque.

Nelle aree amazzoniche i fiumi sono spesso carichi di sedimenti: argille e limo, oltre alla presenza di batteri e altri microorganismi, rendono difficile l'utilizzo di queste acque ai fini potabili (Figura 22). Tuttavia, è possibile incontrare acque di scorrimento superficiale di reticoli idrografici

minori nelle foreste che possono essere a basso contenuto di solidi sospesi così che è possibile trattarle ai fini della loro potabilità.

In molte foreste del Nord-America, Alaska e Canada, molte acque superficiali sono ricche di acidi umici e fulvici, sostanze organiche che derivano dalla biodegradazione dei vegetali di svariati ambienti lacustri; sono

complesse miscele di differenti acidi organici contenenti gruppi carbossilici e fenolici che colorano le acque in giallo-rosso (Tea-colored waters). Queste acque, pur fortemente colorate, appaiono limpide e potrebbero richiedere un semplice trattamento di disinfezione per un loro uso potabile; tuttavia, l'aggiunta di cloro a tal fine

determina la formazione di elevate concentrazioni di composti organoalogenati (prevalentemente cloroformio), pertanto si sconsiglia questo tipo di trattamento. In questo caso l'ebollizione potrebbe essere il sistema di potabilizzazione più adatto.



Figura 22 – Rio Magdalena, Colombia. Acque cariche di sedimenti scorrono nelle foreste del Sudamerica - ph Francesco Mantelli



Figura 23 – Un fiume in un'area remota in Kazakistan (confine con la Mongolia Occidentale); a causa della presenza di solidi sospesi (limo e argille) non è possibile trattare quest'acqua ai fini potabili; occorre trovare acque limpide attingendo a corsi idrici minori o ad acque di sorgente, presenti in quell'ambiente caratterizzato da montagne e foreste - ph Francesco Mantelli

Valutazioni generali

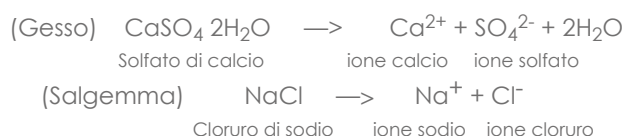
Ponendo una maggiore attenzione alle acque di sorgente, che sono quelle che presentano maggiori probabilità di essere ritenute potabili, si cerca di avere un'idea della loro sommaria composizione chimica sulla base della conoscenza del relativo ambiente geologico.

La concentrazione dei solidi disciolti, cioè il contenuto salino o residuo fisso (che determina l'impiego potabile) e la presenza di contaminanti di origine naturale, qualora ci si trovi in un ambiente montano o in un'area remota, dove sommariamente possiamo escludere pressioni antropiche, possono essere, almeno in parte, desunti

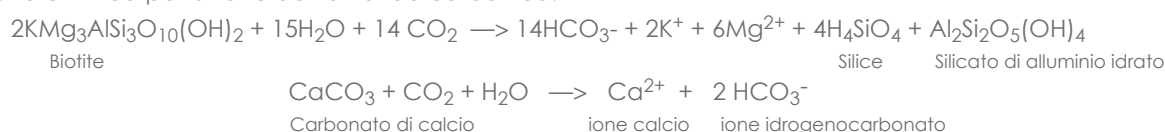
valutando l'interazione acqua-roccia. Secondo tale relazione, l'osservazione di un determinato affioramento roccioso, presumendo una continuazione in profondità (almeno per un certo spessore), permette di ipotizzare la tipologia delle relative acque sotterranee, in quanto la mineralizzazione delle acque proviene dalla cessione dei minerali presenti nelle rocce, sia per loro solubilità (per esempio gesso e salgemma), per reazione con l'anidride carbonica che altera i minerali, per fenomeni di idrolisi e ossidazione.

A titolo di esempio sono riportate alcune reazioni:

Solubilità del minerale:



Alterazione chimica per azione dell'anidride carbonica:



In relazione alla tipologia di acque conseguenti all'interazione acqua-roccia, fra le infinite tipologie di rocce e di acque, si riportano alcuni esempi. In una zona dell'Etiopia, caratterizzata da lateriti, rocce formate da silicati di ferro e

alluminio, si possono prevedere acque poco mineralizzate, povere in calcio, magnesio, con possibili tracce di ferro, con concentrazioni non significative di altri metalli pesanti, ipotesi poi convalidata dalle analisi chimiche (Tabella 9).

Parametri	Unità di misura	Sorgente di Burat	Pozzo di Emdibir	Pozzo di Zizencho
Altitudine	m	2354	2070	2738
Litologia		Lateriti ferriche	Lateriti ferriche	-
Temperatura acqua	°C	17,3	-	-
Conducibilità elettrica	µS/cm 20 °C	61,5	180	85,5
Residuo fisso a 180 °C	mg/L	44	102	48
pH	Unità pH	6,7	6,2	7,3
Ammonio	mg/L NH ₄	<5	6	<5
Nitrito	mg/L NO ₂	<0,05	<0,05	<0,05
Fluoruro	mg/L F	0,19	0,14	0,20
Cloruro	mg/L Cl	1,6	3,3	1,5
Nitrato	mg/L NO ₃	1,4	6,5	0,7
Solfato	mg/L SO ₄	1,4	1,4	1,7
Idrogenocarbonato	mg/L HCO ₃	41,0	98,0	44,0
Sodio	mg/L Na	6,3	7,4	7,0
Potassio	mg/L K	3,4	3,1	4,5
Calcio	mg/L Ca	5,8	28,1	5,8
Magnesio	mg/L Mg	1,8	1,2	1,5
Arsenico	µg/L As	<1	<1	<1
Ferro	µg/L Fe	7,4	42,4	206
Manganese	µg/L Mn	<1	19	17
Cadmio	µg/L Cd	<0,5	<0,5	<0,5
Cromo	µg/L Cr	<2	<2	<2
Piombo	µg/L Pb	<0,5	<0,5	<0,5
Nichel	µg/L Ni	<2	<2	<2
Silice	mg/L SiO ₂	2,1	3,0	3,0

Tabella 9 – Acque con bassa mineralizzazione provenienti da lateriti, in una zona dell'Etiopia (gennaio 2010)

Le rocce intrusive acide (granito, granodiorite, tonalite, sienite, monzonite, ecc.), pur variabili nelle proporzioni della loro composizione mineralogica, danno luogo spesso ad acque di composizione simile, spesso con bassa mineralizzazione sia per la natura cristallina massiccia della roccia, sia per la scarsa alterazione (conseguentemente scarsa solubilità) dei minerali che le costituiscono. Per esempio, nel caso degli acquiferi costituiti da graniti, le acque circolanti sono spesso povere di sali essendo

il granito prevalentemente costituito da minerali silicatici, poco alterabili (feldspati, plagioclasti, miche e quarzo) così che mostrano una similitudine di composizione: sono acque con poco calcio e magnesio e in cui gli ioni cloruro, sodio e solfato sono spesso quelli veicolati con la pioggia soprattutto in aree di ricarica degli acquiferi non lontano dal mare dove la pioggia è ricca di aerosol marino (Tabella 10). È quindi possibile prevedere, tuttavia con approssimazione, sulla base della natura delle rocce

Parametri	Unità di misura	Sorgente Madonna della neve Monte Limbara (Sardegna)	Sorgente Fonte Napoleone Isola d'Elba (Toscana)	Sorgente a monte Monastero di Sera (Tibet)	Sorgente Cala Maestra Isola di Montecristo (Toscana)
Altitudine	m	1350	430	3880	30
Data		02/04/2004	19/04/2006	29/08/2024	25/05/2023
Residuo fisso a 180 °C	mg/L	49	82	84	134
pH	Unità pH	5,4	5,7	8,2	6,5
Cloruro	mg/L Cl	21,9	26,2	1,8	64,4
Solfato	mg/L SO ₄	7,8	4,9	2,5	19,2
Idrogenocarbonato	mg/L HCO ₃	14,7	15,9	94,0	28,0
Sodio	mg/L Na	14,3	16,0	4,7	39,1
Potassio	mg/L K	0,5	0,7	0,9	2,3
Calcio	mg/L Ca	5,7	4,2	26	7,3
Magnesio	mg/L Mg	2,8	2,2	1,9	7,0

Tabella 10 – Similitudine di composizione in acque circolanti entro i graniti con maggior arricchimento in sodio e cloruro per le zone più vicine al mare

di un determinato territorio, una certa tipologia di composizione delle relative acque sotterranee. Per esempio, una roccia di natura carbonatica fornirà un'acqua con composizione idrogenocarbonato-calcica, una roccia con presenza di gesso fornirà un'acqua solfato-calcica, spesso molto mineralizzata data l'elevata solubilità di questo minerale.

Nella Tabella 11 è riportato uno schema, certamente non esaustivo, del rapporto fra natura delle rocce, contenuto di solidi disciolti (residuo fisso) ed eventuale presenza di metalli e altre sostanze che possono rendere l'acqua non potabile; sono criteri, comunque sommari, per prevedere la tipologia chimica delle acque e le possibili criticità in relazione all'interazione con differenti tipologie di rocce. Si tratta appunto di criteri riassuntivi in quanto le rocce sono fra loro molto diverse non solo come composizione mineralogica, ma anche come struttura. Per esempio, quando si parla di vulcaniti si intendono rocce ignee effusive che dal punto di vista di composizione sono molto diverse: si va da quelle ricche in silice e feldspato a quelle molto povere in silice (rocce ultramafiche, ricche in magnesio e ferro); così la tessitura, che si riferisce alla dimensione e disposizione dei minerali, può essere molto diversa. Ne consegue un chimismo delle acque molto variabile in funzione anche dell'alterabilità dei minerali presenti così che queste rocce possono fornire acque poco mineralizzate (Monte Amiata, Toscana), altre ad alto contenuto di solidi disciolti (molte acque termali da acquiferi vulcanici, per esempio, aree vulcaniche delle Ande).

Diverse sono le variabili che determinano la composizione di un'acqua sotterranea: il tempo di contatto acqua-roccia, la temperatura delle rocce di contatto e soprattutto la composizione mineralogica delle rocce. La

conoscenza delle peculiarità geologiche di un territorio può essere di notevole aiuto nell'individuazione del possibile chimismo delle acque e le eventuali criticità.

Per quanto riguarda ferro e manganese, spesso presenti in molte acque sotterranee, occorre ricordare che questi due metalli sono necessari all'organismo umano: il ferro deve essere assunto nell'ordine di 10 mg al giorno per gli uomini e di 18 mg al giorno per le donne; il manganese è nell'ordine di 2-3 mg al giorno.

I valori limite stabiliti per le acque potabili (Fe 200 microgrammi/litro e Mn 50 microgrammi /litro), molto inferiori alle dosi di assunzione necessarie, sono dovuti esclusivamente a problematiche gestionali degli acquedotti: valori superiori a quelli indicati in normativa determinano deposizioni nelle tubazioni di idrossido di ferro e ossido di manganese (da qui la necessità di rimuovere ferro e manganese nell'acqua distribuita in rete); quindi i valori limite così bassi non sono dovuti a problemi di tossicità tanto che il decreto 18/2023 li inserisce fra i Parametri Indicatori. Tuttavia, in un'area remota quantità elevate di ferro e manganese possono rendere l'acqua non potabile perché si ha formazione e deposizione dei rispettivi idrossidi e ossidi al momento in cui l'acqua fuoriesce dalla sorgente venendo a contatto con l'ossigeno dell'aria (Figura 24).

In relazione all'interazione acqua-roccia, fra altri elementi e composti che possono essere presenti nelle acque, oltre a quelli principali citati (metalli alcalini e alcalino-terrosi), alcuni rivestono un ruolo essenziale nell'organismo umano (cobalto, cromo III, ferro, fluoro, manganese, molibdeno, nichel, rame, selenio, zinco), altri sono elementi con ruolo essenziale ancora non conosciuto (boro, stronzio, vanadio), mentre sono decisamente tossici: arsenico, cadmio, tallio, mercurio, uranio e molti altri. Gran parte

degli elementi essenziali possono essere tossici quando presenti nelle acque in concentrazioni elevate, cioè superiori ai limiti indicati nelle tabelle del Decreto 18/2023 (vedi anche Tabella 1).

Per quanto riguarda l'amianto (asbesto), pur non essendo riportato un valore limite nella normativa europea e nazionale per le acque potabili, recenti studi considerano questa sostanza un cancerogeno non solo per inalazione, ma anche per ingestione; sono pertanto in corso studi sull'esposizione della popolazione che si serve da acquedotti con tubazioni in cemento-amianto. Negli ambienti naturali è opportuno limitare il più possibile l'ingestione dell'acqua che potrebbe contenere amianto, minerale che può essere presente nelle rocce ofiolitiche, un'associazione di rocce di origine magmatica, dette anche "pietre verdi" per la loro caratteristica colorazione, molto diffuse nelle catene orogeniche (ovvero nelle catene originate dallo scontro tra due continenti con l'interposizione di un antico oceano) lungo l'arco alpino e in alcune aree appenniniche (Figura 25). L'amianto è tuttavia presente anche in altre rocce metamorfiche come prasiniti ed eclogiti; in Australia vi sono aree montuose con formazioni rocciose ricche di amianto dove questo minerale è diffuso nell'acqua e nell'aria tanto che sono disposti molti avvisi per indurre particolari attenzioni verso coloro che transitano in quelle zone.

