

Parte I – Attività della Società

- 5 Rapporto di attività 2018
- 7 Comunicato ai media
La Società ticinese di scienze naturali sostiene il Parco
- 8 163ª Assemblea ordinaria STSN 2018

Parte II – Comunicazioni scientifiche

- 13 F. Lepori: Il risanamento del Lago di Lugano: tendenze pluridecennali dei carichi e delle concentrazioni di fosforo
- 21 B. Koch e A. Python: Monitoraggio faunistico in un sottopasso stradale a Magadino (Cantone Ticino, Svizzera) mediante fototrappola Amphicam
- 29 R. Perego, S. Pera e A. Galgaro: Mappatura tecno-economica per il miglioramento nella gestione di impianti geotermici superficiali a circuito chiuso in Cantone Ticino
- 41 P. Krebs, A. Poli e M. Conedera: I castagni monumentali dell'Alpe di Brusino (Cantone Ticino, Svizzera): indicazioni per chi volesse azzardarne l'età
- 55 B. Marazzi and A De Micheli: Are sterile *Buddleja* cultivars really sterile and "environmentally safe"?
- 61 M. Mattei-Roesli: I chiropteri quali indicatori biologici per misurare gli effetti di interventi di valorizzazione forestale in lariceti pascolati
- 67 M. Moretti, R. Wild e B. Huber: Coleotteri xilobionti dei vecchi castagni da frutto della selva del Mont Grand, Soazza/GR, Svizzera

Parte III – Notizie

- 79 M. Gaia ed E. Altoni: Bilancio meteorologico dell'anno 2018
- 83 C. Scapozza: Esempi di corrispondenze della suddivisione formale della Serie/Epoca dell'Olocene nella Svizzera italiana

Parte IV – Contributi speciali

- 91 R. Peduzzi: Università "extra muros" di Ginevra, le realizzazioni in Ticino: Centro Biologia Alpina di Piora, Centro Nazionale Referenza Legionella e Laboratorio Ecologia Microbica
- 101 F. Bianchi-Demicheli, N. Oppizzi e L. Tantardini: La Grotta dell'Araba Fenice, Val Breggia, Monte Generoso
- 111 Uomini secolari – Un ricordo di Graziano Papa

Foto in copertina: Temporale notturno nella zona del Monte Tamaro, visto da Orselina nel maggio 2017, in primo piano il santuario della Madonna del Sasso, che sovrasta la città di Locarno (foto: scattata da Curtis James con una Nikon D7000).
I temporali estivi sono una caratteristica tipica del clima del Ticino, che è la regione svizzera di pianura con maggiore densità di scariche elettriche.

Stampa: Tipografia Stazione SA, CH-6600 Locarno



Bollettino della Società ticinese di scienze naturali

2019





Bollettino della

**SOCIETÀ TICINESE
DI SCIENZE
NATURALI**

SOCIETÀ TICINESE DI SCIENZE NATURALI

Fondata nel 1903

Affiliata all'Accademia svizzera di scienze naturali

Scopo della Società

Promuovere e divulgare nella Svizzera italiana le scienze naturali e in particolar modo lo studio degli aspetti scientifici del versante sudalpino.

Comitato da maggio 2018

Presidente	Manuela Varini
Vicepresidente	Mauro Tonolla
Segretaria	Gilda Giudici
Cassiera	Gisella Novi
Delegato alla piattaforma NWR della SCNAT (Comitato)	Marco Moretti

Webmaster	Marco Cagnotti
Archivista	Filippo Rampazzi
Redattore	Marco Moretti
Membri	Marco Gaia Mauro Jermini Giovanni Pellegrini Alberto Piatti Cristian Scapozza Silvio Seno

<i>Commissione redazione</i>	Marco Moretti Mauro Jermini Filippo Schenker
------------------------------	--

<i>Commissione divulgazione</i>	Giovanni Pellegrini Marco Cagnotti Alberto Piatti Cristian Scapozza Silvio Seno
---------------------------------	---

Revisori	Cecilia Antognoli Silvana Soldini
-----------------	--------------------------------------

Delegati alla Commissione scientifica del Parco Botanico delle Isole di Brissago	Luca Bacciarini Pietro Romerio
---	-----------------------------------

Soci

I soci sono ammessi per decisione a maggioranza dell'Assemblea. La quota annuale è di fr. 40.- per gli adulti e di fr. 20.- per i giovani fino ai 25 anni. Ogni socio riceve gratuitamente le pubblicazioni della Società.

Pubblicazioni

La Società pubblica annualmente il Bollettino e, senza scadenza regolare e in collaborazione con il Museo cantonale di storia naturale, le Memorie a carattere monografico.

La riproduzione di articoli o parti di essi è permessa solo con la citazione della fonte.

Bollettino della Società ticinese di scienze naturali:

⇒ ISSN 0379-1254

Memorie della Società ticinese di scienze naturali e del Museo cantonale di storia naturale:

⇒ ISSN 1421-5586

Contributi per le pubblicazioni

Di regola la pubblicazione di articoli è riservata ai soci. I manoscritti devono essere inviati al redattore, rispettando le direttive per gli autori pubblicate nel sito della Società.

Indirizzo della redazione

Società ticinese di scienze naturali (STSN)

c/o Museo cantonale di storia naturale

Viale C. Cattaneo 4, cp 5487, CH-6901 Lugano

e-mail: info@stsn.ch

Sede e indirizzo della Società

Società ticinese di scienze naturali (STSN)

c/o Museo cantonale di storia naturale

Viale C. Cattaneo 4, cp 5487, CH-6901 Lugano

Tel. +41 91 815 47 61 - Fax +41 91 815 47 69

web: www.stsn.ch

e-mail: info@stsn.ch

Stampa del Bollettino

Tipografia Stazione SA, CH-6600 Locarno

SCNAT: Accademia svizzera di scienze naturali

NWR: Naturwissenschaften und Region

PARTE I

Attività della Società

La 163^a **Assemblea generale** della Società ticinese di scienze naturali si è tenuta il 26 aprile 2018 presso la sala multiuso delle Scuole elementari di Ascona, seguita da una **serata pubblica**, in collaborazione con il Progetto di Parco Nazionale del Locarnese (PNL), in cui, dopo i saluti del Comune di Ascona e della Direttrice del progetto di PNL Samantha Bourgoïn, si sono passati in rassegna diversi aspetti scientifici e possibili vantaggi e sinergie tra istituti ed enti scientifici già attivi sul territorio, che la creazione del PNL avrebbe potuto sostenere ulteriormente. Sono intervenuti durante la serata Luca Bacciarini, presidente della Commissione scientifica del Parco botanico delle Isole di Brissago; Filippo Rampazzi, Direttore del Museo cantonale di storia naturale; Silvio Seno, Direttore dell'Istituto delle scienze della Terra SUPSI; e Pippo Gianoni, responsabile scientifico del PNL. È seguita una discussione con il pubblico moderata da Manuela Varini.

Presenza di posizione

Si è comunicata l'intenzione di presentare una presa di posizione a favore del PNL (in seguito pubblicata e riportata integralmente nel *Bollettino della STSN* del 2018).

Divulgazione

Il tema delle attività della STSN nel 2018 è stata **la Riproduzione**. Si è quindi organizzato un *ciclo di conferenze* sul tema in collaborazione con L'Ideatorio, come pure delle *proposte alla scoperta della scienza sul territorio* (conferenze ed escursioni) e delle *proposte per i più piccoli*.

Escursioni

Si sono svolte le seguenti escursioni: *Riproduzione delle piante – i fiori delle Isole* (5.5.2018), giornata esplorativa alle Isole di Brissago, guidata dalla botanica e ricercatrice Brigitte Marazzi, organizzata in collaborazione con la Società Botanica Ticinese (SBT). *Parate nuziali del fagiano di monte* (19.5.2018) nella zona di Acquacalda, con il biologo Christian Bernasconi, in collaborazione con il Centro Pro Natura Lucomagno; le prime due date pianificate sono state annullate a causa delle condizioni ambientali. *Alla scoperta del Progetto del Parco Nazionale del Locarnese*, escursione di due giorni organizzate in collaborazione con La Murithienne (Società di scienze naturali del Vallese), con una visita guidata al Parco botanico delle Isole di Brissago con la biologa Francesca Palli e con l'esperto di botanica Luca Bacciarini (7.7.2018) e con una gita lungo la Via delle Vose tra Loco e Intragna con la guida Stefan Früh (8.7.2018). L'escursione di due giorni *Greina mon amour – i segreti svelati dall'altipiano delle meraviglie* è stata annullata a causa delle previsioni meteorologiche. In alternativa, è stata organizzata una gita di un giorno in *Val Scaradra* con il geografo e geomorfologo Cristian Scapozza (22.7.2018). *Il bramito del re*, escursioni per l'osservazione dei cervi nel periodo degli amori nella zona di Acquacalda, in collaborazione con il Centro Pro Natura Lucomagno, guidate da

Christian Bernasconi e dalla biologa Carlotta Simona (23 e 30.9.2018); la terza gita prevista (7.10.2018), annullata a causa di previsioni meteo sbagliate, è stata poi effettuata da un piccolo gruppo con Manuela Varini. *Riproduzione delle piante – i frutti*, gita botanica con la fitoterapista Antonella Borsari tra il Delta del fiume Maggia e le Terre di Pedemonte (29.9.2018).

Ciclo di conferenze Ah, l'amore! Riproduciamoci

Ciclo di conferenze organizzate in collaborazione con L'Ideatorio, in cui si è cercato di rispondere, o almeno di far discutere, su alcune domande fondamentali legate alla riproduzione e all'amore in natura e tra gli esseri umani. Si sono svolte nell'autunno 2018 presso l'Auditorio dell'Università della Svizzera italiana a Lugano. La prima conferenza, dal titolo *Riproduciamoci! Dall'animale agli umani* è stata tenuta dalla biologa Claudia Bordese e dall'antropologa Sara Hejazi (2.10.2018). In seguito, vi è stata la conferenza *Mamma, papà? Cos'è l'amore?* con la psicopedagogista Barbara Tamborini e il psicoterapeuta Alberto Pellai (22.10.2018). Si è poi parlato delle differenze di genere con la conferenza *Uomini e donne splendidamente diversi* con la neuropsicologa Daniela Oviada e il medico Francesco Bianchi-Demicheli (6.11.2018). L'ultima conferenza, dal titolo ironico *L'uomo è inutile?* ha trattato il tema dell'identità maschile con la filosofa Francesca Rigotti e il filosofo evoluzionista Telmo Pievani (29.11.2018). Il ciclo di conferenze ha ottenuto un'ottima partecipazione con un pubblico dalle 150 alle 250 persone per serata. Le presentazioni sono state filmate e sono visionabili on-line.

Altre serate pubbliche

Quando le acque travolsero il Ticino - Le alluvioni del 1868 e la protezione contro le piene tra passato e presente, serata pubblica commemorativa a 150 anni di distanza dalle devastanti alluvioni del 1868, organizzata ad Acquarossa dall'Associazione "Ul Murin da Curzönas" in collaborazione con il Museo storico etnografico della Valle di Blenio, l'Archivio storico comunale di Biasca e la STSN, con l'intervento dei seguenti relatori: Stefano Bolla, Cristian Scapozza, Mark Bertogliati, Luca Panzera e Carlo Scapozza (28.10.2018).

La Greina – Firögn scientifica, Storie e racconti accanto alla stufa dedicati all'altipiano della Greina, serata dedicata alla lettura di leggende, racconti di alpinisti e di diari di naturalisti con Cristian Scapozza, al Centro Pro Natura Lucomagno (6.10.2018).

Proposte per i più piccoli

Non sono mancate le attività per i giovani, infatti, in estate, sono state organizzate delle vacanze scientifiche diurne dal Museo cantonale di storia naturale (MCSN) in collaborazione con la STSN. Inoltre, in collaborazione con L'Ideatorio, l'Università della Svizzera Italiana e la città di Lugano, è stata organizzata la proposta *Scoprire la scienza in vacanza*, vacanze scientifiche residenziali

che hanno permesso a una quarantina di bambini delle elementari di incontrare la scienza.

Quest'anno, l'Accademia svizzera di scienze naturali ha poi organizzato l'usuale settimana di studio per studenti liceali provenienti da tutta la Svizzera a Cadagno, in Val Piora in collaborazione con il Centro di Biologia Alpina (CBA) e con la STSN. Gli studenti hanno potuto studiare il fenomeno della meromissi crenogenica del famoso laghetto e altri aspetti legati alla biologia e all'ecologia alpina.

Esposizioni

La STSN ha poi sostenuto le seguenti esposizioni:

No limits! I campioni d'alta quota, mostra del MCSN sugli adattamenti dei viventi alle difficili condizioni degli ambienti d'alta montagna, che è ora esposta ad Airolo.

Sguardi sulla biodiversità, progetto di Capriasca Ambiente in collaborazione con gli allievi della Scuola Media di Tesserete e diversi partner, il cui scopo è quello di risvegliare nei giovani una maggiore consapevolezza della natura e della biodiversità 'fuori dalla porta di casa'. Mostra che nel 2018 è stata ospitata dalla Scuola Elementare di Cadro, dove gli allievi hanno svolto diverse attività didattiche nella natura anche con il supporto del MCSN. In particolare, la mostra è stata lo spunto per lo svolgimento di un percorso didattico approfondito di scoperta dell'ambiente per una classe di IVa elementare. Questo ha portato all'ideazione della mostra *La biodiversità raccontata dai francobolli* dell'Istituto scolastico di Lugano con il MCSN. Entrambe le mostre sono state esposte al Dipartimento Formazione e Apprendimento della SUPSI a Locarno da settembre 2018 a maggio 2019.

Erbe di qui, spezie del mondo, mostra realizzata dal MCSN e ora esposta al Museo del Dazio Grande, incentrata sul commercio delle spezie.

Sostegno al progetto *Sale in zucca!*

Nel 2017, la STSN e l'Accademia svizzera di scienze naturali hanno dato sostegno all'iniziativa di orto didattico e attività di divulgazione *Sale in zucca!* del Liceo

cantonale e della Scuola Speciale del Liceo di Lugano 1 e dei partner coinvolti: Lugano al Verde, MCSN, L'alberoteca, ProSpecieRara, SlowFood, Le zucche della Valle del Sole e Capriasca Ambiente. Il progetto, che si è snodato su più livelli e che ha interessato un largo pubblico, è continuato nel 2018. Grazie al MCSN diverse classi di Scuola dell'infanzia, di Scuola elementare, di Scuola Speciale e di Scuola Media hanno svolto attività didattiche in tema con visite all'orto. Dall'autunno, collaborano al progetto anche la Scuola Media e la Scuola Speciale delle Medie di Lugano 1.

Interviste

Alcuni membri di comitato hanno svolto interviste a nome della STSN per la RSI.

Pubblicazioni

Il 2018 ha visto la pubblicazione del 106° *Bollettino della STSN*, che si conferma l'unica pubblicazione di questo genere in lingua italiana in tutta la Svizzera. Redazione e impaginazione sono state condotte e seguite dal gruppo redazionale composto da Mauro Jermini, Marco Moretti e Filippo Schenker. Inoltre, la pubblicazione *La diversità dei vigneti della Svizzera italiana: stato attuale e prospettive*, edita dai biologi Valeria Trivellone e Marco Moretti e pubblicata nel 2017 nella collana Memorie della STSN e del MCSN, si è aggiudicata la Menzione Speciale nella categoria Monografie e studi specialistici nell'ambito dell'edizione 2018 del concorso internazionale indetto dall'Organizzazione internazionale della vigna e del vino a Parigi.

Un caloroso ringraziamento va a tutti i soci per il costante e prezioso sostegno e a tutto il Comitato della STSN. Si ringraziano inoltre tutte le persone che hanno contribuito alla buona riuscita delle attività e alla realizzazione delle Memorie e del Bollettino e tutti coloro che lavorano costantemente per curare i rapporti con l'Accademia svizzera di scienze naturali e con le altre società di scienze naturali regionali, cercando di dare la giusta visibilità alla STSN anche sul piano nazionale.

A nome del comitato STSN
Manuela Varini, presidente

La Società ticinese di scienze naturali sostiene il Parco

Giovedì 26 aprile si è tenuta ad Ascona la 163esima assemblea ordinaria della STSN, la Società ticinese di scienze naturali. Il comitato della STSN, organizzando l'assemblea in uno degli 8 Comuni del Parco Nazionale del Locarnese (PNL) ha voluto evidenziare i vantaggi che un futuro parco nazionale potrebbe portare al Locarnese e a tutto il Ticino nell'ambito della divulgazione, dell'educazione ambientale e della ricerca scientifica.

La STSN è una sezione dell'Accademia svizzera di Scienze naturali (SCNAT) che riunisce ricercatori e appassionati delle diverse discipline scientifiche. Il comitato della STSN, il cui statuto prevede la promozione e la divulgazione delle scienze naturali, reputa la creazione di un parco nazionale uno strumento importante per uno sviluppo territoriale ed economico sostenibile, come ha già avuto modo di esporre con la presa di posizione a favore del Parc Adula nel 2016.

Considerato che il progetto del PNL, quale parco di importanza nazionale, ha tra i suoi obiettivi il libero sviluppo e la conservazione della natura, la ricerca scientifica e la valorizzazione del paesaggio, si è ritenuto opportuno ribadire nuovamente l'appoggio al progetto. Nuovamente, in quanto già lo scorso anno, in occasione dell'assemblea ordinaria e della serata pubblica organizzata in collaborazione con il PNL, erano stati evidenziati i vantaggi che la creazione di un nuovo parco nazionale comporterebbe in relazione alle tematiche menzionate. In quest'ultima circostanza si è invece tenuta la conferenza dal titolo "Apriamo lo scrigno: quali occasioni si celano nell'area del progetto di Parco Nazionale del Locarnese?" con interessanti interventi di Filippo Rampazzi, Direttore del Museo cantonale di storia naturale, Luca Bacciarini, Presidente della Commissione scientifica del Parco botanico delle Isole di Brissago, Silvio Seno, Direttore dell'Istituto scienze della Terra, SUPSI e Pippo Gianoni, responsabile scientifico del Candidato Parco Nazionale del Locarnese.

È stata l'occasione per dibattere sull'importante ruolo della ricerca scientifica nel futuro Parco Nazionale e sulle opportunità che questo aspetto riveste per la nostra regione, per il miglioramento delle conoscenze, per le relazioni con gli enti di ricerca nazionali e internazionali, per le importanti ricadute a livello socio-economico, per le nuove opportunità di impiego dei giovani ricercatori, nonché per i fondi che sarebbero erogati dalla Confederazione. Il ruolo di un futuro Parco permetterebbe altresì di coordinare in maniera efficace e duratura la "filiera della ricerca", divulgando anche presso il vasto pubblico le conoscenze acquisite dalle indagini di terreno, accrescendo la fruizione e la presa di coscienza del valore del paesaggio naturale e culturale, promuovendo l'educazione ambientale e l'e-



Scorcio sulla foresta di larici e abeti della Val Lavadina ai piedi dell'Alpe Salei in Val Onsernone (foto: Filippo Rampazzi).

coturismo, così come le molte forme di interventi a favore della valorizzazione del territorio.

La conferenza è stata anche l'occasione per presentare ai molti presenti i primi risultati delle ricerche sulla biodiversità nei nostri boschi, promosse dagli specialisti del Museo cantonale di storia naturale con il sostegno del progetto di Parco. Risultati molto interessanti con il ritrovamento di specie nuove per la Scienza e per la Svizzera, ma anche di specie che sembravano essere scomparse dal Ticino. Una enorme ricchezza che è stata in parte presentata alla popolazione anche durante le "Giornate della biodiversità" che si sono tenute lo scorso fine settimana nella zona di Losone-Arcegnò. Inoltre, per le Isole di Brissago, la creazione del PNL permetterebbe un aumento di visibilità come pure l'accesso a maggiori finanziamenti per la ricerca svolta nel giardino botanico stesso.

Non da ultimo, il Parco rappresenterebbe un potenziale laboratorio naturale per le geoscienze, grazie anche alla possibilità di monitorare e studiare l'evoluzione di fenomeni poco influenzati da interventi umani. Sarebbe inoltre occasione per valorizzare il patrimonio geologico e naturale, che è davvero notevole, e per diffondere il rispetto per l'ambiente, la cura per il territorio così come la consapevolezza dei rischi cui siamo esposti. Farebbe di tutto ciò occasione per promuovere un turismo culturale, sensibile ai valori ambientali, diffuso su tutto il territorio.

Per tutte queste ragioni, il comitato della Società ticinese di scienze naturali conferma nuovamente il pieno sostegno al progetto di Parco Nazionale del Locarnese.

Il Comitato della STSN

1. maggio 2018

163^a Assemblea ordinaria STSN 2018

Verbale dell'Assemblea svolta presso la Sala del Consiglio comunale di Ascona il giovedì 26 aprile 2018

Scusati

Antonietti Aldo, Bernasconi Christian, Bomio-Pacciorini Nicola, Gaia Marco, Maspoli Guido, Moretti Marco, Palli Francesca, Peduzzi Raffaele, Peduzzi Sandro, Piatti Alberto, Scapozza Cristian, Spinelli Alberto, Spinelli Cristina, Ticozzi Giancarlo.

Parte amministrativa

La presidente Manuela Varini dà il benvenuto ai presenti, scusa gli assenti e ricorda l'appoggio della Società al progetto del Progetto Parco Nazionale del Locarnese (PNL). Informa poi che la STSN uscirà con una presa di posizione di sostegno a riguardo. Viene nominato lo scrutatore, Silvio Seno. Manuela Varini passa in rassegna i punti all'ordine del giorno. Il verbale della 162^a Assemblea ordinaria STSN, per cui l'esonero della lettura è richiesto, è accettato.

Relazione presidenziale

Alla presenza di ventidue soci Manuela Varini rievoca che nel 2017 erano ancora visitabili mostre che la Società ha sostenuto in passato: *X-Nature – Il tempo della Terra, il tempo dell'uomo*, realizzata dal Museo cantonale di storia naturale in collaborazione con la SUPSI; *No limits! I campioni dell'altitudine* della Fondazione Centro Biologia Alpina ad Airolo; *Erbe qui, specie del mondo* attualmente proposta presso il Dazio Grande e *Sguardi sulla biodiversità*, di Capriasca Ambiente. Ricorda che lo scopo di quest'ultima è quello di avvicinare bambini, giovani e adulti alla biodiversità come pure quello di stimolare i docenti a svolgere maggiori attività sulla scoperta della natura con gli allievi. Informa che, dalla sua creazione, la mostra è stata esposta in diverse scuole (tre licei, due scuole medie e due scuole elementari) e che verrà proposta al DFA a Locarno il prossimo anno scolastico.

Ricorda poi che sempre nel 2017 la Società ha sostenuto il progetto *Sale in zucca!*, che ha permesso la realizzazione di un orto didattico presso il Liceo di Lugano 1 e diverse attività collaterali. Varini informa che il progetto è stato molto apprezzato, che ha ricevuto dei riconoscimenti e che, presso il Parco del Tassino a Lugano, verrà realizzato il *Giardino delle zucche* della Città di Lugano con l'Alberoteca e in collaborazione con il liceo. Lo scopo del progetto è quello di promuovere la biodiversità in città, la sostenibilità alimentare, l'agricoltura biologica e di incentivare la diminuzione della propria impronta ecologica.

Informa infine che nel 2017 è stato sostenuto anche il Congresso di Botanica Sudalpina proposto dalla Società Botanica Ticinese (SBT) e che ci si augura che la SBT continui a organizzare questo genere di eventi anche in futuro.

Varini, in assenza di domande da parte dei presenti, passa la parola a Gisella Novi per il rapporto dei conti.

Rapporto della cassiera e dei revisori con approvazione dei conti

Il conto economico 2017 dettagliato, presentato dalla cassiera Gisella Novi, chiude con una maggiore entrata di Fr. 26'814.90 (costi Fr. 54'763.96, ricavi Fr. 81'578.86), a bilancio risultano Fr. 127'187.45 (attivi e passivi a pareggio, fatture in sospeso comprese).

Novi dettaglia poi la situazione in merito alle fatture in sospeso e fornisce chiarimenti in merito ai conti e ai ricavi.

Un socio presente domanda chiarimenti in merito alla voce "spese di gestione delle quote sociali", per cui si chiede come mai il valore che figura sia così elevato (ca. 2'000.-) rispetto ai ricavi delle quote sociali (ca. 20'000.-). Varini spiega che l'ammontare non corrisponde solo a quel tipo di gestione, ma più in generale anche ad altre attività amministrative, ad esempio le spedizioni, prese a carico da *inclusione handicap ticino*. Il socio propone di inserire la nota nella voce, per evitare fraintendimenti. Una seconda persona presente chiede invece chiarimenti riguardo al sostegno al Bollettino da parte del DECS. Mauro Tonolla informa che in questo caso la Società non ha avuto bisogno del sostegno del DECS, in quanto è riuscita a sostenersi finanziariamente anche grazie ai contributi della SCNAT. Cecilia Antognoli interviene, in qualità di ex-cassiera, specificando che il DECS sostiene finanziariamente solo se nel bilancio dei conti figura una perdita; perdita che non si è verificata negli scorsi anni.

L'Assemblea approva i conti all'unanimità e il rapporto dei revisori Cecilia Antognoli e Silvana Soldini, letto da quest'ultima.

Avvicendamenti in seno al comitato della STSN

Non ci sono avvicendamenti in seno al comitato, Varini conferma il ruolo dei membri di comitato attuali.

Rapporto della Commissione divulgazione (2017/2018)

Programma 2017

Silvio Seno dà il benvenuto ai presenti e informa che nel 2017 la Commissione divulgazione ha organizzato otto conferenze, quattro escursioni, una visita e le abituali vacanze scientifiche per i giovani.

Informa che il programma del 2017 è stato incentrato sulla tematica del tempo, attorno a cui è stato proposto un ciclo di conferenze con cinque incontri, gratuiti e aperti a tutti: il 19 gennaio Paolo Attivissimo e Andrea Cantoni hanno presentato *Il tempo nella tecnologia*; il 13 febbraio è stata proposta la conferenza *Il tempo nelle cellule* con Andrea Alimonti; il 6 di marzo Telmo Pievani ha parlato di *Il tempo nell'umanità*, il 16 marzo Arnaldo Benini ha presentato *Il tempo nel cervello*; infine il 27 marzo Roberto Trotta ha proposto *Il tempo nell'universo*. Gli appuntamenti hanno riscontrato molto successo: a ogni serata hanno partecipato dalle 200 alle 300 persone.

Seno illustra poi le altre conferenze proposte. Il 7 marzo 2017 ha avuto luogo, presso la sezione ticinese di Agroscope, la conferenza *Epidemia di cinipide del castagno al Sud delle Alpi*; in seguito all'Assemblea del 4 maggio è stata proposta una serata sul progetto PNL e infine il 28 novembre si è tenuta la presentazione delle Memorie Biodivine 2017, sulla biodiversità dei vigneti, presso il Museo cantonale di storia naturale.

Per quanto riguarda le escursioni, sempre attorno alla tematica del *tempo* il 30 settembre si è svolta l'escursione *A spasso nel tempo* con Cristian Scapozza. Sono poi state proposte diverse uscite a carattere botanico e geologico: la visita *La botanica a spasso con la storia* guidata da Antonella Borsari si è svolta nella bassa Valle di Blenio il 29 aprile; *Alla scoperta di un mondo nascosto* in Val Piora si è tenuta il 1° luglio; *Flora ferroviaria di Chiasso* con Nicola Schönenberger ha avuto luogo il 2 settembre e infine il 7 ottobre si è tenuta la gita *Nel cuore delle Alpi* con Filippo Schenker e Athos Simonetti, in collaborazione con la Società Mineralogica Ticinese. La visita *L'importanza delle api* ha invece avuto luogo l'8 ottobre. Le vacanze scientifiche estive proposte da L'ideatorio dell'Università della Svizzera italiana e dal Museo cantonale di storia naturale in collaborazione con l'Istituto scolastico della Città di Lugano e con la STSN, hanno come di consuetudine avuto luogo durante il periodo estivo.

Programma 2018

Seno informa i presenti che per l'anno 2018 la Commissione divulgazione ha organizzato un programma incentrato sulla tematica dell'amore, intitolato "Riproduciamoci!". Attorno a questo tema in autunno 2018 verranno proposti il ciclo di conferenze "Ah, l'amore!" in collaborazione con L'ideatorio dell'Università della Svizzera italiana e delle escursioni sul territorio che inviteranno a scoprire "l'amore in natura".

Seno illustra poi le prossime attività previste per il 2018, iniziando da un corso e quattro escursioni: il corso *Riproduzione delle piante* tenuto da Brigitte Marazzi avrà luogo il 5 maggio 2018 alle Isole di Brissago; la gita *Parate nuziali del fagiano di monte* con Niklaus Zbinden si terrà il 13 maggio in Valle di Blenio (Varini precisa che la conferenza del 5 maggio e la gita del 6 di maggio sono state annullate a causa delle condizioni ambientali e che non si sa ancora se verranno riproposte in altri momenti); il 21-22 giugno seguirà l'escursione *Greina mon amour* con Cristian Scapozza e Christian Bernasconi; la gita *Bramito dei cervi* si terrà il 23 e il 30 settembre e l'escursione *Riproduzione delle piante*, con Antonella Borsari, avrà luogo il 29 settembre nelle Terre di Pedemonte.

Il 7-8 luglio avrà poi luogo l'escursione *Alla scoperta del progetto PNL* alle Isole di Brissago e in Valle Onsernone, in collaborazione con La Maurithienne (Società di scienze naturali del Vallese) e il PNL.

Seno comunica che il programma del 2018 si apre con la conferenza a sostegno del Parco nazionale del locarnese *Apriamo lo scrigno: quali occasioni si celano nell'area del progetto di PNL?*, a seguito dell'Assemblea.

Segnala inoltre che non mancheranno altre proposte e attività estive per giovani. In estate si terranno la *Sum-*

mer School 2018 della SCNAT (a cui potranno iscriversi al massimo 18 ragazzi in età liceale e per cui Tonolla fornisce alcuni dettagli) e le vacanze scientifiche e colonie diurne per i bambini organizzate da L'ideatorio USI e dal Museo cantonale di storia naturale durante il periodo estivo.

Filippo Rampazzi informa infine che il 28-29 aprile 2018 si terranno le *Giornate della biodiversità* a Losone-Arcegno, organizzate dal Museo cantonale di storia naturale con il PNL, e sostenute dalla STSN, per avvicinare le persone alla natura che sta fuori dalla porta di casa.

Publicazioni 2017 – Bollettino e Memorie

Mauro Jermini ricorda che il lavoro legato al Bollettino è svolto dal gruppo redazionale composto da Marco Moretti (coordinatore), da Filippo Schenker (esterno al comitato) e da lui medesimo.

Jermini fornisce alcuni dettagli in merito al Bollettino (volume 105): 516 sono state le copie emesse, di cui 427 recapitate a soci residenti in Svizzera. Riguardo al contenuto, 5 articoli corrispondono ad attività della Società, 7 sono contributi scientifici, 7 sono notizie e 4 sono contributi speciali. Ricorda che nel 2017 il Bollettino è stato pubblicato e spedito in anticipo rispetto al solito, durante il mese di luglio. Informa poi i presenti riguardo allo stato del Bollettino nr. 106 del 2018, che avrà diversi contributi. Segnala che verranno pubblicati gli abstract delle ricerche presentate dai relatori del Congresso di Botanica Sudalpina. Ricorda inoltre alle persone presenti che ogni contributo per il Bollettino è benvenuto.

Per quanto riguarda le Memorie, Jermini comunica che nel 2017 è stato pubblicato il volume "Diversità dei vigneti della Svizzera italiana: stato attuale e prospettive", progetto nato come tesi di dottorato di Valeria Trivellone, poi trasformato in uno strumento di lavoro per viticoltori ticinesi con numerosi aspetti sociali, storici e paesaggistici. Cita e ringrazia infine gli sponsor coinvolti.

Ammissioni di nuovi soci e dimissioni

Tra il 4 maggio 2017 e il 25 maggio 2018 sono state 22 le nuove richieste di adesione e 14 i soci dimissionari, deceduti o estromessi per mancato pagamento della quota sociale. Varini comunica che il numero di soci raggiunge così la quota di 444 (436 svizzeri, 8 esteri).

Nuovi soci

Madonna Aldo, Cueni Michael, Dedini Alfio, Bellosi Bruno, Ghielmi Giacomo, Pezzatti Gianni Boris, Donati Giulia, Jermini-Gianinazzi Ilaria, Jermini Luca, Pidò Kevin, Pique Francesca, De Gottardi Luca, Hoballah Mari Elena, Mangili Sofia, Togni Valentina, Rapelli Michael, Sacchi Lia, Rapelli Michel, Varallo Jasmine, Wylezol Halina, Schoenenberger Joanna, Hefti Francesco.

Eventuali

Non ci sono eventuali.

A nome del comitato STSN
Gilda Giudici

PARTE II

Comunicazioni scientifiche

Il risanamento del Lago di Lugano: tendenze pluridecennali dei carichi e delle concentrazioni di fosforo

Fabio Lepori

Istituto scienze della Terra, Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana (SUPSI), Campus Trevano,
Via Trevano, CH-6952 Canobbio

fabio.lepori@supsi.ch

Riassunto: Questo studio esamina l'evoluzione temporale dei carichi e delle concentrazioni di fosforo relative al Lago di Lugano durante oltre quattro decenni (1984-2017) dalla messa in atto di un piano di risanamento delle acque. Secondo i risultati, il piano ha avuto effetti incisivi, riducendo i carichi esterni e le concentrazioni a lago di fosforo di approssimativamente tre volte. Grazie a questa riduzione, le concentrazioni di fosforo a lago si stanno avvicinando (bacino sud) o hanno raggiunto (bacino nord) valori conformi agli obiettivi di risanamento. Alla riduzione del carico esterno si è parzialmente contrapposto lo sviluppo di un carico interno, la cui evoluzione è stata però diversa tra i due principali bacini del lago (nord e sud). Nel bacino nord, meromittico, il carico interno è risalito nel mixolimnio principalmente durante un picco circoscritto, culminato nel 2005. Nel bacino sud, olomittico, il carico interno è decresciuto gradualmente nel tempo, nonostante negli ultimi anni abbia mostrato un'inattesa tendenza al rialzo, a cui ha probabilmente contribuito il riscaldamento del clima. L'evoluzione delle concentrazioni continuerà a dipendere, in parte, dal corso del carico interno, i cui fattori determinanti richiederanno ulteriori approfondimenti.

Parole chiave: eutrofizzazione, laghi svizzeri, modelli previsionali

The restoration of Lake Lugano (Switzerland and Italy): trends in phosphorus loadings and in-lake concentrations

Abstract: This study assesses trends in phosphorus loadings and concentrations for Lake Lugano, during more than four decades (1984-2017) since the beginning of a restoration programme. The programme had considerable effects, reducing external loadings and in-lake concentrations by approximately three times. The effect of the reduction in external loadings was partly offset by a development of internal loadings, whose temporal patterns differed between the two main basins of the lake (North and South). In the North basin, meromictic, internal loadings emerged mainly during a pulse that peaked in 2005. In the South basin, holomictic, internal loadings gradually decreased, although they displayed a tendency to increase toward the end of the study period, probably influenced by climate warming. In the future, trends in phosphorus concentrations will continue to depend on patterns in internal loadings, whose underlying causes will require further investigation.

Key words: eutrophication, predictive models, Swiss lakes

INTRODUZIONE

Il Lago di Lugano, o Ceresio, è uno dei laghi sudalpini maggiormente colpiti dal fenomeno dell'eutrofizzazione, una forma di inquinamento dovuta all'eccessivo afflusso di nutrienti provenienti da reflui domestici, scarichi industriali e fonti diffuse (Smith *et al.*, 1999). Nel periodo preindustriale, al pari di altri laghi profondi insubrici, il Ceresio era probabilmente oligotrofico, ovvero caratterizzato da ridotte concentrazioni di fosforo, limitata produzione algale e buona ossigenazione delle acque (Niessen *et al.*, 1992). Sintomi di eutrofizzazione tangibili – quali massicce fioriture algali – incominciarono tuttavia a manifestarsi negli anni '40 del secolo scorso e raggiunsero livelli critici nei decenni '70-'80, quando il bacino nord divenne eutrofico e il bacino sud ipertrofico (D. A., 1982). Per contrastare l'eutrofizzazione del lago, negli anni '70

i governi svizzero e italiano realizzarono un piano di risanamento coordinato da una commissione internazionale istituita a tal fine (Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere, CIP AIS). Coerentemente con il quadro legislativo vigente in quegli anni, al piano fu posto l'obiettivo di riportare il lago allo stato di mesotrofia, ritenuto sufficiente a garantire i principali servizi di interesse pubblico, quali l'approvvigionamento idrico, la balneazione e la conservazione del patrimonio ittico (D. A., 1982). Un'ordinanza federale svizzera (ordinanza sull'immissione delle acque del 1975) definì la mesotrofia operativamente sulla base di criteri riguardanti la produzione primaria ($< 200 \text{ g C m}^2 \text{ anno}^{-1}$), l'ossigenazione delle acque ($> 4 \text{ mg L}^{-1}$) e le concentrazioni di fosforo durante la circolazione ($< 20 \text{ mg P m}^3$; P misurato come fosfato, PO_4). L'obiettivo di ristabilire condizioni di mesotrofia è rimasto essenzialmente invariato fino al presente, anche se la soglia

relativa al fosforo è stata ritoccata a 30 mg P m⁻³ (P misurato come fosforo totale, P_{tot}; Barbieri & Mosello, 1992).

Come in molti casi simili, il piano di risanamento fu fondato sulla riduzione del carico esterno di fosforo (P), il nutriente che solitamente limita la produzione algale lacustre (Vollenweider, 1968; Dillon & Rigler, 1975). Secondo questo approccio viene identificata una concentrazione obiettivo di P e si impiegano modelli previsionali per stimare il carico esterno massimo che permetterebbe al lago di raggiungere tale concentrazione. Nel caso del Ceresio, una prima applicazione di questo metodo preconizzò carichi massimi di 60 t anno⁻¹ per raggiungere una concentrazione di 20 mg P-PO₄ m⁻³ (D. A., 1982). Una seconda applicazione, basata su un modello diverso e sull'obiettivo di 30 mg P_{tot} m⁻³, stimò carichi massimi accettabili di 40 t anno⁻¹ (18 t nel bacino nord e 22 t nel bacino sud; Barbieri & Mosello, 1992).

Indagini limnologiche realizzate sul finire degli anni '70 evidenziarono che il carico di fosforo era in grave eccesso rispetto a queste soglie, per esempio oscillando nell'intervallo 123-177 t anno⁻¹ durante il triennio 1976-1979 (D. A., 1982). Per ottenere la riduzione desiderata, a partire dal 1976 vennero realizzate e successivamente potenziate importanti opere di collettamento e depurazione delle acque reflue da parte svizzera e da parte italiana. A queste misure si aggiunse negli anni '80 la proibizione dell'uso di detersivi tessili a base di fosfati. Parallelamente, la CIPAIS promosse l'attuazione di un programma sistematico di indagini limnologiche volto a monitorare l'evoluzione dello stato del lago.