L'idrogeno solforato (H_2S) è un gas tossico per inalazione quando presente in aria in concentrazioni elevate (DL50 800 ppm); in un'acqua nella fase disciolta è avvertibile già con concentrazioni di circa 10 microgrammi/metro cubo, facilmente individuabile dall'odore caratteristico di uova marce. L'idrogeno solforato è raro nelle acque fredde di sorgente in aree montane e comunque in ambienti naturali dove si possa escludere la sua origine da acque reflue. L'odore sgradevole può indurre a non



Figura 24 – Affioramento di un'acqua ricca in ferro in un'area montuosa (dintorni del Ghiacciaio dei Forni, Gruppo Ortles-Cevedale) - ph Francesco Mantelli



Figura 25 – Acque limpide e con bassa mineralizzazione di un laghetto nel Parco del Monte Avic (Champdepraz, Val d'Aosta). Essendo l'ambiente caratterizzato da rocce ofiolitiche con evidente presenza di amianto, non si esclude la presenza di fibre di questo minerale in quelle acque - ph Francesco Mantelli



Figura 26 – Campionamento del Rio de Campo Alegrito (Manizales, Colombia). Questa acqua superficiale fredda, pur alimentata in larga parte da piogge, risente anche di afflussi da sorgenti di acque termali così che il contenuto di arsenico arriva fino a 21 microgrammi/litro - ph R. Chetoni

Tipologia acquifero	Vulcaniti	Arenarie	Rocce carbonatiche	Graniti e altre rocce intrusive
Residuo fisso (TDS-totale solidi disciolti)	da 50 a 2000 mg/L	da 20 a 200 mg/L	da 100 a 400 mg/L	da 20 a 100 mg/L
Possibili contaminanti	As, F, B, Hg, Ni, Cr, V, H ₂ S	H ₂ S raramente	nella gran parte dei casi: non presenti	nella gran parte dei casi: non presenti

Tipologia acquifero	Ghiaie e sabbie	Quarziti	Marne	Ofoliti
Residuo fisso (TDS-totale solidi disciolti)	da 200 a 1000 mg/L	da 10 a 30 mg/L	da 50 a 400 mg/L	da 200 a 1000 mg/L
Possibili contaminanti	As, Fe, Mn	non presenti	nella gran parte dei casi: non presenti	Cr, Ni, Cu, Mn, Fe, talvolta amianto

Tipologia acquifero	Gessi	Rocce metamorfiche silicatiche	Rocce metamorfiche carbonatiche	Conglomerati
Residuo fisso (TDS-totale solidi disciolti)	da 1000 a 3000 mg/L	da 20 a 100 mg/L	da 100 a 300 mg/L	da 100 a 1000 mg/L
Possibili contaminanti	Residuo fisso elevato SO ₄	As, Fe, Mn (rari)	nella gran parte dei casi: non presenti	non valutabile

Tabella 10 – Criteri generali di previsione del possibile contenuto di solidi disciolti e relative criticità delle acque sotterranee in relazione alla litologia degli acquiferi.

Note: 1) ferro e manganese, come riportato in precedenza, possono dare luogo a depositi dei rispettivi idrossidi e ossidi, quindi sono stati indicati come contaminanti, pur non essendo elementi tossici; 2) le marne sono rocce molto variabili come composizione in relazione al contenuto della parte carbonatica e pertanto le relative acque hanno composizione piuttosto variabile

utilizzare le acque a scopo potabile dove questo gas è presente, ma l'idrogeno solforato disciolto in acqua in piccole quantità non determina rischi sanitari, inoltre le acque sulfuree hanno proprietà salutari nel trattamento della pelle e delle malattie respiratorie, tuttavia quando l'idrogeno solforato è presente in acque che si originano da zone geotermiche e vulcaniche può essere la spia di acque con criticità ben più importanti, cioè con contaminazioni da mercurio, arsenico e altri elementi tossici, soprattutto se si tratta di acque calde. Diffidare pertanto delle acque di sorgente che emergono in aree termali:

Le tecniche di produzione di acqua potabile in montagna e nelle aree remote

Gli ordinari trattamenti di un'acqua al fine di renderla potabile prevedono principalmente un'operazione di disinfezione, dato il rischio di contrarre possibili malattie di tipo acuto. Storicamente la microbiologia è stata oggetto della principale attenzione di ogni gestore della risorsa idrica distribuita dagli acquedotti, anche in memoria delle grandi epidemie del passato durante le quali si era venuti progressivamente a conoscenza che l'acqua era il veicolo di tali malattie.

Negli ambienti montani e nelle aree remote gli aspetti chimici sono meno considerati anche perché è difficile prevedere un possibile inquinamento da parte delle numerose e differenti sostanze, molte delle quali hanno bassa probabilità di essere presenti. Tuttavia, in futuro queste zone saranno sempre più esposte alla circolazione globale degli inquinanti per gran parte prodotti dall'attività umana.

Si verificano alcuni casi in cui i processi di potabilizzazione da effettuare in loco non sono possibili; le acque che non si possono trattare sono le seguenti:

1. acque a elevato contenuto salino;
2. acque con solidi sospesi molto fini; quindi, di difficile filtrazione e sedimentazione;
3. acque di cui siamo a conoscenza di una loro contaminazione da metalli e altri elementi di natura tossica.

Impiego di composti a base di cloro - La disinfezione con composti del cloro, generalmente con soluzioni al 5-7 % di cloro attivo (di solito sodio ipoclorito, NaClO) è efficace su molti batteri e virus, ma è sconsigliabile nelle aree remote per i rischi di sovradosaggio in cui si può incorrere e per la produzione di composti organoclorogenati (cloroformio, bromoformio, diclorobromometano e dibromoclorometano), sostanze dotate di una certa tossicità, in particolare in quelle acque a elevato contenuto di carbonio organico. La loro tossicità è comunque funzione delle loro quantità nelle acque: il valore da non superare è 30 microgrammi/litro (come somma), valore limite stabilito dalla normativa del nostro Paese (più restrittiva di quella europea che prevede 100 microgrammi/litro).

Quando si impiegano acque superficiali che devono venire sottoposte a questo tipo di disinfezione, sarebbe opportuna un'operazione di filtrazione su filtri con pori di almeno 2 μm per eliminare le forme di vita che non sono inattivate dai trattamenti con disinfettanti a base di cloro (protozoi come la *Giardia lamblia* oppure oocisti di *Cryptosporidium*), operazione comunque non facile data la rapida inattivazione di questi filtri in relazione alla possibile torbidità dell'acqua e alla necessità di disporre di volumi consistenti di acqua. Vi sono inoltre in commercio compresse adatte per la disinfezione di piccoli volumi di ac-

queste acque, anche con temperature non molto elevate, possono contenere elementi tossici mobilizzati dai fluidi termali. Un esteso studio (Mantelli, 2002) nell'area termale di S. Rosa de Cabal (Manizales, Colombia) mostra come tutte le acque calde di quel territorio fossero contaminate ancora una volta da arsenico in concentrazioni molto elevate; anche le acque con temperatura bassa, alcune delle quali fluenti in corsi superficiali, mostravano presenza di arsenico in concentrazioni significative (Figura 26).

qua, più facili nel dosaggio e nel trasporto; alcune sono a base di dicloroisocianurato di sodio (NaDCC), composto che libera cloro attivo, con una capacità superiore di disinfettare dell'ipoclorito di sodio. Il dicloroisocianurato di sodio è il componente delle compresse Micropur, utilizzate per disinfettare l'acqua limpida. (Composizione: 103 mg/g di dicloroisocianurato di sodio, 2,8 mg/g di cloruro d'argento). L'argento è un disinfettante che possiede una azione germicida ad ampio spettro: si rivela infatti attivo contro molte specie di batteri, funghi e virus; tuttavia, l'assunzione per bocca di questo metallo in concentrazioni elevate può determinare evidenti effetti tossici.

Di uso più raro è l'ipoclorito di calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ che presenta la stessa efficacia dell'ipoclorito di sodio; si presenta in forma di polvere bianca, di uso più difficile rispetto al sodio ipoclorito. L'ipoclorito di calcio è un composto usato prevalentemente per la disinfezione dell'acqua di piscina. Comunque, la disinfezione con trattamenti di tipo chimico costituisce sempre un espediente per piccoli volumi e presenta rischi di sovradosaggi di cloro, oltre a un cattivo sapore e odore dell'acqua trattata; infine, non avendo efficacia nei confronti di alcuni protozoi, resta pertanto consigliabile l'ebollizione dell'acqua.

Impiego di composti a base di iodio - Come il cloro, per la sua azione ossidante, lo iodio in particolari forme chimiche può espletare capacità disinfettanti. In commercio si trova lo iodopovidone, un composto organico ottenuto dalla combinazione del polimero polivinilpirrolidone con in soluzione sia iodio libero (I_2) sia triioduro (I_3^-). Entrambi contribuiscono all'azione disinfettante. Questo composto è prevalentemente usato come disinfettante della cute (Betadine). L'azione dello iodio è efficace nei confronti di batteri, funghi, virus, protozoi e spore. Nell'impiego per la disinfezione dell'acqua fare attenzione ai dosaggi previsti e tenere conto della possibile ipersensibilità allo iodio o a possibili influenze negative in caso di malattie tiroidee.

Ebollizione - L'ebollizione è sufficiente per distruggere i microrganismi patogeni (uova di elminti, cisti di protozoi, batteri e virus) eventualmente presenti in un'acqua contaminata; questa operazione deve durare almeno 20 minuti. La bollitura, pertanto ha azione disinfettante nei confronti della *Giardia intestinalis*. L'ebollizione in contenitore aperto in alta quota non avviene a temperature sufficientemente elevate (a 4000 m di altezza la temperatura di ebollizione di un'acqua di media mineralizzazione è circa 86 °C) pertanto la durata dell'ebollizione deve essere incrementata di 1 minuto per ogni 1000 m di altitudine (WHO, 1997). Con l'impiego di una pentola a pressione, poiché vengono raggiunte temperature più elevate (fino a 120 °C), i tempi di disinfezione sono notevolmente ridotti: in genere sono sufficienti 1 o 2 minuti.

Filtrazione - Il trattamento con filtri sterilizzanti permette di rendere le acque idonee all'uso potabile sotto il profilo biologico. Sono disponibili in commercio sistemi manuali che permettono di filtrare l'acqua attraverso una membrana con pori del diametro di 0,2 μm . Utile una prefiltrazione con filtri con pori del diametro di 2-5 μm . Con opportuni step di filtrazione in successione, installati prima della barriera di filtrazione finale (che può scendere anche da 2 a 1 μm), è comunque possibile rendere più efficace il trattamento, garantendo maggior durata operativa della barriera finale.

Se dal punto di vista pratico le acque sottoposte a filtrazione hanno il vantaggio di non avere alterazione di sapore e odore dovute all'aggiunta di disinfettanti, come visto in precedenza, in montagna e nelle aree remote la filtrazione è una tecnica di scarso impiego per i modesti quantitativi di acqua prodotta; quantitativi elevati di acqua, specialmente di tipo superficiale, inattivano rapidamente il filtro a causa del materiale in sospensione anche in acque che apparentemente sembrano limpide.

Trattamento UV - La luce ultravioletta è costituita da differenti lunghezze d'onda; la radiazione UV-C, (UV germicida), con una lunghezza onda da 240 a 280 nm, svolge una reazione fotochimica che distrugge l'informazione genetica contenuta nel DNA dei differenti microrganismi così che questi perdono la loro capacità di riprodursi e pertanto ha azione germicida su tutti gli agenti patogeni presenti nell'acqua: virus, batteri e protozoi, oltre ad alghe e funghi; fra quest'ultimi il *Cryptosporidium* e la *Giardia*, che di solito mostrano una certa resistenza ai disinfettanti chimici. L'efficacia dell'azione germicida UV-C dipende da molti fattori: la quantità di tempo di esposizione, la presenza di particelle che possono proteggere i microrganismi dall'UV e la capacità dei microrganismi di resistere alla radiazione durante l'esposizione. Le particelle in sospensione riflettono i raggi UV e agiscono da "ombrello protettivo" per i microrganismi, oppure vengono inglobati al loro interno, nascondendoli dalla capacità sterilizzatrice dei raggi. Vi sono in commercio sterilizzatori portatili a raggi UV che possono essere alimentati da sistemi a

batteria, a loro volta ricaricabili da pannelli solari, così che in un'area remota è possibile disporre di questo tipo di sistema di disinfezione, a condizione di disporre di acqua molto limpida e di seguire con attenzione le istruzioni e le raccomandazioni d'uso come la durata della lampade e il flusso dell'acqua per tenere conto del tempo di irradiazione che ha importanza fondamentale nel processo di inattivazione microbica.