Esperienze maturate internazionalmente dimostrano l'utilità generale della gestione dei carichi di fosforo quale misura di risanamento della qualità delle acque lacustri (Jeppesen *et al.*, 2005). Tuttavia, l'esito delle opere di risanamento può rivelarsi inferiore alle aspettative a causa dello sviluppo di fenomeni avversi, quali il lento rilascio di fosforo accumulato durante la fase di eutrofizzazione da parte dei sedimenti (carico interno; Nürnberg & Peters, 1984). Inoltre, negli ultimi decenni, le acque del Lago di Lugano hanno mostrato una tendenza al riscaldamento, che in parte ha coinciso nel tempo con la diminuzione del carico esterno (Lepori & Roberts, 2015). Il riscaldamento potrebbe contrastare gli effetti del risanamento causando sintomi sovrapponibili a quelli dell'eutrofizzazione, quali la scarsità di ossigeno nelle acque profonde (favorita dalla stratificazione delle acque; Rogora *et al.*, 2018) e la proliferazione di cianobatteri nello strato produttivo (Paerl & Huisman, 2008). I risultati dei programmi di gestione dei carichi di fosforo devono perciò essere costantemente monitorati al fine di verificare l'efficacia delle misure di risanamento e gli eventuali ostacoli emergenti.

A quasi quattro decenni dall'inizio delle indagini (1984-2017), i dati raccolti dal programma di indagini della CIPAIS offrono una preziosa opportunità di verificare l'efficacia delle misure messe in atto. Questo studio, che intende contribuire a tale verifica, include (1) un'analisi dell'evoluzione dei carichi e delle concentrazioni di P a lago, (2) l'identificazione di eventuali ostacoli al risanamento (sviluppo di un carico interno) e (3) una

nuova stima dei carichi che potrebbero consentire un recupero delle condizioni di mesotrofia o oligotrofia. I risultati permettono di esaminare criticamente alcune delle assunzioni insite nel programma di risanamento e di fornire una base di informazione utile alla futura gestione del lago.

MATERIALI E METODI

Area di studio

Il Ceresio è un lago profondo (profondità massima: 288 m), condiviso tra Svizzera e Italia (Fig. 1), che giace in una valle scavata da erosione fluviale durante il Terziario e successivamente modellata dalle glaciazioni del Pleistocene. Il lago, esposto a clima insubrico (temperature medie > 10°C e precipitazioni abbondanti) non ghiaccia e circola una volta all'anno al finire dell'inverno, solitamente tra febbraio e marzo. Il lago è suddiviso in tre bacini principali, il bacino nord, il bacino sud e il bacino di Ponte Tresa (Fig. 1, Tab. 1). Il bacino nord, a causa dell'elevata profondità e del modesto ricambio idrico è meromittico, o, più accuratamente, rappresenta un caso limite di oligomissi. Difatti, da quando viene sistematicamente monitorato (primi anni '80), le sue acque si sono mescolate completamente soltanto due volte, nel 2005 e 2006, dopo inverni particolarmente rigidi (Holzner *et al.*, 2009). Di norma, il mescolamento non si spinge oltre i 100 m, la profon-

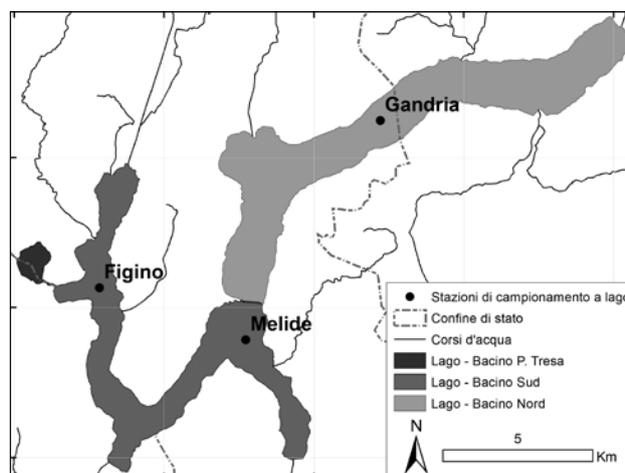


Figura 1: Ubicazione del Lago di Lugano e delle stazioni di prelievo (Gandria, Melide e Figino).

Tabella 1: Caratteristiche dei due principali bacini del Lago di Lugano. Dati tratti da Barbieri & Mosello (1992) eccetto q_s , calcolato come valore medio durante il periodo 1984-2017 (*dati non pubblicati*).

	Bacino nord	Bacino sud
Area bacino imbrifero [km ²]	269.7	290.3
Area bacino lacustre [km ²]	27.5	20.3
Volume [km ³]	4.69	1.14
Profondità massima [m]	288	95
Profondità media [m]	171 (strato 0-288 m) 86 (strato 0-100 m)	55
q_s [m]	12	32

dità che delimita l'estensione verticale del mixolimnio. Il bacino sud, grazie al maggior ricambio idrico e alla minore profondità, è essenzialmente oloimittico, anche se in seguito a inverni eccezionalmente miti può saltare circolazioni complete.

Fonte dei dati

Questo studio si avvale dei dati di monitoraggio raccolti quindicinalmente o mensilmente nelle stazioni di Gandria, Figino e Melide (Fig. 1) nell'ambito del programma di ricerche promosso dalla CIP AIS e pubblicati in rapporti annuali (www.cipais.org). I valori di Gandria rappresentano il bacino nord, mentre valori rappresentanti il bacino sud sono stati ottenuti combinando i valori misurati nelle stazioni di Melide e Figino (media ponderata per il volume di ciascun sottobacino).

Stima dei carichi esterni

I carichi esterni di fosforo (L_{ext} , in t P_{tot} anno⁻¹) sono stati calcolati come la somma dei contributi provenienti dalle seguenti fonti: [i] i tributari maggiori, [ii] i tributari minori, [iii] i reflui scaricati a lago da località rivierasche e [iv] le deposizioni atmosferiche. Altre potenziali fonti, quali gli apporti dalle acque sotterranee, sono state assunte trascurabili. I carichi veicolati dai tributari maggiori sono stati calcolati in base alle concentrazioni di fosforo totale (ottenute da campionamenti mensili) e alla portata (monitorata da enti cantonali e federali) mediante uno stimatore di rapporto ("ratio estimator"; Beale, 1962). Questi carichi integrano i contributi provenienti dall'insieme delle fonti puntiformi e diffuse presenti nel bacino imbrifero, quali gli impianti di depurazione e le aree agricole. I contributi provenienti dalle altre fonti non sono stati misurati, ma sono stati stimati usando i metodi riportati da Lepori & Roberts (2017), a cui si rimanda per maggiori dettagli.

Stima dei carichi interni

I carichi interni di fosforo (L_{int} , in t P_{tot} anno⁻¹) sono stati calcolati usando un modello di bilancio di massa. Il modello si basa sul bilancio di massa proposto da Vollenweider (1969):

$$V \times \frac{dp}{dt} = L_{ext} - Qp - v_n Ap \quad \text{Eq. 1}$$

dove:

- V = volume del lago (m³)
- p = concentrazione di fosforo totale (mg P_{tot} m⁻³)
- t = tempo (anni)
- L_{ext} = carico esterno (mg P_{tot} anno⁻¹)
- Q = deflusso in uscita (m³ anno⁻¹)
- v_n = velocità di sedimentazione netta (m anno⁻¹)
- A = superficie del lago (m²)

La stima dei carichi interni è resa possibile dalla versione modificata da Larsen *et al.* (1979) e Welch *et al.* (1986), che separa la perdita di P dovuta a sedimentazione dall'acquisto dovuto al rilascio da parte dei sedimenti, ovvero al carico interno:

$$V \times \frac{dp}{dt} = L_{ext} - Qp - v_s Ap + L_{int} \quad \text{Eq. 2}$$

dove:

- v_s = velocità di sedimentazione (m anno⁻¹)
- L_{int} = carico interno (mg anno⁻¹)

da cui:

$$L_{int} = V \times \frac{dp}{dt} - L_{ext} + Qp + v_s Ap \quad \text{Eq. 3}$$

La velocità di sedimentazione v_s , che nelle equazioni 2-3 rappresenta il flusso unidirezionale dall'acqua ai sedimenti, può essere stimata secondo un modello empirico (Nürnberg, 2009) come:

$$v_s = k \times q_s \times \sqrt{\tau} \quad \text{Eq. 4}$$

dove:

- k = costante, posta =1 (Nürnberg, 2009)
- q_s = water loading (=Q/A, m)
- τ = tempo teorico di ricambio (=V/Q_s, anni)

Concentrazioni a lago

Le concentrazioni di fosforo totale (p , in mg P_{tot} m⁻³) sono state misurate a diverse profondità discrete e sono state integrate verticalmente per calcolare la concentrazione media annuale nel mixolimnio (0 m-fondo per il bacino sud, 0-100 m per il bacino nord).

Previsione delle concentrazioni all'equilibrio

Per predire la concentrazione all'equilibrio si è usata l'equazione [1], che in condizioni di steady state ($\frac{dp}{dt} = 0$) diventa:

$$p = \frac{L_{ext}}{A(v_n + q_s)} \quad \text{Eq. 5}$$

Riscritta in funzione di L_{ext} questa equazione stima i carichi esterni massimi che consentirebbero di raggiungere i valori obiettivo di p .

La velocità di sedimentazione netta v_n può essere stimata secondo un modello empirico sviluppato per laghi temperati (Reckhow, 1979), come:

$$v_n = 11.6 + 0.2 \times q_s \quad \text{Eq. 6}$$

L'accuratezza della stima non è nota. Tuttavia, la stima di v_n può essere affinata tramite calibrazione dell'Eq. 5, ovvero variando incrementalmente valori di v_n fino ad ottenere valori che, introdotti nell'Eq. 5, producono valori di p simili a quelli più bassi osservati per un dato valore di L_{ext} (assumendo che p si sia avvicinato all'equilibrio durante il periodo di studio e considerando che il raggiungimento di un equilibrio fa decrescere p a parità di L_{ext}). Tenuto conto della presenza di errore nelle misure, il valore di v_n è stato identificato come il valore fornente stime di p inferiori alle osservazioni nel 90% dei casi. In questo studio sono state considerate concentrazioni obiettivo di 30 mg P_{tot} m⁻³, corrispondenti al confine tra mesotrofia e eutrofia e all'obiettivo del programma di risanamento (Barbieri & Mosello, 1992), e 10 mg P_{tot} m⁻³, corrispondente al confine tra mesotrofia e oligotrofia (Nürnberg, 1996).

Analisi dei dati

Le tendenze nelle serie temporali sono state analizzate usando il test di Mann-Kendall, che produce le statistiche S e Z (Gilbert, 1987). Inoltre, le tendenze decennali o pluridecennali delle serie temporali del carico e delle concentrazioni di fosforo a lago sono state evidenziate mediante interpolazione di una funzione di smoothing (LOESS). Tutte le analisi sono state eseguite con il software PAST (Hammer *et al.*, 2001). Le medie dei quinquenni 1984-1988 e 2013-2017 sono state usate per calcolare le differenze tra inizio e fine del periodo di studio.

RISULTATI

Evoluzione del carico esterno

Durante il periodo di studio, il carico esterno di fosforo L_{ext} ha mostrato tendenze a decrescere in entrambi i bacini del lago (bacino nord: $S=-317$, $Z=4.68$, $P<0.001$; bacino sud: $S=-371$, $Z=5.49$, $P<0.001$; Fig. 2). Nel bacino nord, tra l'inizio e la fine del periodo (quinquenni 1984-1988 e 2013-2017), il carico medio è passato da 43.2 a 15.7 t P_{tot} anno⁻¹, diminuendo di un fattore 2.7×. Nel bacino sud, il carico è passato da 84.9 a 27.9 t P_{tot} anno⁻¹, diminuendo di un fattore 3.0×.

Evoluzione del carico interno

La velocità di sedimentazione del fosforo v_s usata nella stima del carico interno L_{int} è risultata pari a 32 m anno⁻¹ nel bacino nord e 40 m anno⁻¹ nel bacino sud. L'andamento temporale di L_{int} ha seguito traiettorie diverse nei due bacini (Fig. 2). Nel bacino nord, non vi è stata tendenza a crescere o decrescere nel tempo ($S=-122$, $Z=1.80$, $P>0.05$). Piuttosto, si è manifestato un picco culminato nel 2005, l'anno della prima circolazione completa (massimo: 166 t P_{tot} anno⁻¹), separato da periodi iniziali (fino alla metà degli anni '90) e finali (dopo il 2010) in cui L_{int} è stato quasi sempre inferiore a 40 t P_{tot} anno⁻¹. Nel bacino sud L_{int} ha mostrato una tendenza a decrescere ($S=-265$, $Z=3.92$, $P<0.001$, riduzione media da 53.7 a 20.4 t P_{tot} anno⁻¹, un fattore 2.6×), nonostante negli ultimi anni vi sia stato un accenno di rialzo (fino a 48 t P_{tot} anno⁻¹ nel 2017).

Evoluzione delle concentrazioni di fosforo a lago

Le analisi hanno indicato tendenze al calo anche nelle concentrazioni medie annuali di fosforo totale p in entrambi i bacini (bacino nord: $S=-225$, $Z=3.33$, $P<0.001$; bacino sud: $S=-493$, $Z=7.30$, $P<0.001$; Fig. 2). Nel bacino nord, le concentrazioni si sono ridotte da 72.2 a 27.1 mg P_{tot} m⁻³ (fattore 2.7×), mentre nel bacino sud sono calate da 109.2 a 37.4 mg P_{tot} m⁻³ (fattore 2.9×). Tuttavia, anche in questo caso l'evoluzione mostra differenze tra i bacini. Mentre nel bacino sud la concentrazione di fosforo è calata in modo regolare, nel bacino nord la tendenza alla diminuzione è stata interrotta da un picco di crescita, coincidente al picco manifestato dal carico interno.

Previsioni in condizioni d'equilibrio

L'Eq. 6 ha prodotto valori di v_n pari a 13.6 m anno⁻¹ per il bacino nord e 18.0 m anno⁻¹ per il bacino sud, ma la calibrazione basata sui dati osservati ha corretto le stime al ribasso, portandole a 11 m anno⁻¹ per il bacino nord e 15 m anno⁻¹ per il bacino sud (Fig. 3). Sulla base di questi valori (calibrati) i carichi massimi tollerabili per $p=30$ mg P_{tot} m⁻³ sono risultati pari a 19 t P_{tot} anno⁻¹ per il bacino nord e 28 t P_{tot} anno⁻¹ per il bacino sud. I carichi massimi per $p=10$ mg P_{tot} m⁻³ sono risultati pari a 6 t P_{tot} anno⁻¹ per il bacino nord e 9 t P_{tot} anno⁻¹ per il bacino sud.

DISCUSSIONE

Le opere messe in atto per proteggere le acque del Ceresio hanno avuto effetti incisivi sui carichi esterni e sulle concentrazioni a lago del fosforo. Durante il periodo di studio (1984-2017), che si estende da poco dopo l'avvio delle maggiori opere di risanamento al presente, il carico esterno di fosforo è stato ridotto di approssimativamente tre volte in entrambi i bacini. A questa riduzione ha fatto eco un'analoga (fattore ca. 3×) diminuzione delle concentrazioni di fosforo a lago, che si stanno avvicinando (bacino sud) o hanno ormai raggiunto (bacino nord) valori conformi agli obiettivi di risanamento.

Alla diminuzione dei carichi esterni si è almeno temporaneamente contrapposto lo sviluppo di un carico interno, la cui evoluzione illustra l'influenza del regime di mescolamento dei bacini (meromissi e olomissi) sul risanamento di un lago. Nel bacino sud, olomittico, il carico interno ha mostrato il calo atteso in un lago in via di risanamento, che ha contribuito a produrre un miglioramento graduale. Nel bacino nord, meromittico, il carico interno è rimasto confinato nelle acque profonde per parte del periodo di studio, ma è affiorato nel mixolimnion durante un unico picco culminato con la circolazione eccezionale del 2005. Questo picco, durato circa un decennio, implica una fase di progressiva erosione della stratificazione, le cui cause sono difficili da chiarire (Holzner *et al.*, 2009). Tuttavia, è probabile che un'alternanza tra fasi di stratificazione e episodi di erosione della stratificazione – con risalite di carico interno – continuerà a caratterizzare l'evoluzione del bacino nord nei decenni futuri, determinando un percorso di risanamento non graduale ma punteggiato da interruzioni e riprese (Lepori & Roberts, 2017).

Questa evoluzione suggerisce che nel bacino nord anche le concentrazioni di fosforo continueranno a mostrare un andamento irregolare con l'occorrenza di picchi elevati, anche se a distanza di anni o decenni. Nel bacino sud, nonostante la diminuzione nel lungo periodo, il carico interno rimane sostanziale e ha contribuito a mantenere le concentrazioni di fosforo al di sopra degli obiettivi di risanamento (Lepori & Roberts, 2017). Per di più, la tendenza all'aumento osservata negli ultimi anni ha presumibilmente rinforzato questo contributo. Le cause di tale crescita potrebbero essere ricondotte al riscaldamento del lago che, rafforzando la stratificazione, prolunga i periodi di anossia dei

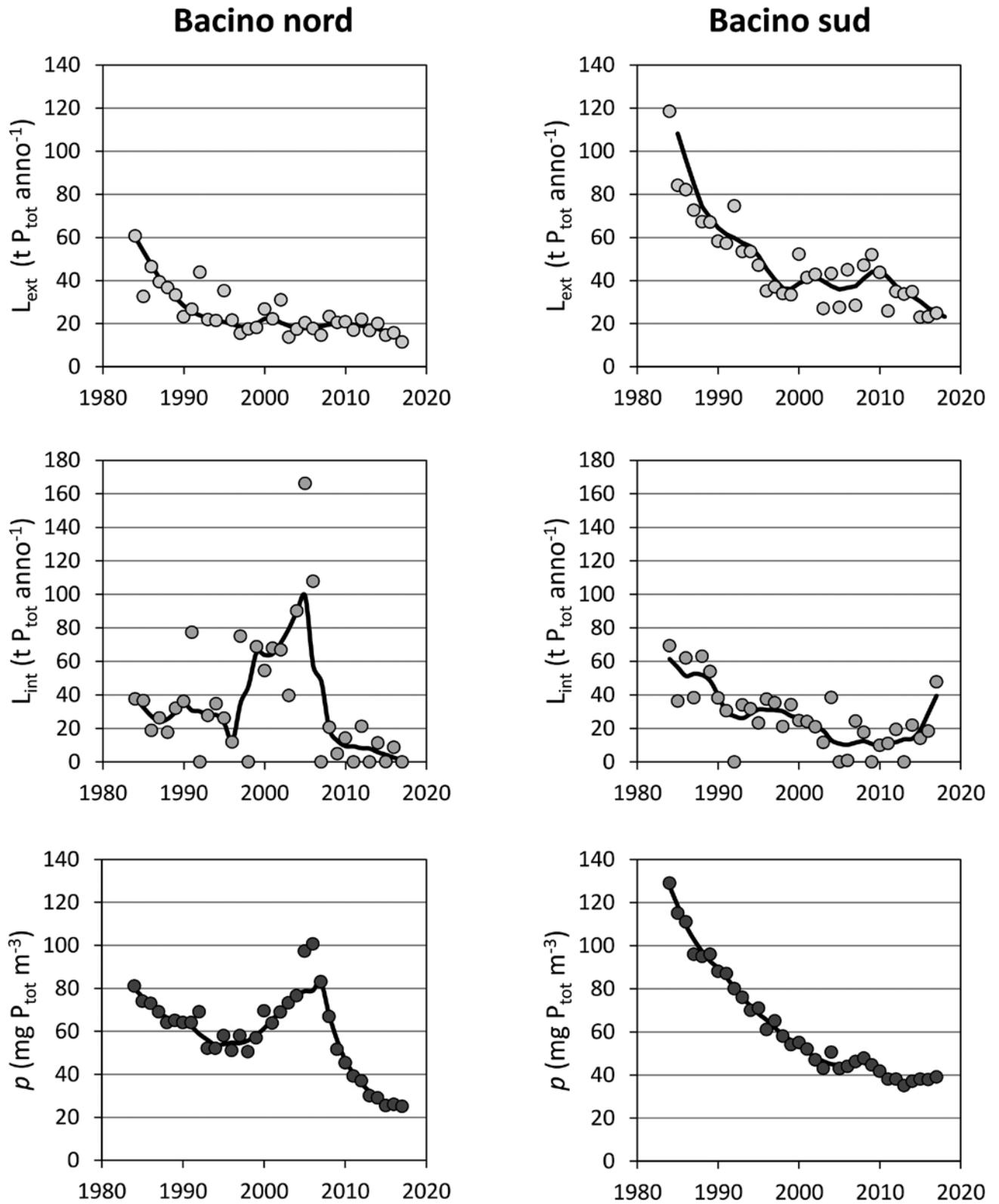


Figura 2: Andamento temporale del carico esterno L_{ext} , del carico interno L_{int} e delle concentrazioni di fosforo totale a lago p relative ai due bacini del lago (nord e sud).

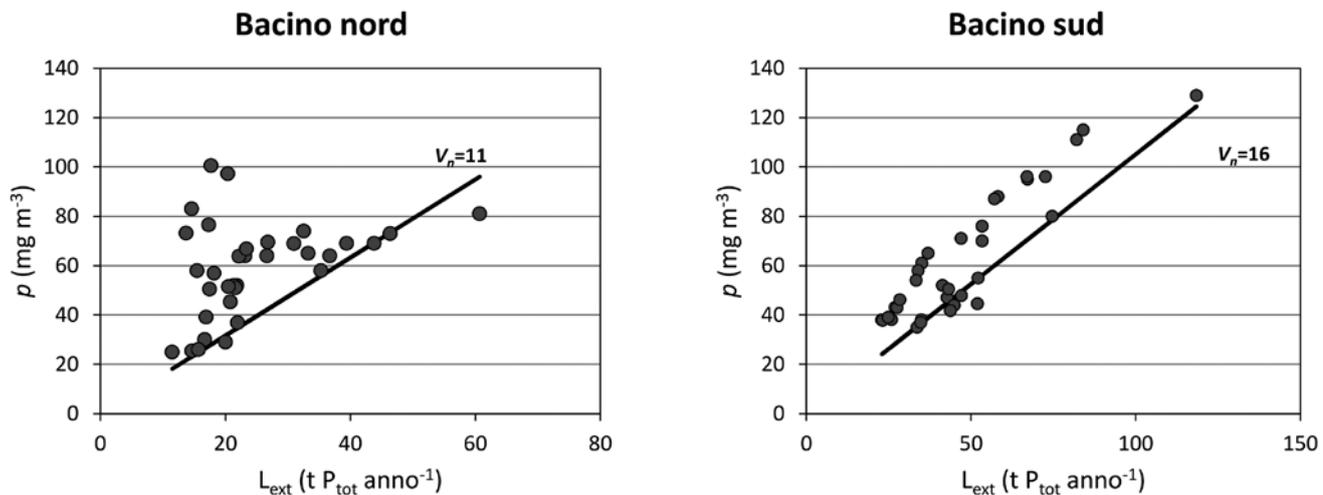


Figura 3: Relazione tra concentrazioni di fosforo totale a lago p e carico esterno L_{ext} . La retta mostra la relazione attesa in base a stime prodotte dell'Eq. 5 ("Materiali e metodi") in seguito a calibrazione del valore di v_n (volta a ottenere una concentrazione minima per un dato valore di L_{ext} assunta simile alla concentrazione all'equilibrio).

sedimenti ed il rilascio del carico interno (Rogora *et al.*, 2018). Un effetto climatico si è manifestato chiaramente nel carico elevato registrato nel 2017. Durante l'inverno del 2015-2016, a causa del clima mite, il lago non ha circolato e la prolungata anossia dell'ipolimnio ha favorito l'accumulo di fosforo nei sedimenti ed il conseguente elevato rilascio durante la circolazione del 2017. Tuttavia, le cause dell'aumento di L_{int} potrebbero risiedere in un insieme complesso di fattori (Søndergaard *et al.*, 2001) e la loro identificazione richiederà ulteriori approfondimenti.

Le nuove stime dei carichi accettabili confermano in sostanza le stime precedenti (Barbieri e Mosello 1992), aggiustandole leggermente al rialzo. I carichi ammissibili per $p=30$ mg P_{tot} m^{-3} (19 t P_{tot} $anno^{-1}$ per il bacino nord e 28 t P_{tot} $anno^{-1}$ per il bacino sud) sono stati essenzialmente raggiunti in entrambi i bacini. Il fatto che nel bacino sud, nonostante il raggiungimento di un carico medio di 28 t P_{tot} $anno^{-1}$, la concentrazione di fosforo sia ancora superiore a 30 mg P_{tot} m^{-3} sembra imputabile all'inatteso rialzo del carico interno (vedi sopra) e a un conseguente stato di disequilibrio. Solo i prossimi anni di monitoraggio permetteranno di stabilire se l'aumento di L_{int} sarà momentaneo o duraturo, e quali potrebbero essere gli effetti sul processo di risanamento. Il ritorno a condizioni di oligotrofia (la condizione preindustriale del lago) richiederebbe carichi inferiori a 6-9 t P_{tot} $anno^{-1}$, ma una tale diminuzione pare difficilmente attuabile, in particolare nel bacino sud. Va tuttavia ricordato che a causa delle difficoltà insite nella stima dei parametri dei modelli le previsioni dei carichi accettabili devono essere considerate euristiche e richiederanno costante rivalutazione in futuro. Lo stato trofico di un lago non viene definito solo dalla concentrazione di fosforo, ma anche da criteri fondati su processi biologici o biogeochimici quali i rapporti tra i diversi nutrienti, la produzione algale e l'ossigenazione delle acque (un indice di metabolismo ecosistemico). La valutazione dell'evoluzione dello stato trofico richiede quindi l'esame integrato delle risposte di un complesso insieme di fattori (Lepori *et al.*, 2018). Ad oggi, i risultati delle indagini CIP AIS

indicano un parziale scollamento tra l'evoluzione del fosforo e quella degli indicatori biologici dello stato trofico. Per esempio, nonostante la riduzione del fosforo, nel bacino nord la produzione algale non è diminuita, mentre le acque profonde rimangono anossiche, pressoché stabilmente nel bacino nord e stagionalmente nel bacino sud (Lepori *et al.*, 2018; Rogora *et al.*, 2018). Esperienze di risanamento dei laghi svizzeri e transfrontalieri accumulate negli ultimi decenni hanno messo in evidenza risultati simili e suggeriscono che concreti miglioramenti dello stato trofico richiedano abbattimenti delle concentrazioni più ambiziosi di quelli fino ad ora raggiunti, in grado di riportare le concentrazioni di fosforo a valori inferiori a 20 mg P_{tot} m^{-3} (Anneville & Pelletier, 2000). In futuro, la gestione del lago potrebbe quindi essere rafforzata non solo da una migliore capacità di previsione delle concentrazioni di fosforo, ma anche e soprattutto da una più approfondita comprensione delle complesse relazioni esistenti tra i nutrienti, in particolare il fosforo, e lo stato biologico delle acque.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio tutte le persone che hanno contribuito alle indagini sul Ceresio dall'inizio del programma di ricerche CIP AIS, la Dr.ssa C. Capelli per l'aiuto ed i preziosi consigli e la Dr.ssa M. Rogora per la revisione del manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

- Anneville, O. & Pelletier, J.P. 2000. Recovery of Lake Geneva from eutrophication: quantitative response of phytoplankton. *Archiv für hydrobiologie*, 148: 607-624.
- Barbieri, A. & Mosello, R. 1992. Chemistry and trophic evolution of Lake Lugano in relation to nutrient budget. *Aquatic Sciences*, 54: 219-237.
- Beale, E.M.L. 1962. Some uses of computers in operational research. *Industrielle Organisation*, 31: 27-28.

- D. A., Dipartimento Ambiente [del Cantone Ticino]. 1982. Il Lago Ceresio. Stato delle sue acque, obiettivi, misure d'intervento. Bellinzona, 85 pp.
- Dillon, P.J. & Rigler, F.H. 1975. A simple method for predicting the capacity of a lake for development based on lake trophic status. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 32: 1519-1531.
- Gilbert, R.O. 1987. Statistical methods for environmental pollution monitoring. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 9pp. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Holzner, C.P., Aeschbach-Hertig, W., Simona, M., Veronesi, M., Imboden, D.M. & Kipfer, R. 2009. Exceptional mixing events in meromictic Lake Lugano (Switzerland/Italy), studied using environmental tracers. *Limnology & Oceanography*, 54: 1113-1124.
- Larsen, D.P., Van Sickle, J., Malueg, K.W. & Smith, P.D. 1979. The effect of wastewater phosphorus removal on Shagawa Lake, Minnesota: Phosphorus supplies, lake phosphorus and chlorophyll *a*. *Water Research*, 13: 1259-1272.
- Lepori, F. & Roberts, J. J. 2015. Past and future warming of a deep European lake (Lake Lugano): What are the climatic drivers? *Journal of Great Lakes Research*, 41: 973-981.
- Lepori, F. & Roberts, J.J. 2017. Effects of internal phosphorus loadings and food-web structure on the recovery of a deep lake from eutrophication. *Journal of Great Lakes Research*, 43: 255-264.
- Lepori, F., Bartosiewicz, M., Simona, M. & Veronesi, M. 2018. Effects of winter weather and mixing regime on the restoration of a deep perialpine lake (Lake Lugano, Switzerland and Italy). *Hydrobiologia*, 824: 229-242.
- Jeppesen, E., Søndergaard, M., Jensen, J.P., Havens, K.E., Anneville, O., Carvalho, L., Coveney, M.F., Deneke, R., Dokulil, M.T., Foy, B.O.B. & Gerdeaux, D. 2005. Lake responses to reduced nutrient loading – an analysis of contemporary long-term data from 35 case studies. *Freshwater Biology*, 50: 1747-1771.
- Niessen, F., Wick, L., Bonani, G., Chondrogianni, C. & Siegenthaler, C., 1992. Aquatic system response to climatic and human changes: Productivity, bottom water oxygen status, and sapropel formation in Lake Lugano over the last 10'000 years. *Aquatic Sciences*, 54: 257-276.
- Nürnberg, G.K., 1996. Trophic state of clear and colored, soft- and hardwater lakes with special consideration of nutrients, anoxia, phytoplankton and fish. *Lake and Reservoir Management*, 12: 432-447.
- Nürnberg, G. K. 2009. Assessing internal phosphorus load - Problems to be solved. *Lake and Reservoir Management*, 25: 419-432
- Nürnberg, G.K., & Peters, R. H. 1984. The importance of internal phosphorus load to the eutrophication of lakes with anoxic hypolimnia. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 22: 190-194.
- Paerl, H.W., & Huisman, J. 2008. Blooms like it hot. *Science*, 320: 57-58.
- Reckhow, K. 1979. The use of a simple model and uncertainty analysis in lake management. *Journal of the American Water Resources Association*, 15: 601-611.
- Rogora, M., Buzzi, F., Dresti, C., Leoni, B., Lepori, F., Mosello, R., Patelli, M. & Salmaso, N. 2018. Climatic effects on vertical mixing and deep-water oxygen content in the subalpine lakes in Italy. *Hydrobiologia*, 824: 33-50.
- Smith, V.H., Tilman, G.D. & Nekola, J.C. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental pollution*, 100: 179-196.
- Søndergaard, M., Jensen, P. J. & Jeppesen, E. 2001. Retention and internal loading of phosphorus in shallow, eutrophic lakes. *The Scientific World Journal*, 1: 427-442.
- Vollenweider, R.A., 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorous as factors in eutrophication. Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris 159.
- Vollenweider, R.A. 1969. Möglichkeiten und Grenzen elementarer Modelle der Stoffbilanz von Seen. *Archiv für Hydrobiologie*, 66: 1-36.
- Welch, E.B., Spyridakis, D.E., Shuster, J.I. & Horner, R.R. 1986. Declining lake sediment phosphorus release and oxygen deficit following wastewater diversion. *Journal (Water Pollution Control Federation)* 58: 92-96.

Monitoraggio faunistico in un sottopasso stradale a Magadino (Cantone Ticino, Svizzera) mediante fototrappola Amphicam

Bärbel Koch¹ e Anita Python²

¹ Via Chiusa 5, CH-6863 Besazio

² Via A. Nessi 36, CH-6600 Locarno

baerbel.koch@hotmail.com

Riassunto: I sottopassi faunistici permettono di limitare la mortalità di animali di piccole dimensioni sulle strade. Il controllo dell'efficacia di tali strutture è però spesso oneroso oppure invasivo. In questo studio abbiamo testato un nuovo tipo di fototrappola (Amphicam WLS.CH 1.0), che a differenza delle comuni fototrappole in commercio è in grado di rilevare anche animali ectotermi. Un sottopasso a Magadino (Comune di Gambarogno) è stato sorvegliato nel corso di due anni tra fine febbraio 2017 e inizio gennaio 2019. Sono stati osservati 219 passaggi, di cui il 90% erano topi del genere *Apodemus* e Arvicole terrestri italicus *Arvicola italicus*. Altre specie rilevate sono il Rospo comune *Bufo bufo*, giovani rane del genere *Pelophylax* e *Rana* non identificabili alla specie, la Natrice dal collare elvetica *Natrix helvetica*, il Biacco *Hierophis viridiflavus*, la Donnola *Mustela nivalis*, la Faina *Martes foina*, la Volpe *Vulpes vulpes* e una probabile Arvicola rossastra *Clethrionomys flaveolus*. Sebbene i passaggi da parte di anfibi, animali particolarmente sensibili al traffico stradale, siano stati scarsi, lo studio ha mostrato che un'alta varietà di piccoli animali approfittano di questo sottopasso e che in qualità di passaggio faunistico adempie pertanto alla sua funzione connettiva.

Parole chiave: Amphicam, fauna, fototrappola, monitoraggio, sottopasso

Wildlife monitoring in a road underpass in Magadino (Canton of Ticino, Switzerland) using the camera trap Amphicam

Abstract: Wildlife underpasses allow to limit the mortality of small animals on the roads. However, monitoring the effectiveness of these structures is often costly or invasive. In this study we tested a new type of camera trap (Amphicam WLS.CH 1.0), which unlike common camera traps on the market is able to detect even ectothermic animals. An underpass in Magadino (municipality of Gambarogno) was monitored during two years between the end of February 2017 and the beginning of January 2019. 219 passes were observed, of which 90% were mice of the genus *Apodemus* and Ground voles *Arvicola italicus*. Other species found are the Common Toad *Bufo bufo*, young frogs of the genera *Pelophylax* and *Rana* not identifiable to the species, the Barred grass snake *Natrix helvetica*, the European whip snake *Hierophis viridiflavus*, the Least weasel *Mustela nivalis*, the Beech marten *Martes foina*, the Red fox *Vulpes vulpes* and a likely Bank vole *Clethrionomys flaveolus*. Although the passes by amphibians, animals particularly sensitive to road traffic, have been scarce, the study showed that a high variety of small animals take advantage of this underpass and that this faunistic passage therefore fulfills its connective function.

Key words: Amphicam, fauna, camera trap, monitoring, underpass

INTRODUZIONE

La frammentazione del paesaggio dovuta a strade e al traffico può avere un importante effetto negativo su animali selvatici che si spostano per la ricerca di cibo o luoghi ottimali per l'accoppiamento. I sottopassi faunistici sono una possibile soluzione a lungo termine per la fauna di piccole e medie dimensioni, utilizzata nelle ultime decine di anni in diversi paesi (ad es. Australia - Bond & Jones, 2008; diverse nazioni - Glista *et al.*, 2009). Queste strutture vengono create in particolare vicino ai siti di riproduzione per anfibi, in quanto la loro mortalità è particolarmente alta durante le migrazioni (Schmidt & Zumbach, 2008). Il Cantone Ticino conta attualmente 12 località in cui sono presenti sottopassi lungo rotte migratorie di anfibi (Fig. 1 e Tab. 1). Si ipo-

tizza che queste strutture possano avere anche un'importante funzione durante il ritorno dagli stagni, sia di anfibi adulti che dei giovani, per i quali non vengono effettuate azioni di salvataggio (Schmidt *et al.*, 2017). Il controllo dell'efficienza è tuttavia spesso oneroso e invasivo. Generalmente vengono interrati dei secchi all'uscita dei sottopassi per il conteggio degli individui (ad es. Patrick *et al.*, 2010; Mechura *et al.*, 2012). Altri metodi prevedono l'utilizzo di trappole come rilevatori di impronte oppure semplici osservazioni dirette (ad es. Jina *et al.*, 2007; Malt, 2011).

A differenza dei metodi standard usati, l'uso di una fototrappola permette di rilevare quantitativamente i passaggi senza essere invasiva. Gli animali non vengono catturati e maneggiati e quindi si evita stress, ferite, trasmissioni di malattie e disturbo durante il passaggio.

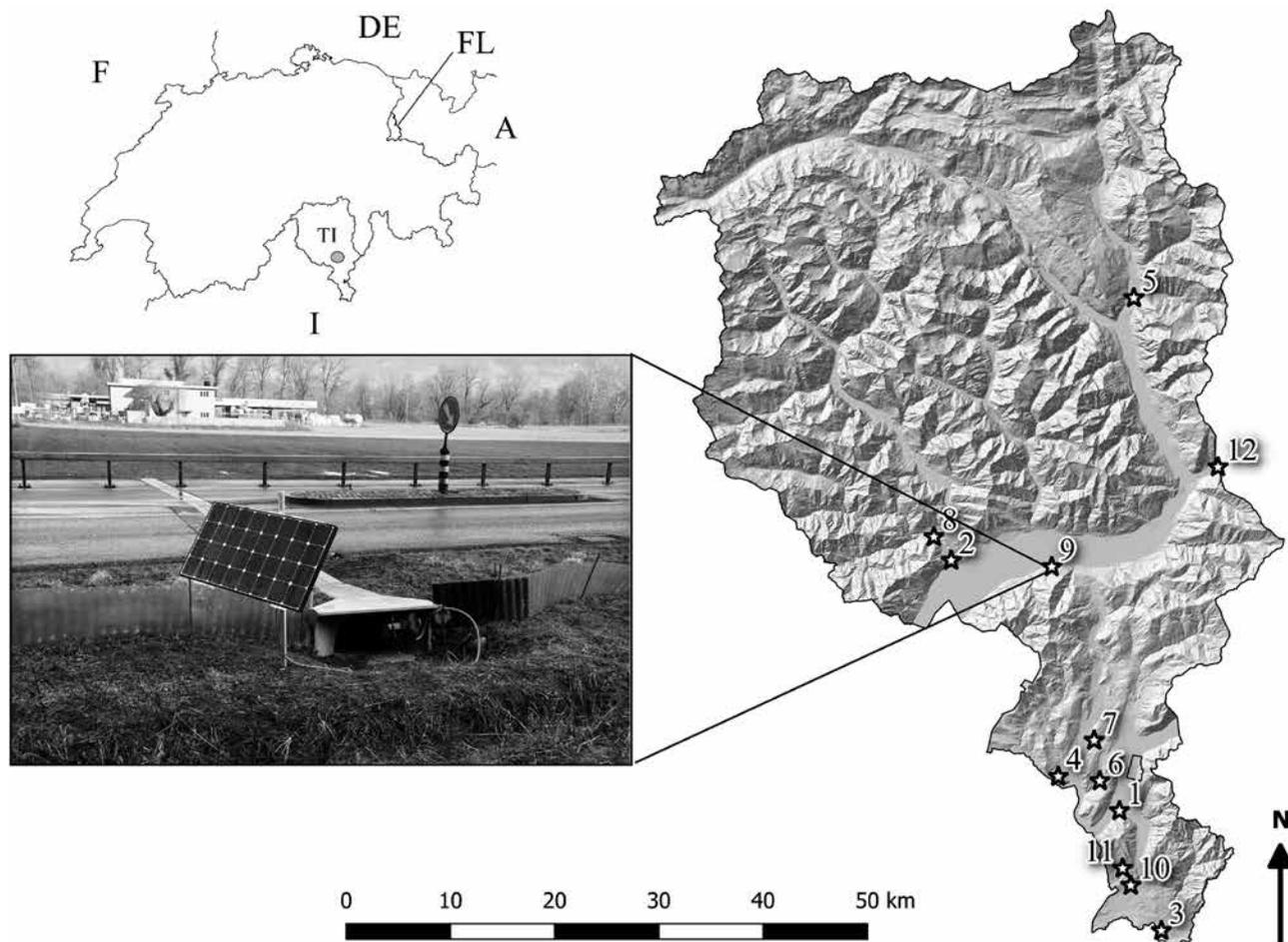


Figura 1: Ubicazione dei 12 siti dotati di sottopassi nel Canton Ticino e immagine dell'entrata del sottopasso a Magadino monitorato con l'Amphicam. La numerazione dei vari sottopassi segue quella della tabelal 1, dove sono riportati la località, le coordiante geografiche e il modello dei sottopassi.

Tabella 1: Sottopassi presenti in Cantone Ticino (dati forniti da Tiziano Maddalena, corrispondente regionale KARCH settore anfibio e Mirko Sulmoni, Ufficio natura e paesaggio, Dipartimento del territorio, Bellinzona).

N.	Anno di realizzazione	Comune	Località	Coordinate	Numero di sottopassi	Modello / tipo di sottopasso
1	1989	Riva San Vitale	Punta Poiana	717'123 / 88'283	2	ACO Pro AT 500
2	1996	Ascona	Arcegno-Ronco s. Ascona	700'985 / 112'503	4	ACO Pro AT 500
3	1999	Chiasso	Campagna-Seseglio	721'150 / 76'700	1	ACO Pro AT 500
4	2005	Caslano	Cantonetto	711'250 / 91'600	9	ACO Pro AT 500
5	2007	Serravalle	Legiuna	718'510 / 137'870	3	Tubo in cemento
6	2009	Grancia	Cadepiano	715'245 / 91'180	1	ACO Pro AT 500
7	2009/2017	Muzzano	Ronchetti	714'700 / 95'100	2	Riali seminaturali
8 a	2014	Losone	Zandone (ex Caserma)	699'320 / 114'780	5	ACO Pro AT 500
8 b	2014/2015	Losone	Zandone-Golino, ex piscicoltura	699'320 / 114'780	4	ACO Pro AT 500
9	2016	Gambarogno	Magadino	710'630 / 111'870	1	ACO Pro AT 500
10	2016	Besazio	Pavù	718'215 / 81'080	2	ACO Pro AT 500
11	2017	Meride	Guana	717'425 / 82'730	3	ACO Pro AT 500
12	2017	Lumino	Sgraver	726'581 / 121'523	2	ACO Pro AT 500

Rispetto ai rilevatori di impronte, la determinazione per alcuni gruppi di animali, ad esempio topi, è più precisa e semplice. Inoltre, la quantità di lavoro è sostanzialmente ridotta (meno trasferte e controllo relativamente veloce dei dati) e permette di monitorare i movimenti degli animali nell'arco delle stagioni. Tuttavia, le comuni fototrappole a disposizione in commercio utilizzano raggi infrarossi quali sensori di movimento, rilevando prevalentemente animali a sangue caldo e penalizzando così il monitoraggio di animali ectotermi come anfibi e rettili o invertebrati. Per ovviare a questa limitazione, negli ultimi anni sono state prese in considerazione fototrappole che si basano sui cambiamenti nell'immagine stessa e non sulla differenza di temperatura rilevata (Pagnucco *et al.*, 2011), sulla detezione delle vibrazioni al suolo (Fagart & Heurtebise, 2016) o che scattano immagini a intervalli di tempo regolari (Movia, 2014).

L'obiettivo di questo studio era quello di monitorare un sottopasso a Magadino mediante un nuovo tipo di fototrappola, l'Amphicam, in grado di reagire al passaggio di animali quando nota un cambiamento di pixel nell'immagine ed è quindi in grado di individuare anche animali ectotermi (a sangue freddo). È stato scelto questo sottopasso, così da poter integrare i risultati in uno studio generale promosso nel periodo 2016-2018 dalla Fondazione Bolle di Magadino, volto ad approfondire i corridoi di spostamento degli anfibi nella parte meridionale della riserva naturale (Python & Koch, 2016, 2018).

MATERIALI E METODI

Il sottopasso per anfibi ACO Pro AT 500 nella frazione di Magadino nel Comune di Gambarogno è stato installato nel 2016 (Dipartimento del Territorio, 2018; Fig. 1). Ha un imbocco di 45 cm di larghezza e 27 cm di altezza, e la lunghezza è di 10 m circa. È composto da calcestruzzo polimerico e lungo la strada è ricoperto da una griglia anch'essa di calcestruzzo. Il passaggio è stato monitorato mediante una particolare fototrappola (Amphicam WLS.CH 1.0) creata dalla ditta WildLife Solutions (www.wls.ch; WLS.CH Sagl, Impasse des Côtes 5, CH-1782 Lossy). L'Amphicam è stata posizionata all'apertura del sottopasso e funzionava in maniera completamente autonoma grazie ad un pannello solare. La sensibilità della fototrappola è stata impostata in maniera piuttosto elevata, così da permettere anche il rilievo di piccoli anfibi. L'Amphicam permette di tenere in considerazione i due secondi antecedenti il passaggio di un animale, e quindi di avere una buona ripresa anche dei passaggi di individui particolarmente veloci. I movimenti degli animali sono stati monitorati sia mediante video che foto, in modo da migliorare le possibilità di determinazione. I dati venivano registrati su una scheda grafica ed erano visionati all'incirca ogni due settimane.

Sono stati contati tutti i passaggi di vertebrati tra il 22 febbraio 2017 e il 17 gennaio 2019. A causa di un problema alla scheda grafica i rilievi a maggio 2018 sono andati persi. Sono stati annotati la data, l'orario,

la direzione e possibili segni riconoscitivi dell'animale. I passaggi di invertebrati sono stati analizzati solo in maniera qualitativa.

RISULTATI

Tra il 22 febbraio 2017 e il 17 gennaio 2019, nel sottopasso di Magadino sono stati contati 219 passaggi spontanei. Nel corso dei primi 12 mesi sono stati osservati 139 animali (febbraio 2017 - gennaio 2018) e 80 durante i successivi 12 mesi (febbraio 2018 - gennaio 2019) (Figg. 2 e 3). Non è stato tenuto conto dei passaggi indotti dai volontari. La direzione di passaggio è stata piuttosto bilanciata con 106 passaggi in direzione delle Bolle di Magadino e 113 verso il pendio che sovrasta il paese di Magadino (Tab. 2).

Sono stati osservati soprattutto esemplari di topi del genere *Apodemus* (75% dei passaggi) e di Arvicola terrestre italico *Arvicola italicus* (15%). Per entrambi circa la metà dei passaggi era in direzione del versante sopra Magadino e l'altra metà in direzione delle Bolle di Magadino. In un caso è stata osservata una possibile Arvicola rossastra *Clethrionomys glareolus*. Tuttavia, trattandosi di un passaggio notturno, il colore rossiccio del dorso non è visibile e la determinazione non può quindi essere certa. Tra gli anfibi sono stati osservati rospi *Bufo bufo*, giovani di Rana verde *Pelophylax* sp. e altre giovani rane rosse *Rana* sp. non identificabili alla specie. Il passaggio di un rospo adulto in primavera 2017 era in direzione delle Bolle di Magadino, mentre i giovani anfibi rilevati nell'estate 2018, a parte un'eccezione, erano di ritorno dai luoghi di riproduzione e diretti verso il pendio. Quali rettili sono state osservate una Natrice dal collare elvetica *Natrix helvetica* e un Biacco *Hierophis viridiflavus*, entrambe le specie osservate in direzione delle Bolle di Magadino. Sono state osservate anche la Donnola *Mustela nivalis*, la Faina *Martes foina* e la Volpe *Vulpes vulpes*.

Vista l'alta sensibilità della fototrappola è stato inoltre possibile osservare movimenti di numerosi gruppi di invertebrati: coleotteri (carabidi), ditteri (vespe, mosche), imenotteri (formiche), farfalle (*Zygaena* sp.), ortotteri (*Ruspolia nitidula*), Decapoda, Centipoda, ragni, limacce e lombrichi. Sono anche stati osservati diversi uccelli presso l'entrata del sottopasso per nutrirsi di possibili invertebrati di passaggio: soprattutto Passera d'Italia *Passer italiae* (femmine), ma anche Pettirossi *Erithacus rubecula*, Merli *Turdus merula* e uno Scricciolo *Troglodytes troglodytes*.

DISCUSSIONE

Molti sottopassi vengono creati in particolare per anfibi, essendo animali molto sensibili alla frammentazione del paesaggio e che mostrano un'elevata mortalità dovuta al traffico (Schmidt & Zumbach, 2008). Ciononostante, come rilevato in questo studio, numerosi altri animali utilizzano queste strutture. Nel corso dei 24 mesi di monitoraggio al sottopasso faunistico di Magadino è stato osservato il passaggio di 219 individui

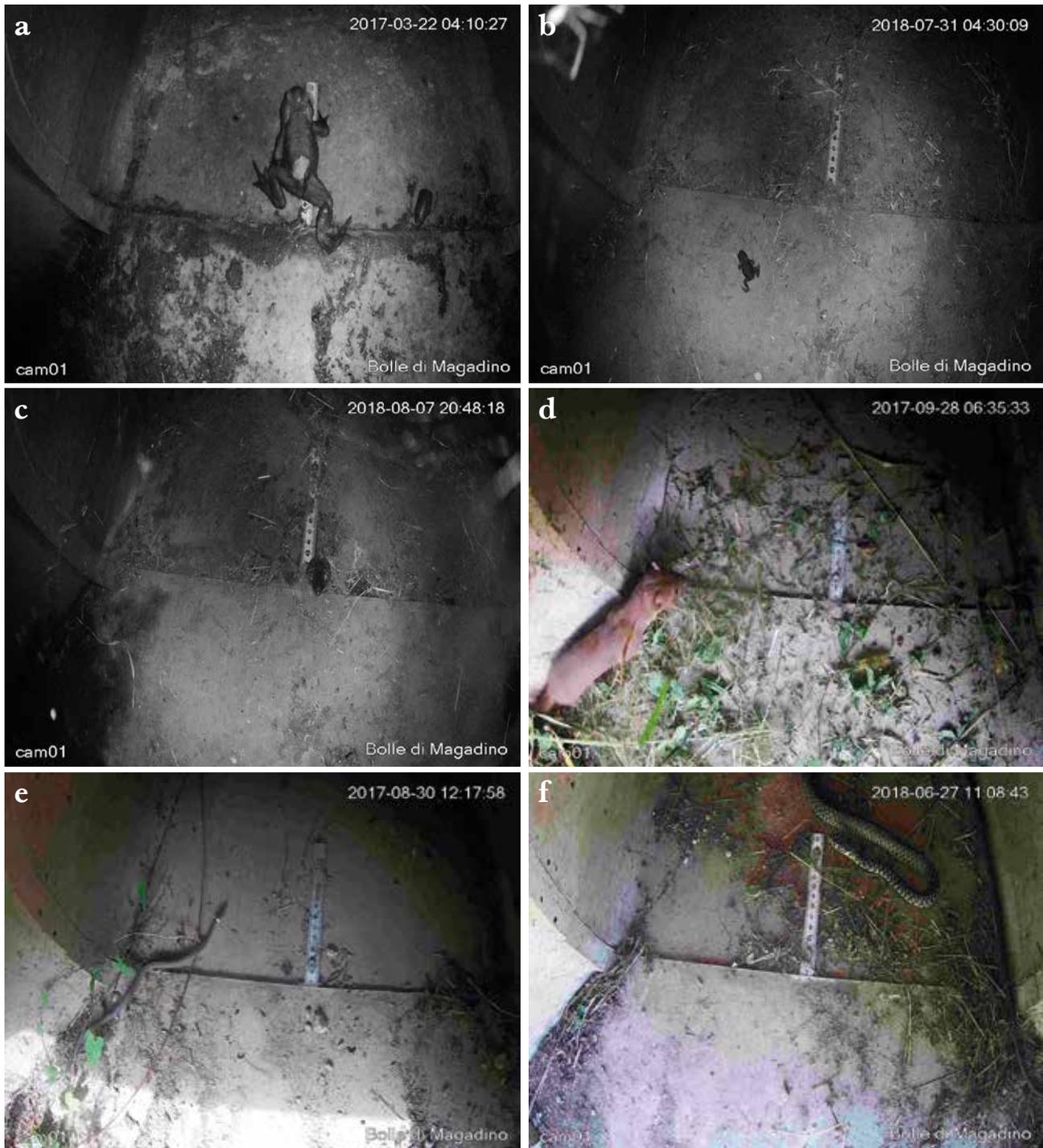


Figura 2: Riprese dell'Amphicam a) Rospo *Bufo bufo* adulto, b) Rospo giovane, c) rana rossa *Rana* sp. giovane, d) Donnola *Mustela nivalis*, e) Natrice dal collare elvetica *Natrix helvetica* e f) Biacco *Hierophis viridiflavus*. La riga usata come misura di riferimento era lunga 13 cm.

appartenenti a 10 diverse specie/gruppi tassonomici. Per un confronto con altri studi, su un campione di 35 sottopassi autostradali in Francia (diametro 0.8-1.2 m e lunghezza 31-75 m) monitorati tramite fototrappole a infrarossi e a scatti regolari sono stati contati in media 323 individui per anno e per sottopasso: almeno 22 specie di animali di taglia da piccola a grande, 5 gruppi di micromammiferi, 5 specie/gruppi tassonomici di anfibi e rettili e 2 specie di uccelli nidifughi camminatori (Fagart *et al.*, 2016). Tra gli anuri, sono citati solo cinque passaggi di rane e rospi. Probabilmente una parte degli anfibi non è stata rilevata poiché sono state utilizzate fototrappole a infrarossi. Il Tasso *Meles me-*

les, così come la Faina *Martes foina* e la Martora *Martes martes*, non osservati nel nostro caso, e la Volpe *Vulpes vulpes* sono risultati essere i maggiori frequentatori dei sottopassi in Francia. Le dimensioni del sottopasso a Magadino sono tuttavia molto limitate per animali di queste dimensioni. Anche il Riccio *Erinaceus europaeus*, sembra ben propenso ad utilizzare i sottopassi (media di 11 individui all'anno per sottopasso). Nel nostro caso non è stato osservato, probabilmente a causa degli ambienti poco idonei nei dintorni. Nel nostro studio abbiamo riscontrato invece un elevato numero di micromammiferi. Il 2017, anno con un picco demografico nella popolazione di topi in tutto il Canton Ticino,

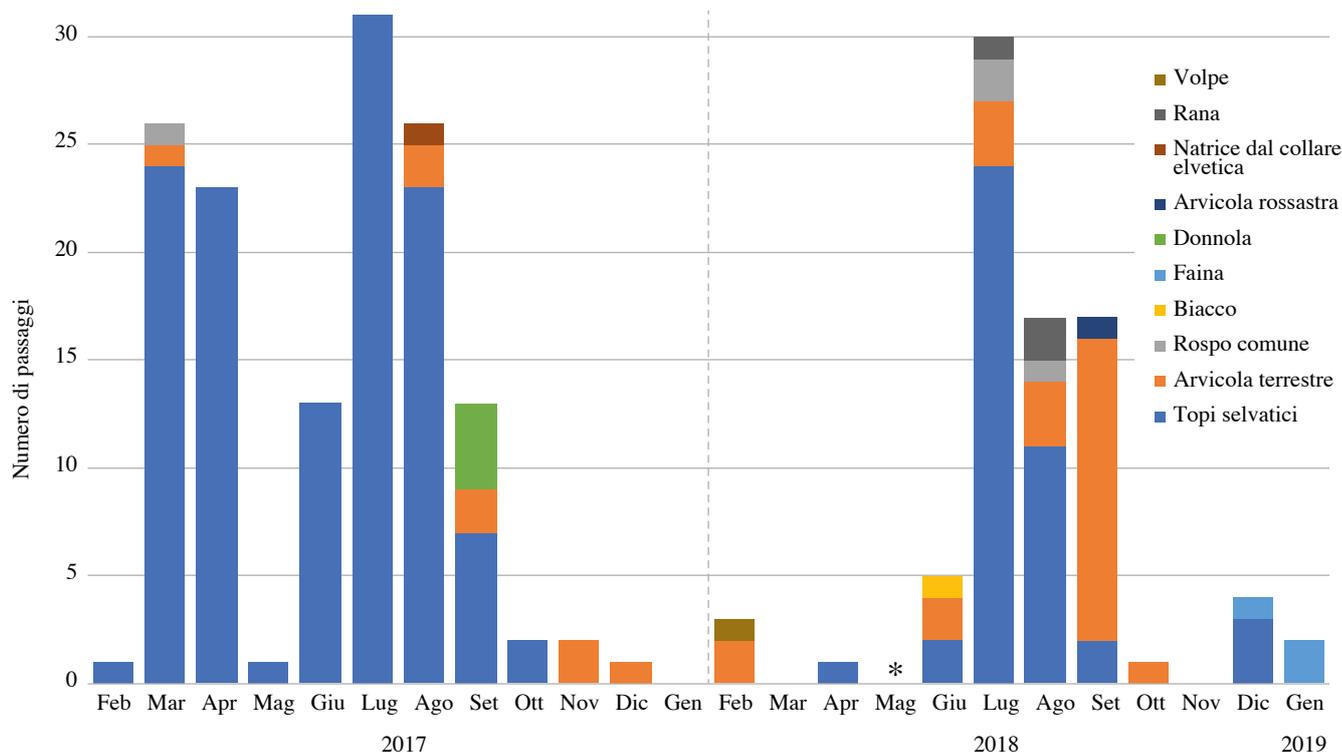


Figura 3: Numero di passaggi spontanei di diverse specie per mese da febbraio 2017 a gennaio 2019. Durante i primi 12 mesi (febbraio 2017-gennaio 2018) sono stati osservati complessivamente 139 animali, durante i 12 mesi successivi (febbraio 2018-gennaio 2019) 80. L'asterisco indica che nel mese di maggio 2018 non sono stati rilevati passaggi a causa di un problema tecnico all'Amphicam.

Tabella 2: Numero e direzione dei passaggi spontanei a) verso le Bolle di Magadino e b) verso il pendio presso il sottopasso di Magadino tra febbraio 2017 e gennaio 2019.

Specie		Direzione del passaggio		Totale passaggi
		a) Bolle di Magadino	b) Versante sopra Magadino	
Topi selvatici	<i>Apodemus sp.</i>	86	82	168
Arvicola terrestre italicus	<i>Arvicola italicus</i>	14	19	33
Arvicola rossastra	<i>Clethrionomys glareolus</i>	0	1	1
Rospo comune	<i>Bufo bufo</i>	2	2	4
Rane, diversi generi	<i>Pelophylax sp.</i> e <i>Rana sp.</i>	0	3	3
Natrice dal collare elvetica	<i>Natrix helvetica</i>	1	0	1
Biacco	<i>Hierophis viridiflavus</i>	1	0	1
Faina	<i>Martes foina</i>	1	2	3
Donnola	<i>Mustela nivalis</i>	1	3	4
Volpe	<i>Vulpes vulpes</i>	0	1	1
		106	113	219

ha rappresentato un andamento molto particolare con una dominanza di passaggi di topi del genere *Apodemus*: nel 2017 sono stati osservati il triplo di passaggi rispetto al 2018, e nel complesso tre quarti dei passaggi su tutto il periodo monitorato erano di topi del genere *Apodemus*. Anche nei sottopassi esaminati in Francia i topi del gruppo dei muridi erano i micromammiferi più frequenti (Fagart *et al.*, 2016).

Sebbene raramente, abbiamo potuto rilevare anche passaggi di animali solitamente difficili da osservare come rettili o la donnola. Diversi di questi animali sono elencati nella Lista Rossa quali specie vulnerabili della Svizzera (Rospo comune, Natrice dal collare elve-

tica, Donnola) o specie minacciate (Biacco) (Monney & Meyer, 2005; Schmidt & Zumbach, 2005).

Un solo rospo adulto e sei giovani tra rane e rospi hanno utilizzato il sottopasso spontaneamente. Alcuni individui diretti verso le Bolle di Magadino sono stati immessi dai volontari durante le azioni di salvataggio, ma gli anfibi sono tornati dallo stesso lato diverse ore più tardi senza quindi adoperare il sottopasso. Oltre a essere più sensibili alla frammentazione degli habitat, gli anfibi sono anche più esigenti riguardo alla tipologia di costruzione dei passaggi faunistici. Infatti se il sottopasso e le barriere adiacenti necessarie a incanalare gli animali verso il tunnel non sono bene pianificate,

la struttura non viene utilizzata (Schmidt & Zumbach, 2008). Ci sono diversi aspetti del sottopasso monitorato che potrebbero spiegare lo scarso utilizzo da parte degli anfibii osservato nel nostro studio. Sottopassi con un'apertura relativamente piccola vengono tendenzialmente evitati anche dopo una decina di anni dalla loro costruzione. Secondo lo studio di Brenneisen & Szallies (2017) infatti, sarebbero necessari dai 60 ai 100 cm di larghezza affinché almeno il 75% degli individui in migrazione utilizzi il passaggio. Anche la copertura a griglia può essere un fattore dissuasivo. Infatti rende il transito delle macchine più evidente all'interno della struttura (rumore e variazione di pressione atmosferica) e non protegge dall'infiltrazione di possibili sostanze distribuite sulla strada (ad esempio sale, metalli pesanti e olii) (Schmidt & Zumbach, 2008). Secondo diversi autori, un fondo coperto da materiale naturale (terra, foglie) è più attrattivo (Lesbarrères *et al.*, 2004; Brenneisen & Szallies, 2017). Inoltre, per i giovani anfibii particolarmente sensibili alla siccità, esso permette di mantenere umidità all'interno della struttura nei mesi estivi. Nel nostro caso la base è di calcestruzzo polimerico, ma con gli anni dovrebbe accumularsi un po' di terra sul fondo, rendendolo più idoneo. Viene consigliato di rivestire il fondo con un telo per stagni e uno strato di terra come effettuato in uno studio austriaco (Smole-Wiener & Jandl, 2012). In seguito a questa misura, il numero di anfibii conteggiati ha potuto essere quasi raddoppiato. Un'ulteriore effetto dissuasivo potrebbe averlo il lampione posizionato nel 2016 proprio sopra l'imbocco del sottopasso verso le Bolle di Magadino. È dimostrato che l'illuminazione artificiale altera il comportamento degli anfibii, che sono essenzialmente notturni e sensibili alla luce artificiale e naturale (Wise & Buchanan, 2002; Longcore & Rich, 2004). Tuttavia non abbiamo la prova di una diminuzione negli ultimi anni degli anfibii osservati dai volontari durante le azioni di salvataggio a seguito della posa dei lampioni. Nel 2019, un conteggio di rane e rospi in discesa nei 150 m adiacenti al sottopasso ha rilevato che il loro numero si è aggirato sulla novantina di individui, ossia circa il 10% di tutti gli anfibii salvati all'andata su una tratta di 2 km (dato raccolto dai volontari, non pubblicato). Sarebbe utile poter effettuare un secondo monitoraggio durante il picco di migrazione spegnendo i cinque lampioni installati recentemente.

Tutti i fattori dissuasivi descritti precedentemente sono difficilmente quantificabili, ma hanno sicuramente un ruolo importante. A sostegno di quest'ipotesi, gli anfibii rilasciati dai volontari all'imbocco del sottopasso (dati non mostrati) in direzione di marcia sono ritornati dalla stessa direzione senza motivo apparente. Un'approfondimento del motivo di scarso utilizzo del sottopasso da parte degli anfibii è auspicabile. A nostro avviso si dovrebbe anche migliorare il posizionamento delle barriere all'imbocco del sottopasso, in modo che gli anfibii vengano maggiormente convogliati all'interno del tubo. Tuttavia, questo studio mostra molto chiaramente che, oltre agli anfibii, una grande varietà di animali di piccole e medie dimensioni approfitta del sottopasso faunistico a Magadino. Questa struttura adempie

quindi alla sua funzione connettiva tra due frammenti di habitat divisi da una strada trafficata.

Complessivamente, l'Amphicam è risultata essere un modello di fototrappola ideale per monitorare animali ectotermi anche delle più piccole dimensioni e con andamento lento, come ad esempio rospi e rettili. L'uso dell'Amphicam in questo studio ha permesso di rilevare la fauna di passaggio in modo non invasivo e poco costoso (uso di un pannello solare come alimentazione della fototrappola). Grazie alla modalità di reazione con cambiamento di pixel e non di temperatura è stato possibile riconoscere animali a sangue freddo anche delle più piccole dimensioni, non rilevabili con le fototrappole standard. Inoltre, questo metodo ha il vantaggio di fornire informazioni sul numero di passaggi, sull'attività oraria e sul comportamento degli animali che frequentano il sottopasso tramite le sequenze video. Alcune caratteristiche morfologiche ci hanno permesso addirittura di distinguere un individuo di topo che frequentava regolarmente il sottopasso. Per determinate specie di anfibii sarebbe possibile abbinare questo tipo di monitoraggio con un programma di riconoscimento degli individui grazie ai loro disegni, come ad esempio quello recentemente elaborato per il Rospo R. ostetrico *Alytes obstetricans* da Schlup *et al.* (2018). Si potrebbero così avere maggiori informazioni sulla taglia della popolazione e sui movimenti migratori intraspecifici. Secondo Pagnucco *et al.* (2011), il movimento di alcune specie potrebbe essere troppo lento per essere riconosciuto e attivare la fototrappola, causando un problema di rilevazione e sottovalutando i passaggi. La sensibilità è quindi un fattore importante nell'uso di fototrappole. Il rilievo di animali con spostamento molto lento, come ad esempio limacce e lombrichi, suggerisce tuttavia che la sensibilità impostata nel nostro studio era ideale anche per rilevare rospi e rane. Consigliamo quindi vivamente l'utilizzo di questa nuova tecnologia per il monitoraggio di sottopassi faunistici di medie-piccole dimensioni.

RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo in particolare la Fondazione de Giacomi che ha finanziato l'acquisto dell'Amphicam. Un grazie va a Stefan Suter della Wildlife Solutions per averci aiutato con l'impostazione iniziale della fototrappola e per la consulenza fornitaci in questi due anni. Un grazie anche alla Fondazione Bolle di Magadino e ai suoi collaboratori per tutto il supporto ricevuto, in particolare a Davide Sargenti per la parte tecnica e a Nicola Patocchi per i commenti costruttivi a questo manoscritto. Ringraziamo anche Tiziano Maddalena per l'aiuto con la determinazione dei topi e la consulenza quale corrispondente regionale KARCH settore anfibii, e Marco Moretti per la revisione e i commenti costruttivi.

BIBLIOGRAFIA

- Bond A.R. & Jones D.N. 2008. Temporal trends in use of fauna-friendly underpasses and overpasses. *Wildlife Research* 35: 103-112.
- Brenneisen S. & Szallies A. 2017. Wie gut erfüllen Amphibientunnel und -Leitsysteme ihren Zweck? Akzeptanz und Erfolgskontrolle unterschiedlicher Anlagentypen in der Schweiz - Schlussbericht der Feldstudie 2010-2014. ZHAW Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen, Wädenswil. 126 pp.
- Dipartimento del Territorio 2018 Formazione marciapiede ciclopedonale Magadino-Quartino. Rapporto tecnico del progetto definitivo. (Ref. 401.022 D / 001). Dipartimento del Territorio, Divisione delle costruzioni, Area operativa del Sopraceneri.
- Fagart S. & Heurtebise C. 2016. Wildlife surveys following the construction of modified culverts - Developing and providing a vibration trap. IENE Conference. https://www.salon-ecologie.com/wp-content/uploads/2016/09/Philippe-Chavaren_Vinci-ASF_Une-nouvelle-technique-de-suivi-photographique-des-éco-ducs-le-piège-à-vibrations.-copie-min.pdf (ultima consultazione 19.8.2019).
- Fagart S., Quaintenne G., Heurtebise C. & Chavaren Ph. 2016. Restauration de continuités écologiques sur autoroutes, synthèse du retour d'expérience des aménagements et des suivis faunistiques sur le réseau VINCI Autoroutes. Rapport, VINCI Autoroutes, 160 pp.
- Glista D.J., DeVault T.L. & DeWoody J.A. 2009. A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. *Landscape and Urban Planning* 91: 1-7.
- Jina P.S., Deanna H.O. & Richard A.S. 2007. Survival and growth of larval coastal giant salamanders (*Dicamptodon tenebrosus*) in streams in the Oregon Coast Range. *Copeia* 2007 (1): 123-130.
- Lesbarrères D., Lodé T. & Merilä J. 2004. What type of amphibian tunnel could reduce road kills? *Oryx* 38 (2): 220-223.
- Longcore T. & Rich C. 2004. Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2 (4): 191-198.
- Malt J. 2011. Assessing the effectiveness of amphibian mitigation on the Sea to Sky Highway: passageway use, roadkill mortality, and population level effects. *Herpetofauna and Roads Workshop - Is there light at the end of the tunnel?* Vancouver Island University, Nanaimo, Canada, 17-18.
- Mechura T., Gémesi D., Szövényi G. & Puky M. 2012. Temporal characteristics of the spring amphibian migration and the use of the tunnel-barrier system along the Hont and Parasapuszta section of the main road No. 2 between 2009 and 2011. *Állattani Közlemények* 97: 77-84.
- Monney J.-C., Meyer A. 2005. Lista Rossa dei rettili minacciati in Svizzera. Editori: Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio, Berna e Centro di coordinamento per la protezione degli anfibi e dei rettili in Svizzera, Berna. Collana dell'UFAFP Ambiente - Esecuzione, 46 pp.
- Movia A. 2014. Rapport de suivi - Suivi de la fréquentation d'un passage à faune de type éco-duc, sous l'A7, au niveau de la commune de Donzère (26). Rapport de suivi intermédiaire 2013-2014. LPO Drôme, 25 pp.
- Patrick D.A., Schalk C.M., Gibbs J.P. & Woltz H.W. 2010. Effective culvert placement and design to facilitate passage of amphibians across roads. *Journal of Herpetology* 44: 618-626.
- Python A. & Koch B. 2016. Studio delle vie di migrazione degli anfibi alle Bolle di Magadino. Fondazione Bolle di Magadino, rapporto interno, 8 pp.
- Python A. & Koch B. 2018. Monitoraggi faunistici alle Bolle di Magadino (Cantone Ticino, Svizzera) - Studio di radiotelemetria sul Rospo comune (*Bufo bufo*). Bollettino della Società ticinese di scienze naturali 106: 63-68.
- Pagnucco K.S., Paszkowski C.A. & Scrimgeour G.J. 2011. Using cameras to monitor tunnel use by Long-toed salamanders (*Ambystoma macrodactylum*): An informative, cost-efficient technique. *Herpetological Conservation and Biology* 6 (2): 277-286.
- Schlup B., Bühler C., Stichelberger C. & Walker R. 2018. Neues Tool für Erfolgskontrollen - Amphibien. Programm zum wiedererkennen von Individuen mit Punktmustern. *Inside* 1/18: 20.
- Schmidt B.R., Brenneisen S. & Zumbach S. 2017. Funktionieren Amphibientunnel? *Inside* 2/17: 35-38.
- Schmidt B.R. & Zumbach S. 2005. Lista Rossa degli anfibi minacciati in Svizzera. Editori: Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio, Berna e Centro di coordinamento per la protezione degli anfibi e dei rettili in Svizzera, Berna. Collana dell'UFAFP Ambiente - Esecuzione, 48 pp.
- Schmidt B.R. & Zumbach S. 2008. Amphibian road mortality and how to prevent it: a review. In: Mitchell J.C., Jung Brown R.E. & Bartolomew B. (eds), *Urban Herpetology*. St. Louis, Missouri, pp. 157-167.
- Smole-Wiener A.K. & Jandl M. (2012) Akzeptanzkontrolle einer Tunnel-Leit-Anlage. Poster. Arge Naurschutz. <https://www.amphibienschutz.at/de/deutsch-downloads> (ultima consultazione 19.8.2019).
- Wise S. & Buchanan B.W. 2002. The influence of artificial illumination on the nocturnal behavior and ecology of salamanders (abstract). The Urban Wildlands Group and Ecological consequences of artificial night lighting (conference). <http://www.urbanwildlands.org/abstracts.html> (ultima consultazione 28.1.2019).

Mappatura tecno-economica per il miglioramento nella gestione di impianti geotermici superficiali a circuito chiuso in Cantone Ticino

Rodolfo Perego^{1*}, Sebastian Pera¹ e Antonio Galgaro²

¹ Istituto scienze della Terra, Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana (SUPSI), Campus Trevano, Via Trevano, CH-6952 Canobbio

² Dipartimento di Geoscienze, Università di Padova, Via Gradenigo 6, I-35131 Padova

* rodolfo.perego@supsi.ch; tel.: +41 58 666 62 18

Riassunto: il Cantone Ticino è fortemente interessato dallo sfruttamento del sottosuolo attraverso l'uso di sistemi geotermici superficiali, in forma di scambiatori di calore sia a circuito chiuso sia a circuito aperto. In questo studio sono state prodotte mappe tecno-economiche per la stima del potenziale geotermico superficiale, considerando i sistemi a circuito chiuso. È stato creato un metodo empirico per ricavare una mappa del potenziale geotermico, espressa come metri di scambiatori termici richiesti per fornire 1 kW di potenza installata. La mappa prodotta mostra una discrepanza complessiva rispetto ai dati reali di lunghezza installata di circa $\pm 23\%$. Sono state successivamente create delle mappe per diversi indicatori di fattibilità tecnico-economica, confrontate con dati e misurazioni reali. Confrontando i risultati con la normativa cantonale attuale sullo sfruttamento termico del sottosuolo, le mappe prodotte mostrano una gestione non ottimizzata della risorsa geotermica superficiale, poiché le zone ad alto potenziale sono comunemente situate dove l'installazione di BHE (Borehole Heat Exchangers, ovvero scambiatori di calore in foro) non è consentita e frequentemente i sistemi a circuito chiuso sono installati dove il potenziale stimato è inferiore, principalmente nei conoidi alluvionali. Alla luce di queste considerazioni, il processo di autorizzazione per sonde geotermiche dovrebbe essere rivisto tenendo conto del reale potenziale tecno-economico.

Parole chiave: geotermia superficiale; mappatura; potenziale energetico; energie rinnovabili

Techno-economic mapping for the improvement of shallow geothermal management in Canton of Ticino

Abstract: The Canton of Ticino, a mountainous region located in the southern part of Switzerland, is greatly affected by the continuous growth of subsurface exploitation through the use of both closed-loop and open-loop geothermal systems. In this study, techno-economic maps for shallow geothermal potential of the Canton of Ticino are produced, considering closed-loop systems. The work starts with the identification of the main parameters affecting the techno-economic potential such as GST and thermal conductivity. Maps for different indicators of techno-economic feasibility are created and compared against real data/measurements. An empirical method is tailored to derive a map of the techno-economic geothermal potential, expressed as meters required to provide 1kW of installed power. The produced map shows an overall discrepancy from real installed length data of approximately $\pm 23\%$. Moreover, the produced maps indicate that the shallow-geothermal resource management is not optimal. Indeed, high potential zones are commonly located where the installation of BHE is not permitted, and closed-loop systems are often installed where the estimated potential is lower, mainly in alluvial fans. In light of these considerations, the authorization process in the Canton of Ticino for BHE should be revised taking into account the real techno-economic potential.

Key words: shallow geothermal; mapping; energy potential; renewable energy

INTRODUZIONE

L'energia geotermica superficiale è un'energia rinnovabile ampiamente sfruttata a livello Europeo, in particolare attraverso l'uso di sistemi a circuito chiuso, o sonde geotermiche. Questi sistemi scambiano calore con il sottosuolo mediante un fluido termo-vettore, che circola in un tubo di plastica o di metallo installato nel sottosuolo. Tale scambiatore può sia estrarre calore dal terreno in inverno per riscaldare ambienti interni, sia sottrarre calore dagli ambienti da raffrescare e "iniettare" tale calore di scarto nel sottosuolo. Si tratta di una

tecnologia sicura che si è rivelata molto efficiente ed economicamente vantaggiosa nel corso degli anni, grazie ad una corretta progettazione e installazione (Banks, 2012). Questa tecnologia è relativamente matura, ma non è propriamente economica, soprattutto per bassi fabbisogni energetici: si osservano benefici economici solo dopo diversi anni di funzionamento ed i costi di investimento iniziali sono tendenzialmente elevati. Tali fattori rappresentano i principali limiti che riducono la massiccia diffusione di questa tecnologia sicura e performante in tutta Europa. La Svizzera è uno dei paesi più avanzati dal punto di vi-

sta dello sfruttamento di questo tipo di energia geotermica superficiale. Gli elevati standard di perforazione, le condizioni geologiche e termiche favorevoli, la conoscenza del territorio e della tecnologia posseduta dagli esperti del settore rende questa tecnologia una delle più popolari tra tutte le tecnologie che sfruttano energie rinnovabili, con la più alta densità spaziale di sonde nel mondo (Lund & Boyd, 2016). Le pompe di calore geotermiche che sfruttano il calore dal sottosuolo, sono solitamente installate in edifici nuovi, in particolare in quelli pubblici che adottano la certificazione Svizzera MINERGIE®, ma questa tecnologia potrebbe anche essere utilizzata per soddisfare il fabbisogno energetico in edifici storici o culturalmente rilevanti.

In particolare, in Cantone Ticino le politiche energetiche cantonali degli ultimi due decenni (Dipartimento del territorio 2017) hanno portato alla progressiva diminuzione delle emissioni di CO₂ grazie al massiccio sfruttamento termico del sottosuolo mediante sistemi geotermici sia a circuito chiuso sia a circuito aperto (con prelievo di acqua di falda). Di conseguenza, il territorio cantonale ospita attualmente un gran numero di impianti geotermici, con una densità complessiva di circa 1.5 sonde/km², che sale a 44 sonde/km² se consideriamo le principali città (Bellinzona, Lugano, Locarno). Questa attuale grande quantità di installazioni solleva problemi relativi alla mutua vicinanza degli impianti o alla presenza di campi sonde adiacenti, che influenzano a lungo termine la temperatura del terreno e le rispettive prestazioni (Perego *et al.*, 2016).

Le nuove richieste di utilizzo termico del sottosuolo sono un evento ormai molto frequente: le informazioni sulle nuove autorizzazioni sono quindi memorizzate in un geodatabase specifico (GESPOS, 2018), creato e gestito dall'Istituto scienze della Terra (IST) della SUPSI (Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana) che include informazioni su perforazioni (piezometri e pozzi), sorgenti e sistemi geotermici aperti o chiusi. Sono presenti informazioni amministrative e tecniche per più di 4'300 sonde geotermiche a circuito chiuso distribuite in più di 1'100 installazioni, georeferenziate e indicizzate. L'analisi dei dati consente di stimare una potenza installata complessiva di sistemi geotermici a circuito chiuso di circa 30 MW e una lunghezza complessiva delle perforazioni di 550 km, mostrando una forte penetrazione di questa tecnologia a livello cantonale (Fig. 1).