Trattamento di acque contenenti metalli e altri elementi tossici - In molte aree remote le acque, sia superficiali che sotterranee, possono contenere metalli e elementi di natura non metallica con caratteristiche di tossicità, originati da processi naturali di alterazione dei minerali contenenti questi elementi; fra questi, negli ambienti naturali è frequente la presenza di arsenico proveniente da numerose e differenti tipologie di rocce vulcaniche e di cromo e nichel provenienti dalle rocce ofiolitiche.

Come in precedenza riportato, le acque di sorgente e quelle superficiali di un vasto settore delle Ande argentino-cilene dei territori di Catamarca e Atacama, presentano una diffusa contaminazione da arsenico; sono noti, inoltre, numerosi laghi a elevata concentrazione di sali, quindi con acque inutilizzabili ai fini potabili, fino ai salares, depositi salini in bacini endoreici dovuti alla completa evaporazione delle acque.

Durante alcune spedizioni esplorative su quel territorio montuoso, nel corso degli anni Novanta del secolo scorso, è stato sperimentato un filtro capace di rimuovere arsenico dall'acqua, attraverso un processo che ha dato buoni risultati. Tuttavia, questo apparecchio è capace di trattare volumi ridotti di acqua. La rimozione dell'arsenico può essere effettuata solo con tecniche particolari e con sistemi non sempre disponibili in aree remote.

Per l'utilizzo di acque a elevato contenuto salino non esistono sistemi portatili o comunque sistemi anche di certa complessità che restano di difficile utilizzo in un'area remota per il relativo trattamento e pertanto acque con residuo salino oltre 1500 mg/L devono essere impiegate per il minor tempo possibile.



Figura 27 – Salar de Maricunga, Cile, visto dalla cima secondaria del Cerro de los Patos, 5950 m, Ande di Catamarca, Argentina. Ambienti difficili per disporre di acque potabili: laghi salini fino alla saturazione e acque di sorgente spesso contaminate da arsenico. Solo dalla fusione di ghiaccio, presente a quote intorno ai 6000 metri, è possibile ricavare acqua potabile che, tuttavia, può contenere tracce di arsenico - ph Francesco Mantelli

Conclusioni

Il concetto di "acqua potabile" è variabile nel tempo in relazione all'evoluzione delle conoscenze scientifiche. Nel secolo scorso pochi parametri di tipo chimico e microbiologico stabilivano quando un'acqua poteva ritenersi potabile. Con l'evoluzione delle tecniche analitiche e, soprattutto, con il progressivo diffondersi nell'ambiente di contaminanti in seguito alla produzione di migliaia di sostanze di sintesi, spesso difficilmente degradabili (antiparassitari, policlorobifenili, sostanze perfluoroalchiliche, materiali plastici e molto altro), i parametri da controllare in un'acqua al fine di definirne la potabilità, sono moltissimi.

L'evoluzione delle tecniche analitiche permette attualmente di misurare nelle acque quantità di sostanze fino al livello dei microgrammi e nanogrammi litro, capacità analitica necessaria per individuare molte sostanze presenti in tracce, ma comunque con possibilità di indurre danni alla salute umana.

Si ritiene che sulle montagne e in molte aree remote molte sostanze immesse nell'ambiente in seguito all'attività umana siano comunque in una quantità tale (non si può parlare di "assenza") da non compromettere la qualità di un'acqua captata in quelle zone. Tuttavia, come espressamente ricordato, solo analisi chimiche e microbiologiche realizzate secondo le indicazioni della normativa più recente, disponendo di laboratori tecnicamente molto avanzati, possono definire un'acqua potabile.

Data ovviamente l'impossibilità di condurre queste operazioni in montagna e nelle aree remote, le indicazioni fornite, tenendo conto di tutte le indicazioni di prudenza suggerite, costituiscono un contributo alla possibilità di in-

dividuare acque con buone probabilità di essere potabili o di intraprendere adeguati processi di potabilizzazione.

In relazione alla possibilità di trovare acqua potabile in montagna e in aree remote, in sintesi, occorre fare riferimento a quanto segue:

1. un'acqua torbida non è sicuramente potabile; l'acqua deve essere inoltre inodore e insapore;
2. un'acqua superficiale (torrente, lago e alcune acque sotterranee di ambienti carsici), seppur limpida e pur in un ambiente naturale, ha raramente i requisiti di potabilità, principalmente in relazione alla possibile contaminazione di tipo microbiologico;
3. per gli aspetti microbiologici è possibile intervenire con adeguati trattamenti di disinfezione come in precedenza descritto;
4. un'acqua di sorgente in un ambiente naturale può avere i requisiti di potabilità, ma occorre considerare tutta una serie di fattori, sommariamente descritti nel corpo di questo lavoro;
5. per gli aspetti chimici di composizione (componenti principali e contenuto di solidi disciolti) è possibile avere un'idea (spesso sommaria) tenendo conto dell'interazione acqua-roccia (ove possibile) e attraverso informazioni sullo stato generale di quel dato ambiente;
6. si conclude affermando che in natura l'acqua potabile è una risorsa molto rara.

Bibliografia e Sitografia

- Boraldi V., Manzieri A.M., Mantelli F., Mencarelli G. – *Lo stato di qualità ambientale delle acque dei laghi dell'Alto Appennino modenese*. In: Sviluppo Sostenibile, anno XIV, Amministrazione provinciale di Modena, n.65-66 I-II trimestre 2001
- Celli A., *Manuale dell'Igienista*, vol. I e II, Torino, 1906
- Cherubini M., G. Fornaciai, F. Mantelli, E Chellini and C. Sacco – *Results of a survey on asbestos fibre contamination of drinking water in Tuscany, Italy*, J. Water SRT - Aqua vol. 47, N° 1, pp.1-8, 1998
- Chetoni R. - *Acque minerali e termali: idrogeologia e opere di captazione, gestione della risorsa idrica*, pp. 1-900, Geo Graph, Segrate, Milano, 2000
- Dall'Aglio M., Barbieri M., Bazzoli P., Venanzi G., Agati L., Mantelli F., Palmieri R. - *Drinking Water Quality in the Grosseto Province, Tuscany, Italy. An appraisal on the basis of the study of water rock interaction. The proceedings of the Water Rock Interaction (WRI-10) International Congress*. Cagliari, vol. 2, 1059-1062, June 2001
- Decreto legislativo 23 febbraio 2023, n. 18, Attuazione della direttiva (UE) 2020/2184 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2020, concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, (23G00025) (G.U. Serie Generale n. 55 del 06-03-2023) note: entrata in vigore del provvedimento: 21/03/2023
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 8 febbraio 1985 - *Caratteristiche di qualità delle acque destinate al consumo umano*, (G.U. n° 108 del 9 maggio 1985)
- Direttiva (UE) 2020/2184 del Parlamento europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2020 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano (rifusione)
- Forti P. – *Gli acquiferi carsici. Problematiche per il loro studio ed utilizzo*. Atti del Convegno nazionale sull'inquinamento delle grotte e degli acquiferi carsici e possibili ricadute sulla collettività. Ponte di Brenta (PD) 26 e 27 settembre 1998, pp.13-39. A cura del Gruppo Speleologico Padovano, Imprimatur Editrice, Padova, 1999
- Mantelli F., M. Masini, P. Buccci - *Qualità delle acque di alcune aree remote dell'Alaska e del Canada*. Inquinamento, n. 10, pp. 54-61, novembre 1994
- Mantelli F., A. Ronchi, A. Gatti, C. Minoia - *Impiego dell'ICP-MS nella determinazione di elementi in traccia in acque utilizzate a scopo potabile in alcune zone del Mustang (Nepal)* - In: C. Minoia, M. Bettinelli, A. Ronchi, S. Spezia - *Applicazioni dell'ICP-MS nel Laboratorio Chimico e Tossicologico* - Morgan Edizioni Tecniche, Milano, pp. 205-221, 2000
- Mantelli F., C. Scala, M. Guazzini, A. Ronchi, A. Gatti, C. Minoia – *Determinazione mediante ICP-MS di elementi in traccia in acque della Salina della Laguna Verde e dei territori limitrofi (Ande di Catamarca, Argentina)*. In: C. Minoia, M. Bettinelli, A. Ronchi, S. Spezia - *Applicazioni dell'ICP-MS nel Laboratorio Chimico e Tossicologico* - Morgan Edizioni Tecniche, Milano, pp. 239-264, 2000
- Mantelli F., C. Scala, A. Ronchi, A. Gatti, P. Peruzzi, C. Minoia - *Impiego dell'ICP-MS nella determinazione*

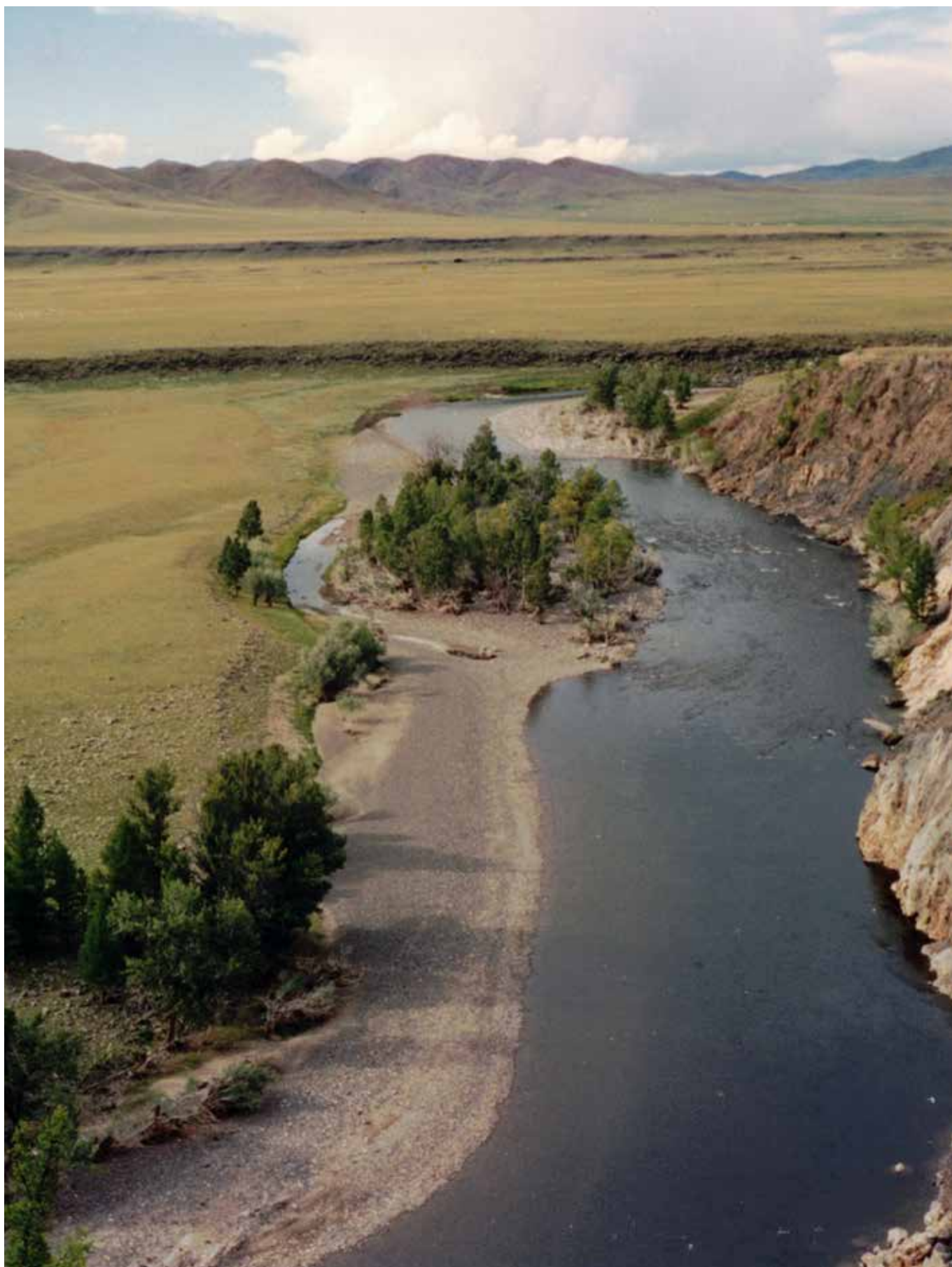


Figura 28 – Paesaggio della Mongolia meridionale. Fiume con acque limpide e con presenza di acidi fulvici e umici in elevata concentrazione, sostanze che determinano il caratteristico colore giallo-rosso (scuro su elevati spessori di acqua). Per rendere queste acque potabili, l'unico trattamento è l'ebollizione, dato che l'aggiunta di disinfettanti a base di cloro produrrebbe elevate quantità di cloroformio e altri composti organoclogenati - ph Francesco Mantelli