La maggior parte delle sonde geotermiche si trova all'interno di depositi Quaternari (43%) che riempiono le valli glaciali: tali contesti costituiscono lo sfondo principale per le attività umane e di conseguenza per lo sfruttamento energetico. Una quantità consistente di sonde è installata in rocce quali gneiss (33%), graniti (10%), calcari e rocce verdi (6%). Le installazioni più frequenti sono costituite da una e due sonde (rispettivamente il 27.6% e il 30% del totale). La capacità di riscaldamento media ponderata osservata in Cantone Ticino è di circa 25 kW. È stata osservata una regressione tra potenza installata inferiore a 100 kW e numero di sonde ($R^2 = 0.956$): secondo tale regressione, per una capacità di riscaldamento media di 25 kW un sistema rappresentativo è costituito da quattro sonde

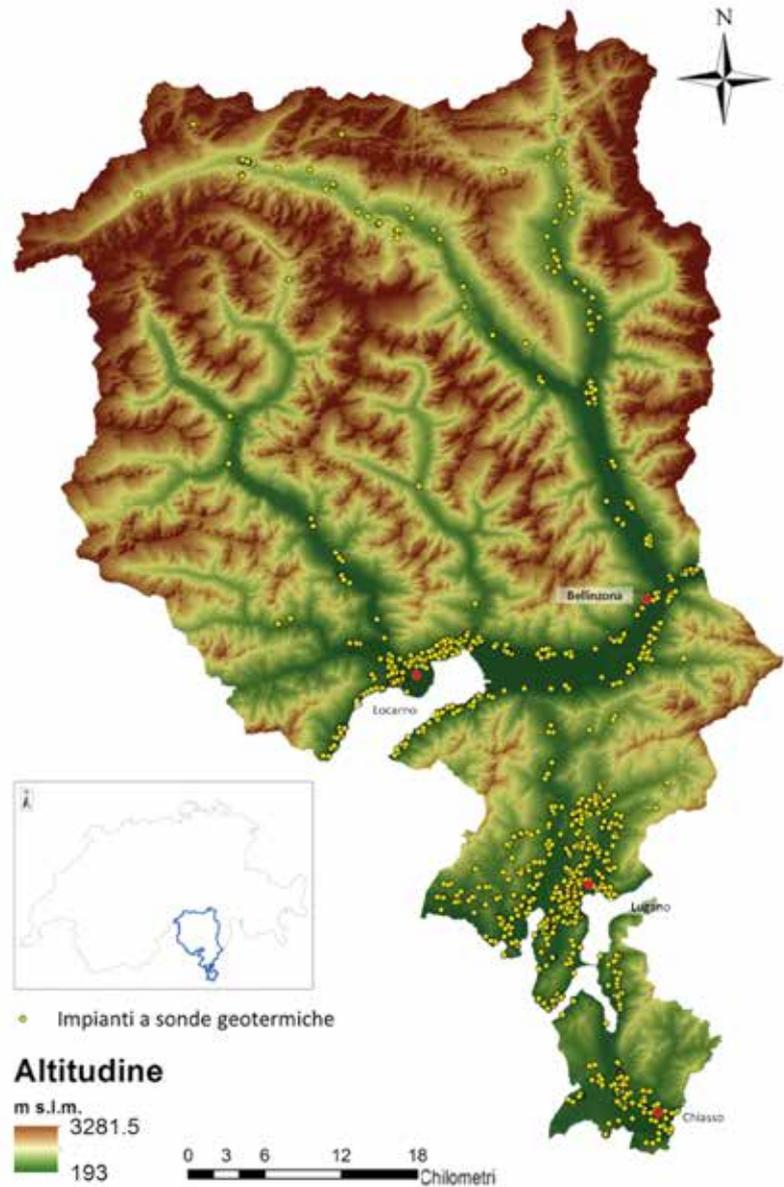


Figura 1: Area di studio considerata (l'intero territorio Cantonale) con evidenziati gli impianti che sfruttano energia geotermica superficiale tramite sonde geotermiche (immagine modificata da Perego *et al.*, 2019).

(Perego *et al.*, 2019). Questo scenario è stato considerato come riferimento per le simulazioni di lunghezza del campo sonde presentate in questo documento.

Attualmente il processo di autorizzazione dei sistemi a circuito chiuso si basa solamente sulle restrizioni derivanti dall'applicazione della legge e dell'ordinanza sulla protezione delle acque Svizzere (Consiglio Federale Svizzero, 1998) e contenute in UFAM (2009): un estratto di questo regolamento è riportato nella tabella 1. L'approccio è quindi di tipo puramente politico/amministrativo e non tiene conto del potenziale di sfruttamento presente nel sottosuolo.

Lo scopo di questo articolo è quindi quello di dare alcune indicazioni per migliorare l'attuale procedura di autorizzazione dei sistemi geotermici superficiali a circuito chiuso, adottando metodi più dinamici e robusti che tengano conto anche del potenziale calore scambiabile. Tale approccio permetterebbe di bilanciare meglio gli aspetti ambientali, tecnologici e giuridici su

base spaziale. Negli ultimi decenni solo pochi articoli scientifici si sono concentrati sulla stima del potenziale geotermico superficiale, in particolare attraverso una procedura di mappatura. Solo recentemente tale argomento ha guadagnato visibilità con i lavori di autori diversi (Schiel *et al.*, 2016, Garcia-Gil *et al.*, 2015, Bertermann *et al.*, 2015, Casasso *et al.*, 2017, Arola *et al.*, 2014, Viesi *et al.*, 2018, Galgaro *et al.*, 2015), dimostrando chiaramente che la gestione spaziale dei sistemi geotermici superficiali (sia aperti che chiusi) sta diventando sempre più rilevante a livello locale o regionale.

MATERIALI E METODI

La procedura di mappatura presentata in questo lavoro è iniziata con l'identificazione dei principali parametri "naturali" che influiscono sul funzionamento, sull'efficienza e sul dimensionamento delle sonde geotermiche verticali. Per l'area di studio considerata, i parametri naturali studiati sono la temperatura media annua dell'aria (mean annual air temperature, MAAT) che influenza la temperatura superficiale del terreno (ground surface temperature, GST) e la conducibilità termica del sottosuolo (λ). La conducibilità termica è stata calcolata separatamente per gli affioramenti rocciosi e per il materiale non consolidato, poiché tali tipi di materiale richiedono metodologie di calcolo completamente differenti.

La procedura di lavoro ha seguito un approccio sia empirico che normativo: in particolare, alcune formule utilizzate per valutare i valori di temperatura (ad es. temperatura superficiale del terreno) e i parametri di fabbisogno energetico (ad es. l'indice annuale per il fabbisogno di riscaldamento) sono tratte dalle normative svizzere, come la SIA 384/6 (SIA, 2010) e dalla certificazione MINERGIE®. Anche la maggior parte dei valori di conducibilità termica è presa dalla normativa SIA 348/6, poiché poche misurazioni termiche in-situ erano disponibili. La procedura di mappatura proposta per stimare il potenziale tecnico-economico parte dalla stima della lunghezza del campo sonde richiesto per soddisfare una certa richiesta energetica. La stima della lunghezza presuppone una preventiva caratterizzazione termica del sottosuolo.

Utilizzando la lunghezza stimata del campo sonde è pertanto possibile stimare il costo di investimento dell'impianto, che a sua volta consente di produrre mappe di indici tecno-economici. La parte modellistica del presente articolo è ispirata dunque al lavoro di Galgaro *et al.* (2015) e riportato in Perego *et al.* (2019).

Risorsa naturale

Mappatura della temperatura media annua dell'aria (MAAT) e della temperatura media annua superficiale del terreno (GST)
La parte iniziale del lavoro ha previsto la creazione di una mappa Cantonale di temperatura media annua dell'aria (MAAT) che consentisse di stimare la temperatura superficiale del terreno (GST), un input richiesto per il software EED, utile per creare scenari di pre-dimensionamento di impianti geotermici superficiali a circuito chiuso. Infatti, il valore di GST è utilizzato

Tabella 1: Informazioni di riferimento per lo sfruttamento del calore dal sottosuolo in Svizzera.

Tipo di sistema	ub	Au	Zu	Area	S3	S2	S1
Sonde geotermiche (sistemi verticali)	+	b		-	-	-	-
Circuiti sotterranei (sistemi orizzontali)	+	+4		-2/4	-B/5/4/7	-	-
Pali geotermici e altri elementi termoattivi	+	b		-2/4	-b	-	-
Pozzi per l'estrazione delle acque sotterranee, per il riscaldamento e il raffreddamento	+	b		-	-	-	-
Pozzi coassiali	-6	-6		-	-	-	-

(+) Nessuna restrizione; (b) ammesso o meno dopo un'analisi caso per caso da parte dell'Autorità, richiede l'autorizzazione; (-) vietato; (-b) vietato ma potrebbe essere derogato se si tratta di un caso particolare; (2) può essere autorizzato se un rapporto idrogeologico dettagliato identifica i limiti futuri delle zone di protezione S3; (4) le installazioni devono essere realizzate ad almeno 2 m sopra il livello piezometrico massimo; (5) nessuna pompa di calore ad espansione diretta; (7) se i circuiti si trovano nel suolo (orizzonti A o B) e non nel sottosuolo, può essere concessa un'autorizzazione; (6) autorizzati solo se studi geofisici e studi idrogeologici specifici affermano che non esiste alcuna minaccia per le acque sotterranee.

dal software per calcolare la temperatura del terreno a metà della lunghezza della sonda (solitamente a 50-60 m di profondità), utilizzando sia la conducibilità termica che le informazioni sul flusso di calore. Non erano disponibili per il Cantone Ticino serie temporali consistenti di temperatura del suolo, quindi per stimare dei valori di temperatura del suolo è stato utilizzato un robusto e omogeneo database di temperatura dell'aria, prodotto da MeteoSvizzera. La tabella 2 mostra la posizione delle stazioni di monitoraggio utilizzate e i valori di MAAT corrispondenti.

La procedura di mappatura è stata eseguita su scala ridotta, pertanto sono stati presi in considerazione solo gli effetti dell'altitudine, senza considerare la latitudine. È stata eseguita una regressione lineare tra dati di altitudine e dati di MAAT, trovando una formula di regressione con un fattore Pearson R^2 di 0,95 che ha portato ad un errore di circa il 7,4% (0.65°C) tra la temperatura misurata e stimata. L'equazione lineare ricavata è:

$$M.A.A.T.(^{\circ}C) = \frac{\text{Altitudine} - 2385.7}{-174.61} \quad (1)$$

Tale formula è stata applicata ad un modello digitale di quote (DEM) con risoluzione 25 m, ottenendo la mappa di MAAT per il Cantone Ticino.

Come previsto, le valli mostrano temperature medie annue dell'aria più elevate e questo si riflette sulle temperature medie annue del suolo. In letteratura, come buona approssimazione, la MAAT è comunemente considerata uguale alla temperatura del terreno indisturbato (Viesi *et al.*, 2018; Galgaro *et al.*, 2015). Tuttavia un procedimento di verifica di questa ipotesi, ripor-

Tabella 2: Informazioni sulle stazioni MeteoSvizzera cantonali utilizzate per il calcolo e mappatura della MAAT.

Nome stazione	Informazioni spaziali			Norma climatica: 1981-2010 (Dato: WGS 84)
	Latitudine (DD)	Longitudine (DD)	Altitudine (m s.l.m.)	MAAT (°C)
Lugano	46.0042	8.9603	273	12.4
Stabio	45.8434	8.9323	353	11.1
Cimetta	46.2004	8.7916	1661	5.2
Locarno Monti	46.1724	8.7875	367	12.4
Magadino / Cadenazzo	46.1600	8.9336	203	11.4
Grono	46.2550	9.1637	324	12.4
Acquarossa / Comprovasco	46.4595	8.9354	575	9.9
Plotta	46.5148	8.6880	990	7.7
S. Bernardino	46.4635	9.1846	1639	3.9

Tabella 3: Confronto tra le temperature del terreno indisturbate dai test di risposta termica (TRT) e MAAT.

Nome della stazione	Lat. (DD, WGS84)	Lungo. (DD, WGS 84)	Altitudine (m s.l.m.)	Temperatura del terreno indisturbata da TRT (°C)	Stima MAAT da mappatura (°C)	Differenza assoluta (°C)
Barbengo	45.9596	8.9197	283	14.4	12	2.4
Collina d'oro	45.9631	8.9083	526	11.8	10.7	1.1
Lugano-Besso	46.0094	8.9380	378	14.8	11.5	3.3
Massagno	46.0115	8.9423	367	14.8	11.6	3.2
Mendrisio	45.8642	8.9824	356	12.7	11.6	1.1
Olivone (coord.stimate)	46.5181	8.8842	1433	8.3	5.5	2.8
Fonte dei dati: vari TRT eseguiti in-situ tra il 2010 e il 2015				MAE: 2.3 °C	RMSE: 2.5 °C	

Tabella 4: Confronto tra GST misurato e stimato in cinque località ticinesi.

Nome del sito	Latitudine (DD, WGS84)	Longitudine (DD, WGS84)	Altitudine (m s.l.m.)	Consistenza serie	GST misurato (°C)	GST mappato (°C)	Differenza assoluta (°C)
Acquarossa / Comprovasco	46.4594	8.9356	575	Valore medio per 3 anni	10.6	11.9	1.3
Locarno Monti	46.1725	8.7874	366	Valore medio per 9 anni	13.6	13.1	0.5
Magadino / Cadenazzo	46.1600	8.9336	203	Valore medio per 12 anni	12.7	14.0	1.3
Robiei	46.4430	8.5133	1896	Valore medio per 6 anni	5.1	7.1	2.0
Stabio	45.8433	8.9323	353	Valore medio per 4 anni	11.8	13.2	1.4
Fonte dei dati: IDAWEB					MAE: 1.3°C	RMSE: 1.4°C	

Tabella 5: Caratterizzazione termica degli affioramenti rocciosi e dei depositi Quaternari appartenenti ad acquiferi attualmente non monitorati in Cantone Ticino.

Litologia	λ (W/mK)	Fonte dei dati
Anfibolite, metagabbro, meta-ultrabasite	2	Media da SIA 384/6
Gneiss pelitico e psammitico, fillade, conglomerato, arenaria	2.6	Media da SIA 384/6
Dolomia e marmo dolomitico	3.17	Laboratorio, misure Soma, 2015
Granito, granodiorite	2.8	SIA 384/6
Acido e vulcaniti di base	2.36	Laboratorio, misure Soma, 2015
Gneiss di granito	2.7	SIA 384/6
Depositi Quaternari generici	2	Valore rappresentativo SIA 384/6

tato in Perego *et al.* (2019), ha stabilito che l'uso di tale approssimazione non fosse adeguata per il territorio cantonale. Di conseguenza per produrre una mappa della temperatura superficiale del suolo (GST) si è applicato sulla mappa di MAAT creato un fattore di correzione ricavato dalla normativa svizzera SIA 384/6. I risultati della procedura di mappatura della GST sono mostrati in figura 2: sono state utilizzate cinque stazioni di monitoraggio prese da IDAWEB per confrontare la ricostruzione proposta di GST con dati reali misurati. I dati di GST misurati a 0.1 m di profondità sono raccolti in serie temporali di breve durata e aggregate mensilmente. Il confronto dei dati tra GST mappato e misurato è riportato in tabella 4.

La mappa di GST ha subito un doppio processo di confronto, prima con dati reali e successivamente con una ricostruzione affidabile di Signorelli & Kohl (2004) per l'intera Svizzera e valida per quote ≤ 1500 m slm. Considerato questo doppio processo di confronto, la mappa GST prodotta è stata considerata adatta per ulteriori elaborazioni. Una maggiore disponibilità di dati di temperatura del suolo potrebbe sicuramente migliorare l'affidabilità di questa ricostruzione.

Caratterizzazione termica del sottosuolo

In seguito alla realizzazione delle mappe di MAAT e GST, si è caratterizzato termicamente il sottosuolo partendo da carte geologiche, da proprietà termiche prese da letteratura (SIA, 2010) e da prove in-situ di risposta termica e da prove di portata. Per ricavare una mappa di conducibilità termica il territorio è stato suddiviso in due parti separate, dipendentemente dal tipo di materiale: affioramenti rocciosi e depositi non consolidati all'interno delle falde acquifere monitorate. La caratterizzazione termica spaziale di queste due porzioni di territorio ha richiesto differenti approcci di mappatura, descritti in dettaglio nei paragrafi successivi.

Affioramenti rocciosi

La mappa di conducibilità termica per gli affioramenti rocciosi è stata costruita utilizzando una mappa geologica in scala 1:500'000 fornita da Swisstopo. Sono stati assegnati a ciascuna litologia specifica i valori raccomandati di conducibilità termica secondo SIA (2010); in presenza di litologie multiple all'interno dello stesso poligono, è stato assegnato un valore medio della conducibilità termica raccomandata. Agli affioramenti di dolomite e vulcanite nel Ticino meridionale sono stati assegnati valori di conducibilità termica sperimentali: tali valori sperimentali di λ derivano da misure di laboratorio descritte in Soma, 2015. Le proprietà termiche assegnate ad ogni macro-litologia sono riportate in tabella 5. La mappa ottenuta di conducibilità termica degli affioramenti rocciosi è stata confrontata con cinque TRT eseguiti in roccia predominante. I risultati mostrano che la conducibilità termica stimata mappata è inferiore in quasi tutti i luoghi considerati (errore medio = $+1$ W / mK). Una mappa di conducibilità termica a questa scala non può considerare anomalie locali, eterogeneità o flusso locale di acque sotterranee che influenzano (spesso migliorano) le proprietà termiche del sottosuolo. Ciò potrebbe implicare che le conducibilità

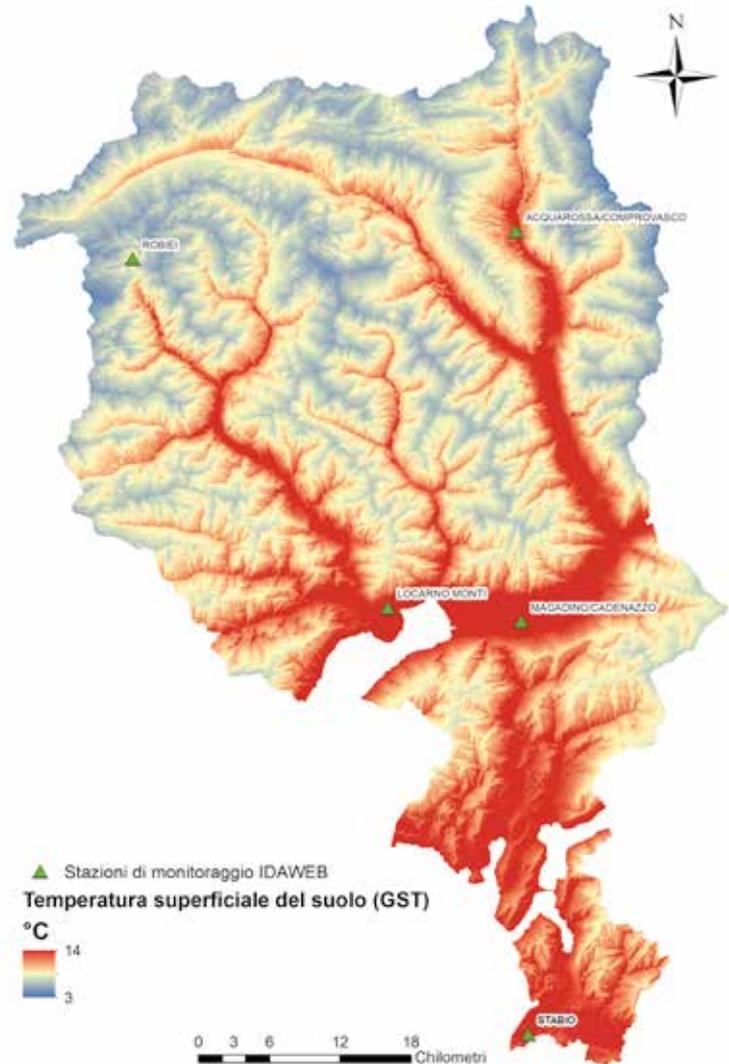


Figura 2: Carta di temperatura superficiale del suolo media annua (GST), con evidenziate le stazioni IDAWEB di monitoraggio utilizzate per il confronto (immagine modificata da Perego *et al.*, 2019).

stimate mappate potrebbero essere sistematicamente sottostimate e la lunghezza richiesta degli scambiatori di calore leggermente sovrastimata.

Depositi non consolidati

Per la caratterizzazione della porzione di territorio interessata dalla presenza di depositi non consolidati sono state prese in considerazione solo le principali falde acquifere monitorate: piano di Magadino, Laveggio, Vedeggio, Valle Maggia e acquifero di Chiasso. L'approccio utilizzato consiste inizialmente nel mappare la conducibilità idraulica e la superficie piezometrica della falda freatica per ogni acquifero monitorato. La prima ricostruzione è stata utile per assegnare proprietà termiche appropriate a ciascuna zona, mentre la seconda ricostruzione è stata utile per valutare la profondità delle acque sotterranee.

Lo spessore della zona vadosa (insatura) all'interno del sottosuolo influenza sia la conducibilità termica del sottosuolo che la velocità di trasferimento del calore come dimostrato sperimentalmente in Luo *et al.* (2018). La superficie piezometrica della falda freatica è stata ricostruita per gli acquiferi monitorati utilizzando

i dati presi tra il 2015 e il 2017 dalla rete di monitoraggio cantonale delle acque sotterranee, composta da 110 punti di monitoraggio (10 sonde automatiche e circa 100 tra piezometri e pozzi). Tali dati sono stati utilizzati per stimare gli spessori sia della zona vadosa che della porzione satura considerando 100 m profondità, che è comunemente considerata come la profondità tipica degli scambiatori di calore verticali (sonde geotermiche). L'utilizzo di un approccio secco/umido consente di descrivere più accuratamente l'influenza della zona vadosa sui valori di λ . Questo fattore di correzione non influisce in modo considerevole nelle zone con acque sotterranee poco profonde, ma è fondamentale per zone dove le acque sotterranee sono più profonde, come nei conoidi alluvionali. Per la caratterizzazione termica dei depositi non consolidati, si sono prima ricostruite le proprietà idrogeologiche dei sedimenti, in particolare la conducibilità idraulica. L'utilizzo di 556 valori di conducibilità idraulica misurati da prove di pompaggio ha permesso di costruire una mappa di proprietà idrogeologiche (vedi Perego *et al.*, 2019). La ricostruzione delle proprietà idrogeologiche è stata il punto di partenza per la caratterizzazione termica dei depositi Quaternari all'interno degli acquiferi monitorati. I depositi mappati sono stati divisi in classi litotessiturali fini, medie e grossolani, secondo dei valori rappresentativi di conducibilità idraulica, corrispondenti rispettivamente al limo, sabbia e ghiaia (Freeze & Cherry, 1979; Fetter, 2001; Perego *et al.*, 2019). Con tale approccio, il 58% delle falde acquifere è stato classificato come ghiaioso, mentre la restante porzione è stata classificata come sabbiosa (39%) e argillosa (3%). I depositi non consolidati classificati sono stati caratterizzati termicamente assegnando a ciascuna classe litologica un valore λ di riferimento per uno scenario completamente umido e completamente secco (λ umido e λ secco). Tale approccio è stato adottato poiché vi sono zone situate principalmente nella parte settentrionale dell'area di studio (a nord del Piano di Magadino), unitamente ai conoidi alluvionali, che sono caratterizzate da un'elevata profondità delle acque sotterranee. La λ ponderata per ciascun pixel è stata dunque stimata spazialmente come:

$$\lambda_{\text{pesata}} = \frac{[(\lambda_{\text{secca}} * \text{spessore insaturo}) + (\lambda_{\text{bagnata}} * \text{spessore saturo})]}{100 \text{ m}} \quad (5)$$

È stata adottata una profondità di riferimento di 100 m per il calcolo della λ ponderata, poiché non erano disponibili dati specifici sulla profondità del basamento roccioso. Una conducibilità termica di 2 W/mK è stata assegnata a depositi generici del Quaternario non appartenenti a falde acquifere monitorate; si tratta di un valore ragionevole data la bassa profondità delle acque sotterranee e data la presenza di litologie grossolane osservate all'interno del sottosuolo del Cantone Ticino (Tab. 5). Alle ghiaie è stata assegnata una conducibilità termica secca di 0.4 W/mK e di 1.7 W/mK per una condizione completamente satura. Alle sabbie e ai limi sono stati assegnati rispettivamente conducibilità

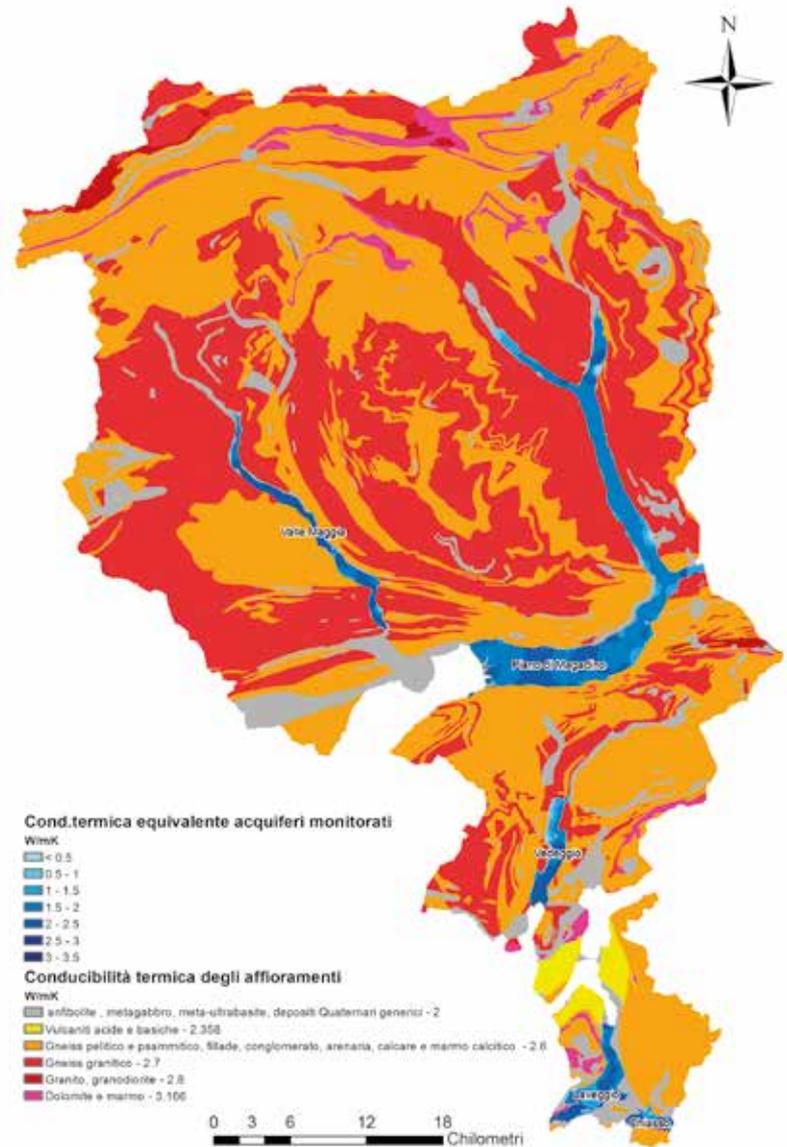


Figura 3: Ricostruzione spaziale della conducibilità termica in Cantone Ticino. I toni che vanno dal giallo al rosso rappresentano gli affioramenti rocciosi, mentre le sfumature di blu rappresentano gli acquiferi monitorati (immagine modificata da Perego *et al.*, 2019).

termiche secche/bagnate di 0.5/2.3 W/mK e 0.6/1.4 W/mK.

I risultati della ricostruzione della conducibilità termica sia per gli affioramenti che per i sedimenti sono riportati in figura 3. Un TRT effettuato all'interno di depositi non consolidati vicino a Mendrisio (acquifero del Laveggio) è stato utilizzato per un confronto tra λ misurata e simulata. L'errore è stato quantificato nel 27% che potrebbe essere dovuto al contributo convettivo delle acque sotterranee, trascurato in questo studio. Una caratterizzazione termica più dettagliata del sottosuolo attraverso dati reali migliorerebbe il processo di mappatura e conseguentemente i risultati finali.

Vincoli tecnologici

Caratteristiche del sistema geotermico di riferimento

La stima della lunghezza necessaria degli scambiatori di calore è strettamente connessa all'identificazione di un'unità residenziale di riferimento che potrebbe

Tabella 7: Parametri del sistema geotermico di riferimento e valori usati nelle simulazioni EED.

Input	Parametro	Valore										
Perforazione e scambiatore di calore	Tipo di sonda	Doppia U										
	Disposizione	2x2 (No. 233) – 4sonde										
	Distanza tra sonde	8 m										
	Diametro perforazione	130 mm										
	Conducibilità termica grouting	1 W/mK										
	Portata fluido	2 l/s per sonda										
	Diametro esterno sonda	32 mm										
	Spessore	3 mm										
	Conducibilità termica materiale sonda	0.420 W/mK										
	Distanza tra tubi interni	80 mm										
Fluido termo-vettore	Conducibilità termica	0.48 W/mK										
	Calore specifico	3795 J/kgK										
	Densità	1052 kg/m ³										
	Viscosità	0.0052 kg/ms										
	Punto di congelamento	-14 °C										
Resistenza termica sonde	Valori costanti	0.140 mK/W										
	- Fluido-terreno	0.450 mK/W										
	- Interno											
	Considera flussi di calore interni											
Capacità di riscaldamento		25 kW										
Performance	Coefficiente di prestazione stagionale	4										
Richiesta energetica	Richiesta energetica annua (comprende Acqua Calda Sanitaria)	30 MWh										
		22.5 MWh/anno forniti dal terreno										
		7.5 MWh/anno forniti dalla PdC										
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic
Fabbisogno riscaldamento [MWh/mese]	4.65	4.44	3.75	2.97	1.92	0	0	0	1.83	2.61	3.51	4.32
Durata del carico di picco mensile [ore/mese]	6	5	5	3	3	0	0	0	3	3	5	6

rappresentare un edificio target. È stata scelta come rappresentativa un'unità residenziale composta da 5 appartamenti di 100 m² ciascuno (500 m² totali) che rappresenta la superficie media di un appartamento situato nel Cantone Ticino (USTAT, 2018) e in accordo con il Piano Energetico Cantonale che considera come target per le analisi energetiche un edificio residenziale plurifamiliare il cui riscaldamento è fornito da olio combustibile (Repubblica e Cantone Ticino, 2013). Il sistema geotermico di riferimento è stato identificato in un'installazione a quattro sonde, con una capacità di riscaldamento di 25 kW, come descritto in precedenza nell'introduzione.

Fabbisogno energetico ipotizzato

È stato utilizzato un indice energetico di 60 kWh/m²-anno come riferimento per stimare sia la domanda di calore annuale che la domanda di acqua calda sanitaria (ACS). L'indice, preso dal marchio di qualità MINERGIE®, rappresenta la domanda di energia per gli edifici costruiti prima del 2000 e poi ristrutturati.

Per stimare il fabbisogno energetico non è stato considerato l'indice per edifici nuovi (38 kWh/m²-anno) al fine di mantenere un approccio conservativo ed evitare la sottostima della lunghezza degli scambiatori di calore, data la richiesta energetica notevolmente inferiore dei nuovi edifici, che non rappresenta lo status medio del settore residenziale nel Cantone. Il prodotto dell'indice MINERGIE® (60 kWh/m²-anno) per l'area di

riferimento considerata (500 m²) ha fornito 30 MWh di fabbisogno energetico annuo per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria: il profilo energetico mensile completo stimato è riportato nella tabella 7. Non è stata presa in considerazione una domanda estiva di raffreddamento principalmente perché in Cantone Ticino gli impianti geotermici a circuito chiuso non sono solitamente progettati per soddisfare esigenze sia di riscaldamento che di raffrescamento.

RISULTATI

Calcolo della lunghezza di scambiatori di calore necessaria

Il software EED sviluppato dalla Lund University per la modellazione di sonde geotermiche verticali è utilizzato sia per dimensionare impianti semplici che in progetti molto grandi e complessi. Esso consente di stimare la lunghezza e il layout del campo sonde ottimizzati, tramite funzioni che dipendono dalla spaziatura tra le sonde e dalla profondità. In questo lavoro, EED è stato utilizzato per simulare 128 scenari utilizzando un set fisso di parametri di sistema che rappresentano un sistema geotermico di riferimento (Tab. 7) dove alternativamente GST, λ , flusso geotermico e la capacità termica volumetrica sono stati modificati. L'intervallo dei valori per ciascun parametro rappresenta la variabilità all'interno delle aree mappate, ma sono stati presi in considerazione solo i valori più frequenti osservati

nelle zone più popolate. I valori GST da 3 a 10 °C non sono stati considerati nelle simulazioni poiché la maggior parte dei sistemi a circuito chiuso in Ticino si trova in zone in cui la GST ricade tra 11 e 14 °C, pertanto l'aggiunta di simulazioni per queste posizioni sarebbe stata ridondante. La scelta degli intervalli è stata fatta anche per accelerare i tempi di calcolo, evitando la realizzazione di migliaia di simulazioni che non avrebbero contribuito in maniera significativa all'identificazione della funzione polinomiale di regressione. La procedura descritta ha permesso di creare un buon numero di scenari risultanti in valori di lunghezza del campo sonde che possono essere messi in relazione con i valori GST e λ (precedentemente mappati nel Cap. 2). La correlazione tra la λ, GST e la lunghezza complessiva degli scambiatori è descritta da una funzione polinomiale di 2° grado (R² di 0.95 e RMSE di 16 m):

$$\begin{aligned} \text{Lunghezza richiesta degli scambiatori di calore} = \\ 1236 - 269.1 * \lambda - 34.83 * \text{GST} + 34 * \lambda^2 + \\ 2.47 * \lambda * \text{GST} \end{aligned} \quad (6)$$

Questa regressione polinomiale è stata applicata alle mappe GST e λ al fine di ottenere una stima continua della lunghezza degli scambiatori di calore, per l'edificio di riferimento precedentemente definito. La mappa risultante della lunghezza stimata di scambiatori necessaria (Fig. 4) mostra che il potenziale è più basso dove l'altitudine è più elevata perché è fortemente influenzata dalla temperatura media annua del sottosuolo. Un potenziale più elevato si trova nelle principali valli del Cantone Ticino, a causa delle temperature annue più elevate e grazie alla presenza di acque sotterranee a bassa profondità. Queste aree sono anche interessate da restrizioni dovute alla presenza di zone di protezione delle acque sotterranee, che non consentono una diffusione completa di nuovi sistemi geotermici verticali. Le macchie bianche rappresentano il gran numero di laghi situati all'interno del Cantone Ticino: in queste zone il potenziale non è stato mappato.

Per comprendere l'affidabilità di questa mappa, la lunghezza stimata è stata confrontata con la lunghezza reale installata in Ticino per 51 sistemi verificati, installati in diversi contesti geologici e in cui la domanda di riscaldamento è prevalente. Questi GSHP sono quasi completamente situati in una porzione di territorio al di sotto dei 1'000 m di altitudine, ma sono stati osservati anche quattro sistemi installati sopra i 1'000 m. Per eseguire questo confronto, è stata eseguita la standardizzazione per la potenza di installazione e per il numero di sonde utilizzando la seguente proporzione:

$$\begin{aligned} \text{Lunghezza corretta per impianto reale} = \\ \frac{\text{lunghezza stimata per impianto 25 kW} * \text{potenza reale installata}}{25 \text{ kW}} \end{aligned} \quad (7)$$

Il confronto tra i valori misurati/dichiarati di m/kW e quelli stimati mostra che le installazioni con un errore stimato ≤ 10% (27.4% del totale, 14 sistemi) sono localizzate in modo omogeneo all'interno del Cantone, da Nord a Sud e da Ovest a Est. 20 sistemi mostrano un

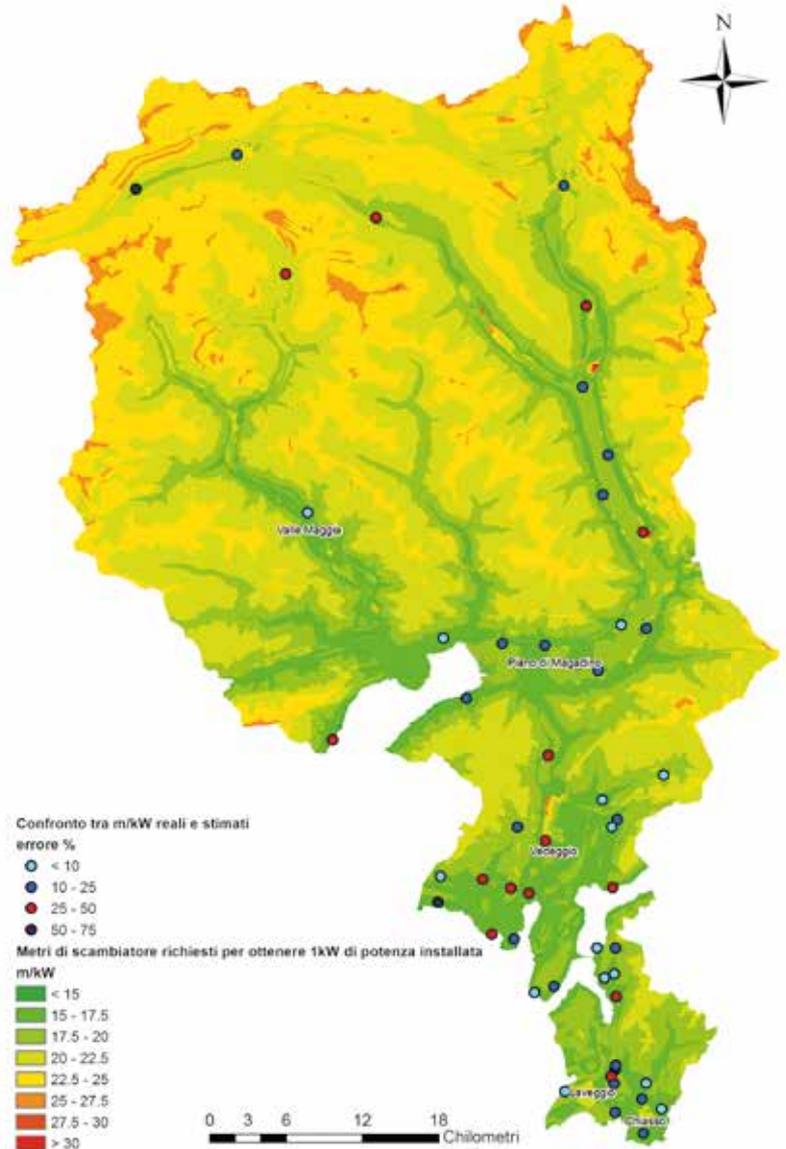


Figura 4: Carta dei metri richiesti di scambiatore di calore per ottenere 1 kW di potenza installata. I punti rappresentano i sistemi dove il dato reale è stato confrontato con il prodotto della mappatura (immagine modificata da Perego et al., 2019).

errore tra il 10 e il 25% (39.2% del totale), 14 sistemi (27.4% del totale) mostrano un errore percentuale tra 25 e 50%, mentre i restanti tre sistemi mostrano errori superiori al 50% (6% del totale).

Fondamentalmente gli stessi risultati sono stati ottenuti anche per sistemi sopra i 1'000 m di altitudine: il metodo può quindi essere considerato affidabile per diverse fasce altitudinali. I risultati mostrano che la mappa creata ha un valore semi-quantitativo a scala regionale, con un errore medio complessivo del 23% equivalente in media a ± 6 m/kW. Considerando che l'area di prova è di circa 3'000 km², i risultati possono ritenersi soddisfacenti. L'acquifero meno performante risulta essere il Laveggio, che richiede in media 18,4 m per fornire 1 kW di capacità installata, mentre l'acquifero più performante è quello di Chiasso, che richiede in media 17.4 m/kW. Questi valori devono essere considerati tenendo conto dell'incertezza della mappa m/kW stimata, che è ± 23%. Partendo da questa premessa, il potenziale stimato delle falde acquifere risulta essere

Confronto delle mappe tecno-economiche prodotte con l'attuale normativa

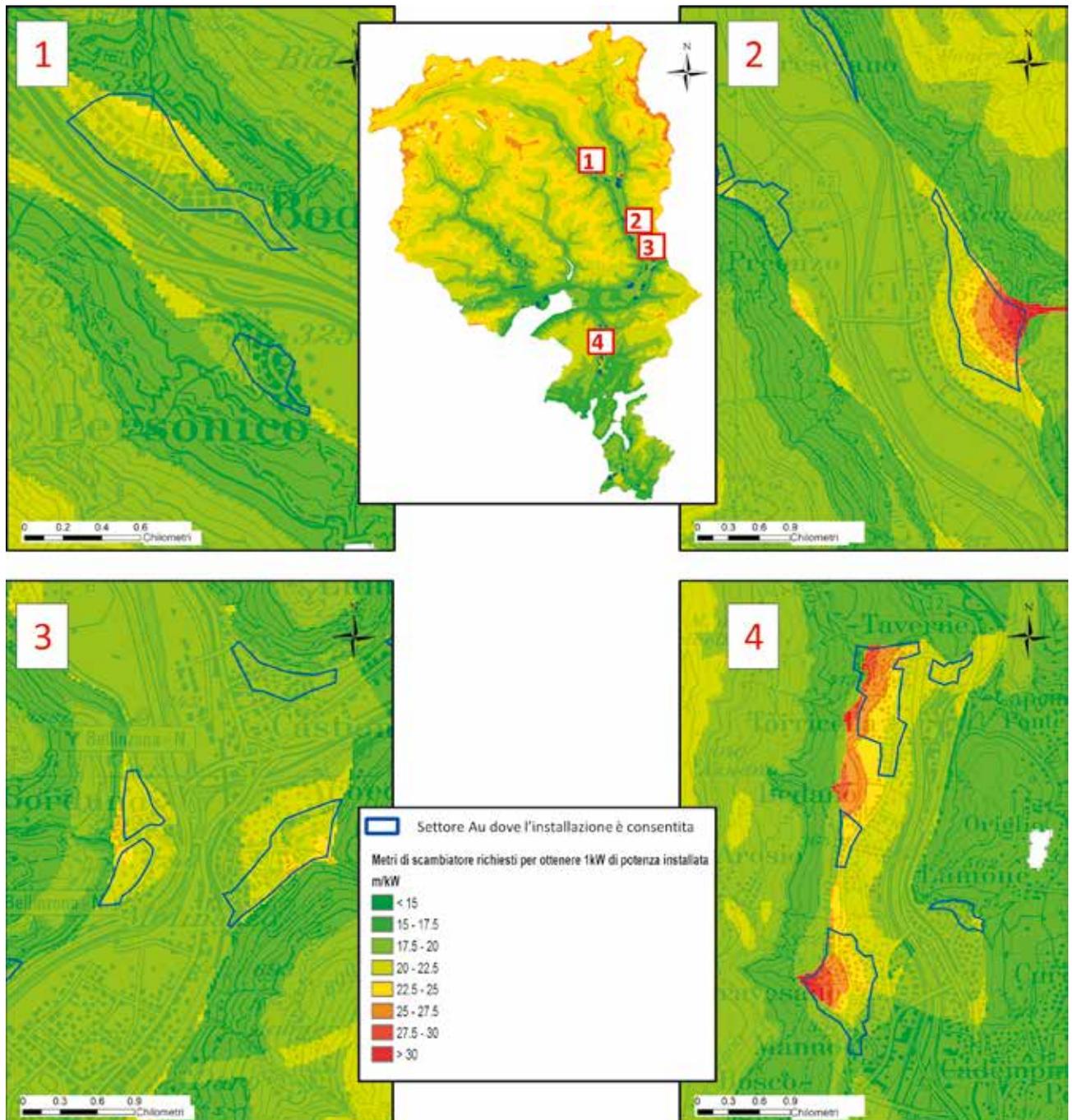


Figura 5: Confronto tra mappatura del potenziale espresso in m/kW e i settori Au (protezione delle acque sotterranee) dove l'installazione di sonde geotermiche verticali è consentita. 1) Bodio, 2) Claro, 3) Arbedo-Castione e Gorduno, 4) Manno-Taverne.

pressoché simile: si può dunque ipotizzare un'uniformità generale del potenziale di geoscambio all'interno dei principali acquiferi monitorati.

Il confronto tra la mappa m/kW e la carta normativa dei sistemi a circuito chiuso è riportato in figura 5. La figura mostra quattro diverse località da Nord a Sud scelte all'interno del Cantone Ticino: i riquadri riportano il confronto tra il potenziale stimato sotto forma di m/kW e le aree Au, soggette a protezione idrogeologica, dove i nuovi sistemi a circuito chiuso possono essere installati (contorno blu). Nel secondo e quarto riquadro (in alto a destra e in basso a destra nella figura) sono riportate due zone della parte centrale e meridionale del Cantone. La parte superiore dell'acquifero

del Vedeggio (Fig. 5, riquadro 4) presenta un potenziale geotermico molto basso, principalmente a causa della maggiore profondità delle acque sotterranee e della presenza di molti conoidi alluvionali. Ciò comporta maggiori costi di installazione e costi operativi più elevati a causa di perforazioni più profonde e minore capacità di geo-scambio. L'aspetto cruciale risulta nel fatto che le aree in cui è consentita l'installazione di sonde geotermiche verticali spesso mostrano un potenziale tecno-economico inferiore. D'altra parte, i risultati mostrano che le zone con un potenziale tecno-economico più elevato sono interessate dalla presenza di zone di protezione delle acque sotterranee, dove l'installazione di sistemi a circuito chiuso non è consentita.

Alla luce di questi risultati, è chiaramente osservabile come l'allocazione effettiva delle risorse termiche si riflette sulle prestazioni e sui costi dei sistemi. Date tutte le incertezze intrinseche a una mappatura regionale come quella proposta, l'allocazione degli impianti sembra essere non ottimizzata, evidenziando chiaramente come vi sia la necessità di miglioramenti nella gestione normativa/autorizzativa.

DISCUSSIONE

I risultati hanno mostrato che il sistema geotermico di riferimento che può soddisfare il fabbisogno di riscaldamento e acqua calda sanitaria per un edificio di 5 appartamenti di 100 m² richiederebbe una lunghezza di scambiatori di calore tra 400 e 700 m, o, se espressa come indice, tra 16 e 28 m per ogni kW di potenza termica installata (m/kW). Valori inferiori di questo indice (e quindi un potenziale più elevato) si trovano nelle principali valli: questo accade perché la temperatura media annua superficiale del terreno è maggiore e perché l'acqua sotterranea si trova a bassa profondità, con conseguente conducibilità termica dei sedimenti più elevata. La mappa m/kW è stata confrontata con 51 sistemi geotermici reali e l'errore medio è stato quantificato in 23% o ± 6 m/kW. Successivi studi potrebbero concentrarsi su una caratterizzazione idrogeologica e termica più dettagliata del sottosuolo utilizzando stratigrafie per ricostruire un modello geologico di dettaglio. Le zone dove è consentita l'installazione di nuovi sistemi geotermici verticali sono spesso i luoghi in cui si osserva un potenziale geotermico inferiore. Ciò si traduce in una gestione non ottimizzata della risorsa geotermica che può comportare un aumento dei costi, una diminuzione dell'efficienza e una potenziale perdita di attrattiva di questa energia rinnovabile.

Inoltre, nei prossimi anni, si manifesterà probabilmente un forte problema di interferenza tra sistemi adiacenti, poiché i sistemi a circuito chiuso sono consentiti solo in piccole porzioni di territorio ed è riscontrato un numero stabile di nuove richieste annue. Alla luce di queste considerazioni, sarebbe opportuno consigliare una revisione dell'attuale normativa cantonale relativa all'energia geotermica superficiale e un'allocazione più adeguata della risorsa termica. Di seguito alcune potenziali soluzioni (a prescindere dalla fattibilità tecnico-economico-politica):

Ampliamento delle aree di ammissibilità: promuoverebbe l'installazione in nuove aree, ma ciò comporterebbe un aumento di nuove richieste, ponendo una seria minaccia alla qualità delle acque sotterranee (dal punto di vista chimico e termico);

Creazione di grandi sistemi geotermici superficiali che potrebbero attuare stoccaggio termico e telerscaldamento: creando nuovi impianti geotermici superficiali in aree con elevato potenziale di geo-scambio e fornendo il calore scambiato a zone con potenziale inferiore si potrebbe ottimizzare la gestione della risorsa, dato che sarebbero necessari meno sistemi geotermici in aree a basso potenziale.

Questa soluzione potrebbe implicare l'uso di sistemi di accumulo dell'energia termica, costituiti da un gran numero di sonde geotermiche installate a breve distanza, il che è vantaggioso al fine di evitare perdite e dispersione di calore (o "freddo" in estate) all'esterno del campo sonde (Banks, 2012).

Data la complessità dei parametri in input e della procedura, i risultati della mappatura sono un buon punto di partenza per ulteriori analisi e per una migliore caratterizzazione del sottosuolo, al fine di ottenere mappe più accurate. Ciò potrebbe avvenire in futuro attraverso la raccolta e pubblicazione sistematica da parte delle agenzie di regolamentazione delle proprietà dei materiali del sottosuolo, attraverso lo sviluppo di un database facilmente accessibile e consultabile. In questo modo, i prodotti cartografici contribuirebbero a migliorare gli sforzi normativi nel tempo e potrebbero fornire un utile supporto alle aziende coinvolte nella progettazione e nella realizzazione di impianti geotermici a sonde verticali.

RINGRAZIAMENTI

Il lavoro è legato al progetto Cheap-GSHPs, che ha ricevuto finanziamenti dal programma di ricerca e innovazione HORIZON 2020 dell'Unione Europea, contratto n. 657982. Il progetto mira a ridurre i costi di installazione di impianti geotermici superficiali a circuito chiuso migliorando l'efficienza dei sistemi attraverso lo sviluppo di nuove tecnologie. SUPSI è stata coinvolta nella realizzazione di mappe multi-parametriche concernenti il potenziale geotermico superficiale a circuito chiuso, pertanto è stata necessaria la creazione di una metodologia: la progettazione e la sperimentazione della metodologia sono state eseguite sul Cantone Ticino. Il lavoro svolto dalla SUPSI nell'ambito di Cheap-GSHP non è stato direttamente finanziato dall'Unione Europea, ma è stato finanziato dalla Segreteria di Stato Svizzera per l'Istruzione, la Ricerca e l'Innovazione (SERI) tramite il contratto n° 15.0176.

BIBLIOGRAFIA

- Arola T., Eskola L., Hellen J. & Korkka-Niemi K. 2014. Mapping the low enthalpy geothermal potential of shallow Quaternary aquifers in Finland. *Geothermal Energy*, 2: 9.
- Banks D. 2012. An introduction to thermogeology: ground source heating and cooling. John Wiley & Sons. 526 pp.
- Bertermann D., Klug H. & Morper-Busch L. 2015. A pan-European planning basis for estimating the very shallow geothermal energy potentials. *Renewable energy*, 75: 335-347.
- Casasso A. & Sethi R. 2017. Assessment and mapping of the shallow geothermal potential in the province of Cuneo, Piedmont, NW Italy. *Renewable energy*, 102: 306-315.
- Consiglio Federale Svizzero 1998. Ordinanza sulla protezione delle acque (OPAc). 814.201. Berna.
- Dipartimento del territorio 2017. Rendiconto del Consiglio di Stato - Allegato statistico. Repubblica e Cantone Ticino Bellinzona 243 pp. <https://www4.ti.ch/fileadmin/CAN/TEMI/>

- RENDICONTOCDS/2017/RENDICONTO/Allegato_statistico_2017_documento_completo.pdf (ultima consultazione 16.10.2019).
- Fetter C.W. 2001. Applied hydrogeology, Prentice Hall, Upper Saddle River. 598 pp.
- Freeze R. & Cherry J. 1979. Groundwater, Englewood, New Jersey. 604 pp.
- Galgaro A., Di Sipio E., Teza G., Destro E., De Carli M., Chiesa S., Zarrella A., Emmi G. & Manzella A. 2015. Empirical modeling of maps of geo-exchange potential for shallow geothermal energy at regional scale. *Geothermics*, 57: 173-184.
- García-Gil A., Vázquez-Suñe E., Alcaraz M.M., Juan A.S., Sánchez-Navarro J.Á., Montlleó M., Rodríguez G. & Lao J. 2015. GIS-supported mapping of low-temperature geothermal potential taking groundwater flow into account. *Renewable energy*, 77: 268-278.
- Gemelli A., Mancini A. & Longhi S. 2011. GIS-based energy economic model of low temperature geothermal resources: A case study in the Italian Marche region. *Renewable energy*, 36: 2474-2483.
- GESPOS <https://geoservice.ist.supsi.ch/gespos/> (ultima consultazione 16.10.2019).
- Hellström G. & Sanner B. 2000. Earth energy designer. User's Manual, version 2.
- IDAWEB <https://gate.meteoswiss.ch/idaweb/login.do> (ultima consultazione 16.10.2019).
- Lund J. & Boyd T. 2016. Direct utilization of geothermal energy 2015: worldwide review. *Geothermics*, 60: 66-93.
- Luo J., Tuo J., Huang W., Zhu Y., Jiao Y., Xiang W. & Rohn J. 2018. Influence of groundwater levels on effective thermal conductivity of the ground and heat transfer rate of borehole heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 128: 508-516.
- MINERGIE® <https://www.minergie.ch> (ultima consultazione 16.10.2019). Berna.
- Perego R., Guandalini R., Fumagalli L., Aghib F.S., De Biase L. & Bonomi T. 2016 Sustainability evaluation of a medium scale GSHP system in a layered alluvial setting using 3D modeling suite. *Geothermics*, 59: 14-26.
- Perego R., Pera S. & Galgaro, A. 2019. Techno-economic mapping for the improvement of shallow geothermal management in Southern Switzerland. *Energies*, 12: 279.
- Repubblica e Cantone Ticino 2013. Piano Energetico Cantonale (PEC). Piano d'azione. Bellinzona.
- Schiel K., Baume O., Caruso G. & Leopold U. 2016. GIS-based modelling of shallow geothermal energy potential for CO₂ emission mitigation in urban areas. *Renewable energy* 86: 1023-1036.
- SIA 2010. Sondes géothermiques. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein 384/6, Zurigo.
- Signorelli S. & Kohl T. 2004. Regional ground surface temperature mapping from meteorological data. *Global and Planetary Change* 40: 267-284.
- Soma L. 2015. Interplay between opposite vergence thrusts along the Southern Alps margin in Canton Ticino (Switzerland): geometry and kinematics in support of the characterization of geothermal potential. Tesi di dottorato. Università di Pavia.
- USTAT 2018. Energia panoramica del tema, Ufficio cantonale di statistica <https://www3.ti.ch/DFE/DR/USTAT/index.php?fuseaction=temi.tema&proId=43&p1=44> (ultima consultazione 16.10.2019).
- UFAM 2009. Exploitation de la chaleur tirée du sol et du sous-sol. Aide à l'exécution destinée aux autorités d'exécution et aux spécialistes de géothermie. L'environnement pratique n. 0910. Ufficio federale dell'ambiente, Berna, 51 pp. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/publications/publications-eaux/exploitation-chaleur-tiree-sol-sous-sol.html> (ultima consultazione 16.10.2019).
- UFAM 2016. Fattori di emissione di CO₂ secondo l'inventario svizzero dei gas serra. Scheda informativa. Ufficio federale dell'ambiente, Berna.

I castagni monumentali dell'Alpe di Brusino (Cantone Ticino, Svizzera): indicazioni per chi volesse azzardarne l'età

Patrik Krebs¹, Alberto Poli² e Marco Conedera¹

¹ Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio WSL, a Ramél 18, CH-6593 Cadenazzo

² Patriziato di Brusino Arsizio, C.P. 45, CH-6827 Brusino Arsizio

patrik.krebs@wsl.ch

Riassunto: L'invecchiamento degli alberi porta alcuni esemplari ad assumere forme e dimensioni straordinarie, a primeggiare rispetto ai propri consimili e ad attrarre di conseguenza le attenzioni della gente. Si parla in questi casi di alberi monumentali. Nello stimare la loro età si deve fronteggiare numerose incognite dovute in particolare alla presenza di cavità interne e all'impossibilità di ottenere campioni di legno completi fino al centro a livello del tronco inferiore. In queste pagine trattiamo il caso specifico dei due castagni monumentali dell'Alpe di Brusino nella Svizzera meridionale, mostrando come si possa, tramite un approccio interdisciplinare, acquisire dati e indizi utili per ricostruire le loro curve di crescita. Tra i metodi e materiali considerati figurano quelli propri a diverse scienze eco-storiche quali la dendrocronologia (carotaggi), la storiografia (manoscritti, documenti d'archivio e fotografie d'epoca), la geografia (mappe catastali) e la fotogrammetria (modelli tridimensionali). Lo scopo finale è quello di ottenere una stima attendibile del ventaglio di età possibili tra un minimo e un massimo, permettendo nel contempo di screditare o scartare le ipotesi meno probabili quali l'attribuzione di un'età millenaria agli esemplari studiati.

Parole chiave: alberi monumentali, curve di crescita, dendrocronologia, fotogrammetria, stima dell'età, storia locale

Guidelines on how to estimate the age of the giant chestnut trees above the village of Brusino-Arsizio in Southern Switzerland

Abstract: Some trees increase with ageing in significance due to their extraordinary shapes and sizes, becoming landmarks and referred as remarkable trees by the community. The estimation of their age is challenging because the basal part of the stem is often hollow and consequently completely lacking of wood showing the whole sequence of annual rings. In this contribution we discuss the specific case of the two very old and famous chestnut trees located above the village of Brusino-Arsizio, on the northern slope of the Monte San Giorgio, in southern Switzerland. We developed an interdisciplinary research with the aim of approximate the age of these two veteran trees, by exploiting methods and materials related to different scientific approaches such as dendrochronology (wood samples obtained with an increment borer), history (manuscripts, archival documents and old photographs), geography (cadastral maps) and photogrammetry (three-dimensional models). We ended up with growth curves adapted to these specimens allowing us to estimate annual ring width and trunk girth at any age, to hypothesize the possible age range (minimum to maximum), and to discredit the popular belief that these monumental trees can reach or surpass the millennial age.

Key words: age estimate, dendrochronology, growth curves, local history, photogrammetry, remarkable trees

INTRODUZIONE

Nelle zone temperate la crescita degli alberi segue l'andamento delle stagioni, producendo quello che è normalmente definito un anello annuale di accrescimento. In teoria basterebbe contare la sequenza di questi anelli su una sezione basale del tronco per conoscere l'età di un albero. In realtà, nel caso degli alberi vetusti e dei castagni in particolare, il fusto principale presenta spesso comparti interni con legno cariato o decomposto o addirittura ampie cavità. Risulta quindi assai difficile ottenere sequenze anulari complete. Ma l'uomo è per natura curioso e vorrebbe veder svelato il segreto custodito nell'albero maestoso. Nel caso poi degli alberi monumentali di specie profondamente vincolate ai

destini delle civiltà umane, come il castagno e l'ulivo, si sommano aspetti storici e culturali che inducono ad affidarsi a sensazioni, ipotesi, tradizioni orali o fantasticherie pur di dare un'età a questi giganti verdi che sfidano il tempo. Così in Sicilia ai piedi dell'Etna il celebre *Castagno dei Cento Cavalli*, ormai costituito da tre fusti separati di ben 13, 20 e 22 metri di circonferenza, viene comunemente ritenuto un albero plurimillenario. Nel caso poi dell'ulivo molti sono gli esemplari con tronchi enormi che sembrano contendersi il primato di longevità, come ad esempio l'olivastro di Luras in Sardegna, al quale si è soliti assegnare un'età compresa tra i 3'000 e 4'000 anni. Eppure, stando alle pubblicazioni più accreditate in ambito scientifico, gli ulivi superano ben difficilmente i 700 anni d'età (Arnan *et al.*, 2012;

Bernabei, 2015), mentre l'albero più vecchio d'Europa, con un'età accertata di "soli" 1'230 anni, è attualmente un esemplare di pino loricato che vegeta ad alta quota su suolo roccioso nel Parco nazionale del Pollino in Calabria (Piovesan et al., 2018). In realtà certi arbusti sono almeno altrettanto longevi come i ginepri fenici abbarbicati alle rupi vertiginose nelle gole dell'Ardèche, dai quali si è potuto trarre una sequenza anulare ininterrotta di quasi 1500 anni (Dupouey, 2010; Mathaux et al., 2016; Camarero & Ortega-Martínez, 2019). Volgendo lo sguardo alle Alpi si trovano larici molto vecchi con età comprovate scientificamente in primis nel parco nazionale del Mercantour (1'003 anni secondo Serre, 1978), in alta Valmalenco (960 anni, Nola & Motta, 1996), ma anche nelle nostre valli Calanca (771 anni) e Leventina (737 anni, Krebs et al., 2007).

I due castagni monumentali dell'Alpe di Brusino sul versante nord-occidentale del Monte San Giorgio hanno una considerevole circonferenza del tronco (misurata a un'altezza media dal suolo di circa 130 cm) di 10.66 e 8.64 metri, come riportato nell'*Inventario dei castagni monumentali del Canton Ticino e del Moesano* (Krebs, 2004). Più a Nord, nelle valli del Sopraceneri vi sono castagni con circonferenze anche maggiori, ma questi due sono senz'altro tra i più famosi poiché ammirati dagli avventori della locale trattoria attiva da molti decenni. Oltre a figurare su varie cartoline postali la loro maestosità è decantata in diversi libri anche di autori forestieri (Hofmann, 1988; Riva & Tognola, 1990; Fratus, 2016) e in articoli di giornale. Così ad esempio stando al Popolo e Libertà del 17 agosto 1981 i "secolari castagni fanno del luogo un'unità senza paragoni non solo nell'ambito del Luganese ma anche dell'intero Ticino" essendo "già stati studiati da eminenti personalità universitarie" nonché "citati in vari libri di botanica e di storia a livello europeo". Rientrano inoltre a pieno titolo nell'elenco dei tesori da tutelare del Monte San Giorgio, inserito dal 1977 nell'Inventario federale dei paesaggi d'importanza nazionale (UFAM 2017) e assunto dal 2003 a sito UNESCO patrimonio dell'umanità. Secondo la tradizione si tratterebbe di castagni millenari (Schroter, 1936, p. 69; Poli, 2008, p. 82), concetto puntualmente ripreso anche da diversi quotidiani che riferiscono come la località dell'Alpe di Brusino sia "nota a tutti per i millenari castagni unici nel nostro Cantone" (Giornale del Popolo del 22 marzo 1975). Nel primo Novecento erano ben sei i castagni di dimensioni eccezionali attorno all'Alpe (Fig. 1), ma col tempo quattro sono andati distrutti e i due superstiti si trovano ormai in condizioni precarie. Il loro stato sanitario attuale e le cavità del tronco in particolare impediscono una datazione affidabile applicando i consueti metodi della dendrocronologia e radiodatazione (cfr. Bernabei, 2015; Mathaux et al., 2016). Considerando le scarse risorse disponibili e la fragilità dei due alberi si è preferito non ricorrere a campionamenti nell'apparato radicale, sebbene questi possano in certi casi rivelarsi utili per ottenere legno vecchio databile col radiocarbonio e ridurre così le incognite dovute alla cavità nel tronco (Piovesan et al., 2018). L'esemplare con la circonferenza minore detto "l'Alboron" (vedi M1 in Fig. 1) si erge proprio a ridosso dei tavoli del grotto ed è completamente cavo internamente, tanto che si è dovuto applicare dei

tiranti per rimediare alla sua fragilità strutturale. Il secondo, situato 16 metri a Ovest rispetto all'edificio principale dell'Alpe (M2 in Fig. 1), presenta una cavità più stretta ma comunque assai importante.

Malgrado tali limiti apparentemente insormontabili, la straordinarietà storico-culturale di questi esemplari ci induce a riflettere sulla questione della loro età. In questo articolo proponiamo quindi un approccio eco-storico che consiste nel raccogliere vari materiali, indizi e informazioni utili per giungere infine a una stima il più attendibile possibile che mostri perlomeno il ventaglio delle possibilità tra un'età minima e una massima, permettendo nel contempo di screditare o scartare le ipotesi meno probabili. In particolare ci siamo mossi su più fronti partendo dalla cospicua documentazione scritta e dalle molte fotografie storiche, ma anche valutando le condizioni stazionali e fitosanitarie, misurando la struttura dei tronchi, estraendo campioni di legno sia dai due monumentali sia da castagni più giovani presenti nei dintorni, come pure considerando dati dendrocronologici riferiti alla stessa specie ma in altri contesti.

MATERIALI E METODI

Inquadramento geografico

Allo scopo di sondare il quadro territoriale originale dell'Alpe di Brusino si è provveduto a georeferenziare una sezione consistente della mappa catastale rilevata nel 1858 dal geometra Carlo Suvà. In particolare i fogli VII, VIII, XI e XII sono stati dapprima uniti e poi importati in ArcGIS. La georeferenziazione, compiuta con una trasformazione di tipo "Adjust", si fonda su una trentina di punti di controllo affidabili, stabiliti in massima parte grazie al confronto diretto tra i confini fondiari ottocenteschi e quelli attuali.

La localizzazione di ogni castagno campionato è stata determinata con l'ausilio di un distanziometro-clinometro (Leica DISTO D810 touch) e di una bussola di precisione (Suunto KB-14/360R DG).

Archivi e fototeche

Per ricostruire la storia locale dell'Alpe di Brusino si è dovuto vagliare varie raccolte di documenti manoscritti principalmente presso gli archivi del Comune e del Patriziato di Brusino-Arsizio, ma anche in altre sedi come l'Archivio di Stato del Cantone Ticino.

La documentazione fotografica può rivelarsi fonte d'informazioni cruciali per ricostruire le trasformazioni nel tempo dei luoghi e degli oggetti ivi presenti. In passato però gli alberi monumentali non ebbero molte attenzioni da parte dei fotografi, quindi scovare l'immagine giusta non è certo facile. Rivolgendoci dapprima ai collezionisti locali, abbiamo di seguito usufruito dei maggiori portali in rete che consentono di passare al setaccio importanti collezioni fotografiche. Pensiamo ad esempio alle notevoli fototeche dell'Archivio di Stato di Bellinzona, dell'Ufficio federale di topografia (<https://map.geo.admin.ch>) e del Politecnico federale di Zurigo (www.e-pics.ethz.ch), senza dimenticare i principali siti per la vendita online di cartoline postali come *Delcampe* o *eBay*.

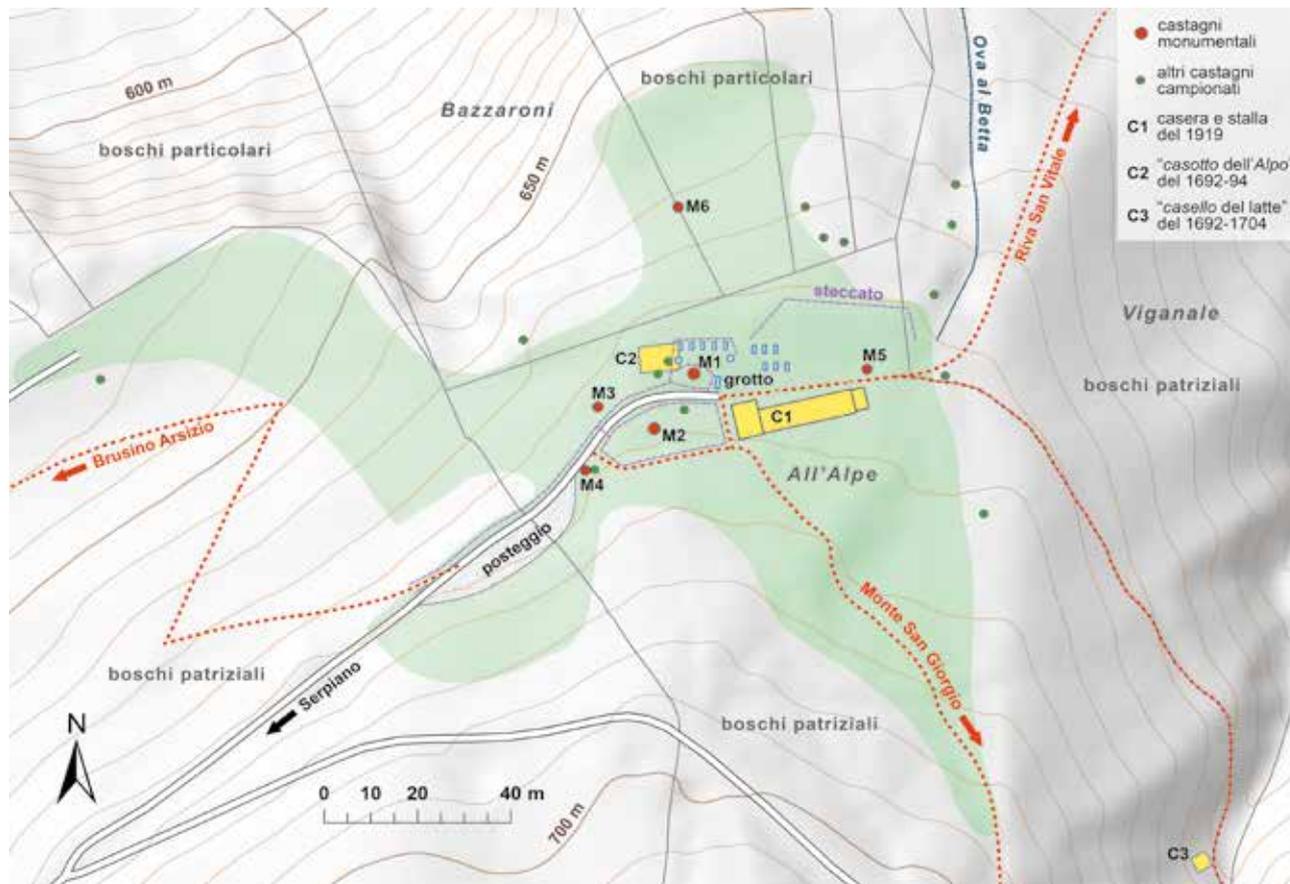


Figura 1: Mappa dell'Alpe di Brusino con rappresentati gli edifici (C1-C3), i castagni monumentali (M1-M6), gli alberi più giovani campionati (alcuni si trovano al di fuori del quadrante visibile), i prati dell'alpe (stato attuale), le strade e i sentieri (stato attuale, tratteggiati in rosso), i tavoli del grotto, alcuni toponimi, la ripartizione in fondi distinti prima del riordino particellare e la cesura tra boschi patriziali e particolari nell'Ottocento. Lo stabile attuale (C1) risale al 1919 (Rivista di Lugano, 19 giugno 2009, p. 34), mentre altri elementi qui riportati sono oggi del tutto scomparsi (C2, M4, M5 e M6) o ridotti a poche tracce (C3 e M3). Le fonti utilizzate sono il piano catastale del 1858, i rilievi sul terreno e le fotografie storiche. Equidistanza delle curve di livello 5 metri.

Analisi strutturale dei castagni monumentali

Per poter procedere a un'analisi anatomica accurata delle strutture portanti dei due monumentali oggetto di studio abbiamo realizzato i modelli tridimensionali dei due tronchi monumentali sfruttando le notevoli capacità del software di fotogrammetria *RealityCapture* (vers. 1.0.3.6310). Questo procedimento ha richiesto dapprima una sessione fotografica completa con oltre 200 scatti per ogni albero al fine di catturare l'aspetto del tronco e delle branche principali visti da ogni angolatura (cfr. Krebs & Conedera, 2019). Onde garantire il corretto orientamento del modello rispetto al Nord geografico e all'asse verticale abbiamo predisposto nelle scene due aste metalliche (paline) contenenti un filo a piombo montate su treppiedi e dotate di piastre di livellamento. Su ogni palina erano posti in evidenza due punti di controllo con distanza nota, informazione indispensabile per precisare la scala metrica del modello finale. Le *mesh* poligonali risultanti, salvate in formato PLY, sono state importate in *MeshLab* (vers. 2016.12) dove, con l'ausilio della funzione *Compute Planar Section*, si è potuto elaborare delle sezioni anatomiche del tronco a diverse altezze sull'asse z. Queste sono quindi state salvate in formato DXF e importate in *ArcGIS* (vers. 10.4.1) al fine di trasformarle in comuni *shapefiles* per mezzo delle funzioni *CAD to Geodatabase* e *Feature To Polygon*. Infine, sempre in *ArcGIS*, abbiamo calcolato

diametri, aree e involuipi convessi (*convex hull* tramite la funzione *Minimum Bounding Geometry*) dei poligoni rappresentanti le sezioni ortogonali del tronco. Maggiori dettagli sul rilievo fotogrammetrico, unitamente a un diorama che ne presenta metodo e risultati, sono disponibili in rete: www.wsl.ch/castagni-monumentali/modelli3d

Analisi dendrocronologiche

Allo scopo di studiare i ritmi di accrescimento radiale dei castagni presenti attorno all'Alpe abbiamo prelevato campioni di legno dai tronchi utilizzando una sonda incrementale (succhiello di Pressler) di fabbricazione svedese (Haglöf) con trivella lunga 40 cm. In particolare abbiamo estratto 4 campioni dai due monumentali superstiti sempre grossomodo ad altezza di petto nelle parti più sane e vigorose del tronco inferiore. Per il secondo monumentale (M2) abbiamo inoltre misurato due curve di accrescimento su alcuni grossi pezzi di legno risultanti da potature e tagli di risanamento. Dal canto loro i carotaggi dei castagni giovani o maturi (con circonferenze comprese tra 134 e 250 cm, indicati con cerchi verdi in Fig. 1) hanno fornito 21 campioni di legno. Vicino al punto dove un tempo si ergeva il monumentale M5 (Fig. 1) abbiamo raccolto un'ampia sezione di legno (rotella) restante dal taglio recente di un giovane castagno.

Per ogni albero campionato si è provveduto a stimare o misurare vari dati essenziali tra cui lo stato di salute, l'integrità della corteccia, la chiusura della chioma e la circonferenza del tronco. Nel caso dei due monumentali, per questa ultima misura si è cercato nel settembre del 2018 di replicare con precisione la misura effettuata nel gennaio del 2004, avendo cura di appoggiare la bindella metrica al tronco seguendo lo stesso percorso documentato da Krebs (2004) con una serie di scatti fotografici.

I campioni di legno risultanti dai carotaggi sono stati incollati su supporti rigidi e lisciati adoperando carta abrasiva con grana viepiù fine (dal 240 al 600). Lo spessore degli anelli di accrescimento è stato misurato osservando i campioni al binoculare dislocati tramite una tavola di misurazione con vite micrometrica (modello DENDROTAB 2003). Tramite il software *T-Tools Pro* (vers. 1.4) ogni sequenza di ampiezze anulari è stata datata in base all'ultimo anello di accrescimento visibile (coincidente all'anno 2018) nonché salvata in formato aperto (ASCII file 1 column *.txt). Tutte le sequenze ricavate da castagni con età inferiore ai 150 anni sono quindi state elaborate tramite uno script di *R* (*R Foundation for Statistical Computing*) di nostra concezione allo scopo di stimare gli anelli mancanti rispetto al midollo, assegnare di conseguenza un'età presunta ad ogni anello e calcolare infine le curve di accrescimento medio per tre diverse categorie stazionali (prato, margine boschivo e bosco). Il metodo adottato per il calcolo degli anelli mancanti verso il centro si rifà ai principi e procedimenti discussi da Bertogliati & Conedera (2012).

Elaborazione dei modelli di crescita

Le diverse curve di accrescimento medio ottenute, riferite a castagni cresciuti appresso all'Alpe come pure in altri contesti geografici, sono servite poi per delineare dei modelli di crescita verosimili per i due monumentali superstiti ritenendo a titolo esemplare tre ritmi di crescita (lenta, media e rapida) e una circonferenza finale del tronco di 10 metri. I modelli di crescita sono stati tracciati partendo da una serie di punti definiti (indicanti l'accrescimento radiale in millimetri per una determinata fascia d'età) con l'ausilio di un software di *curve fitting* (*TableCurve 2D* vers. 5.01.05) e scegliendo poi la funzione matematica con la migliore corrispondenza rispetto ai punti assegnati.

RISULTATI

Caratteristiche stazionali

I due castagni monumentali (M1 e M2 in Fig. 1) si trovano su un versante rivolto verso Nord-Ovest a un'altitudine di rispettivamente 672 e 674 metri, una quota che può sembrare modesta rispetto al limite superiore dell'areale castanile nelle valli superiori del Ticino riscontrabile tra 800 e 1'100 metri a dipendenza delle esposizioni, ma che va valutata tenendo presente da un lato la marginalità del Monte San Giorgio rispetto alla catena alpina (quindi con temperature più fredde risultanti dallo scarso "Massenerhebungseffekt") e

dall'altro il ruolo mitigante sul clima dell'arco lacustre circostante.

Il suolo risulta piuttosto favorevole per i castagni essendo poco inclinato, abbastanza profondo, fresco, ben drenato, nonché subacido grazie alla presenza di un substrato roccioso povero di calcio e composto da porfiriti più o meno quarzifere di epoca Permiana (risalenti a 290-260 Ma), in alcuni settori sormontato da depositi morenici quaternari. Sebbene il comune di Brusino-Arsizio fosse fra quelli con il minor numero di vacche in confronto alla popolazione (Lavizzari, 1863, p. 771), la presenza di bestiame sull'alpe nei secoli passati sembra essere stata sufficiente a garantire una buona concimazione e un apporto di sostanze nutritive utili per la crescita vegetale. Malgrado l'esposizione a bacio, gli alberi possono beneficiare di un irraggiamento solare medio annuo di poco inferiore alla media ticinese e quantificabile in circa 1'000 kWh/m². Inoltre, trovandosi tutt'ora come nel passato in un'ampia radura, è assai probabile che i due patriarchi abbiano subito in misura molto limitata la concorrenza di altra vegetazione arborea.

Condizioni fitosanitarie e strutturali

Purtroppo la valutazione dello stato di salute dei due giganti non lascia presagire nulla di buono. Quel che è peggio, la loro vitalità si è ridotta notevolmente proprio negli ultimi anni. In particolare il secondo monumentale (M2 in Fig. 1) ha patito molto i danni causati dal cinipide galligeno alle poche fronde ancora rimaste. Nel febbraio-marzo del 2018 si è cercato di porvi rimedio con un intervento di potatura, sperando in una buona ripresa vegetativa nella parte superiore del tronco. Invece non vi è stata alcuna reazione tant'è che a fine estate, le uniche parti vive sono una grossa branca che si diparte verso Ovest dal pedale e i succhioni che scaturiscono dal colletto radicale. Dal canto suo l'*Alburon* (M1 in Fig. 1) sembra resistere meglio. Il peggioramento rispetto allo stato di salute da noi rilevato nel 2004 appare contenuto. Le preoccupazioni maggiori sono piuttosto legate alla sua stabilità strutturale.