- di elementi in traccia in neve di alta quota (Ande di Catamarca, Argentina). In: C. Minoia, M. Bettinelli, A. Ronchi, S. Spezia - *Applicazioni dell'ICP-MS nel Laboratorio Chimico e Tossicologico* - Morgan Edizioni Tecniche, Milano, pp. 297-315, 2000
- Mantelli F.- *Aguas minerales y termales: de los procesos de formación a las técnicas analíticas - Lecciones impartidas durante el curso de formación del termalismo en Pereira, Santa Rosa de Cabal y Neiva* (Colombia, dicembre 2001) – Capitoli 10; distribuito in Colombia a cura della Asociación Nacional de Técnica Hidrotermales. Pagg. 176, 2002
 - Mantelli F. & G. Temporelli - *L'acqua nella storia* - Fondazione AMGA onlus, FrancoAngeli editore, 2007
 - Mantelli F., Menichetti S., Calà P.G. - *Principali emergenze termali in Toscana. Idrogeologia e chimica delle acque* - Edizione Arpat, Agenzia per la protezione ambientale della Toscana, pp. 1-378, marzo 2014 (scaricabile dal sito Arpat)
 - Mantelli F., Lotti L., De Sio F., Montigiani A., Occhini F. - *L'estrazione del marmo in Apuane: episodi di inquinamento e idrochimica delle acque del Complesso carsico del monte Corchia*. Atti del Convegno Nazionale "La ricerca carsologica in Italia" 22-23 giugno 2013, Laboratorio carsologico sotterraneo di Bossea, Frabosa Soprana; pp. 269-277, giugno 2016
 - Mantelli F., Piccini L., Scala C., Menichetti S., Lotti L., Montigiani A., De Sio F., Occhini F. - *Antro del Corchia 1997-2017, 20 anni di monitoraggio e ricerche*, Arpat Quaderni Ambientali Firenze, pp. 1-257, I-XIV, 2021
 - Mantelli F. - *Le acque carsiche. Caratteristiche, utilizzo e rischi di inquinamento* - Il Bollettino, Comitato Scientifico Centrale, pp. 39-60, ottobre 2023
 - Pagliani L. - *Trattato di Igiene e di Sanità Pubblica* - vol. 1 *Dei terreni e delle acque*, Vallardi, Milano, 1913
 - Roster G., *Dei Criteri per giudicare la potabilità di un'acqua*, Ingegneria sanitaria, n. 3, pp. 44-48, 1893
 - Piccini L. - *Acquiferi carbonatici e sorgenti carsiche delle Alpi Apuane*. Atti del Convegno "Le risorse idriche sotterranee delle Alpi Apuane: conoscenze attuali e prospettive di utilizzo". Filanda di Forno, Massa, 22 giugno 2002. Pubblicazione a cura della Federazione Speleologica Toscana, 41-75, 2003
 - Piccini L., Di Lorenzo T., Costagliola P., Galassi D. MP. - *Marble Slurry's Impact on Groundwater: The Case Study of the Apuan Alps Karst Aquifers*, 11, 2462, pp. 1-16, Water 2019
 - Sauro U. - *Geoecosistemi carsici, risorsa acqua e impatto umano; esempi in aree carsiche del Veneto*. Atti del Convegno nazionale sull'inquinamento delle grotte e degli acquiferi carsici e possibili ricadute sulla collettività. Ponte di Brenta (PD) 26 e 27 settembre 1998. A cura del Gruppo Speleologico Padovano, Imprimatur Editrice, Padova, pp. 41-60, 1999
 - <https://webthesis.biblio.polito.it/secure/21973/1/tesi.pdf> tesi.pdf
 - <https://www.bing.com/videos/riverview/related-video?q=amianto+nelle+acque+potabili&mid=C-68B066EEB913922E38EC68B066EEB913922E38E&FORM=VIRE>



Viaggio lungo il confine fra il Ducato di Parma e lo Stato Sardo

Ricerca di antiche testimonianze (parte terza)

di Enzo Guzzoni ⁽¹⁾ e Valeria Orlandini ⁽²⁾

1. Biologo, Operatore Naturalistico e Culturale Nazionale (ONCN) - Comitato Scientifico Sezionale CAI Parma

2. Insegnante, Operatore Naturalistico e Culturale (ONC) - Comitato Scientifico Sezionale CAI Parma

Riassunto

Con questa terza parte, dal Passo del Tomarlo al Rio Fontanazze, che segue quelle precedentemente pubblicate sui bollettini di ottobre 2023 e ottobre 2024, si completa la ricognizione del confine tra il Ducato di Parma e lo Stato Sardo individuato mediante i termini di confine della Serie 1823. La morfologia del territorio di questo tratto di Appennino ligure-emiliano presenta dorsali montuose con cime anche rilevanti che a suo tempo avevano richiesto l'apposizione di pochi termini segnaletici. In prossimità del paese di Torrio Piacentino è stato necessario invece un intervento più accurato per la densità abitativa e l'utilizzo di appezzamenti adibiti all'agricoltura.

La demarcazione è stata individuata da alcuni ruscelli a partire da alcune centinaia di metri oltre l'incrocio fra la confinazione e la mulattiera che univa Santo Stefano d'Aveto a Piacenza, "dal punto di culmine". Ma i corsi instabili di tali rigagnoli hanno creato non pochi "grattacapi" a funzionari e tecnici incaricati di redigere il processo verbale da inserire nel trattato destinato alla ratifica da parte dei due Stati in causa.

L'area presa in esame, ben più delle precedenti, si presta all'attività escursionistica in quanto estremamente ricca di emergenze naturali, geologiche e vegetazionali.

Abstract: A journey along the border between the Duchy of Parma and the Sardinian State in search of ancient testimonies (third part)

This third part, from the Tomarlo Pass to the Fontanazze River, follows those previously published in the October 2023 and October 2024 bulletins, completing the survey of the border between the Duchy of Parma and the State of Sardinia, identified using the boundary markers of the 1823 Series. The morphology of this stretch of the Ligurian-Emilian Apennines features mountain ridges, some of which are significant, which previously required the addition of only a few boundary markers. Near the village of Torrio Piacentino, however, more careful work was required due to population density and the use of agricultural land. The demarcation was identified by several streams starting a few hundred meters beyond the intersection of the border and the mule track that connected Santo Stefano d'Aveto to Piacenza, "from the culminating point." But the unstable courses of these streams have created many headaches for officials and technicians charged with drafting the minutes to be included in the treaty to be ratified by the two States involved.

The area under consideration, much more than the previous ones, lends itself to hiking as it is extremely rich in natural, geological and vegetation features.

Terza parte: dal Passo del Tomarlo o di Bedonia al Rivo Fontanazze della piana di Torrio Piacentino

Una descrizione sommaria della linea di confinazione è riportata sul trattato ratificato in Verona il 13 dicembre 1822 e posto in vigore il 17 dello stesso mese. Il tutto è notificato al n. 139 della Raccolta delle Leggi per gli Stati Parma, Piacenza e Guastalla, Anno 1822, Semestre II Tomo II edito in Parma dalla Tipografia Ducale.

Il trattato è stato firmato dal Barone Leopoldo Daiser Silbach, plenipotenziario per S.M. l'Arciduchessa Maria Luigia d'Austria, e dal Cavaliere Luigi Provana di Collegno per il Re Carlo Felice di Sardegna.

In una premessa [1] vengono ricordati i "salutari" effetti sui rapporti di buon vicinato fra i due Stati e il trattato del 10 marzo 1766 in cui veniva definito "il confine divisorio dal confluente dell'Aveto nella Trebbia sino al Po", auspicando di "far godere di un simil beneficio i sudditi posti lungo il confine che divide il Ducato di Genova da quello di Parma e Piacenza".

Il trattato descrive quindi la linea di confinazione a partire dalla Foce dei Tre Confini sino al Rivo Fontanazze, citato all'inizio di questa descrizione.

La meticolosa descrizione del luogo di posa dei Termini e la loro dimensione e caratteristica sono invece riportati

sulla Raccolta Generale delle Leggi, Anno 1824, Semestre I – Tomo U, con la Disposizione n. 26 a partire da pag. 62.

Riguardo al tratto ora in esame dal Passo del Tomarlo, la linea divisoria passa dal "[...] Monte Martincano, Monte Misurasca, Alpe Formosa, Monte Bovi o Poggio di Val d'Aveto, Rocca Pianosa, La Roncalla, Bosco dei Lavaggi, Monterosso, i Moreschi, Aja di Capello, sino al punto d'intersezione della strada che da S. Stefano conduce a Piacenza. Da quel punto il confine scende per detta strada verso Piacenza sino al primo ramo del rio Fontanazze, lungo il quale scende sino al rio Romerano, di cui segue il corso sino alla sua imboccatura nell'Aveto".

Nella riportata rappresentazione cartografica si evince la porzione della parte occidentale del Territorio del Ducato di Parma e Piacenza (Figura 1). Si tratta di una grande carta, 88x61 cm, risalente al 1844, dedicata ai Ducati di Parma, di Piacenza e di Guastalla incisa da Giacinto Maina e da Valerio Stanghi destinata alla "Corografia fisica, storica e statistica dell'Italia e delle sue isole corredata di un atlante di mappe geografiche e topografiche" di Attilio Zuccagni-Orlandini.

Al Passo del Tomarlo era posto il luogo di posa del T19.



Figura 1 – Carta del Ducato di Parma e Piacenza del 1844 - Wikipedia

Esso era individuato dagli angoli fra la direzione nord e il campanile di Drusco nella vallata del torrente Ceno ($96^{\circ} 40'$) e la croce in legno sul Monte Martincano ($25^{\circ} 45'$) (Figura 2). Riportando questi angoli sulla Carta al 25.000 si nota un'errata individuazione dei riferimenti: nel primo caso si individua Selvola e nel secondo caso la cima del Monte Cipolla (Figura 3).

La rozza croce è tuttora in legno ed è presumibile che nel corso di 200 anni sia stata abbattuta da eventi atmosferici e spostata da un cocuzzolo all'altro per renderla visibile e individuabile dalla località turistica più prossima (Figura 4). Dall'attuale posizione della croce non è tra l'altro visibile il Passo del Tomarlo o Passo di Bedonia.

Appena sotto il passo, al bivio per il Passo dello Zovallo, sono ancora visibili i ruderi di una delle dogane volute da Carlo III di Borbone, per contrastare il contrabbando (Figura 5). Questa sostituiva quella di Casalporino posta molto più in basso, verso il fondovalle del Torrente Ceno. Da ricordare che i Borbone, dopo la morte della Duchessa Maria Luigia D'Austria avvenuta nel 1847, ritornarono in possesso del Ducato. Oggi dal fondovalle, passante per Casalporino, sale una moderna rotabile che permette di unire Bedonia con il suo seminario minore vescovile di Piacenza con la strada che scende a Piacenza attraverso Ferriere.

Negli anni scorsi era stato presentato, senza successo, un progetto a opera del geometra Stefano Orsi di Bedonia per un recupero ai fini turistici del manufatto (Figura 6).

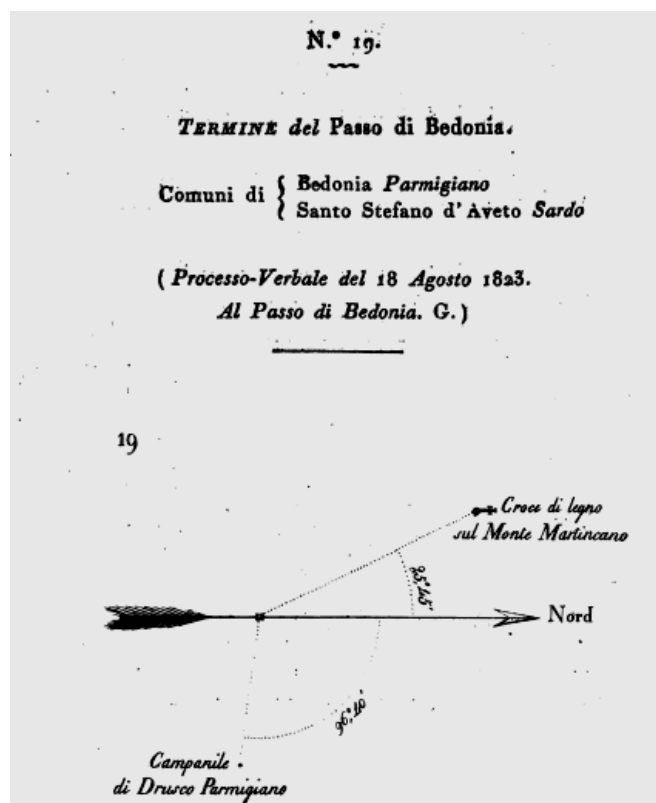


Figura 2 – T19 Passo del Tomarlo - Wikipedia

La linea confinaria proseguiva lungo la dorsale individuata dal Monte Croce Martincano alto (1722 m) detto localmente Prja da Cruse, dal Monte Maggiorasca (1796 m), indicato come Misurasca, dal Monte Bue o dei Bovi (1771 m), dalla Costa di Lavaggio, dal Monte Roncalla (1711 m), dal Monte Bocco (1381 m), per giungere al valico di Monte Bocco sull'antica strada che, provenendo dalla Val Nure, congiungeva Piacenza a Santo Stefano d'Aveto. Qui è posto tuttora il T20 (Foto 7) e alla distanza di 14 m e 66 cm doveva esserci il controtermine T20 bis. La dorsale non ampia di questo crinale, l'altezza delle cime, le ben evidenti e morfologicamente individuabili selle che le separano, rese superfluo ai tecnici ducali dell'epoca l'apposizione di ulteriori cippi confinari.