Il confronto tra le due misure della circonferenza nel 2004 e 2018 indica una decrescita di 6 cm per l'*Alburon* (da 8.64 a 8.58 m) e una crescita di 5 cm (da 10.66 a 10.71 m) nel caso del secondo monumentale. Tenuto conto dell'imprecisione delle misure, si può parlare nel primo caso di una leggera contrazione dovuta probabilmente a un graduale cedimento strutturale (forse un abbassamento del pedale per effetto del peso delle parti soprastanti), mentre nel secondo caso il modesto accrescimento del tronco è da ricondurre alle ultime buone annate vegetative prima della crisi del cinipide.

Il rilievo fotogrammetrico dei due alberi ha fornito risultati più che soddisfacenti e molto accurati. In base ad alcuni punti di controllo indipendenti stimiamo un'imprecisione del modello tridimensionale inferiore al centimetro rispetto alla realtà. Studiando e misurando le *mesh* poligonali, unitamente alle sezioni anatomiche che ne derivano, si possono apprezzare appieno le dimensioni e le forme straordinarie. A livello del colletto (si vedano le sezioni 1 in verde chiaro nelle

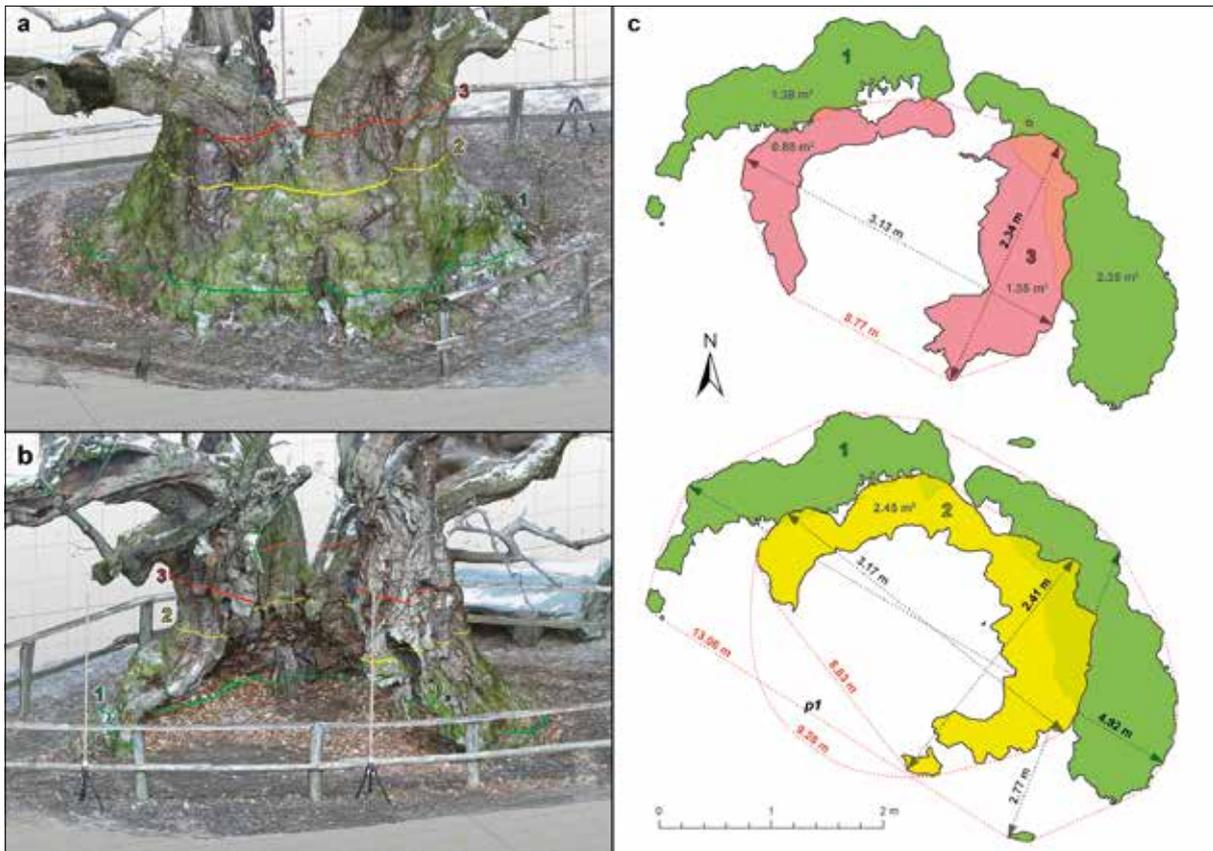


Figura 2: Modello tridimensionale dell'*Alburon* visto da Nord (a) e Sud (b) con evidenziate in verde, giallo e rosso tre sezioni anatomiche orizzontali poste a un'altezza dal suolo di rispettivamente 10, 115 e 180 cm verso monte. Le stesse sono presentate a destra in proiezione ortogonale (c) con indicate varie misure di diametro, area e involuipo convesso.

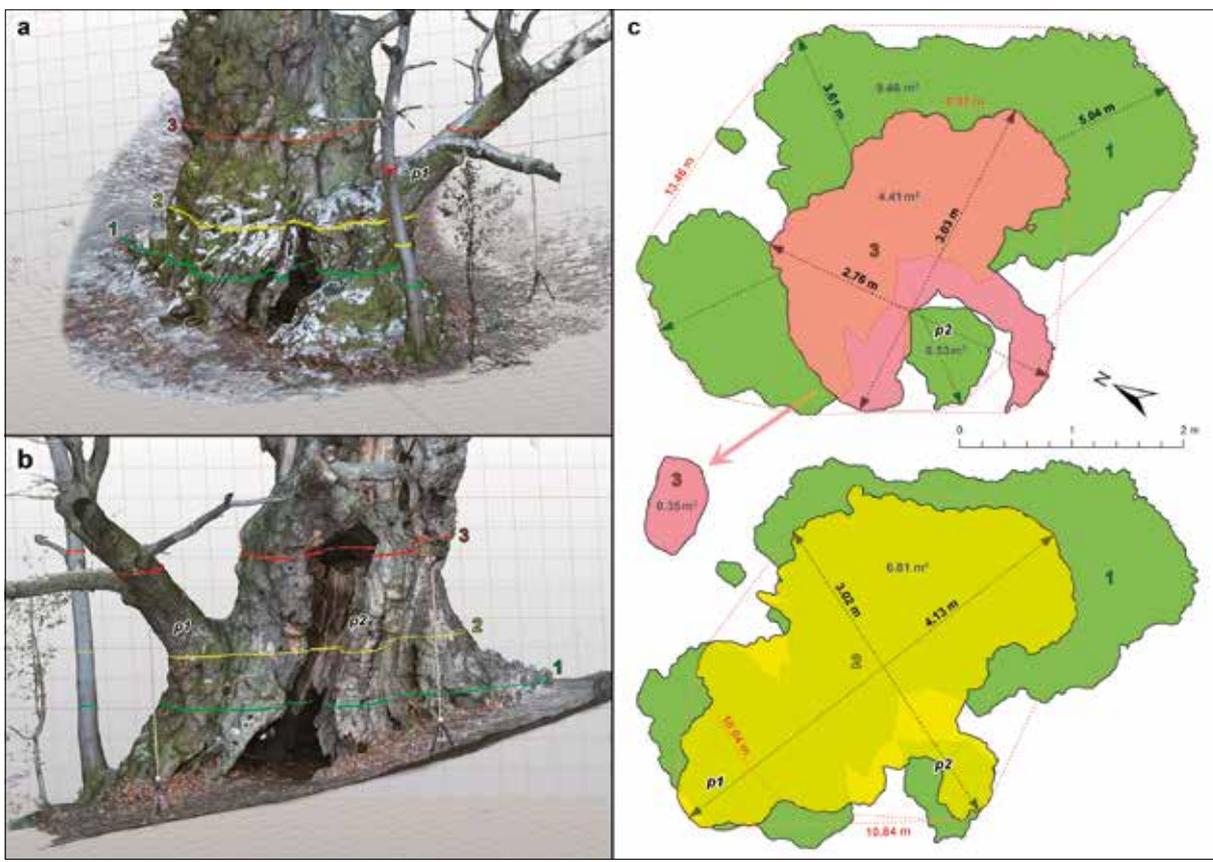


Figura 3: Modello tridimensionale del secondo monumentale (M2) visto da Nord (a) e Sud (b) con evidenziate in verde, giallo e rosso tre sezioni orizzontali poste a un'altezza dal suolo di rispettivamente 0, 70 e 200 cm verso monte. Le stesse sono presentate a destra in proiezione ortogonale (c) con indicate varie misure di diametro, area e involuipo convesso.

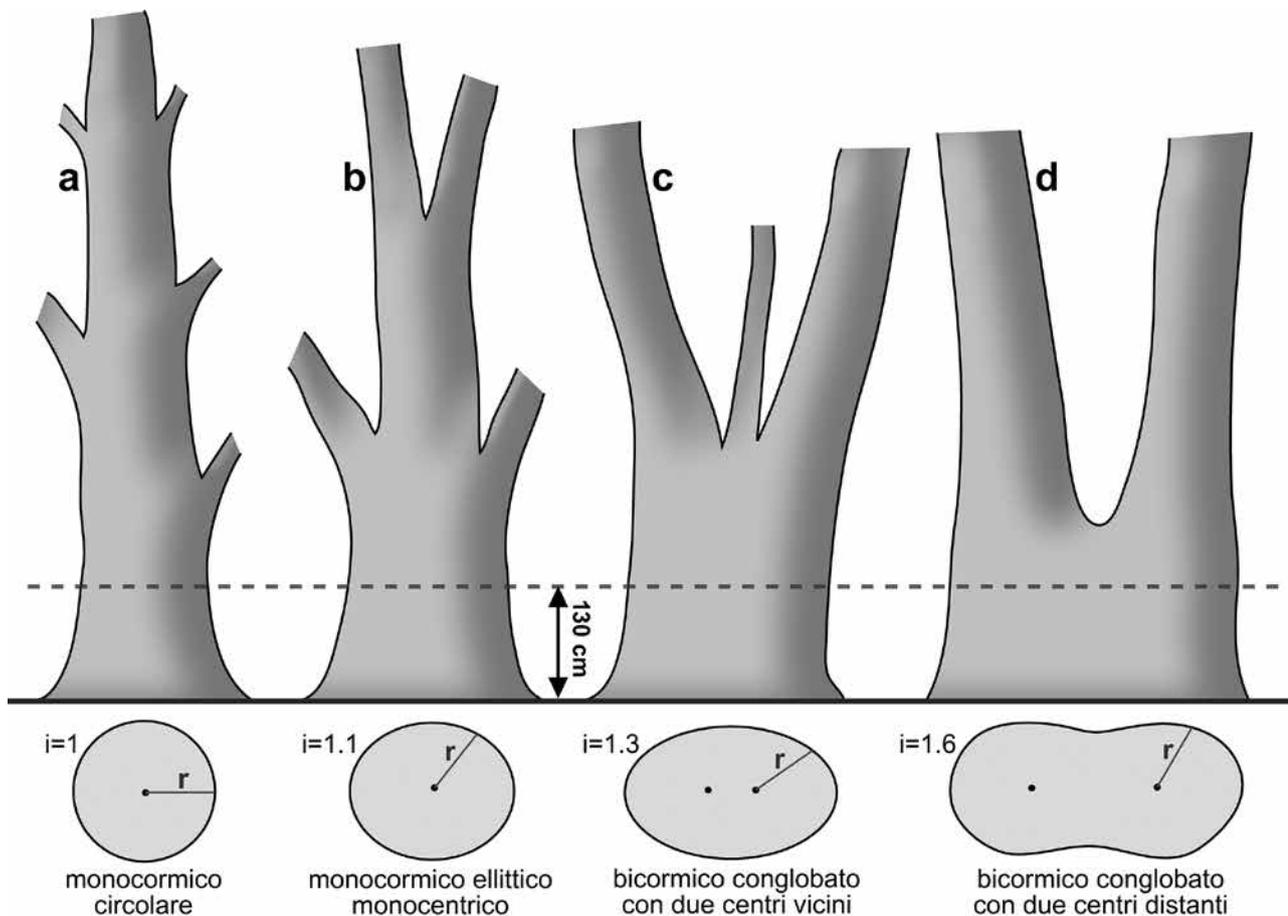


Figura 4: Quattro casi esemplari di possibili strutture del tronco di castagni vetusti visti di lato (sopra) e in sezione (sotto). In tutti i casi si ha grossomodo lo stesso raggio tra la corteccia e il midollo (r) mentre muta notevolmente l'inviluppo convesso (i), a dimostrazione dell'importanza dell'analisi strutturale per lo studio della crescita e quindi dell'età di un albero.

Fig. 2 e 3) si hanno circonferenze di oltre 13 metri, con diametri fino a 5 metri e aree che raggiungono i 10 m². Entrambi i tronchi hanno ben poco in comune con delle figure geometriche elementari. Se nel descrivere e misurare il fusto di un albero in selvicoltura si è soliti far riferimento ai solidi di rotazione come il cilindro o il cono (Raj & Lal, 2015, p. 202; Kershaw *et al.*, 2016, p. 141), qui si hanno forme di tutt'altra natura e complessità. Le sezioni orizzontali mostrano notevoli disparità tra i diametri misurati in direzioni opposte. Malgrado ciò non si può certo parlare di strutture portanti policormiche conglobate (v. Fig. 4, casi **c** e **d**). Si deve piuttosto far riferimento a strutture monocormiche caratterizzate da sezioni evocanti forme più ellittiche che circolari (Fig. 4, caso **b**). I tronchi si compongono quindi di un unico asse di crescita principale notevolmente influenzato però dalla presenza di colonne laterali semi-indipendenti facenti capo a diramazioni più o meno basse (talune tutt'ora vigorose, altre rinsecchite o del tutto scomparse) secondo un principio di compartimentazione progressiva che è parte costitutiva delle strategie tipiche messe in atto dalle specie vegetali più longeve (Lanner, 2002, p. 661). La presenza di molteplici compartimenti strutturali giustapposti solitamente tendenti, con l'avanzare dell'età, verso un maggiore affrancamento radicale, può comportare ritmi più spediti di accrescimento del tronco, ammesso che la concorrenza tra le diverse parti della stessa pianta non produca un effetto inverso e commisurato al primo.

Nel caso dell'*Alburon*, l'eccentricità abbastanza marcata è dovuta in primis alla perdita completa della parete del pedale rivolta verso Sud-Ovest. Quella voragine originata dalla scosciatura di un'importante diramazione bassa si ampliò gravemente allo scadere del 1967 in conseguenza dell'abbruciamento del tronco per mano di ignoti (vedi Popolo e Libertà, 4 gennaio 1968, p. 7). Provando a ricostruire virtualmente la porzione mancante otteniamo una circonferenza del tronco nettamente superiore a 9 metri (si veda *p1* nella Fig. 2). Per il secondo monumentale si osservano anzitutto gli effetti a livello del piano di misura della circonferenza delle branche che si dipartono dal tronco inferiore. Pensiamo in particolare al grosso ramo che si stacca e si protende obliquamente verso Nord-Ovest. Simulando l'assenza di questo asse secondario si riduce la circonferenza di ben 80 centimetri (*p1* nella Fig. 3). Un'altra diramazione influente si è scosciata molti decenni or sono lasciando come segni evidenti un'irregolare protuberanza del tronco verso Sud sormontata da un grande foro in corrispondenza del punto originale di attaccatura (*p2* nella Fig. 3).

Le elaborazioni tridimensionali permettono quindi di relativizzare la differenza in termini di circonferenza tra i due alberi. Considerando le varie particolarità strutturali appena discusse lo scarto potrebbe ridursi infatti a meno di un metro e in buona sostanza i due fratelli legnosi potrebbero anche essere grossomodo coevi.

Foto d'epoca

Le prime immagini ritraggono diverse persone in posa davanti al grandioso pedale dell'*Alburon* con quell'incavatura che allora appariva più stretta e oscura (Fig. 5a e 5b). La data non è nota ma possiamo ritenere che risalgano a circa cent'anni fa o poco meno. Come terminus ante quem segnaliamo che il secondo scatto (Fig. 5b) venne pubblicato nella prima edizione della *Flora des Südens* del professor Carl Schröter (1936, Tafel 15e) con l'attribuzione a un certo "Phot. Traber" basato a "Brusin-Arsizio". L'informazione principale che possiamo trarne è l'aspetto della corteccia che si direbbe quasi completamente integra e pressoché priva di danni o lacune, perlomeno sulla facciata meridionale del tronco. Anche la chioma inferiore risulta alquanto frondosa e vitale senza branche morte apparenti. Degna di nota anche l'altezza delle prime diramazioni importanti stimabile attorno ai 3-4 metri dal suolo. Si tratta però di branche secondarie di generazione ben più recente rispetto al fusto unico e dominante che prosegue verso l'alto.

La figura 6 mostra una preziosa immagine di insieme dell'Alpe come si presentava al momento dello scatto il 12 marzo del 1928. Trattandosi di una ripresa da notevole distanza ci consente di valutare bene le caratteristiche della boscaglia circostante (molto aperta con strato erbaceo e piante giovani ancora basse), l'estensione dei terreni prativi, nonché la posizione dei vari castagni vetusti. Sono in particolare ben visibili sei castagni annosi nelle adiacenze dell'alpe, ossia quattro lungo la strada d'accesso a ponente dell'edificio (M1-M4 nella Fig. 1), uno ridotto a tronco scultoreo pressoché spoglio posto a ridosso dello spigolo Nord-Est dello stallone (M5), e infine una chioma ampia e vigorosa sorretta da un tronco possente in fondo ai prati sotto l'Alpe (M6). Il dato più significativo che emerge da quest'immagine è l'aspetto nel contempo imponente e vetusto dei due castagnoni destinati a scampare fino ai giorni nostri, nell'apparenza davvero poco dissimili rispetto alle loro stazze e forme attuali.

Ulteriori scorci pregevoli sul passato dei due sommi alberi si devono al botanico svizzero Werner Lüdi (*1855-†1968) che dedicò molte escursioni alla castanicoltura nel Sottoceneri (Lüdi 1940). Il 2 maggio del 1942 egli salì sulla vetta del San Giorgio facendo tappa all'Alpe di Brusino, certamente per verificare con i propri occhi le voci diffuse sui prodigi arborei di quel luogo. Scelse quindi di ritrarre i due alberi più maestosi con alcuni scatti a colori di buona fattura che rivelano in particolare l'ampiezza e la notevole vitalità delle loro chiome (Fig. 7a e 7b). Con siffatte chiome è lecito ritenere che fossero ancora sani e vigorosi perlomeno fin verso la metà del Novecento. Le due immagini rivelano anche la presenza di alcune branche tagliate a testimonianza di potature di rimonda o alleggerimento.

Documentazione scritta

La documentazione d'archivio raccolta da Alberto Poli permette di far risalire l'edificazione dello stabile originale (ora del tutto scomparso, vedi C2 nella Fig. 1) dell'Alpe di Brusino al più tardi al 18 luglio 1694, allorché vennero presentati i conti alla vicinanza "delle spese

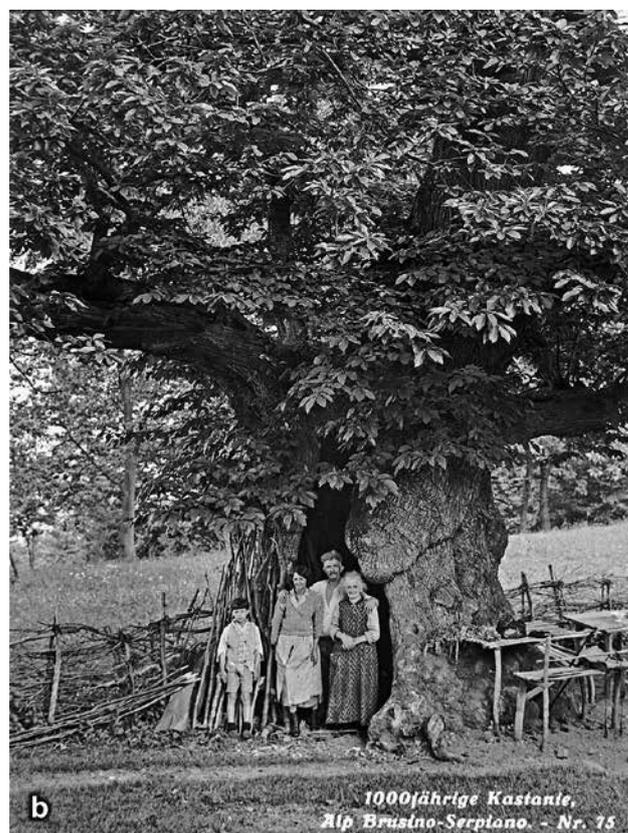


Figura 5: Foto d'epoca dell'*Alburon* visto da Sud risalenti probabilmente al 1915-1925 (a) e 1930-1934 (b). Nell'immagine b il bambino è Camillo Polli nato nel 1922, mentre l'uomo longilineo è Francesco Fraquelli morto nel 1934. La scritta "1000jährige Kastanie, Alp Brusino-Serpiano. - Nr. 75" lascia intendere che questa servì come cartolina postale e riafferma la credenza popolare nella longevità senza pari del nostro campione vegetale.

fatte intorno alla tagliata et fabbrica dell'Alpo" (Poli, 2008, p. 79; cfr. Poli, 2019). Questo fatto storico va considerato con una certa attenzione visto che in alcuni casi si è potuto riscontrare sui nostri monti una coincidenza temporale tra la piantumazione del frutteto castanile e



Figura 6: Ingrandimento di un particolare di una fotografia realizzata il 12 marzo 1928 dai cartografi dell'allora *Abteilung für Landes-topographie*, corrispondente all'attuale Ufficio federale di topografia (Swisstopo, *terrestrische Aufnahmen*, no. d'inventario 376998, coord. del punto di ripresa 717°131/86'208, alt. 828 m).

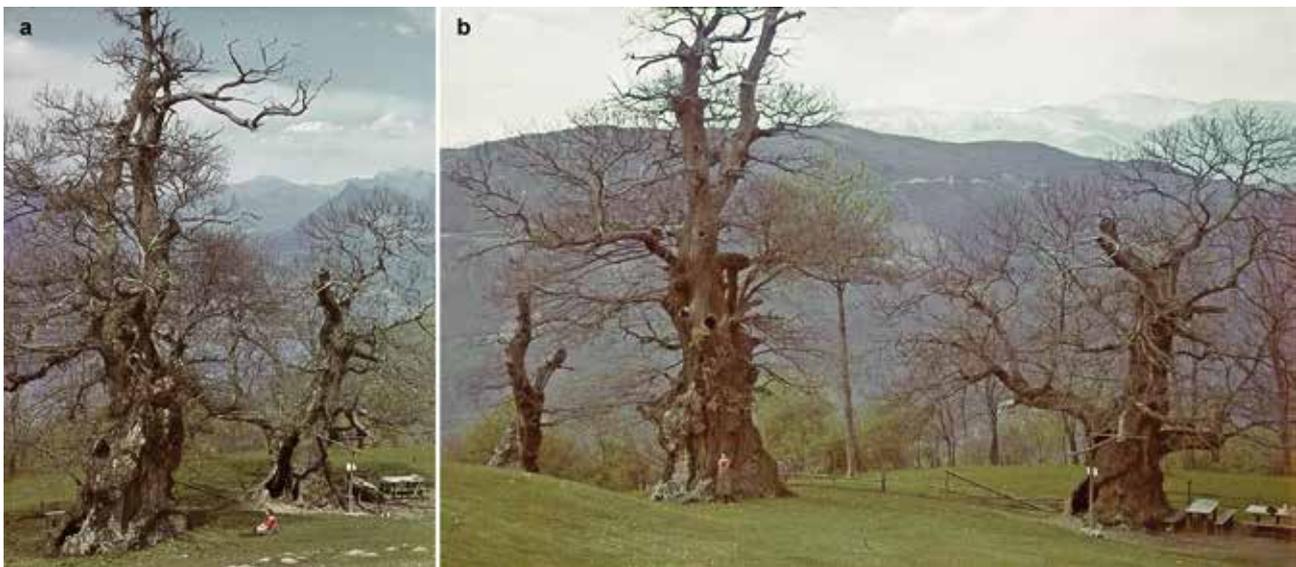


Figura 7: Due fotografie scattate dal celebre botanico svizzero Werner Lüdi (*1855-†1968) in visita all'Alpe di Brusino il 2 maggio del 1942 (ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv, Dia_282-5863 e Dia_282-5862). Oltre all'*Alburon* e al secondo monumentale (M2, quello in primo piano nella foto **a** e al centro nella foto **b**), nella prospettiva più ampia (**b**) si vede abbastanza bene anche il terzo monumentale (M3) oggi ridotto ad alcuni polloni basali oltre a qualche lembo residuo del vecchio tronco.

le fasi di costruzione o sviluppo dell'insediamento rurale sito nelle immediate vicinanze (Bertogliati e Crivelli, 2006, p. 157).

Altro tassello importante è un regolamento del 1810 che descrive brevemente "*la Casera dell'Alpe*" attestando la presenza di "*piante di castano intorno al detto prato e casera*". Abbiamo poi un rapporto del 1859 che tratta del taglio abusivo di un grosso ramo di uno dei castagni dell'Alpe. La legna a terra fu posta sotto sequestro e quindi venduta all'incanto assegnando l'incasso a favore del patriziato e le spese a carico del trasgressore (Poli, 2008, p. 88). Questi e altri accadimenti successivi dimostrano la grande considerazione e lo stretto controllo di cui godettero questi beni da parte dell'autorità patriziale e della collettività in generale, tanto da imporre vincoli e cautele persino per la vendita di un singolo ramo caduto nel prato dell'Alpe.

Il vento sembra cambiare nel 1892 allorché l'ufficio patriziale "*ordina di mettere all'incanto i 5 alberi del Patriziato all'Alpe*". Forse in ragione della loro scemata produttività dovuta alla senescenza, o più in generale per l'ormai manifesto declino della millenaria vocazione castanicola nelle società rurali ticinesi (Krebs et al., 2014, pp. 29-32), si pensò di venderli tramite asta pubblica fissando l'offerta minima a 100 franchi in base a un'accurata perizia che stimava un ricavo complessivo di 300 quintali di legna verde. Questo dato non lascia molti dubbi sulle dimensioni di quei tronchi: infatti un castagno di 6 tonnellate rientra già a pieno titolo tra i pesi massimi (Krebs & Conedera 2007, p. 11). Fortunatamente non si giunse mai a quell'incanto. Furono piuttosto l'incedere del tempo e l'incuria nel secolo seguente a ridurre drasticamente il corredo monumentale dell'Alpe. Nel 1983 cadde il vecchio guardiano

che piantonava l'ingresso all'Alpe subito dopo il parcheggio (M4 in Fig. 1). Il monumentale M5 resistette a lungo come un totem privo di vita perlomeno fino al 1985 prima di scomparire. Nel 1998 uno studio annotò la presenza di soli tre esemplari straordinari (M1, M2 e M3). Nel 2004 il più piccolo dei tre (M3) misurava 5.6 metri di circonferenza per 8.7 metri di altezza, ma il suo tronco principale cavo, sbilanciato e scortecciato era destinato a schiantarsi di lì a poco.

Tra le prime menzioni a stampa risulta particolarmente interessante il commento del botanico Carl Schröter (*1855-†1939) in una pubblicazione del lontano 1936 (p. 69) già menzionata in precedenza. Egli visitò personalmente l'Alpe di Brusino e in merito ai grandi castagni ivi presenti ebbe a dire che, sebbene fossero già allora considerati millenari dalla gente (*"es wird vom Volke als 1000jährig bezeichnet"*), tali alberi posti così in piena luce (*"solche freistehenden Bäume"*) possono produrre anelli di accrescimento anche molto larghi (*"sehr breite Jahrringe machen"*) e quindi quella stima andava certamente corretta al ribasso (*"ist diese Schätzung wohl zu hoch gegriffen"*).

Dati dendrocronologici e di accrescimento

I campioni di legno prelevati dai castagni in prossimità dell'Alpe mostrano anelli di accrescimento con uno spessore medio di 6-10 mm per i castagni giovani (30-35 anni) cresciuti con poca concorrenza (n=4), di 3-8 mm per gli esemplari di 35-85 anni in situazioni di penombra o margine boschivo (n=9) e di 2.5-5 mm per gli individui di 50-125 anni situati in bosco (n=8). La

sezione basale del giovane castagno abbattuto nei pressi del monumentale M5 ha fornito una media di 4.8 mm sull'arco di 92 anni.

Le curve di accrescimento medio elaborate per i castagni posti nelle tre distinte condizioni stazionali seguono tutte un andamento abbastanza simile (Fig. 8). Nei primi 10-20 anni di vita la tendenza è all'aumento dello spessore degli anelli in relazione con lo sviluppo progressivo dell'apparato radicale e della chioma. Terminata questa fase giovanile si hanno gli accrescimenti massimi seguiti poi da una decelerazione e quindi da una relativa stabilizzazione della crescita radiale allorché l'albero raggiunge la piena maturità (solitamente dopo i 40-80 anni). Nella fase giovanile di massima crescita i castagni posti nei prati, avvantaggiati dalla scarsa concorrenza, possono produrre anelli con spessore anche superiore al centimetro. Purtroppo, dato lo scarso numero di castagni in questa categoria stazionale, risulta difficile interpretare il tracollo del loro ritmo di accrescimento osservabile verso i 30 anni di età (Fig. 8). Probabilmente si tratta di un fenomeno contingente dovuto agli effetti della recente infestazione da cinipide galligeno che può aver avuto effetti relativamente maggiori sui castagni posti in condizioni stazionali privilegiate. Dal canto loro i castagni campionati all'interno del bosco mostrano un picco di crescita assai più modesto seguito da una lenta diminuzione del ritmo di sviluppo radiale.

I carotaggi realizzati sui castagni monumentali oggetto di studio (M1 e M2) mostrano accrescimenti annuali medi di 3-4 mm per gli ultimi 4-8 decenni (n=4). Quin-

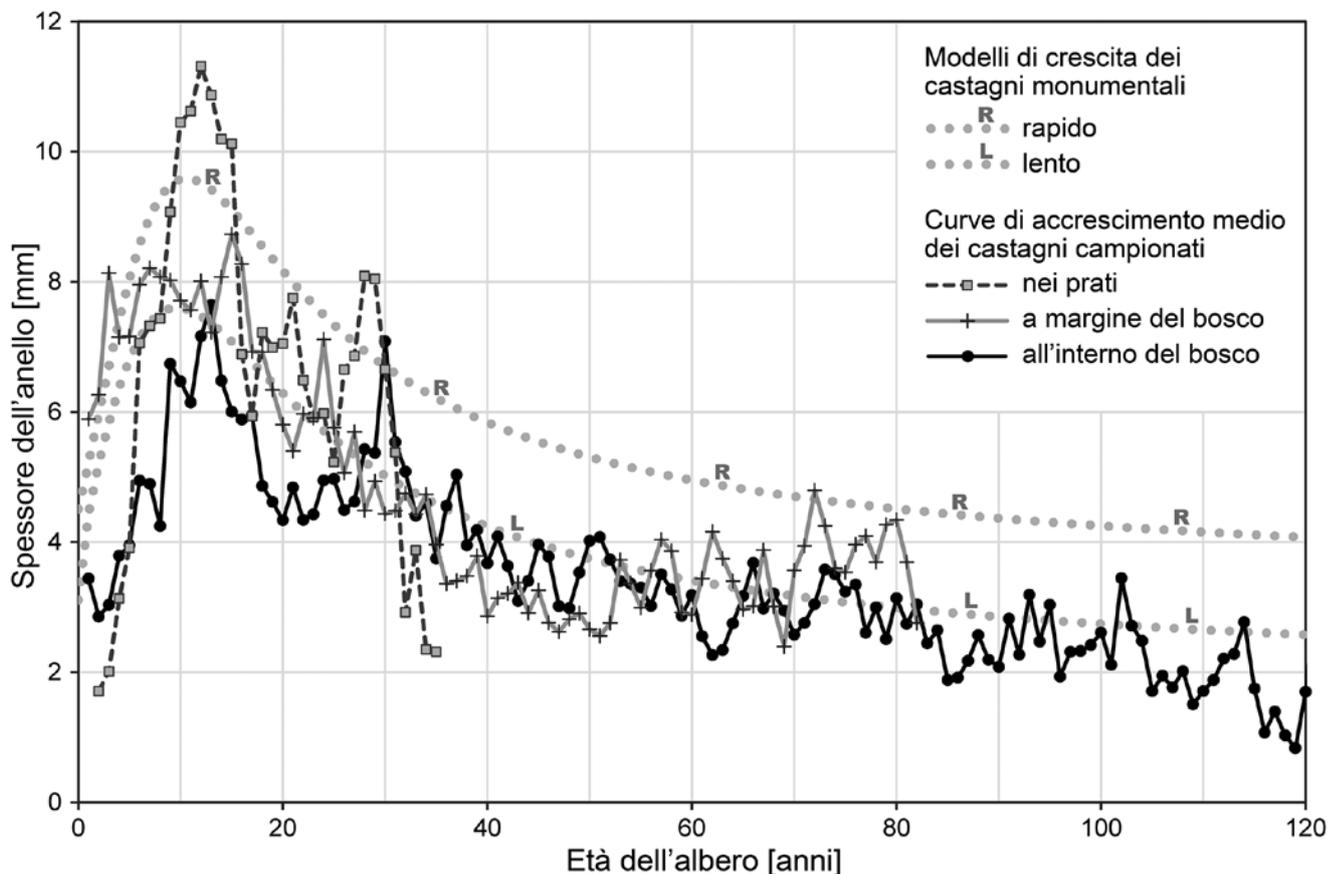


Figura 8: Curve di accrescimento medio dei castagni campionati (giovani e maturi) in tre distinte condizioni stazionali (nei prati, sul margine boschivo e in bosco) e confronto con i due modelli estremi di crescita dei castagni monumentali (rapido e lento).

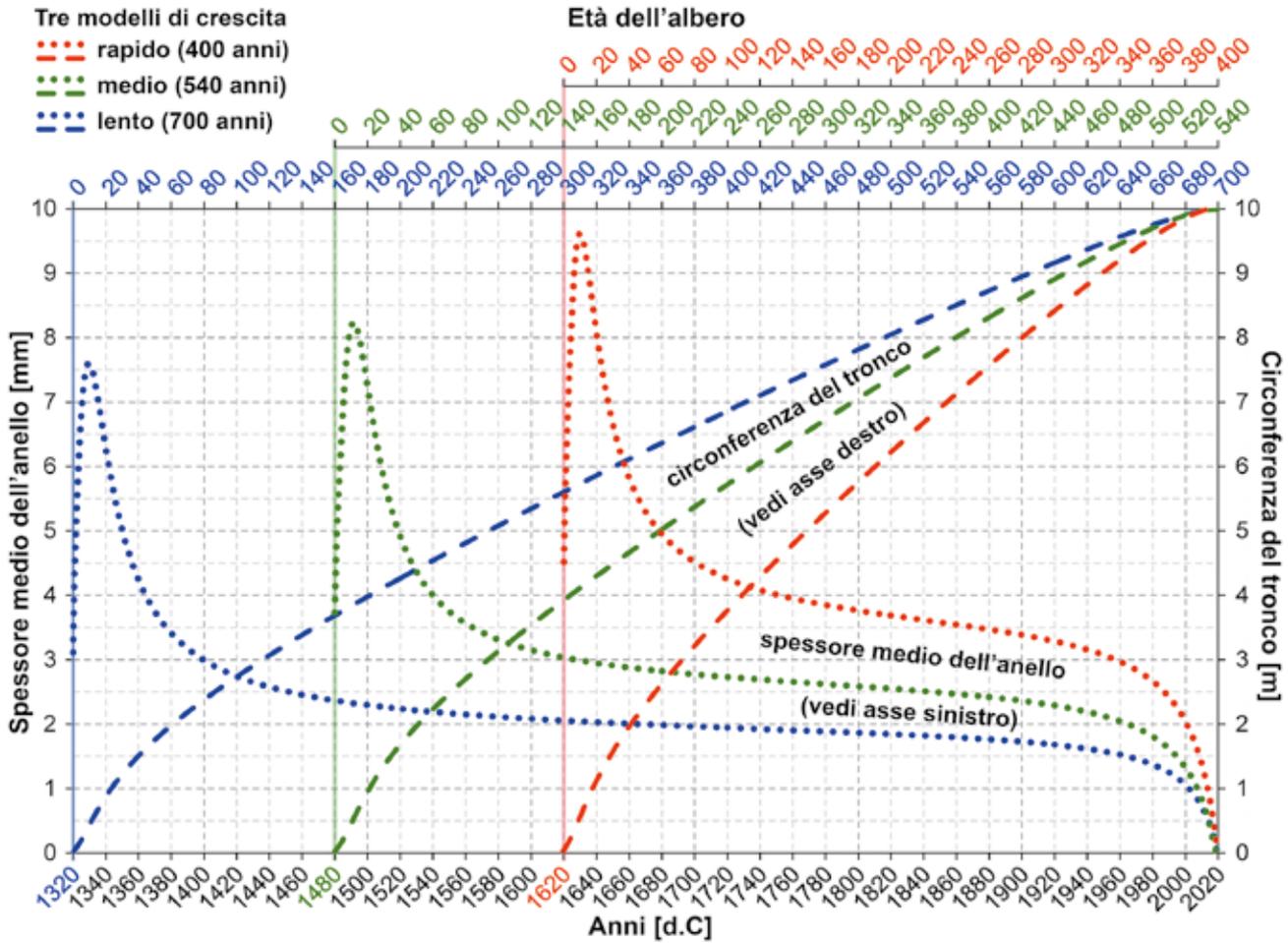


Figura 9: Modelli di crescita rapido, medio e lento di un castagno monumentale con una circonferenza del tronco di 10 metri calibrati per rappresentare il caso specifico dei due esemplari straordinari dell'Alpe di Brusino. Il modello rapido (in rosso) prevede il raggiungimento della circonferenza di 10 m a un'età di 400 anni, contro i 540 del modello medio (in verde) e i 700 del modello lento (in blu).

di in certi punti il tronchi monumentali si sono sviluppati con un discreto ritmo in tempi recenti. I grossi pezzi di legno risultanti da potature e tagli di risanamento della chioma del monumentale M2 hanno rivelato una media di accrescimento di 1.8 mm per una sequenza di 125 anelli.

Modelli di crescita

La figura 9 presenta i modelli di crescita sviluppati per i due monumentali superstiti dell'Alpe di Brusino. Ritenendo i due colossi grossomodo coetanei e considerando una circonferenza attuale di circa 10 metri, presentiamo le varianti di crescita rapida (in rosso), media (in verde) e lenta (in blu). Abbiamo quindi tre curve punteggiate rappresentanti l'accrescimento radiale prodotte con le equazioni seguenti:

$$y = (a+cx+ex^2+gx^3)/(1+bx+dx^2+fx^3) \quad \text{eq. 1}$$

$$y = (a+cx^{0.5}+ex+gx^{1.5})/(1+bx^{0.5}+dx+fx^{1.5}) \quad \text{eq. 2}$$

Dove la variabile x è l'età dell'albero in anni, il valore y rappresenta lo spessore medio degli anelli in millimetri nelle varie età dell'albero, e le sette costanti (a, b, c, d, e, f, g) sono state definite per ogni modello di crescita in base a procedure di "curve fitting" tramite il software "TableCurve2D". La prima equazione (eq. 1)

è servita per tracciare la curva di crescita rapida mentre la seconda equazione (eq. 2) le curve di crescita media e lenta.

Nel medesimo grafico presentiamo inoltre altrettante curve tratteggiate a indicare il corrispondente sviluppo del fusto in termini di circonferenza. Nei tre casi abbiamo rispettato l'impennata della crescita nella fase giovanile, seguita dalla fase culminante e quindi dalla decelerazione e stabilizzazione col raggiungimento della piena maturità. I valori massimi di accrescimento radiale (tra i 7.5 e i 9.5 mm a dipendenza della variante) sono del tutto plausibili tenuto conto delle buone condizioni stazionali, della concimazione del suolo e della minima competizione intraspecifica. Nel delineare i modelli si è inoltre ritenuto come elemento cardine la relativa prosperità dei due castagni fin verso la metà del Novecento ben documentata dal materiale fotografico (Fig. 5, 6 e 7) ponendo quindi la fase terminale di senescenza nei sette decenni dal 1950 ad oggi. La curva di accrescimento medio dei castagni in bosco si è rivelata decisiva come termine di paragone per tracciare il modello di crescita lenta (Fig. 8), assumendo che alberi posti in condizioni nettamente più propizie come i monumentali tendono immancabilmente a svilupparsi a ritmo assai più sostenuto. Difatti osservando i castagni nel fitto bosco risulta palese lo scarso sviluppo sia orizzontale che verticale delle loro chiome. Ponendo

mentalmente a confronto queste chiome vistosamente oppresse dagli alberi circostanti (perlopiù faggi, ma anche tassi) con quelle ancora prospere e voluminose dei monumentali ritratti da Werner Lüdi si deve gioco-forza ritenere la netta superiorità di questi in termini di ritmi di accrescimento radiale.

DISCUSSIONE

Stando alle stime proposte l'età dei due monumentali dovrebbe essere compresa tra i 400 e i 700 anni e può essere quindi espressa in 550 ± 150 anni. Le curve di accrescimento su cui si basa questa valutazione rappresentano ovviamente una semplificazione della realtà e non tengono conto per esempio dei probabili molteplici interventi di potatura dei quali non conosciamo evidentemente né la tipologia né la frequenza. Crediamo però che tali cure furono abbastanza ricorrenti ed ebbero effetti importanti sui ritmi di crescita permettendo in particolare di contrastare e ritardare i processi di declino e invecchiamento.

La datazione ottenuta risulta abbastanza coerente con gli esiti di studi simili svolti in precedenza per altri monumentali del Ticino. Sui monti di Malmera sopra Bellinzona le indagini dendrocronologiche condotte su un castagno con una circonferenza di 9.80 metri (coord. 724°150/118°125, alt. 679 m) hanno permesso di datare la sua messa a dimora quasi allo scadere del Medioevo verso il 1488 d.C. con un'incertezza di ± 5 anni (Krebs & Fonti, 2004). A monte di Cevio alcuni prelievi su vecchi castagni con circonferenze di 5-8 metri situati tra 680 e 1'110 m di altitudine e con esposizione verso Sud-Est hanno rilevato accrescimenti annuali medi di 2-3 mm perlomeno per gli ultimi 100-200 anni. Nel 2002 sui monti di Moncrino sopra Claro si è potuto ricavare una rotella quasi intatta e completa dal tronco di un castagno monumentale che giaceva a terra da circa 20 anni (coord. 722°320/126°205, alt. 813 m). Prima della morte dell'albero il livello di campionatura si trovava a circa 6 metri di altezza. Partendo dall'anello centrale, datato al 1601 d.C., si sono constatati i seguenti accrescimenti medi: 3.57 mm nel corso del Seicento (con un massimo di 8.15 mm nel 1627), 1.66 mm nel Settecento, 1.57 mm nell'Ottocento, con un'evidente ripresa nel Novecento (2.40 mm) probabilmente a seguito di provvidenziali interventi di potatura.

Nel caso specifico dell'Alpe di Brusino le informazioni in nostro possesso non ci permettono di ridurre ulteriormente il margine di incertezza. Il dato ottenuto è comunque molto significativo, in quanto ci permette di ritenere assai improbabile l'eventualità che i castagni M1 e M2 siano stati piantati verso la fine del Seicento, in concomitanza cioè con la costruzione della casera dell'Alpe. Tale esito è di interesse capitale per sondare la storia remota del territorio montano della piccola comunità di Brusino-Arsizio. I modelli di crescita svelano in buona sostanza la presenza di castagni da frutto nei terreni dell'Alpe ben prima che questi venisse edificato tra il 1692 e il 1694, ciò che è in contraddizione con lo schema generale che vede i frutteti castanili svilupparsi a ridosso degli insediamenti montani.

Partendo dallo studio del corredo arboreo dell'Alpe otteniamo dunque un indizio storico per certi versi sorprendente che ci incoraggia a cercare oltre, al di là dei primi fatti documentati. Purtroppo però anteriormente al 1672 si hanno solo notizie sporadiche sulla vicinanza di Brusino. Tra queste spiccano quelle riferite alle pandemie di peste che martoriarono il paese a ben quattro riprese nel 1469, nel 1528-30, nel 1575-76 con 64 morti, e ancora nel 1630 con 76 vittime (Poli, 1946, p. 39; La Gazzetta del Ceresio, ottobre 1968; Gili, 1986, pp. 20 e 87). Solo in seguito a quest'ultimo flagello il villaggio tornò a ripopolarsi con una vistosa crescita demografica (da 85 a 172 abitanti, v. Baratti, 1992, p. 85) che culminò proprio verso la fine del Seicento, quando la comunità avvertì infine l'urgenza di possedere un ricovero per esercitare al meglio l'alpeggio. Prima di allora pare che non vi fosse alcun edificio in loco dal momento che ogni anno si incantava al miglior offerente *la casa e letto* per il pastore delle vacche. Quindi nei mesi estivi il pastore, proveniente solitamente dalla Valle Maggia (in particolare di Avegno), dormiva in paese in casa d'altri per poi condurre le bestie *in pastura alla mattina a buon hora et pascolare tutto il territorio massime nelle coste* (14 aprile 1688). Eppure leggendo attentamente il *Libro dove si scrivano tutte le vicinanze per Brusino Arsizio* iniziato nel 1672 (ASTi, Fondo Diversi, scatola 508), emergono due attestazioni di un certo *Bosco dell'Alpo* assegnato in godimento al sacrestano, la prima datata 14 aprile 1688, vale a dire alcuni anni prima della costruzione della casera. Va detto che la forma *Alpo* (invece di *alpe*) è l'unica a comparire nel suddetto libro manoscritto quasi sempre riferita alla *fabbrica di detto Alpo* o al *fitto dell'Alpo*, quindi proprio in relazione con l'edificio da costruire o appena costruito. Anche il fatto che si parli di un *Bosco*, anziché di una selva castanile, non deve stupire più di tanto visto che l'alpe sorge appresso a vasti *boschi comunali* ora di proprietà patriziale. Del resto anche nel catasto censuario compilato negli anni 1898-99 i fondi aventi denominazione *All'Alpe* vengono descritti come boschi (numeri di mappa 994 e 995 per un totale di 78'790 m²), *casa agreste* (no. 779, 49 m²) e *casello del latte* (no. 996, 14 m²) senza nullamente menzionare la presenza dei possenti castagni da frutto.

In definitiva bisogna quindi riconoscere l'esistenza del toponimo *Alpo* prima della costruzione di quella casa agreste. E qui si pone una domanda fondamentale: come si giunse a quel nome di luogo? Facendo semplicemente riferimento a dei pascoli montani di un certo pregio oppure rievocando un antico edificio alpestre andato distrutto? Secondo le curve di crescita discusse poc'anzi la messa a dimora dei castagni monumentali potrebbe risalire al tardo medioevo. Dal canto suo la pregevole mappa catastale del 1858 ci mostra l'intero fianco ombroso del San Giorgio, tra la vetta e il villaggio lacustre di Brusino Arsizio, del tutto spoglio di edifici, eccetto che sull'Alpe. Risulta quindi difficile immaginare una piantagione di castagni, specie se da frutto, posta in alto su quel versante senza supporre l'esistenza già in tempi lontani di una prima casupola poi caduta in rovina a seguito di varie crisi demografiche successive. Segnaliamo inoltre la presenza subito

a valle dell'Alpe del toponimo *Monte* riferito all'ampio terrazzo posto a un'altitudine di 500-550 metri. Ai giorni nostri quei terreni pianeggianti ben serviti dal sentiero per l'Alpe sono adombrati da un fitto intrico arboreo dove primeggiano numerosi ciliegi vetusti. Non vi s'incontra alcun sedime ma solo i solchi evidenti delle "ove" laddove si faceva scendere il legname. Ma quel nome potrebbe anche suggerire un passato remoto assai diverso, a maggior ragione se si considera la presenza di un fondo rettangolare con un'area di soli 49 m² (no. 754, coord. 716'575/86'791, alt. 525 m) inserito nel piano catastale ottocentesco.

Considerazioni conclusive

L'approccio ecostorico qui proposto ha permesso di limitare i dubbi sulla datazione dei castagni monumentali di Brusino e di collocare la loro messa a dimora attorno al 1470 d.C. (± 150 anni). Impegnandosi a fondo nella stima dell'età degli alberi più imponenti nelle nostre selve castanili ben difficilmente si può giungere a risposte più precise. Seppur vaga, questa datazione ci esorta a scartare senza alcuna esitazione l'ipotesi che si tratti di alberi millenari, un risultato comunque importante che si è potuto ottenere solamente procedendo per gradi e per esclusione, puntando a individuare l'intervallo temporale più probabile.

Tirando le somme risulta evidente l'importanza dell'integrazione multidisciplinare con diversi metodi scientifici (dendrocronologia, ricerca storica, fotografia d'epoca, fotogrammetria, analisi strutturale) che devono contribuire e convergere in modo sinergico per giungere a una valutazione più affidabile. In definitiva tutti i metodi adottati hanno svolto un ruolo rilevante nella datazione dei due castagni monumentali. Disponendo di più tempo e risorse si potrebbe ampliare il quadro metodologico ad esempio tentando anche delle radiodatazioni su campioni ricavati dalle parti legnose sotterranee superficiali. Crediamo però che nel caso di castagni tanto vecchi e cavi ben difficilmente si possa trovare appena sotto il colletto qualche residuo dell'apparato radicale primitivo.

Per quanto fitte e ostinate siano le nebbie dell'incertezza, confrontarsi con il quesito dell'età dei vecchi castagni non è mai un esercizio vano. Contando uno ad uno gli anni a ritroso, si avvalora la riverenza che avvertiamo nei loro confronti, si ricuce almeno in parte il legame spezzato con le molte generazioni che seppero vivere in simbiosi con gli alberi, e talora si riesce persino a scorgere in quei tronchi sfregiati dal tempo il riverbero di vicende storiche ormai sepolte e dimenticate.

BIBLIOGRAFIA

Arnan X., López B.C., Martínez-Vilalta J., Estorach M. & Poyatos R. 2012. The age of monumental olive trees (*Olea europaea*) in northeastern Spain. *Dendrochronologia*, 30: 11-14.
 Baratti D. 1992. La popolazione nella Svizzera italiana dell'antico regime. *Archivio Storico Ticinese*, 111: 53-96.
 Bernabei M. 2015. The age of the olive trees in the Garden of Gethsemane. *Journal of Archaeological Science*, 53: 43-48.

Bertogliati M. & Conedera M. 2012. Stima dell'età degli alberi: problemi e validazione dei principali approcci metodologici esistenti all'esempio di dati raccolti al Sud delle Alpi. *Bollettino della Società Ticinese di Scienze Naturali*, 100: 25-42.
 Bertogliati M. & Crivelli G. 2006. Lo sviluppo degli insediamenti montani nel contesto sudalpino: studio di casi in Valle Rovana. Bellinzona, Istituto federale di ricerca WSL, 168 pp.
 Camarero J.J. & Ortega-Martínez M. 2019. Sancho, the oldest known Iberian shrub. *Dendrochronologia*, 53: 32-36.
 Dupouey J.-L. 2010. Le plus vieil arbre. *Revue forestière française*, 6: 671-679.
 Fratus T. 2016. L'Italia è un bosco: Storie di grandi alberi con radici e qualche fronda. Roma, Laterza, 216 pp.
 Gili A. 1986. L'uomo il topo e la pulce. *Pagine storiche luganesi*, 2: 7-254.
 Hofmann A. 1988. Tessiner Wanderbuch. Lugano. Wanderbuch Malcantone, Val Colla, Mendrisiotto. 50 Routenbeschreibung mit Routenkarte, Routenprofilen und Bildern. Bern, Kümmerly + Frey, 143 pp.
 Kershaw J.A., Ducey M.J., Beers T.W. & Husch B. 2016. Forest mensuration. New York, Wiley, 632 pp.
 Krebs P. 2004. Inventario dei castagni monumentali del Canton Ticino e del Moesano. Bellinzona, Istituto federale di ricerca WSL, 668 pp.
 Krebs P. & Fonti P. 2004. Ma quanto sono vecchi. *Agricoltore Ticinese - Forestaviva*, 12: 18-19.
 Krebs P. & Conedera M. 2007. Note sui castagni più vecchi dell'Onsernone. *La Voce Onsernonese*, 191: 9-14.
 Krebs P., Fonti P. & Conedera M. 2007. Nel Moesano alcuni fra i lariceti più vecchi d'Europa. In: Santi C. (ed), *Alle pendici del Piz Pombi*. Poschiavo, Menghini, pp. 41-60.
 Krebs P., Timmer W. & Conedera M. 2014. Del castagno e della castanicoltura nelle contrade insubriche: tentativo di una sintesi eco-storica. *Archivio Storico Ticinese*, 155: 4-37.
 Krebs P. & Conedera M. 2019. Nuove tecniche di rilievo della morfologia degli alberi. *Agricoltore Ticinese*, 151(23): 8-9.
 Lanner R.M. 2002. Why do trees live so long? *Ageing Research Reviews*, 1: 653-671.
 Lavizzari L. 1863. Escursioni nel Canton Ticino. Lugano, Veladini, 978 pp.
 Lüdi W. 1940. Die Kastanienwälder con Tesserete. Beitrag zur Soziologie der Kastanienwälder am südhang der Alpen. Bericht über das Geobotanische Forschungsinstitut Rübel in Zürich, 52-84.
 Mathaux C., Mandin J.-P., Oberlin C., Edouard J.-L., Gauquelin T., Guibal F. 2016. Ancient juniper trees growing on cliffs: toward a long Mediterranean tree-ring chronology. *Dendrochronologia*, 37: 79-88.
 Nola P. & Motta R. 1996. Una cronologia plurisecolare di larice (*Larix decidua* Mill.) per l'alta Valmalenco (Sondrio, Italia). *Dendrochronologia*, 14: 31-42.
 Piovesan G., Biondi F., Baliva M., Presutti Saba E., Calcagnile L., Quarta G., D'Elia M., De Vivo G., Schettino A. & Di Filippo A. 2018. The oldest dated tree of Europe lives in the wild Pollino massif: *Italus*, a strip-bark Heldreich's pine. *The Scientific Naturalist*, 99: 1682-1684.
 Poli R. 1946. La confraternita di Brusino Arsizio nella sua fondazione e nel suo sviluppo: cenni storici dal 1569 al 1914. Como, Casa divina provvidenza, 79 pp.
 Poli A. 2008. Tremagg e sigürin 'an fai la vita da Brüsün. Brusino Arsizio nel XVIII e XIX secolo. Brusino Arsizio: Comune di Brusino Arsizio, 184 pp.

- Poli A. 2019. L'Alp da Brüsìn, fadigh, vin e furnagin. 1919-2019
Cento anni dalla ricostruzione dell'Alpe. Brusino Arsizio, la
Mobiliare, 150 pp.
- Raj A.J. & Lal S.B. 2015. Forestry principles and applications.
Jodhpur, Scientific Publishers, 805 pp.
- Riva E. & Tognola L. 1990. Alberi. Locarno, Società ticinese per
l'arte e la natura, 155 pp.
- Schröter C. 1936. Flora des Südens. Zürich, Rascher, 151 pp.
- Serre F. 1978. The dendroclimatological value of the European
larch (*Larix decidua* Mill.) in the French Maritime Alps. Tree-
Ring Bulletin, 38: 25-34.
- UFAM 2017. Inventario federale dei paesaggi, siti e monumenti
naturali d'importanza nazionale. IFP 1804 Monte San Gior-
gio. Berna, Ufficio federale dell'ambiente, 6 pp.

Are sterile *Buddleja* cultivars really sterile and “environmentally safe”?

Brigitte Marazzi¹ and Andrea De Micheli²

¹ Info Flora, c/o Museo cantonale di storia naturale, Viale Cattaneo 4, CH-6900 Lugano

² Wald/Umwelt/Bildung, Quellenstrasse 27, CH-8005 Zürich

brigitte.marazzi@infoflora.ch

Abstract: Native to China, the ornamental *Buddleja davidii* (Scrophulariaceae) and its many cultivated varieties have become problematic alien plants in many countries. While their sale has been prohibited or discouraged, horticultural breeders have developed sterile or almost sterile cultivars sold as “environmentally safe”, raising discussions about how “safe” they really are. This study revisited the literature on this kind of *B. davidii* cultivars and discusses the characteristics that make them supposedly “environmentally safe”. Most *Buddleja* cultivars considered sterile or with reduced fertility derive from complex breeding programs. No publication quantifies “reduced fertility” or guarantees female and male sterility in the long term. What is mainly meant is reduced or no fruit and/or seed production, i.e. stamens can still release viable pollen that can reach stigmas of normally fertile *B. davidii* naturalized taxa, and stigmas can receive pollen from these wild individuals. Then, genetic recombination could pass on characteristics of “environmentally safe” cultivars to plants in the wild, contributing to originate more resilient invasive *B. davidii* lineages, and/or could lead to fertility restoration in seedlings from “environmentally safe” cultivars. Fertility restoration could also occur spontaneously. Because no evidence was found that sterile cultivars or with reduced fertility can be considered environmentally safe, they should be subjected to the same legal bases of normally fertile *B. davidii* taxa.

Le cultivar sterili di *Buddleja* sono davvero sterili e “sicure per l’ambiente”?

Riassunto esteso

Introduzione: La buddleja, *Buddleja davidii* (Scrophulariaceae), è un’ apprezzato arbusto ornamentale dei giardini e parchi, con oltre due centinaia di varietà botaniche e coltivate. Originaria della Cina, *B. davidii* è considerata una pianta esotica problematica (neofita invasiva) in Svizzera e in molti altri paesi, dove è stata introdotta e dove la sua vendita è stata vietata o scoraggiata. Per aumentarne l’ accettazione, il settore verde ha sviluppato cultivar con una fertilità ridotta che sono state vendute sul mercato come “sicure per l’ ambiente”, sollevando discussioni su quanto queste cultivar fossero realmente “sicure”. Motivati inizialmente dalle preoccupazioni delle autorità competenti svizzere, in questo studio abbiamo rivisitato la letteratura disponibile sulle cultivar di *B. davidii* presumibilmente sterili e quelle a fertilità ridotta per indagare e discutere le caratteristiche che rendono queste cultivar apparentemente “sicure per l’ ambiente”.

Metodi: La ricerca bibliografica è stata effettuata in Google e Google Scholar, in inglese, tedesco, francese e italiano, e consultando anche la letteratura citata in pubblicazioni rilevanti. Oltre ai nomi di cultivar note, come ‘Blue Chip’, le parole chiave utilizzate di partenza sono state “*Buddleja davidii*” o “esotica invasiva” da sole e in diverse combinazioni con “cultivar sterili”, “fertilità ridotta” o “ambientalmente sicuro”.

Risultati: La maggior parte delle cultivar di *Buddleja* considerate sterili o a fertilità ridotta emerse dalla nostra indagine sono ibridi stabili derivati da complessi programmi di ibridizzazione, nel Regno Unito e soprattutto negli Stati Uniti, in cui sono coinvolti *B. davidii* e un certo numero di altre specie e varietà botaniche. Sebbene siano disponibili informazioni dettagliate su queste ibridizzazioni, nessuna pubblicazione presenta dei valori per quantificare la “fertilità ridotta”. Le parole “fertilità ridotta” o “sterilità ridotta” sono usate per indicare “produzione di frutti e/o semi ridotta o nulla”; in altre parole, i loro stami possono ancora rilasciare polline vitale che può raggiungere gli stimmi di taxa selvatici normalmente fertili di *B. davidii*, e i loro stimmi possono ricevere polline da questi individui selvatici. Da un lato, la ricombinazione genetica potrebbe trasmettere le caratteristiche delle cultivar “ambientalmente sicure” alle piante di *Buddleja* in natura, contribuendo a dare origine a discendenti di *B. davidii* invasivi più resistenti. D’ altra parte, la ricombinazione genetica potrebbe portare al ripristino della fertilità nelle piantine delle cosiddette cultivar “ambientalmente sicure”. Anche nelle cultivar con organi maschili e femminili presumibilmente sterili, gli autori dei programmi d’ ibridizzazione non garantiscono una sterilità a lungo termine. Infatti, il ripristino della fertilità potrebbe avvenire anche spontaneamente, come noto nelle piante coltivate. Benché non sia noto quante generazioni trascorrono fino ad un ripristino della fertilità, in termini di tempo possono essere anche meno di 20 anni, dato che le cultivar “sicure” sono apparse solamente nei primi anni del 2000.

Conclusioni: Non abbiamo trovato alcuna prova documentata che la sterilità maschile e femminile sia mantenuta a lungo termine e che qualsiasi cultivar con produzione ridotta di semi o con assenza documentata di semi vitali sia sicura per l’ ambiente e non contribuisca (in alcun modo) all’ invasione di *B. davidii* o al suo comportamento invasivo. Pertanto, a fini di prevenzione, le cultivar con una produzione di semi ridotta o nulla dovrebbero sottostare alle stesse basi legali delle altre cultivar e dei taxa botanici di *B. davidii*. Per il loro commercio in Svizzera ciò significa che per queste piante attualmente vige l’ obbligo di informazione e devono essere etichettate come neofite invasive.

INTRODUCTION

The prized ornamental butterfly shrub, *Buddleja davidii* Franch. (Scrophulariaceae, formerly Buddlejaceae), and its cultivated varieties have long been popular and appreciated garden and landscape plants with horticulturalist and hobby gardeners. It is one of over 90 species in the genus *Buddleja* and, in addition to its seven subspecies, at least 90 varieties have been described (Stuart, 2006; Chau *et al.*, 2017), and Wikipedia itself currently lists 270 taxa under the term “Category: *Buddleja* hybrids and cultivars” (Wikipedia, 2019a).

Native to central and southwestern China, in Switzerland and in many other countries worldwide, *B. davidii* is, however, considered a problematic alien plant, i.e. an invasive neophyte (Tallent-Halsell & Watt, 2009; see the Black List of Info Flora, 2014), having invaded much of the countries where it was introduced. They have spread from gardens into the wild, forming stable stands in a wide range of disturbed and natural areas including floodplains, railroad and road edges, forest burns and clear-cuts. Being a pioneer species, *B. davidii* is able to quickly colonize barren, nutrient-poor sites, such as gravel banks and open surfaces (Figure 1). It can quickly become dominant, forming pure stands and precluding establishment of native vegetation. Furthermore, because each *B. davidii* plant can produce up to 3 million seeds that are easily wind-dispersed over long distances (see review by Tallent-Halsell & Watt, 2009, and citations therein), seed dispersal is particularly efficient. *Buddleja davidii* is also of major concern in the light of global climate change, because analyses show that, under future climates, its potential distribution and climate suitability increases, most noticeably in North America and Europe (Kriticos *et al.*, 2011).

Sale of *B. davidii* has been prohibited and discouraged in many places where it is recognized as a problematic invasive alien species, but elsewhere it is still sold as an attractive and lucrative landscape plant. To increase acceptance, elaborate breeding programs have tried to reduce fertility by developing sterile or almost sterile cultivars that have been sold on the market as “environmentally friendly”, “environmentally safe”, or even as “non-invasive”. This triggered discussions among environmental authorities and horticulture representatives about how “friendly” and “safe” these cultivars really are and, therefore, the effective “environmental compatibility”. The debate has probably been fueled by the fact that, in the United States, Oregon State prohibited *B. davidii* but allowed selling of cultivars in which the proportion of viable seeds could be documented to be less than 2% (Oregon Department of Agriculture, 2011). At submission of this paper, Oregon State Department of Agriculture was allowing the sale of 18 *Buddleja* cultivars, 14 of which were approved because they would meet the 2% criterion, whereas fertility had not been assessed in the remaining four (see Oregon State Department of Agriculture 2019).

In Switzerland, *Buddleja* ‘Blue Chip’ is a cultivar that raised concern on this topic among authorities a few years ago. In fact, while *B. davidii* and all its cultivars sold by garden centers and nurseries should be la-

belled as an invasive alien species to inform consumers on the invasiveness of the species and how to handle the plant (AGIN, 2015), sellers would argue that there is no need to label “environmentally safe” cultivars, given that they are not problematic. Article 3f of the Ordinance on the Handling of Organisms in the Environment (OEDA, 814.911) actually states that “alien organisms means organisms of a species, sub-species or lower taxonomic level that: [...], 2. have not undergone selection for use in agriculture or horticultural production to such an extent that their viability in the wild is reduced”. Hence “environmentally safe” cultivars could be considered as noninvasive. But, the Ordinance does not further explain the meaning of “viability in the wild is reduced”. The problem remains thus unresolved.

A quick search in the literature found no immediate evidence demonstrating that such cultivars are not problematic in the wild, but also showed that information on this topic was poor. This prompted a first research and synthesis work that was presented in the form of a report to the Swiss authorities in 2018. Using this report as a basis to make the information publicly available, in the present paper we revisited the available literature on sterile *B. davidii* cultivars and cultivars with reduced fertility in order to provide an overview of the current state of knowledge, inquire and discuss the characteristics that make these cultivars supposedly “environmentally safe”, and finally, draw our conclusions and outline recommendations to policy makers.

MATERIAL AND METHODS

The first literature search was done in fall 2017 and early 2018, and a second round was done in early 2019 for the present paper. The search was done in Google and Google Scholar to access scientific information that should be publicly available, preferably peer-reviewed publications, in English, German, French, and Italian. The search focused first on *Buddleja* ‘Blue Chip’, other *Buddleja* Chip-hybrids and similar cultivars, and then expanded to other known or investigated invasive alien species with so-called “environmentally safe” cultivars. The recently updated listing of the Oregon State Department of Agriculture on the dedicated webpage “Butterfly Bush Approved Cultivars” (2019) proved helpful in guiding our search. In addition to the cultivar names just mentioned, the starting key words used were “*Buddleja davidii*” or “invasive alien” alone and in different combinations with “sterile cultivars”, “reduced fertility”, or “environmentally safe”. We refined key words depending on the results of the first round of findings, and also searched for relevant literature cited in other publications.

RESULTS AND DISCUSSION

Most of the *Buddleja* cultivars considered sterile or with reduced fertility that emerged in our survey are stable hybrids from complex breeding programs involving



Figure 1: *Buddleja davidii* in Switzerland. A-B, individuals colonizing river banks nearby Brusio (Canton Graubünden): A, individuals bearing inflorescences of different colors; B, close-up of A to highlight white and pink inflorescences. C, individual on a forest margin, nearby a managed grassland area in Rovio (Cantone Ticino). D-E, inflorescences at different flowering stages: D, in full flowering; E, partially fruiting. Photo courtesy by Andrea De Micheli (A, B) and Sofia Mangili (C-E).

B. davidii and a number of other species and varieties. This seems to be the case in general for breeding of *Buddleja* cultivars, which probably explains why they are sold using the contracted name as by convention (Brickell, 2016), consisting of only the genus and the cultivar name, for example: *Buddleja* ‘White Profusion’. This designation does not indicate that the problematic *B. davidii* is involved in the breeding program, hampering control, prevention and management efforts. Where the species escaped from gardens and naturalized, most plants found in the wild appear more or less as direct descendants of the wild form with flower colors ranging from light pink to dark purple, but there are also some with white flowers. The latter derive most likely from white-flowered cultivars, commonly sold along with other *Buddleja* cultivars (Ream, 2006; see Fig. 1A-B), rather than from white forms that can appear sometimes in the native range and variation of the straight species. In the following, we review the

cultivar of interest to this study, and then discuss how “environmentally safe” they are.

Cultivar overview. The information on sterility or reduced fertility in *Buddleja* cultivars is sparse, as shown in the literature cited in the present study. We found detailed information on breeding programs of sterile cultivars or cultivars with reduced fertility, but no publications with values that quantify “reduced fertility”. Efforts to breed sterile cultivars have been done in the United Kingdom and especially in the United States. In the United Kingdom, the cultivar ‘Lonchich’ is reported by Tallent-Halsell & Watt (2009) as follows: “The development of sterile plants and novel *B. davidii* hybrids has been created with the use of less common species. The cross between *B. davidii* and *B. fallowiana* is named *Buddleja davidii* ‘Lochinch’ (Wigtownshire, Scotland). *Buddleja davidii* ‘Lochinch’ was thought to be sterile and therefore an ideal alternative to *B. davidii*. However, field observations reveal that the hybrid

reproduces abundantly by seeds and shows invasive characteristics (EPPO, 2005)”. It is possible that this cultivar reverted to fertility.

Most efforts to breed sterile cultivars have been done in the United States, where business with these plants is probably worth the expensive breeding programs to fulfill strict requirements, such as those of Oregon State. Most of these cultivars have been patented in the meantime. Interest in sterile cultivars appears to have started in the early 2000’s, but all of the 14 *Buddleja* cultivars studied in Wilson *et al.* (2004) produced seeds, the germination of 13 of them could be tested under greenhouse conditions and resulted positive. Just two years later, in 2006, Dr. Jon T. Lindstrom of the University of Arkansas (United States), produced and released the cultivar *Buddleja* ‘Asian Moon’ (Wikipedia, 2019b), as supposedly a totally sterile cultivar producing vestigial fruits devoid of seeds or with non-viable reduced seeds (Renfro *et al.*, 2007). No evidence has been provided that this cultivar remains sterile in time, but Oregon State allows its sale (Oregon Department of Agriculture, 2018). The plant is very vigorous, as it has been conceived for growing easily in hot, dry and sunny locations. According to the Gardening Help Site of the Missouri Botanical Garden (2017) it does poorly in wet conditions.

One other known line of such cultivars has been resulting from a formal breeding program in North Carolina, established by Dennis J. Werner and Layne K. Snelling at the North Carolina State University, in Raleigh (Werner & Snelling, 2009a, 2011). They started with the ‘Blue Chip’, a complex hybrid containing three species (*B. davidii*, *B. globosa*, *B. lindleyana*) and one botanical variety of *Buddleja* (*B. davidii* var. *manhoensis*) (Werner & Snelling, 2009a). Along with ‘Blue Chip’, the authors also presented ‘Miss Ruby’ and reported both cultivars as having a reduced seed production (Werner & Snelling, 2009b), thus not being totally sterile, as also mentioned in release notices by the North Carolina Agricultural Research Service (2007, 2013). Continuing on the work started on ‘Blue Chip’, patents have been issued for a number of cultivars (for example, in order of appearance: ‘Ice Chip’, ‘Lilac Chip’, ‘Blue Chip Jr.’, ‘Pink Micro Chip’, and ‘Miss Violet’; Werner & Snelling, 2013a, b; Werner 2016a; Werner, 2016b; Werner, 2017, respectively). One of the goals of the breeding program was to develop plants with reduced male and female fertility, because explicitly considered an asset in landscape plantings. Indeed, Oregon State allows their sale (Oregon Department of Agriculture, 2018). The program included test plantings and performance evaluation over four or five years at a research station and a greenhouse. Flowers of the cultivars have been documented as showing a reduced male and female fertility, in which stamens can be malformed and lacking pollen and the pistil only rarely develops into a capsule (e.g. ‘Miss Violet’; Werner, 2017) or sets no seeds at all (e.g. ‘Blue Chip Jr.’ and ‘Pink Micro Chip’; Werner, 2016a, b). Such characteristics are reported to be maintained through the replicated field trials during the test period; they were observed in clones, because all trials were done by propagating plants asexually via

stem cuttings. No quantitative data are made available. Even in those cultivars that did not set any seed in trials (e.g. ‘Blue Chip Jr.’ and ‘Pink Micro Chip’), the author remains cautious about the apparent sterility by stating that, in fact, he “does not preclude the possibility that seed set may be observed on rare occasions” (Werner, 2016b), recognizing that there is no guarantee that these cultivars remain sterile in the long term.

The meaning of “environmentally safe”. In all cases, reduced fertility or sterility are used to mean “reduced or no fruit and/or seed production”, and “environmentally safe” thus only refers to the dispersal of the plant by seed, i.e. its ability to disperse and set seedlings. Furthermore, no values are provided in any of the publications on cultivars with reduced seed production. In their review, Knight *et al.* (2011) conclude that reductions in seed production or seed viability alone are likely not sufficient to create a “safe” cultivar for an invasive long-lived perennial or woody plant (though they looked at other species than *B. davidii*). This is in part due to the fact that the contribution of a cultivar to the invasion is not necessarily only measurable in the number of dispersed seeds.

The actual plant reproduction is not explicitly considered in any of the “environmentally safe” cultivars; in other words, it is not primarily a matter of sterility or reduced fertility of male and female organs. In almost all cultivars, their stamens can still release viable pollen that can reach the stigmas of normally fertile *B. davidii* wild taxa, and their stigmas can receive pollen from these wild individuals. *Buddleja davidii* is known to strongly rely on cross-pollination for successful reproduction (Ebeling *et al.*, 2012). Because gene transfer is possible in this way, genetic recombination could ultimately lead to fertility restoration in seedlings from “environmentally safe” cultivars. That supposedly sterile *Buddleja* cultivars can revert to fertile plants in time is mentioned in several blogs by people in the US active in the green sector, and has been reported in Europe by EPPO (2005). However, it is not clear where blogs authors obtained the information and how fast fertility reversion can occur (in terms of number of generations). Nevertheless, spontaneous reversion to fertility is long known and well understood in crop plants, like maize (*Zea mays*) and beans (*Phaseolus vulgaris*) (MacKenzie *et al.*, 1988; Janska *et al.*, 1998; Guo & Liu, 2014).

Finally, genetic recombination could also pass on characteristics for which the “environmentally safe” cultivar was selected in the first place to *Buddleja* plants in the wild. In other words, they can still interbreed with normal fertile cultivars or wild individuals and could ultimately even contribute to originate more resilient lineages of invasive *B. davidii*, able to colonize new habitats thanks to an expanded niche. In their study, Ebeling *et al.* (2008, p. 231) conclude that “traits that might be related to invasion success have been found by several authors in some of 70 existing cultivars of *B. davidii* (Anisko & Im, 2001; Wilson *et al.*, 2004). It is likely that cultivars rather than native genotypes are the source of the *B. davidii* invasion, thus selection by breeders may be one reason for the differences in plant

traits among native and invasive populations revealed in our study”. For instance, experiments on the quantity of seeds produced and germination capacity (Drin, 2006) showed that common *Buddleja* cultivars from classical breeding had an equal or superior potential for spread compared to the naturalized forms. This increased potential for spread could be explained (at least in part) by the fact that horticultural selections have been made to obtain a large size of inflorescences, precocity and long-lasting period of flowering, vigorous growth, and resistance to pest, disease and harsh climate (Drin, 2006).

CONCLUSIONS

This study provides an overview on the debated subject of sterile *B. davidii* cultivars or with reduced fertility that are sold as “environmentally safe”. Although we are aware that it is not an exhaustive review, at least five main points emerge from our synthesis on *B. davidii* “safe” cultivars: 1) Reduced fertility is still fertility; 2) Cultivated reduced-fertile or sterile cultivars can cross with the invasive individuals found nearby in the wild; 3) Gene transfer from reduced-fertile or no-seed cultivars can modify wild individuals and, conversely, 4) gen transfer from fertile wild individuals can modify reduced-fertile or no-seed cultivars; 5) Sterile plants can revert to fertile plants in time (by gene transfer or spontaneously). Although it is unclear how many generations are needed for fertility to be restored, it surely can take less than 20 years, because “safe” cultivars did not exist before.

We found no documented evidence that male and female sterility is maintained in the long term and that any cultivar with reduced seed production or even documented absence of viable seeds is environmentally safe and does not contribute (in any way) to the invasion of *B. davidii* or to its invasive behavior. Sterile plants can revert spontaneously to fertile plants, and in general these cultivars can still transfer genes through their pollen to other normally fertile cultivars, sharing characteristics they were selected for, such as being more resistant to extreme environmental conditions. For prevention purposes, there is no reason to discriminate between cultivars with reduced or no seed production and normally fertile cultivars and wild taxa of *B. davidii*, but should all be subjected to the same legal bases.

In Switzerland, all marketed cultivars of *B. davidii* and hybrids involving *B. davidii* should thus be labelled as invasive neophytes to inform consumers on the invasiveness of the species and how to handle the plant. Sellers have to make sure themselves which cultivars have to be labelled, by clarifying whether *B. davidii* (or any of its varieties) is present as a crossing parent. For this purpose, breeding information must be requested and consulted, and if *B. davidii* is involved in the breeding program, sellers must assume an invasive potential and label the plants accordingly.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Claudia Ruprecht for assistance in the previous report to authorities, Sofia Mangili for sharing the photographs illustrated in Figure 1C-E, and David George, Guido Maspoli and Marco Moretti for valuable comments on this manuscript.

LITERATURE

- AGIN. 2015. AGIN Empfehlung: Einschränkungen beim Verkauf gebietsfremder Problem-Pflanzen. https://extranet.kvu.ch/files/documentdownload/151208131103_20150922_AGIN-Empfehlung_zu_Verkaufseinschraenkungen_DE_1.pdf https://extranet.kvu.ch/files/documentdownload/151208131103_20150922_AGIN-Empfehlung_zu_Verkaufseinschraenkungen_DE_1.pdf
- Anisko T. & Im U. 2001. Beware of butterfly bush. *American Nurseryman*, 194: 46-49.
- Chau J.H., O’Leary N., Sun W.-B. & Olmstead R.G. 2017. Phylogenetic relationships in tribe Buddlejaceae (Scrophulariaceae) based on multiple nuclear and plastid markers. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 184: 137-166.
- Craig J. & McCoy M. 2005. Annotated Bibliography on the Ecology and Management of Invasive Species: Butterfly bush (*Buddleja davidii* Franchet). Garry oak Ecosystems recovery Team. http://www.goert.ca/documents/Bib_buddleja.pdf
- Drin B. 2006. Influence du pouvoir germinatif des cultivars de *Buddleja davidii* Franch. sur la colonisation des espaces naturels. Travail de diplôme. Ecole d’ingénieur de Lullier. Ecole d’ingénieur de Changins (CH). 72 p.
- Ebeling S.K., Hensen I. & Auge H. 2008. The invasive shrub *Buddleja davidii* performs better in its introduced range. *Diversity and Distributions*, 14: 225-233.
- Ebeling S.K., Schreiter S., Hensen I., Durka W. & Auge H. 2012. Outcrossing breeding system does not compromise invasiveness in *Buddleja davidii*. *Flora*, 207: 843-848.
- EPPO. 2005. *Buddleja* Lochinch: a potentially invasive plant? Reporting Service No. 9: 2005/131.
- EPPO. 2010. Germination capacity of cultivars of *Buddleja davidii*. Reporting Service No. 11: 2010/221.
- Halford M. & Mahy G. 2010. Les cultivars des plantes invasives présentent-ils également un caractère invasif? Entre principe de précaution et présomption d’innocence... Projet LIFE AlterIAS. https://www.alterias.be/images/stories/downloads/cultivars_varietes_plantes_invasives_fr.pdf
- Janska H., Sarria R., Woloszynska M., Arrieta-Montiel M. & Mackenzie S.A. 1998. Stoichiometric shifts in the common bean mitochondrial genome leading to male sterility and spontaneous reversion to fertility. *The Plant Cell*, 10: 1163-1180.
- Knight T.M., Havens K. & Vitt P. 2011. Will the use of less fecund cultivars reduce the invasiveness of perennial plants?. *Bioscience*, 61: 816-822.
- Kriticos D.J., Watt M.S., Potter K.J.B., Manning L.K., Alexander N.S. & Tallent-Halsell N. 2011. Managing invasive weeds under climate change: considering the current and potential future distribution of *Buddleja davidii*. *Weed Research*, 51: 85-96.