La dorsale rientra nel Gruppo del Monte Maggiorasca che si innalza al confine fra l'Appennino ligure e quello piacentino e rappresenta il gruppo montuoso più elevato della Liguria, ovviamente condividendolo con l'Emilia Romagna. Il Monte Maggiorasca domina, separandole a est e a ovest, le valli dell'Aveto e del Ceno; a nord-est una breve cresta conduce al Monte Nero, all'inizio della Val Nure, continuando sino al gruppo del Ragola. A sud un'altra cresta riunisce il Monte Maggiorasca al Monte Penna. Nel versante occidentale si aprono le valli di Torrio e di Santo Stefano d'Aveto, separate l'una dall'altra dai rilievi del Groppo Rosso e del Monte di Mezzo. Era su queste due ultime dorsali, quella verso il Penna e quella del Groppo Rosso, che correva la linea di demarcazione confinaria fra i due Stati.

La parte più elevata del gruppo è formata da rocce ofiolitiche, diaboliche cioè effusive con solidificazioni anche a *pillow*, tra le quali affiorano strette fasce di argille scagliose.

Il Monte Bue, attualmente punto triconfinale fra le Province di Parma, a est, Piacenza a nord e Genova a ovest, è facilmente raggiungibile e offre possibilità di alloggio e ristoro per la presenza dell'omonimo Rifugio [2] (Figura 8). Agli escursionisti il rifugio offre la possibilità di percorrere itinerari di elevata rilevanza ambientale (Figura 9).



Figura 3 – Riferimenti e localizzazione T19 - Wikipedia

La vicina cresta peridotitica del monte Nero [3], la popolazione di Pino mugo [4], relitto quaternario, il Lago Nero [5], la "tana di Monte Nero" [6] con i centenari autoctoni abeti bianchi (Figura 10), sono elementi più che sufficienti per giustificare una deviazione dallo storico percorso. Si tratta di un breve viaggio in ecosistemi che sono il risultato delle complesse vicende climatiche che hanno caratterizzato l'Appennino settentrionale nei passati millenni.

La definizione della linea di confinazione, sino alla strada (a quei tempi mulattiera) che da Santo Stefano si dirigeva verso Torrio, non presentava alcuna difficoltà di individuazione. Le incertezze si evidenziarono subito dopo e costrinsero commissari, tecnici e cartografi dell'epoca a un duro lavoro.

Il Collegio, riunitosi in Parma il giorno 25 luglio 1823 aveva convenuto di collocare nuovi termini come riportato nella relazione contenuta nell'Articolo Addizionale al trattato del 26 novembre 1822. "Sulla strada da Piacenza a Santo Stefano di Aveto, [...] un termine e un controtermine sul



Figura 4 – Attuale Croce sul Monte Martincano - ph V. Orlandini



Figura 5 – La Dogana del Tomarolo - ph V. Orlandini



Figura 6 – Ricostruzione virtuale della Dogana - disegno Stefano Orsi

locale detto il Bocco, punto in cui essa taglia la costiera che dal Poggio dell'Aja di Capello scende a quello del Bocco, ed un altro termine e controtermine al primo Ramo del Rivo Fontanazza. Eseguita la piantazione dei quali termini, si visiteranno le confluenze del Rivo Romorano nell'Aveto, e di questo nella Trebbia, ove riconoscere se convenga determinarle mediante il collocamento di termini sulle loro sponde".

In base a quanto previsto, i termini T20 e T20bis sono stati quindi collocati come risulta dallo schema a fianco (Figura 11). L'angolo di orientamento riportato al campanile di Torrio, a quel tempo situato nel Ducato Parmense, è di $6^{\circ} 15'$, quello del controtermine di $92^{\circ} 45'$.

Il T20 (1250 m ; $44^{\circ} 33' 39''\text{ N}$ - $9^{\circ} 27' 05''\text{ E}$) risulta attualmente alquanto rovinato e quasi infossato, mentre del controtermine T20bis non si trova traccia. Il collegamento attuale di Santo Stefano con Piacenza ora avviene tramite la SP 586 che, innestandosi sulla SS 45 in località Marsaglia in Val Trebbia, permette di scendere verso Bobbio.

Dal Passo del Bocco, da non confondersi con quello che unisce la Val Taro con la Val Stura, il confine quindi proseguiva verso nord seguendo l'antica mulattiera sino al primo ramo del torrente Fontanazze o Fontanazza. Seguiva poi verso sud-ovest questo rio fino al corso del Rio Remorano (indicato nell'atto come Romerano) fino alla sua immissione nell'Aveto e quindi nel Trebbia. Ancora oggi questi corsi d'acqua individuano il confine regionale fra Emilia Romagna e Liguria (Figura 12)

I corsi del Rio Romerano e i letti dell'Aveto e del Trebbia, facilmente individuabili, non hanno richiesto ulteriori apposizioni di termini confinari ma notevoli titubanze si sono evidenziate con il Rio Fontanazza per la difficoltà a individuarne con esattezza i rami iniziali stante le diverse denominazioni attribuite localmente.

Tutta la diatriba fra i commissari Antonio Cocconcetti, ingegnere capo del Ducato di Parma, e Lorenzo Domenico Pellegrini, Capitano dello Stato Maggiore Generale delle Armate di S.M. il Re di Sardegna, per l'individuazione dei posti di posa dei termini T21 e T22, viene puntigliosamente descritta nel processo verbale stilato il giorno 20 agosto 1823.

Si tratta di un cocciuto confronto, per molti aspetti insensato in quanto riferito a una infinitesima porzione di territorio soggetta a frane e alla volubilità dei piccoli rivoli presenti. La disputa si sarebbe protratta a lungo nel tempo senza la lungimiranza della Duchessa Maria Luigia nel volerne porre fine.

Sul tomo U del 1824, Sem I, veniva pubblicato un articolo addizionale al trattato del 26 novembre 1822 "Intorno ai confini dei due Stati" in cui venivano dettagliati i riferimenti relativi all'apposizione dei vari termini. Allegato a questo era riportata la relazione del 20 agosto 1823 in cui venivano verbalizzate le diverse posizioni dei due commissari.

Il commissario sardo intendeva che il termine venisse posto "senza indugio, senza alcuna variante, al punto ove la strada da Piacenza a Santo Stefano è tagliata dal primo ramo del Rivo della Fontanazza". Sosteneva che la propria tesi fosse avvalorata dalla carta confinaria rilevata nel 1817 dallo Stato Maggiore Sardo, dalle deposizioni del sindaco e dai consiglieri di Santo Stefano d'Aveto e di Ascona.

Si ritiene ora opportuno riportare in sintesi le argomentazioni fatte porre a verbale dall'ingegnere Parmigiano Cocconcetti al fine di collocare il T21 [7] su terreno stabile e in luogo facilmente individuabile.



Figura 7 – T20 al Passo del Bocco di Torrio - ph E. Guzzoni



Figura 8 – Monte Bue o dei Bovi - ph E. Guzzoni

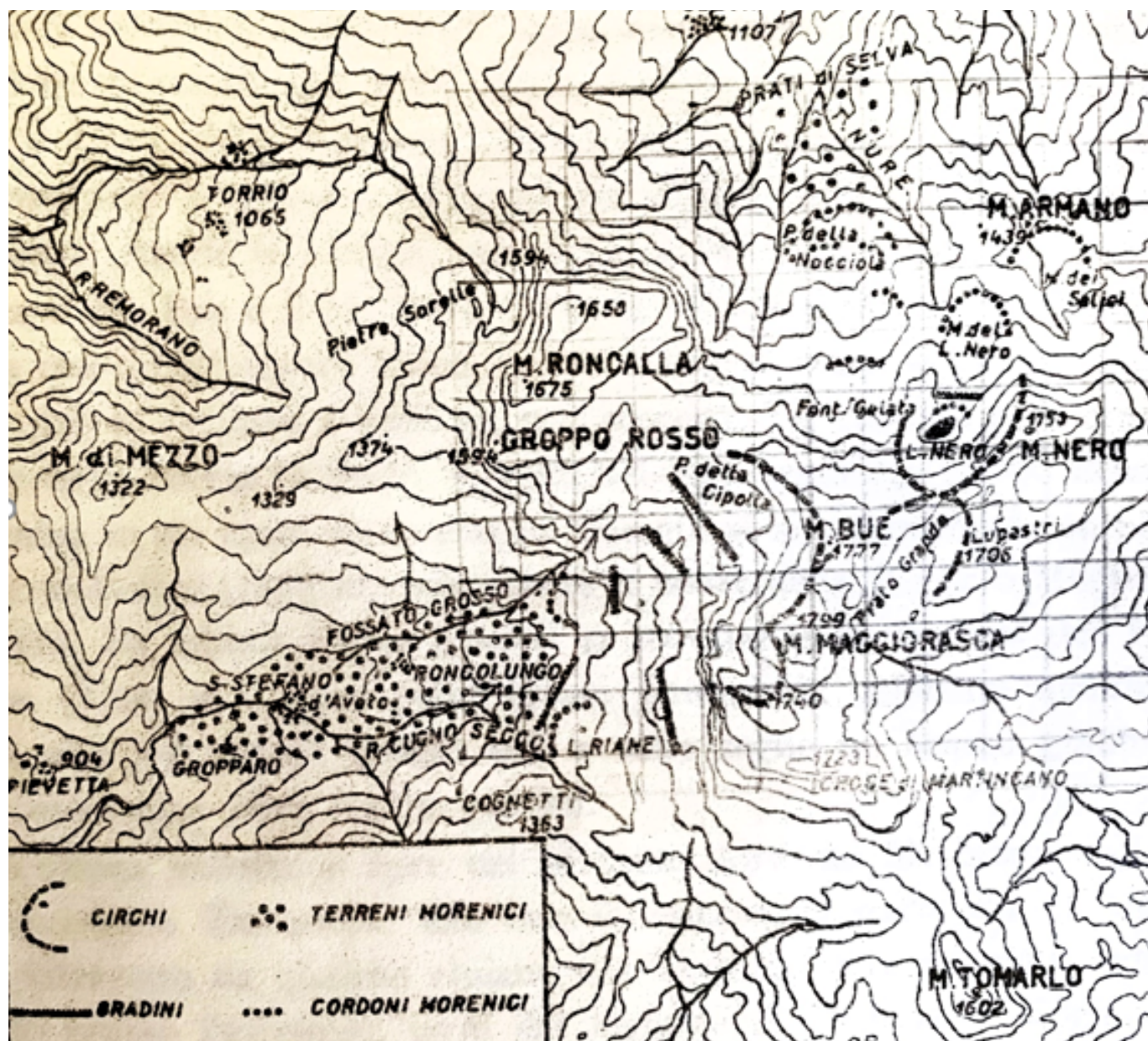


Figura 9 – Cartina del Gruppo Maggiorasca - Wikipedia



Figura 10 – Abete secolare nella Tana di Monte Nero - ph E. Guzzoni

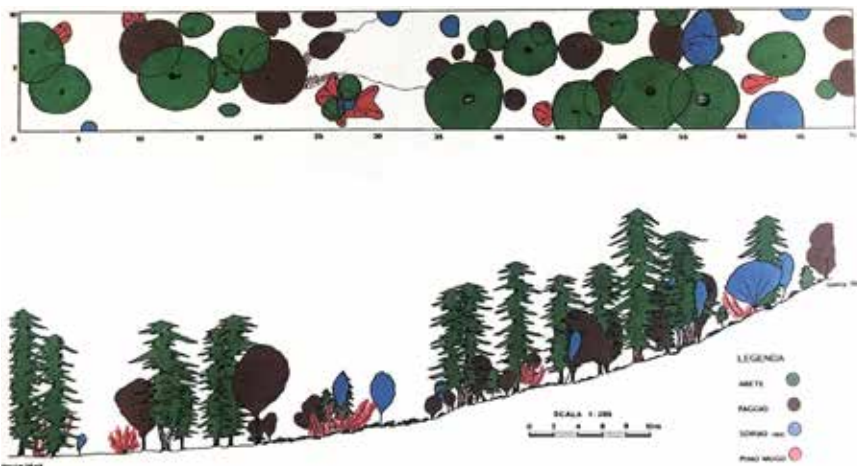


Figura 10 bis – Rappresentazione grafica (profilo e pianta) di soprassuolo con abete bianco alla Tana di Monte Nero - Wikipedia

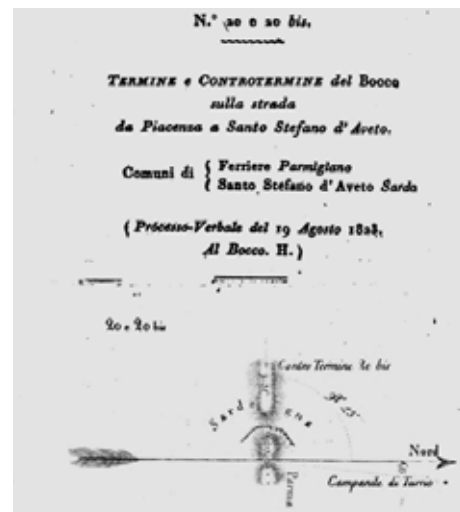


Figura 11 – T20 e T20bis - Wikipedia

Il commissario parmigiano appoggiato dalle deposizioni degli abitanti di Torrio, i quali asserivano che il primo ramo del Rivo Fontanazza aveva origine dalle falde del Monte Rosso, luogo detto "I Moreschi", sosteneva che il rivo riconosciuto dal Commissario Sardo sotto il nome di Fontanazza aveva un corso non ben identificabile e poteva facilmente variare a motivo del terreno malfermo. "Ritenuto questo stesso rivo come dividente i due Stati, il confine mancherebbe di regolarità con pregiudizio dell'una e dell'altra sovranità; che il rivo Fontanazza ai Moreschi invece è deciso, profondo, invariabile, facile a riconoscersi in ogni tempo". Questa tesi veniva confermata e corroborata dal parroco del villaggio, il quale sosteneva che tutti quei ruscelli dal Romerano in giù verso Torrio venivano individuati localmente con il nome di Fontanazze. A ciò è riportata l'ulteriore obiezione del commissario sardo: "Il Commissario Sardo aggiugne dietro a le informazioni avute che il rivo chiamato da quei di Torrio il primo ramo della Fontanazza de' Moreschi, è lo stesso rivo Romerano ed è un burrone senz'acqua; che il secondo ramo delle Fontanazze, giusta al dire di quei di Torrio, è denominato esclusivamente la Fossa di Rastello, e che le piccole fontane scaturienti sulla sponda orientale della strada di Piacenza in vicinanza della ripa di quest'ultimo rivo designato da que' di Torrio per Fontanazze si chiamano i laghetti di Rastello, e non formano ramo veruno, ma si perdono nel sottoposto piano". Dopo una pausa di riflessione attesa a

ricepire le "superiori attenzioni dei due Governi", le due delegazioni si ritrovarono l'8 settembre 1823 e sul Decreto viene riportato come trovò soluzione la lunga contesa.

"Il Commissario Parmigiano Cocconcetti, ripartito da Parma in forza del Presidenziale dispaccio del 4 settembre e con la raccomandazione che S.M. la Sovrana desidera che la confinazione abbia termine senza difficoltà, obbediente ai venerati comandi, non si oppone alla pianificazione del termine in corrispondenza dell'individuato primo ramo del Rio Fontanazze, come indicato dal Commissario Sardo Pellegrini, indipendentemente dalle denominazioni locali, nel punto in cui interseca la 'strada di Piacenza'. Nonostante l'accordo sulla localizzazione dei due termini il decreto espone le difficoltà riscontrate poi nell'individuare una permanente linea di confine a causa della volubilità del corso d'acqua e vengono descritte le opportune soluzioni. "Poi constatato che sottostrada il corso di detto rio è tortuoso, indeterminato, a causa del terreno mal fermo e smosso dalle coltivazioni e dalla necessità dei proprietari di modificarne il corso per evitare che in tempo di piogge burrascose[...] le acque espandendosi rapiscano con violenza le loro terre denudando lo scoglio sottostante" decidono concordemente di individuare la linea di confine con la retta congiungente il Termine T21 con il "punto medio tra due scogli posti al di sotto, che racchiudono il corso del primo e secondo ramo



Figura 12 – Carta storica del Ducato di Parma al 1852 - Wikipedia

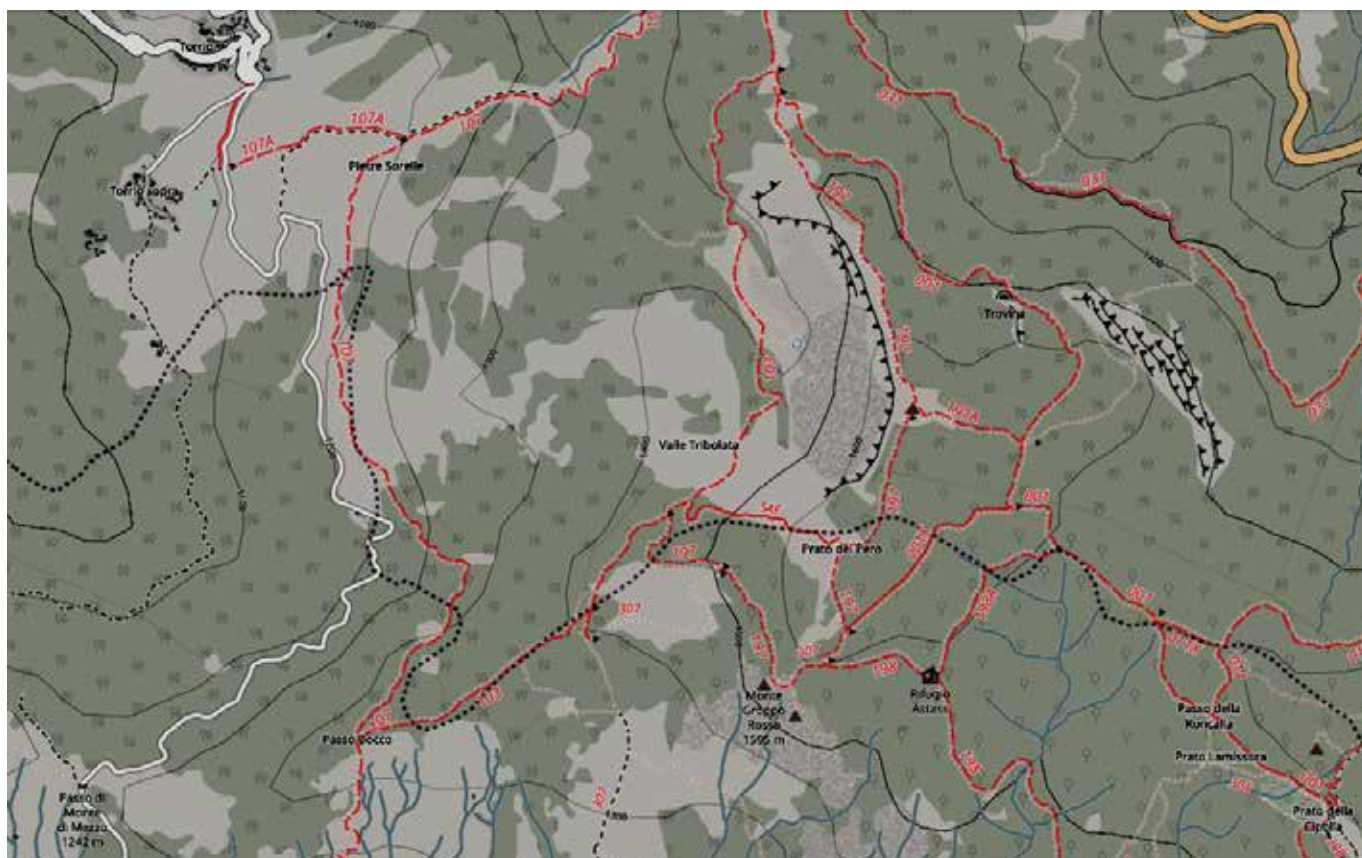


Figura 13 – Carta Passo del Bocco e Pietre Sorelle - Wikipedia



Figura 14 – Rifugio GAEP, ex Dogana - ph E. Guzzoni



Figura 15 – La valle della sorgente della Ciapa Liscia - ph E. Guzzoni

della Fontanazza insieme riuniti superiormente a detti scogli". Questa retta fu misurata sul terreno in 50 metri e 13 centimetri. Il T22 venne localizzato su questa retta a una distanza dal precedente di 15 metri e 63 centimetri.

Per maggior sicurezza "sopra i due scogli più volte nominati, che sono di natura conosciuti sotto il nome di Pudigh, fra i quali scorre il rivo Fontanazza, e che si trovano sui campi di Paolo Masera di Torrio, sonosi scolpiti due cerchi, l'uno orizzontale sullo scoglio minore nello Stato di Parma del diametro di 0^m 23^{etri}, che racchiude la lettera P, l'altro verticale sull'opposto scoglio nello Stato Sardo del diametro di 0^m 28^{etri}, che racchiude la lettera S: la linea che unisce i centri di questi due cerchi trovasi di 3^m 00^{etri} ed è tagliata dall'asse del rivo Fontanazza (confine di Stato) a 0^m 50^{etri} misurati dal centro del cerchio orizzontale verso Parma". Il podestà di Ferriere Francesco Bergonzi e il sindaco di Santo Stefano D'Aveto Ambrogio Cella furono coinvolti quali testimoni nella delimitazione del confine all'interno di questo fazzoletto di terra, per sua natura senza alcun valore.

Con quest'ultima operazione si conclude la "commissione del collocamento de' termini su tutta la linea dividente i due Stati di Parma e Sardegna partendo dalla Foce de' Tre Confini allo sbocco dell'Aveto in Trebbia...". A causa dell'abbandono dei coltivi e dei pascoli, la porzione di territorio ove dovrebbero trovarsi questi ultimi due termini è ora un'impenetrabile boscaglia dove gli spuntori rocciosi, "gli scogli", sono ormai ricoperti da uno spesso manto di muschio. Adesso, in corrispondenza del Rio Fontanazze passa il sentiero 107, una traccia che unisce Santo Stefano D'Aveto con il Passo di Crociglia transitando dalle "Pietre Sorelle"(Figura 13).

La vecchia mulattiera che proveniva dal Passo del Bocco è attualmente in pessime condizioni, ridotta il più delle volte a una traccia non facilmente individuabile in quanto la vicinissima sottostante strada asfaltata per Torrio offre una comoda alternativa. Il Rio Fontanazze, al di là delle difficoltà incontrate dai commissari nell'individuare il luogo ove localizzare i termini di confine, è un rio con letto ben definito e ricco d'acqua che si interseca percorrendo l'antico tracciato. Alle Pietre Sorelle si trovava un'antica dogana [8] che, in considerazione del pessimo stato degli edifici, causato dai frequenti smottamenti del terreno, venne sostituita, con atto dell'11 marzo 1852, da quella di Crociglia, ora trasformata in rifugio dal Gruppo Alpinisti Escursionisti Piacentini-GAEP [9] (Figura 14).

Agli escursionisti che transitano in questi luoghi, non deve sfuggire una visita alla sorgente perenne della Ciapa Liscia e l'attraversamento della vicina Valle Tribolata (Figure 15 e 16). Un itinerario che invita a immergersi in questi particolari e interessanti paesaggi è descritto da Andrea Greci sulla Rivista *Lo Scarpone* del 29 maggio 2024.

Conclusioni

Con questa terza parte si conclude l'ispezione sull'antica linea di confinazione fra il Ducato di Parma, Piacenza e Guastalla e lo Stato Sardo alla ricerca dei superstiti cippi o termini di confine della Serie 1823. Dei 25, considerando i controtermini nei valichi, rimangono i T, T2, T3, T10, T101/2, T11, T13 e T20. Il T18 localizzato al Passo Incisa è stato rimosso dopo il 2011.

Rimane il rimpianto che non si sia voluto preservare e valorizzare con opportuna segnaletica questi "beni architettonici minori", testimonianza di uno storico passato.



Figura 16 – La valle Tribolata - ph E. Guzzoni

Note

1. Nella premessa al trattato si evidenzia come i due governanti intendessero operare in comune accordo per proseguire in una pacifica convivenza a beneficio del bene dei rispettivi sudditi. "I salutarî effetti ottenuti per la conservazione del buon vicinato tra i sudditi di Sua Maestà la Principessa Imperiale, Arciduchessa d'Austria, Duchessa di Parma, Piacenza e Guastalla, e quelli di Sua Maestà il Re di Sardegna, dal Trattato dei confini stipulato il dieci Marzo 1766, che stabilì in un modo definitivo il confine divisorio tra i due Stati dal confluente dell'Aveto nella Trebbia sino al Po, hanno determinato le Maestà Loro a far godere di un simile beneficio quelli altresì, tra i rispettivi loro sudditi posti presso il confine che divide il Ducato di Genova da quello di Parma e di Piacenza, ed a procacciarsi vicendevolmente in tal guisa una nuova guarentigia della continuazione dei vincoli di amicizia, che uniscono così felicemente tra loro i due Augusti Regnanti. Per ottenere un tale scopo, dopo aver dati gli ordini acciò di tutte le vertenze esistenti lungo questa linea di confine, non che dei rispettivi titoli sui quali si fondano le pretese di ambi gli Stati fossero raccolte le opportune notizie, hanno le Loro Maestà divisato di nominare per l'una e per l'altra parte dei Plenipotenziarj, i quali esaminando unitamente quei titoli, non che le reciproche convenienze, conciliassero gli uni e le altre coi vantaggi di una regolare amministrazione, che viemmeglio assicurasse il bene dei rispettivi loro sudditi, oggetto della paterna loro sollecitudine."
2. Il Rifugio di Monte Bue, il più alto degli Appennini liguri, è facilmente raggiungibile da Rocca d'Aveto, frazione di Santo Stefano. Si può raggiungere anche dalla SS 654 della Val Nure, strada che unisce il Passo del Tomarolo a Ferriere transitando dal Passo dello Zovallo, se si percorre il sentiero 821 con inizio a circa 1500 metri dai ruderi dell'ex Dogana del Tomarolo. Il rifugio è stato recuperato e ristrutturato, dopo oltre vent'anni di abbandono e di vandalizzazioni, e riaperto nel dicembre del 2011. Tra il 2008 e il 2010, è stato pure attivato un impianto a fune in due tronconi che parte da Rio Freddo di Rocca D'Aveto e permette l'accesso al comprensorio sciistico Bue-Santo Stefano D'Aveto.
3. Il Monte Nero, 1752 m, forma una dorsale allungata in direzione nord est/sud ovest, costituita da peridotiti, formate per la maggior parte da peridoto, altro nome dell'olivina, e, subordinatamente, da pirosseni. Le peridotiti del Monte Nero, più o meno tutte serpentinite, sono di origine oceanica, derivanti dal raffreddamento di magmi nella parte superiore del mantello terrestre e risalgono almeno al periodo Giurassico, quindi hanno un'età di circa 150 milioni d'anni.
4. La presenza del pino mugo in forma autoctona sul Monte Nero è conseguenza delle glaciazioni che si sono succedute a partire da 1,8 milioni di anni fa. Ma per comprendere appieno la storia recente del Monte Nero conviene partire da circa 20.000 anni fa, in piena glaciazione Würmiana, la più intensa, quella che lasciò su questa parte occidentale dell'Appennino emiliano le tracce più marcate. Questo in concausa anche con l'ulteriore episodio di innalzamento della catena nel corso dell'interglaciale Riss-Würm. Durante le fasi glaciali, i ghiacciai delle Alpi si espansero sino a raggiungere la Pianura Padana e sugli Appennini si formarono alcuni nuovi ghiacciai. Durante questo periodo avvenne una migrazione di piante e animali verso sud, alla ricerca di una più consona condizione ambientale, seguita poi, nella fase post-glaciale, a una reimmigrazione delle medesime specie verso più alte latitudini. Molte specie alpine, che erano state sospinte verso sud, ripararono durante il loro ritorno sulle cime più alte dell'Appennino quando, migliorando il clima, i ghiacciai si ritirarono. E quanto avvenne per il pino mugo rifugiandosi sul Monte Nero che, durante l'episodio dell'ulteriore sollevamento, aveva raggiunto la quota pressappoco corrispondente a quella di oggi. Durante il periodo di un grandioso processo di riscaldamento, avvenuto in tempi relativamente brevi, mentre la temperatura media annua andava aumentando man mano che i ghiacciai si stavano lentamente ritirando sotto l'azione del riscaldamento, il nostro pino mugo rimase isolato. La glaciazione Würmiana non giustifica da sola la persistenza della specie sul Monte Nero, seppur tenace e resistente, capace di vivere in terreni estremamente inospitali. Con la fine della glaciazione e con il cambiare del clima, sull'Appennino si succe-

dettero popolazioni vegetazionali sino a giungere a quella attuale dominata dal faggio che qui si diffuse fin quasi alla vetta, là dove la ventosità, gli sbalzi di temperatura, la natura del terreno, non gli permettevano di crescere oltre lo stadio arbustivo. Il mugo in questo contesto fu relegato ai ghiaioni, alla vetta e al crinale. Poi giunse l'intervento dell'uomo che per il bisogno di pascoli abbassò il limite altitudinale della faggeta ampliando le praterie di vetta e successivamente, per la necessità di legname, trasformò la foresta in bosco ceduo. Questo restituì al mugo possibilità di espansione per l'aumentata quantità di luce e per l'impoverimento del suolo.

5. Il Lago Nero, posto a 1540 m s.l.m., si trova su un gradino di formazione glaciale all'interno del circo che si manifesta a nord della dorsale. Il lago è sbarrato verso valle da una modesta morena trasversale che rappresenta probabilmente l'argine morenico frontale depositato nel corso degli stadi tardivi del ritiro del ghiacciaio.
6. L'abete bianco ebbe sul nostro Appennino la massima diffusione durante l'optimum climatico postglaciale, con clima caldo e umido, con precipitazioni regolari. Il suo lento declino è iniziato a partire da circa 2800 anni fa, con la progressiva sostituzione da parte del faggio e con il querceto misto abbastanza stabilmente presente. Questo dato è ricavato dallo studio paleobotanico del deposito lacustre di Lagdei eseguito con carotaggi nel 1980. Il popolamento di abete bianco del Monte Nero, attualmente legato alla fascia di vegetazione dominata dal faggio, è stato ampiamente utilizzato dai cantieri liguri come legname per costruzioni navali per le sue ottime qualità. Per secoli sono stati prelevati gli elementi migliori e ora rimangono solo quelli tralasciati perché malformati, mutilati o in posizioni scomode da raggiungere. A questa ultima condizione è legata la sopravvivenza dei secolari abeti bianchi della "Tana di Monte Nero". Si tratta di un habitat che, in una superficie abbastanza ridotta e costellata di pozze temporanee, racchiude molti motivi di interesse: oltre agli abeti bianchi vi si trovano il pino mugo, praterie arbustive con ginepro nano e il *Sorbus chamaemespillum*.
7. Per questi due ultimi termini viene specificato nel trattato che essi saranno "controssegnati dal numero d'ordine 21 e 22 dell'adottata forma parallelopipeda, e terminanti superiormente in un segmento cilindrico della saetta di 0^m 08^{cm}, per assicurare i quali e per riconoscerne la posizione in caso venissero smossi sono usate le solite precauzioni di muramento, carbone e testimoni, che si adoperarono per tutti gli altri termini". L'angolo di orientamento al campanile della chiesa di Torrio è di 14° 20', l'altro riportato al termine seguente n° 22 è di 64° 45'.
8. La Dogana delle "Pietre Sorelle" risale al 1820. La notificazione n. 71 del 23 maggio 1828, riportata sulla Raccolta 1820 Semestre I, Tomo I, alla pag. 256, rende nota l'attivazione della Dogana e la contemporanea soppressione di quella di Ferriere. Questa nuova Dogana delle Pietre Sorelle o di Torrio avrà vita breve in quanto verrà abbandonata a causa del movimento franoso in atto da secoli in zona. Torrio, pur essendo in Val D'Aveto, dipende dal Comune di Ferriere di Val Nure, in Provincia di Piacenza e ancor oggi, in era moderna ha difficoltà di collegamento con il capoluogo. Il paese, al centro di una grande conca delimitata dalla Ciapa Liscia, dal Crociglia e dal Monte di Mezzo, per un grande fenomeno franoso probabilmente causato dalla ricchezza di acque risorgive, scivola lentamente verso valle per cui gli abitanti, già due volte, nel 1014 e all'inizio del Settecento, sono stati costretti a spostare le abitazioni. La tradizione vuole che sull'antichissima strada del Crociglia (dallo storico locale Guido Ferretto classificata come strada romana), un tempo esistesse un ospizio retto da suore, poiché le pietre adiacenti sono tuttora chiamate Pietre Sorelle e la rupe che sostiene la spianata sulla quale risiedeva il convento viene

ancora oggi chiamata Rupe delle Monache. Questa leggenda può avere un fondamento di verità poiché in quella zona così appartata e sferzata dalla tormenta a 1500 m di altezza l'esistenza di un ospizio a tutela del viandante sembrerebbe un fatto più che necessario ma è totalmente da escludersi che esso fosse retto da monache. La strada del Crociglia, che transitava da Pietre Sorelle era, insieme alla mulattiera del Tomarolo, una delle due vie su cui far affluire il bestiame diretto a Santo Stefano D'Aveto. Un decreto del dicembre 1814, per ragioni sanitarie, ne vietava il passaggio se non col controllo dei periti veterinari. Al Punto 2 del Decreto è riportato quanto segue: "L'introduzione delle Bestie Bovine provenienti dall'Esterio Stato, e sotto sempre le cautele ordinate dalla Sullodata Commissione Centrale di Sanità, non potrà farsi in questo Comune se non dalle due strade che mettono in questo Paese di Santo Stefano, passando dal Monte Crociglia, o dal Monte Tomarolo".

9. L'edificazione della nuova Dogana richiama alla mente gli iter dei bandi d'assegnazione, le varianti, gli adeguamenti dei costi richiesti in corso d'opera, come accade per una qualsiasi attuale opera pubblica. La consegna del manufatto fu procrastinata per diversi anni a causa di svariati motivi: la scelta del luogo più idoneo, l'individuazione della ditta a cui affidare la realizzazione dei lavori, il reperimento in loco dei materiali compresa la terra con cui fare i mattoni, le sospensioni per l'inclemenza invernale, le numerose riattivazioni della mulattiera, le contestazioni circa la corretta esecuzione dei lavori. Da una valutazione iniziale di spesa prevista in Lire 21.007,56, l'opera al momento del collaudo avvenuto il 10 aprile del 1859 risultò essere costata Lire 50.992,50. La dogana poi, per il precipitare della situazione politica e per l'annessione del Ducato al Regno di Sardegna, perse la sua funzione e non divenne mai operativa.

Bibliografia

- Carta topografica 1:25.000 IGM - Fg 83 I SE; Fg 84 IV SO
- Ugo Losacco - *La glaciazione quaternaria dell'Appennino settentrionale* - Rivista Geografica Italiana Anno LVI, giugno 1949 - La Nuova Italia Editrice
- Angelo De Marchi - *Guida Naturalistica del Parmense* - Ermanno Albertelli Editore, 1980
- Angelo De Marchi, a cura di - *Il Monte Nero* - Collana dell'Assessorato ambiente e difesa del suolo dell'Emilia Romagna, 1984
- G. Vignali, L. Frazzi - *L'abete bianco sull'Appennino parmense*, tratto da Ambiente e Natura, Anno IV, 1988
- Remo Bertoldi - *Lagdei: un museo nascosto*, tratto da Parma Natura, Anno II+ n. 3, 1986
- Dalla Raccolta Generale delle Leggi per gli Stati di Parma Piacenza e Guastalla, Anno: 1821 Semestre I Tomo I - Decreto sovrano e regolamenti riguardanti alle Dogane dei Ducati (Parma 8 Aprile 1821, da pag 180 a pag 247), 1822 Sem I Tomo I, 1822 Sem II Tomo II, pag 103: Notificazione della Presidenza dell'Interno che pubblica il Trattato "canchiuso fra i Plenipotenziari delle LL. MM. l'Arciduchessa di Parma, Piacenza Guastalla, ed il Re di Sardegna intorno ai Confini dei rispettivi due Stati". 1823 Sem I Tomo U, pag 17: Notificazione intorno Confini fra Ducati di Parma Piacenza e Guastalla, ed il Piemonte, la reciproca cessione di alcune terre. 1823 Sem I Tomo U, Pag 114: Risoluzione Sovrana riguardante alla Giurisdizione dei Villaggi di Codorso e Giuncareggio. 1823 Sem II Tomo U, pag 21: Decreto Sovrano che diminuisce la tassa pe' daziati di esportazione che rifanno nelle Dogane di Cisa, Berceto ed altre, sia per Porci da latte, sia per Vitelli che non oltrepassano l'anno. 1824 Sem I Tomo U, Pag 62: Articolo addizionale al trattato del 26 novembre 1822
- <https://gaep.it/images/imagesrifugio/Storia%20Dogana.pdf>
- https://www.valdaveto.net/sezione_Articoli.html

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

Autori e titolo	Bollettino	pagine
• HENRY DE SANTIS - <i>L'antropizzazione del comprensorio toiranesi 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
• ANNA LOSI, MONICA MIARI - <i>Nuove ricerche nella chiesa medievale di Cà Bertacchi di Regnano - Appennino reggiano</i>	ottobre 2024	53-67

CAMBIAMENTI CLIMATICI

Autori e titolo	Bollettino	pagine
• 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
• 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 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
• 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
• 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
• 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
• CLAUDIO SMIRAGLIA, GIANNI MORTARA - <i>Cambiamenti climatici e cambiamenti degli itinerari in alta montagna. Un'introduzione al tema</i>	ottobre 2023	11-27
• 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
• 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
• GIOVANNI MARGHERITINI, GIOVANNA BARBIERI, MARCELLO BORRONE, GUIDO NIGRELLI, LUIGI MAZARI, LUCIANO MASSETTI, PAOLO BONASONI, ANGELA MARINONI - <i>Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente - Report dei primi cinque anni di attività</i>	aprile 2025	11-29

- GIULIANO BONANOMI, ADRIANO STINCA, ALFREDO NICASTRI, DIEGO ERICO, BEATRICE BIGU, IVAN CIANO, FRANCESCA BELLUCCI - *Rilievi botanici, faunistici e inquinamento luminoso - Primi studi presso il Rifugio Cervati - Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente* aprile 2025 39-57
- GIULIANO BONANOMI, MARA GHERARDELLI, SABRINA SPIGNO, MOHAMMED IDBELLA - *Cambiamenti climatici e sport invernali: quale futuro in Appennino?* aprile 2025 69-79
- CLAUDIO SMIRAGLIA, ANTONELLA SENESE, MICHELE DI BIASE, ROBERTO AMBROSINI, ROBERTO SERGIO AZZONI, DANIELE BOCCHIOLA, GIUSEPPE COLA, MASSIMO FAVARON, DAVIDE FUGAZZA, DANIELA MARZANO, STEFANO MOROSINI, LUCA PEDROTTI, GIOVANNI PRANDI, RICCARDO SCOTTI, ANDREA TOFFALETTI, MICHELE ZUCALI, MANUELA PELFINI, GUGLELMINA ADELE DIOLAIUTI - *Sentieri effimeri: gli itinerari glaciologici fra scienza e divulgazione* - DOI: [10.82056/cai.2025.10_01](https://doi.org/10.82056/cai.2025.10_01) ottobre 2025 25-43
- VANESSA BIANCHI - *Variazioni della vegetazione di pascolo nelle Alpi Marittime in un contesto di cambiamento climatico - Un monitoraggio ventennale (2003-2024)* ottobre 2025 45-55
- VANESSA BIANCHI - *Changes in pasture vegetation in the Maritime Alps in a scenario of climate change - A 20-year monitoring (2003-2024)* - DOI: [10.82056/cai.2025.10_02](https://doi.org/10.82056/cai.2025.10_02) ottobre 2025 57-67

Autori e titolo	Bollettino	pagine
• LUCA PELLICOLI - <i>Stambecchi (Capra ibex) sulle Alpi Orobie - Esperienza di Citizen Science nel triennio 2017-2019</i>	aprile 2021	39-49
• MATTIA BRAMBILLA, DAVIDE SRIDEL, PAOLO PEDRINI - <i>Quale futuro per il fringuello alpino Montifrigilla nivalis sulle Alpi italiane?</i>	ottobre 2021	17-23
• 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
• ANTONIO GELATI - <i>Avvelenamento da piombo in fenicotteri rosa (Phoenicopterus roseus) rinvenuti nel Parco Regionale Veneto del Delta del Po</i>	aprile 2023	31-37
• ANTONIO GELATI, MAURIZIO FERRARESI - <i>Radioattività e conservazione dell'Ambiente</i>	ottobre 2023	61-65
• ANTONIO GELATI - <i>Come gli uccelli si proteggono dal freddo - Strategie, adattamenti posturali e anatomici per superare l'inverno</i>	aprile 2024	77-83
• 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 - Rupicapra pyrenaica ornata</i>	aprile 2024	85-97
• FABIO VETTOTRI, ALESSANDRO DE GUELMI - <i>L'anno dell'orso in Trentino</i>	ottobre 2024	11-19
• IVAN BORRONI - <i>La diversità ecologica nelle acque interne. Principali aspetti fisici e biologici</i>	ottobre 2024	31-43
• LUCA PELLICOLI - <i>Conosciamo lo "scalatore" delle Alpi. Il camoscio alpino</i>	ottobre 2024	45-51
• ROBERTO BERTOLANI, FEDERICA FRIGIERI, ROBERTO GUIDETTI - <i>I tardigradi della lettiera di faggio - Primi studi presso il Rifugio Esperia - Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente</i>	aprile 2025	59-67

Autori e titolo	Bollettino	pagine
• MARIA TERESA CASTALDI - <i>Insedimento 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
• FRANCESCO MANTELLI - <i>Le acque in montagna e nelle aree remote - Linee generali per l'utilizzo a scopo potabile - DOI: 10.82056/cai.2025.10_0</i>	ottobre 2025	57-85

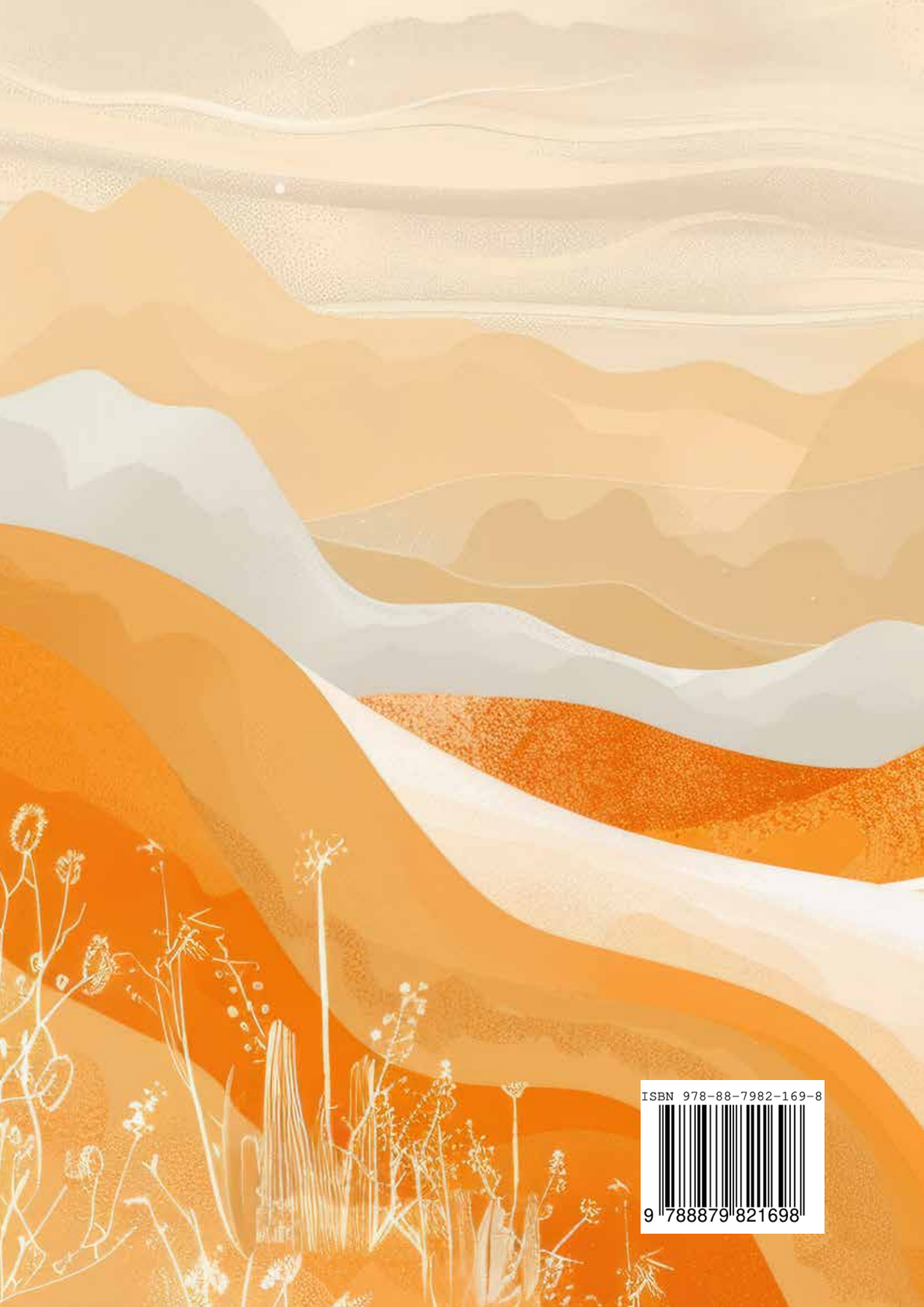
Autori e titolo	Bollettino	pagine
• GIULIANO CERVI - <i>Il paesaggio italiano - Il ruolo del Club Alpino Italiano nell'affermarsi in Italia del concetto di paesaggio, dai primordi dello Stato unitario all'articolo 9 della Costituzione</i>	aprile 2021	67-71
• ENZO GUZZONI - <i>Sentinelle di crinale - 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
• ENZO GUZZONI, VALERIA ORLANDINI - <i>Viaggio lungo il confine fra il Ducato di Parma e lo Stato Sardo. Ricerche di antiche testimonianze (seconda parte)</i>	ottobre 2024	69-79
• MARIA TERESA CASTALDI, MARINA LO CONTE, MASSIMO ERCOLANI, LORIS GARELLI - <i>Censimento e georeferenziazione delle trincee lungo la Linea Gotica nella Vena del Gesso romagnolo</i>	aprile 2025	81-91
• MILENA MERLO PICH, GIULIANO CERVI, FURIO FINOCCHIARO, MARCO PERESANI, RACHELE DISCOSTI, MATTEO DE LORENZI, VINCENZO ABBATE, GABRIELE BORGHETTI, IVAN BORRONI, GIUSEPPE BORZIELLO, GIOIA BOSSI, MARCO CABBAL, MARIA TERESA CASTALDI, SONIA GLERA, MARCO MENICHETTI, ALFREDO NICASTRI, CARLO NATALI, SANDRO TRIPEDI, VALENTINA OLIVERI, SONIA ZANELLA, FRANCESCO RIGA, PAOLO MONTANARO, ALESSIO PICCIOLI, PIERO CARLESÌ - <i>Rifugi Il progetto di Citizen Science del Comitato Scientifico Centrale su aspetti naturalistici, culturali e antropologici di alcune tappe del Sentiero Italia CAI - Primi risultati del progetto pilota e proposte per il futuro</i>	ottobre 2025	11-23
• ENZO GUZZONI, VALERIA ORLANDINI - <i>Viaggio lungo il confine tra il Ducato di Parma e lo Stato Sardo - Ricerca di antiche testimonianze (parte terza)</i>	ottobre 2025	87-97

VEGETAZIONE

Autori e titolo	Bollettino	pagine
• 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
• ANDREA PIOTTI, CAMILLA AVANZI - <i>Alla scoperta delle abetine dell'Appennino Tosco-Emiliano</i>	aprile 2022	21-31
• GIULIANO BONANOMI - <i>Il limite superiore del bosco in Appennino</i>	aprile 2022	33-43
• 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
• FULVIO DUCCI - <i>Gli antichi rifugi glaciali degli alberi forestali nell'Appennino settentrionale</i>	aprile 2023	63-91
• 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
• 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
• GIOVANNA BARBIERI - <i>Linum capitatum subsp. serralatum - Specie di interesse conservazionistico - Monitoraggi presso i Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente</i>	ottobre 2024	21-29
• ERICA MATTA, GUIDO NIGRELLI - <i>Rilievi fenologici presso il Rifugio Gastaldi - Estate 2024 - Rifugi Sentinella del clima e dell'ambiente</i>	aprile 2025	31-37

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
• MARCO BASTOGI - <i>Un inno per il Club Alpino Italiano - Avvenimenti ottocenteschi connessi all'opportunità, per gli alpinisti riuniti a convegno, di potersi distinguere con un proprio tema canoro</i>	aprile 2025	93-103
• MARCO BASTOGI - <i>Gli albori del Club Alpino Italiano e della Società Geologica nell'Italia post unitaria dell'Ottocento</i>	aprile 2025	105-113



ISBN 978-88-7982-169-8



9 788879 821698