- Brickell C., ed. 2016. International Code of Nomenclature for Cultivated Plants: ICNCP or Cultivated Plant Code. Ninth edition. International Society for Horticultural Science (ISHS). Scripta Horticulturae, 18: 1-190.
- MacKenzie S.A., Pring D.R., Bassett M.J. & Chase C.D. 1988. Mitochondrial DNA rearrangement associated with fertility restoration and cytoplasmic reversion to fertility in cytoplasmic male sterile *Phaseolus vulgaris* L. Proceedings of the National Academy of Sciences, 85: 2714-2717.
- Missouri Botanical Garden. *Buddleja* ‘Asian Moon’. Gardening Help, accessed Nov. 2017. <http://www.missouribotanicalgarden.org/PlantFinder/PlantFinderDetails.aspx?taxonid=274451&isprofile=1&gen=Buddleja>
- North Carolina Agricultural Research Service. 2007. *Buddleja* ‘Blue Chip’ release notice. North Carolina State University, Raleigh, North Carolina. <https://cals.ncsu.edu/horticultural-science/wp-content/uploads/sites/6/2017/09/Buddleja-BlueChip-release-document.pdf>
- North Carolina Agricultural Research Service. 2013. Notice of release - ‘Blue Chip Jr.’ (NC2009-3) Cultivar of Butterfly Bush (*Buddleja* sp.). North Carolina State University, Raleigh, North Carolina. <https://cals.ncsu.edu/horticultural-science/wp-content/uploads/sites/6/2017/09/Blue-Chip-Jr-release-notice.pdf>
- Oregon State Department of Agriculture. 2011. URL: Screening of *Buddleja* cultivars applying for exemption under amended version of OAR 603-052-1200. <https://www.oregon.gov/ODA/shared/Documents/Publications/Nursery-ChristmasTree/BuddlejaScreening.pdf>
- Oregon State Department of Agriculture. 2018. Noxious weed policy and classification system 2018. <http://www.oregon.gov/ODA/shared/Documents/Publications/Weeds/Noxious-WeedPolicyClassification.pdf>
- Oregon State Department of Agriculture. 2019. Approved cultivars of butterfly bush (last accessed 3 March 2019). <http://www.oregon.gov/ODA/programs/NurseryChristmasTree/Pages/ButterflyBush.aspx>
- Ream J. 2006. Production and invasion of Butterfly bush (*Buddleja davidii*) in Oregon. Honors Thesis. Oregon State University, University Honors College and Bioresource Research, Corvallis, Oregon.
- Renfro S.E., Burkett B.M., Dunn B.L. & Lindstrom J.T., 2007. ‘Asian Moon’ *Buddleja*. HortScience, 42: 1486-1487.
- Stuart D.D. 2006. Plant collect guide buddlejas. Timber Press Royal Horticultural Society, Portland, UK.
- Tallent-Halsell N.G. & Watt M.S. 2009. The invasive *Buddleja davidii* (butterfly bush). The Botanical Review, 75: 1-292.
- Van Laere K., Van Huylenbroeck J. & Van Bockstaele E. 2011. Introgression of yellow flower colour in *Buddleja davidii* by means of polyploidisation and interspecific hybridization. Horticultural Science (Prague), 38: 96-103.
- Werner D.J. & Snelling L.K. 2009a. ‘Blue Chip’ and ‘Miss Ruby’ *Buddleja*. Hortscience, 44: 841-842.
- Werner D.J. & Snelling L.K. 2009b. *Buddleja* plant named ‘Blue Chip’. U.S. Patent PP19, 991, issued May 12, 2009.
- Werner D.J. & Snelling L.K. 2011. ‘Purple Haze’, ‘Miss Molly’, and ‘Ice Chip’ *Buddleja*. HortScience, 46: 1330-1332.
- Werner D.J. & Snelling L.K. 2013a. *Buddleja* plant named ‘Ice Chip’. U.S. Patent PP24,015, issued November 5, 2013.
- Werner D.J. & Snelling L.K. 2013b. *Buddleja* plant named ‘Lilac Chip’. U.S. Patent PP24,016, issued November 5, 2013.
- Werner D.J. 2016a. *Buddleja* plant named ‘Blue Chip Jr’. U.S. Patent Application 13/999,798, issued April 5, 2016.
- Werner D.J. 2016b. *Buddleja* plant named ‘Pink Micro Chip’. U.S. Patent PP26,547, issued March 29, 2016.
- Werner D.J. 2017. *Buddleja* plant named ‘Miss Violet’. U.S. Patent PP28,448, issued September 26, 2017.
- Wikipedia. 2019a. Category: *Buddleja* hybrids and cultivars. Accessed 19 February 2019. https://en.wikipedia.org/wiki/Category:Buddleja_hybrids_and_cultivars
- Wikipedia. 2019b. *Buddleja* ‘Asian Moon’. Accessed 1 March 2019. https://en.wikipedia.org/wiki/Buddleja_%27Asian_Moon%27
- Wilson S.B., Thetford M., Mecca L.K., Raymer J.S. & Gersony J.A. 2004. Evaluation of 14 butterfly bush taxa grown in western and southern Florida: II. Seed production and germination. HortTechnology, 14: 612-618.

I chirotteri quali indicatori biologici per misurare gli effetti di interventi di valorizzazione forestale in lariceti pascolati

Marzia Mattei-Roesli

Centro protezione chirotteri Ticino, CH-6714 Semione

marzia.mattei@ticino.com

Riassunto: Uno dei fattori chiave che determina la presenza e la composizione specifica dei pipistrelli in un determinato bosco è rappresentato dalla sua struttura, che è spesso fortemente influenzata dalla gestione forestale. Per valutare gli effetti sui chirotteri di interventi di valorizzazione forestale mirati a riaprire alcuni lariceti onde ricreare condizioni maggiormente idonee al pascolo in bosco, la loro attività di caccia e composizione specifica è stata indagata in alcuni lariceti della Vallemaggia (Svizzera, Cantone Ticino) tramite rilievi bioacustici eseguiti prima e dopo gli interventi di gestione. Sono stati indagati 4 lariceti in 12 stazioni per un totale di 57 notti di rilievo pre-intervento e 60 notti post-intervento distribuite sull'arco di 7 anni. L'attività di caccia e la diversità specifica registrate dopo gli interventi sono state superiori rispetto alla situazione pre-intervento. Ad aumentare non è stata solo la presenza di *Pipistrellus pipistrellus*, specie ubiquista attualmente non minacciata, bensì anche altre specie più rare e specializzate sembrano aver approfittato delle misure di gestione forestali realizzate.

Parole chiave: bioacustica, bosco, conservazione della natura, pascolo alberato, gestione, pipistrelli

Bats as bioindicators for the effects of forest management aimed at reopening of grazed larch stands

Abstract: The structure of a forest is often determined by forestry management. Structure is one of the key factors determining abundance and species composition of bats in a forest. In the present study we evaluated the effect on bats of forest thinning aimed at restoring more open larch stands that are better suited for cattle grazing. Using automatic bioacoustic recording we investigated 4 larch forests in Vallemaggia (Switzerland, Canton Ticino) before and after partial clearing of the forests. In total we collected ultrasound sequences of bats during 57 nights before and 60 nights after management over a time span of 7 years. Both, hunting activity and species composition, were higher after the reopening than before. Not only the presence of *Pipistrellus pipistrellus*, a common and not endangered species, increased but also some rarer and more specialised bat species were favoured by the changes in the forestry structure.

Key words: bioacoustics, chiroptera, nature conservation, wood, wooded pasture

INTRODUZIONE

Il 58% delle 30 specie di pipistrelli presenti in Svizzera è minacciato e conseguentemente iscritto nella Lista Rossa (Bohnenstengel *et al.*, 2014). Spesso la loro sopravvivenza dipende direttamente da misure di protezione e valorizzazione dei rifugi e degli ambienti di caccia.

All'interno del ciclo vitale dei chirotteri i boschi rivestono un ruolo molto importante, tanto che almeno la metà delle nostre specie può essere considerata forestale (Bohnenstengel *et al.*, 2014). Per alcune i boschi rappresentano degli ottimi ambienti di caccia, altre trovano rifugio all'interno delle cavità degli alberi, mentre per altre ancora le foreste rivestono entrambe queste funzioni. Il settore forestale assume quindi un ruolo molto importante nell'ambito della protezione dei pipistrelli, come testimoniato anche dalla presenza di ben 12 specie di chirotteri tra le specie forestali bersaglio definite dalla Confederazio-

ne nell'ambito della Strategia biodiversità Svizzera e della Politica forestale 2020.

L'idoneità di un bosco quale ambiente di caccia per i pipistrelli è il risultato dell'interazione tra offerta alimentare, struttura del bosco e capacità di volo delle singole specie. Quest'ultima dipende dalla forma delle ali e dalle caratteristiche degli ultrasuoni emessi: si va da specie che cacciano in spazi aperti a specie che sfruttano ambienti altamente ingombri (Fenton, 1990; Brigham *et al.*, 1997). Uno dei fattori chiave che determina la presenza e la composizione specifica dei pipistrelli in una determinata zona è quindi rappresentato dalla struttura del bosco. Poiché questa è spesso fortemente influenzata dalla gestione forestale, i chirotteri sono ottimi indicatori per valutare gli effetti di misure di gestione. Trattandosi poi di insettivori che si trovano in cima alla catena alimentare e hanno un fabbisogno energetico elevato, possono anche dare preziose indicazioni sul valore naturali-

stico di un bosco (Obrist *et al.*, 2010; Reiter *et al.*, 2014; Deplazes *et al.*, 2016).

Dato che uno studio condotto nel 2011 in alta Valle Lavizzara (Svizzera, Cantone Ticino) aveva mostrato che i lariceti aperti sono un ambiente di caccia molto interessante per i pipistrelli (Mattei-Roesli, 2011), questo gruppo faunistico è stato scelto quale indicatore per valutare gli effetti degli interventi di gestione forestale in alcuni lariceti.

MATERIALI E METODI

Comparto di studio e metodologia di rilievo

In totale durante la presente indagine sono stati esaminati 4 lariceti situati in Vallemaggia (Svizzera, Cantone Ticino) sottoposti a interventi di valorizzazione forestale: due lariceti ubicati in Valle di Lodano uno presso l'Alpe di Pii (1'600 m/slm) e l'altro all'Alpe Confeda (1'700 m/slm), uno in Valle di Campo a valle dell'Alpe Magnello (1'800 m/slm) e uno sopra la diga di Fusio presso il primo corte dell'Alpe Massari (1'650 m/slm). In tutte e quattro i casi si tratta di lariceti che una volta venivano sfruttati come pascoli per il bestiame degli alpi. In seguito all'abbandono della gestione verso gli anni '50 del secolo scorso sono stati invasi da popolamenti più o meno fitti di alberi più giovani, assumendo una struttura piuttosto chiusa. Mentre i boschi di Fusio e Magnello sono caratterizzati dalla presenza di vecchi larici in parte monumentali, i lariceti della Valle di Lodano sono più giovani. Gli interventi forestali eseguiti hanno comportato lo sfoltimento degli aggregati: sono state tagliate le piante di recente insediamento preservando gli esemplari più grossi e vecchi, in modo da creare una struttura verticale marcata a copertura rada al fine di favorire lo sviluppo della pastura nel bosco. Le superfici di intervento misuravano da 1-4 ha.

In ognuno dei 4 lariceti indagati i chiroterri sono stati censiti due volte: una prima volta prima degli interventi di valorizzazione forestale (stato 0) e una seconda volta 2 anni dopo gli interventi (stato 1).

Tutti i rilievi sono stati effettuati tramite registrazione automatica degli ultrasuoni emessi dai pipistrelli durante la caccia. Per la registrazione sono stati impiegati dei registratori di ultrasuoni automatici a banda larga del modello batcorder (EcoObs GmbH Nürnberg). In ogni comparto di studio sono stati posati 3 batcorder fissati sul tronco degli alberi a ca. 1.7 m dal suolo. La posizione esatta di ogni batcorder è stata determinata tramite GPS, in modo da poter ripetere i rilievi prima e dopo gli interventi di gestione nel medesimo punto. In ogni superficie di rilievo i batcorder sono rimasti attivi durante 4-7 notti consecutive tra metà giugno e fine luglio. All'interno dei 4 comparti di studio i rilievi sono stati eseguiti in anni diversi tra il 2012 e il 2018, a seconda dell'anno in cui sono stati eseguiti gli interventi forestali. In totale erano così disponibili 57 notti di rilievo pre-intervento e 60 notti post-intervento distribuiti sull'arco di 7 anni in 4 lariceti e 12 stazioni di registrazione differenti.

Analisi dei dati

I richiami registrati sono stati analizzati e nel limite del possibile identificati alla specie o al gruppo di specie tramite i programmi di analisi automatici Batscope 3.2.0 (Boesch & Obrist, 2013) e BatIdent (EcoObs GmbH Nürnberg) e in parte manualmente con Raven Pro 1.4 (Cornell Lab of Ornithology, Ithaca NY) seguendo le indicazioni riportate in letteratura (Skiba, 2009; Barataud, 2012; Russ, 2012). L'identificazione delle sequenze e la validazione di quelle più problematiche è avvenuta secondo gli standard SBBG (Bader *et al.*, 2018).

Quali misure per descrivere il popolamento di chiroterri in ognuno dei 4 lariceti indagati, sono stati scelti l'attività di caccia registrata e la composizione specifica. L'attività di caccia è determinata dal numero di contatti, definiti nel presente lavoro come il numero di intervalli di 1 minuto durante i quali è stata registrata la presenza di una determinata specie. Tale grandezza è stata preferita al numero totale di sequenze registrate per notte in quanto tiene conto del diverso comportamento di caccia delle varie specie (specie che cacciano in modo molto stazionario verso specie con comportamento di caccia ad ampio raggio) rendendo i dati più robusti (BVF, 2018). Il numero di contatti fornisce buone informazioni per quanto riguarda l'intensità dell'attività di caccia, mentre non permette nessuna ipotesi sul numero effettivo di pipistrelli presenti, in quanto è impossibile distinguere tra sequenze di individui diversi e sequenze di un unico individuo che ha sorvolato l'apparecchio di registrazione varie volte.

RISULTATI

Attività di caccia

In totale, durante le 117 notti di indagine, sono stati registrati 2'562 contatti, 199 nelle 57 notti pre-intervento e 2'363 nelle 60 notti post-intervento. In tutte e 4 i lariceti investigati il numero medio di contatti per notte dopo gli interventi di valorizzazione forestale è risultato superiore rispetto alla situazione pre-intervento (Fig. 1). Anche considerando solo i dati senza i contatti di *Pipistrellus pipistrellus*, specie ubiquista risultata chiaramente dominante in tutti i lariceti indagati, nella maggior parte dei casi l'attività di caccia dopo gli interventi di valorizzazione è risultata superiore rispetto alla situazione prima degli interventi (Fig. 2). Solo presso l'Alpe Confeda nella situazione post-intervento sono stati registrati meno contatti non appartenenti a *P. pipistrellus* rispetto alla situazione pre-intervento. La differenza è però infima in quanto imputabile a un'unica sequenza.

Composizione specifica

All'interno dei 4 lariceti indagati sono state contattate 7 specie o gruppi di specie di pipistrelli. Si tratta di *Pipistrellus pipistrellus*, *Hypsugo savii*, *Myotis nattereri*, *Tadarida teniotis* e dei complessi *Pipistrellus kuhlii/nathusii*, *Myotis mystacinus/brandtii* e *Nyctalus/Eptesicus/Vespertilio*

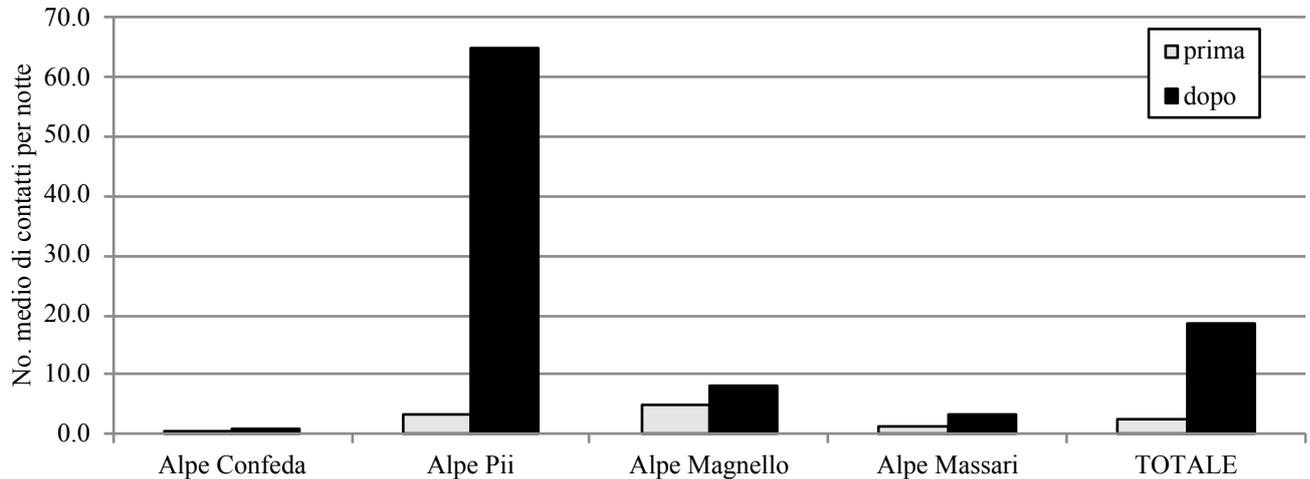


Figura 1: Numero medio di contatti per notte nei 4 lariceti indagati e in totale. Sono rappresentati i dati prima e dopo gli interventi di valorizzazione forestale.

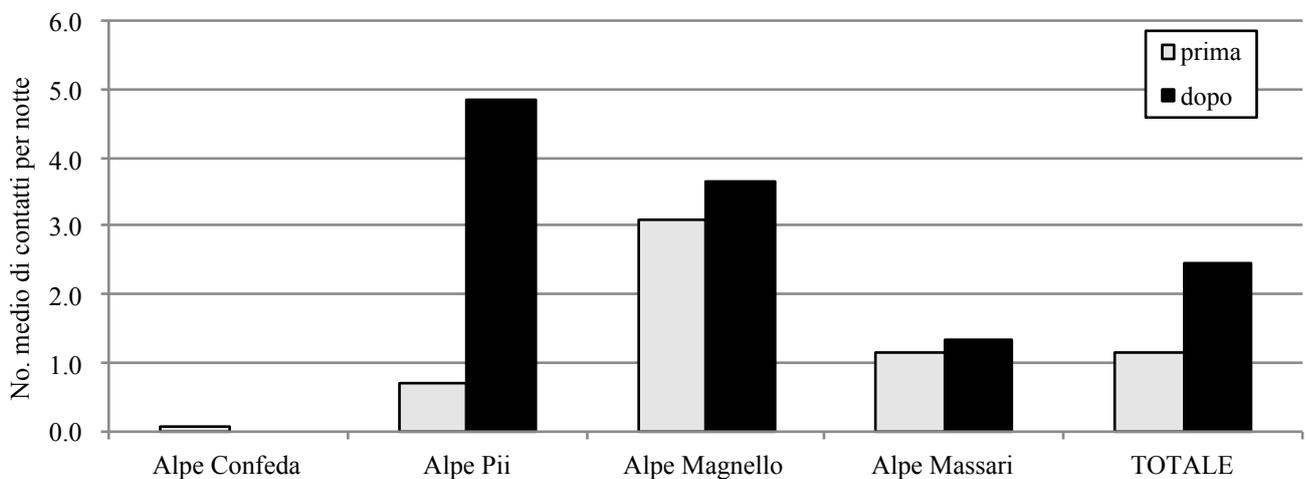


Figura 2: Numero medio di contatti per notte nei 4 lariceti indagati e in totale senza *Pipistrellus pipistrellus*. Sono rappresentati i dati prima e dopo gli interventi di valorizzazione forestale.

difficilmente differenziabili in bioacustica. All'interno di quest'ultimo gruppo alcuni richiami potrebbero appartenere a *Nyctalus leisleri*, ma l'identificazione non è sicura. Vi è pure il sospetto che alcune sequenze del gruppo *M. mystacinus/brandtii* siano di *Myotis brandtii*. Tutte queste specie hanno potuto essere osservate durante i rilievi post-intervento, mentre nei rilievi pre-intervento le specie contattate sono state solo 5. Mancavano *Pipistrellus kuhlii/nathusii* e *Tadarida teniotis* (Tab. 1). Nei rilievi post-intervento non solo è aumentato il numero di specie contattate, ma vi è pure stato un incremento della diversità specifica osservata nelle singole stazioni, come mostrato dalla figura 3, dove si può notare che la maggior parte delle specie nei rilievi post-intervento è stata osservata in un numero maggiore di stazioni rispetto alla situazione pre-intervento.

DISCUSSIONE

Sia prendendo i 4 lariceti indagati singolarmente sia considerando i dati nel loro complesso si nota un chiaro incremento dell'attività di caccia dei pipistrelli e della diversità specifica dopo gli interventi di valo-

rizzazione forestale, che hanno comportato un diradamento dei popolamenti con conservazione degli alberi più vecchi e maturi.

Si reputa che tale aumento sia effettivamente da ascrivere agli interventi di gestione forestale e non ad altre cause esterne. Questo perché da una parte i rilievi prima e dopo sono stati eseguiti in anni diversi, per cui è possibile escludere effetti legati a situazioni climatiche particolari. Inoltre in generale negli ultimi anni le popolazioni della maggior parte delle specie di pipistrelli hanno subito un calo delle popolazioni, come testimoniato sia dall'iscrizione di oltre la metà delle specie in Lista rossa (Bohnenstengel *et al.*, 2014) sia dai regolari censimenti eseguiti da oltre 25 anni dal Centro protezione chiroteri Ticino all'interno delle più importanti colonie del Cantone (dati banca-dati CPT). A causa del breve lasso di tempo intercorso tra la gestione forestale e i rilievi post-intervento e del ritmo di riproduzione molto lento dei pipistrelli, l'aumento osservato non può però essere ascritto a un reale incremento delle popolazioni di pipistrelli, ma unicamente a uno spostamento di individui in ambienti di caccia più attrattivi. Si presume però che a lungo termine la creazione di ambienti di caccia migliori si ripercuota

in maniera positiva pure sugli effettivi di pipistrelli, tramite un miglioramento della fitness e del successo riproduttivo.

A livello di specie l'aumento non ha interessato solo l'attività di *P. pipistrellus*, una delle poche specie non minacciate (Bohnenstengel *et al.*, 2014) per la quale pertanto attualmente non sono necessarie misure di protezione e promozione attive, ma anche numerose altre specie più rare, minacciate e sensibili, che, pur rimanendo rare all'interno delle singole stazioni, dopo gli interventi di gestione hanno potuto essere osservate in un numero maggiore di punti di registrazioni. Tra queste vi sono anche specie forestali bersaglio come *M. brandtii*, probabilmente censito all'Alpe Magnello e all'Alpe Massari, specie prioritarie nazionali come tutti i componenti del gruppo *Nyctalus/Eptesicus/Vespertilio*, *M. nattereri* e la maggior parte del genere *Myotis* e specie prioritarie regionali come *N. leisleri* probabilmente osservata all'Alpe Pii e magari pure all'Alpe Massari.

Guardando all'ecologia delle specie che dopo gli interventi di gestione erano presenti in un numero maggiore di stazioni, si nota che spesso si tratta di pipistrelli caratterizzati da un volo meno agile che amano cacciare in zone più aperte e lungo gli ecotoni, quali per esempio *H. savii*, *P. nathusii/kuhlii* e esponenti del gruppo *Nyctalus/Eptesicus/Vespertilio*. L'incremento dell'attività di caccia di queste specie ci permette di affermare che esso è la conseguenza diretta del cambiamento della struttura del bosco, meno ingombra dopo gli interventi di gestione. Anche diverse indagini eseguite in selve castanili gestite e non gestite hanno permesso di osservare un'attività di caccia maggiore, un maggiore numero di specie e una tendenza ad un aumento delle specie meno manovrabili nelle selve gestite, caratterizzate da una struttura più aperta rispetto a quelle abbandonate (Zambelli *et al.*, 2008; Öbrist *et al.*, 2010).

Gli interventi di dirado eseguiti non hanno però favorito solo i pipistrelli legati ad ambienti più aperti,

Tabella 1: Elenco delle specie e dei gruppi di specie osservati nei 4 lariceti indagati. LR = Lista rossa pipistrelli (Bohnenstengel *et al.*, 2014); LC = specie non minacciata, NT = specie potenzialmente minacciata, VU = specie vulnerabile; SPN = specie prioritarie nazionali (UFAM, 2011): 0 = nessuna priorità, 1 = priorità molto elevata, 2 = priorità elevata, 3 = priorità media, 4 = priorità esigua; SPR = specie prioritaria regionale (specie la cui protezione è prioritaria nel Cantone Ticino; Roesli & Moretti, 2003), SF = specie forestale bersaglio. Nyc/Ept/Ves = *Nyctalus leisleri*, *N. noctula*, *Eptesicus serotinus*, *E. nilssonii* e *Vespertilio murinus*. Mkm = *Myotis mystacinus*, *M. brandtii*, *M. daubentonii* e *M. bescheimii*.

Specie o gruppo di specie	LR	SPN	SPR	SF	Pre-intervento	Post-intervento	Osservazioni
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	LC	0			x	x	
<i>P. kuhlii/nathusii</i>	LC	0				x	
<i>Hypsugo savii</i>	NT	0			x	x	
Nyc/Ept/Ves	NT-VU	2-4	(*)	(*)	x	x	alcune sequenze potrebbero appartenere a <i>N. leisleri</i>
<i>Myotis nattereri</i>	NT	4			x	x	
Mkm	LC-VU	0-4	(*)	(*)	x	x	alcune sequenze potrebbero appartenere a <i>M. brandtii</i>
<i>Tadarida teniotis</i>	NT	0				x	

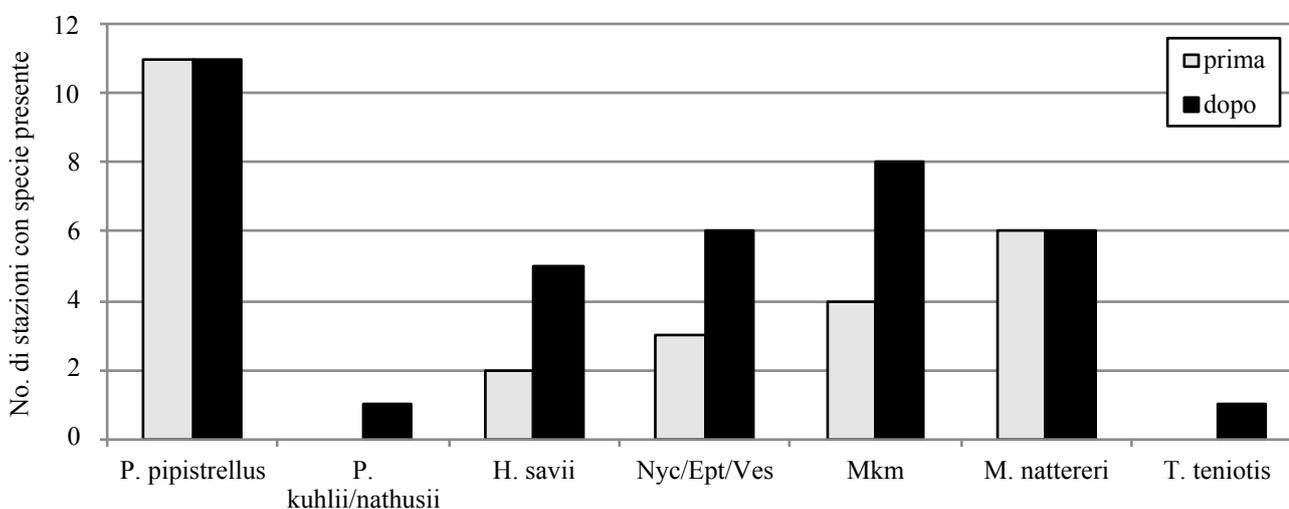


Figura 3: Numero di stazioni (n totale = 12) con presenza delle singole specie o gruppi di specie. Sono rappresentati i dati prima e dopo gli interventi di valorizzazione forestale. Nyc/Ept/Ves = *Nyctalus leisleri*, *N. noctula*, *Eptesicus serotinus*, *E. nilssonii* e *Vespertilio murinus*. Mkm = *Myotis mystacinus*, *M. brandtii*, *M. daubentonii* e *M. bescheimii*.

ma anche il gruppo Mkm (*M. mystacinus*, *M. brandtii*, *M. daubentonii* e *M. beschteini*), composto soprattutto da specie che cacciano a stretto contatto con la vegetazione, ha potuto essere osservato nel doppio delle stazioni. Si tratta di un risultato molto incoraggiante in quanto nel Cantone Ticino le specie appartenenti al genere *Myotis* sono generalmente particolarmente rare (dati banca-dati CPT). Questo incremento di attività ci permette inoltre di ipotizzare che oltre ad un cambiamento della struttura del bosco gli interventi forestali abbiamo comportato anche un aumento della produttività di insetti e quindi una maggiore offerta di prede per i pipistrelli. Per verificare l'effettiva pertinenza di questa ipotesi sarebbe interessante rilevare la biomassa di insetti presenti prima e dopo gli interventi di gestione forestale.

Infine anche *T. tenuis* è stato osservato solo dopo gli interventi forestali. In questo caso si reputa però che la sua presenza non sia strettamente legata ai lavori eseguiti in quanto si tratta di una specie che caccia a grandi altezze nello spazio aereo aperto.

In conclusione è possibile affermare che gli interventi di valorizzazione forestale eseguiti, oltre ad aumentare l'offerta di pascoli sia per gli animali domestici che per gli ungulati selvatici, hanno permesso pure di incrementare l'attrattiva dei lariceti quali ambienti di caccia per i pipistrelli. Anche altri studi eseguiti in boschi di larice delle Alpi italiane e francesi hanno permesso di dimostrare il valore di questi ambienti per i chiroteri. In generale più un lariceto è strutturato sia in orizzontale che in verticale con presenza dei tre strati erbaceo, cespuglioso e arboreo e più esso è maturo, più risulta attrattivo (Culasso & Toffoli, 2011; Barataud & Giosa, 2012; Barataud *et al.*, 2013). È quindi importante diversificare gli interventi di gestione forestale, creando un mosaico di piccole superfici (indicativamente di meno di 1ha di estensione) eterogenee. Molto importanti sembrano anche essere la conservazione di zone con una buona copertura di arbusti e cespugli nani come pure la creazione di piccole radure e di zone dolci di transizione verso i pascoli più aperti (Culasso & Toffoli, 2011; Barataud & Giosa, 2012; Barataud *et al.*, 2013; Russo *et al.*, 2016). I lariceti con presenza di alberi vecchi, oltre a fungere da interessanti ambienti di caccia, offrono pure ottime possibilità di rifugio all'interno di un'ampia gamma di cavità arboree situate di preferenza in alberi vivi con diametro maggiore a 100cm. Tra le specie osservate in queste cavità vi sono *M. brandtii* e *P. auritus* (Culasso & Toffoli, 2011).

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare l'Ufficio forestale del 7° circondario per aver fortemente creduto e promosso questo studio come pure i numerosi ulteriori partner del progetto: il Patriziato di Lodano, la Fondazione Alpe Magnello, il Patriziato di Fusio e il Centro natura Vallemaggia. Ringrazio pure il Museo cantona-

le di storia naturale per aver messo a disposizione i batcorder. Infine la mia gratitudine va a Damiano Torriani e Luca Pagano per la posa dei batcorder, a Annie Frey-Ehrenbold, Thierry Bohnenstengel, Martin Obrist e Cyril Schönbächler per il prezioso aiuto nell'identificazione delle sequenze bioacustiche più critiche e la loro validazione e a Tiziano Maddalena e Marco Moretti per la discussione dei risultati e la rilettura critica del testo.

BIBLIOGRAFIA

- Bader E., Bontadina F., Frey-Ehrenbold A., Schönbächler C., Zingg P.E. & Obrist M.K. 2018. Richtlinien für die Aufnahme, Auswertung und Validierung von Fledermausrufen in der Schweiz. Bericht der Swiss Bat Bioacoustics Group SBBG, 19 pp.
- Barataud M. & Giosa S. 2012. Biodiversité des chiroptères et gestions forestières en Limousine, 32 pp.
- Barataud M. 2012. Ecologie acoustique des chiroptères d'Europe. Mèze, Biotope Editions, 344 pp.
- Barataud M., Demontoux D., Favre P., Giosa S. & Grandadam J. 2013. Bioévaluation des peuplements de Mélèze commun (*Larix decidua*) dans le Parc national du Mercantour, par l'étude des chiroptères en activité de chasse. Le Rhinolophe 19: 59-86.
- Boesch R. & Obrist M.K. 2013. BatScope - Implementation of a BioAcoustic Taxon Identification Tool. Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL. <http://www.batscope.ch> (ultima consultazione 12.1.2016).
- Bohnenstengel T., Krättli H., Obrist M.K., Bontadina F., Jaberg C., Ruedi M. & Moeschler P. 2014. Lista Rossa Pipistrelli. Specie minacciate in Svizzera, stato 2011. Berna, UFAM, CCO, KOF, CSCF e WSL, 95 pp.
- Brigham R. M., Grindal S.D., Firman M.C. & Morissette J.M. 1997. The influence of structural clutter on activity patterns of insectivorous bats. Canadian Journal of Zoology, 75: 131-136.
- BVF 2018. Methodenstandards Akustik. Stand März 2018, 30 pp.
- Culasso P. & Toffoli R. 2011. I chiroteri del Parco naturale Alpe Veglia e Alpe Devero e del SIC/ZPS IT 1140016 "Alpe Veglia e Devero-Monte Giove", 122 pp.
- Deplazes L., Frey-Ehrenbold A., Ziegler M. & Bontadina F. 2016. Grosse Fledermausvielfalt in den Waldnaturschutzgebiete des Kantons Zug. Schweizer Zeitschrift für Forstwesen, 167 (5): 278-285.
- Fenton M.B. 1990. The foraging behaviour and ecology of animal-eating bats. Canadian Journal of Zoology, 68: 411-422.
- Mattei-Roesli M. 2011. Approfondimento delle conoscenze sulla fauna chiroterologica in un comparto territoriale alpino (alta Val Lavizzara). Lugano, Museo cantonale di storia naturale, 12 pp.
- Obrist M.K., Rathey E., Bontadina F., Martinoli A., Conedera M., Christe P. & Moretti M. 2010. Response of bat species to sylvo-pastoral abandonment. Forest Ecology and Management, 261: 789-798.
- Reiter G., Plank M. & Hüttmeir U. 2014. Fledermäuse in den Kernzonen und Wirtschaftswäldern des Biosphärenreservats Wienerwald. Wissenschaftliche Mitteilungen des Niederösterreichischen Landesmuseums, 25: 503-522.

- Roesli M. & Moretti M. 2003. Strategia cantonale per lo studio e la protezione dei Pipistrelli. Principi e indirizzi. Bellinzona, Dipartimento del territorio, Ufficio protezione della natura e Museo cantonale di storia naturale, 43 pp.
- Russ J. 2012. British bat calls. A guide to species identification. Exeter UK, Pelagic Publishing, 192 pp.
- Russo D., Billington G., Bontadina F., Dekker J., Dietz M., Gazaryan S., Jones G., Meschede A., Rebelo H., Reiter G., Ruczynski I., Tillon L. & Twisk P. 2016. Identifying key research objectives to make european forests greener for bats. *Frontiers in ecology and evolution* 4: 87.
- Skiba R. 2009. Europäische Fledermäuse - Kennzeichen, Echoortung und Detektoranwendung. 2. Auflage. Hohenwarsleben, Westarp Wissenschaften, 220 pp.
- UFAM 2011. Lista delle specie prioritarie a livello nazionale. Specie prioritarie per la conservazione e la promozione a livello nazionale. Stato 2010. Berna, Ufficio federale dell'ambiente, Pratica ambientale no. 1103, 132 pp.
- Zambelli N., Mattei-Roesli M. & Moretti M. 2008. Nottola di Leisler (*Nyctalus leisleri*, Chiroptera), regina delle selve castanili. Resoconto dopo 6 anni di monitoraggio di 200 cassette-nido. *Bollettino della Società ticinese di Scienze naturali* 96: 49-59.

Coleotteri xilobionti dei vecchi castagni da frutto della selva del Mont Grand, Soazza/GR, Svizzera

Marco Moretti¹, Remo Wild² e Barbara Huber²

¹ Istituto federale di ricerca WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8093 Birmensdorf

² Abenis AG, Quaderstrasse 7, CH-7000 Coira

marco.moretti@wsl.ch

Riassunto: Le selve castanili e i vecchi castagni da frutto sono ambienti creati e mantenuti dall'uomo e hanno un potenziale ecologico elevato. Finora nessuno studio ne aveva descritto i contenuti naturalistici e neppure calcolato il valore dal profilo della conservazione. Nel 2003 e 2004 è stata censita la fauna invertebrata di 18 vecchi castagni da frutto nella selva del Mont Grand (Soazza, GR): 9 alberi gestiti in ambienti aperti e 9 abbandonati all'interno del bosco. Gli invertebrati sono stati campionati con diversi tipi di trappole sistemate in vari microhabitat degli alberi: la chioma, la cavità principale del tronco, le cavità comunicanti verso l'esterno e la parte esterna del tronco. In totale sono stati campionate 308 specie di coleotteri appartenenti a 50 famiglie diverse. Di queste, 176 specie (57%) sono legate al legno (specie xilobionti), 12 sono specie relict di foreste primarie, 41 sono specie forestali emblematiche, entrambe importanti dal profilo della conservazione e presenti nella selva del Mont Grand in numero maggiore rispetto ad altre aree forestali in Svizzera. Lo studio non ha riscontrato differenze nel numero di specie di coleotteri xilobionti tra i castagni gestiti e quelli abbandonati. Tuttavia solo circa il 50% delle specie è stato campionato sia in castagni gestiti sia abbandonati, mentre il 25% erano esclusive degli alberi gestiti e il restante 25% di quelli abbandonati. Per massimizzare il valore ecologico dei vecchi castagni, consigliamo di (i) risanare alberi non solo nelle selve aperte ma anche in quelle abbandonate, dove vivono specie diverse da quelle selve aperte, (ii) evitare di asportare parti di legno morto e marcescente, in particolare, la segatura di legno in decomposizione nelle cavità del tronco, e soprattutto (iii) procedere a potature e interventi di risanamento contenuti ma frequenti e scaglionati nel tempo, piuttosto che intervenire in modo massiccio in breve tempo.

Parole chiave: castagno da frutto, castagni monumentali, *Castanea sativa*, Coleopera, coleotteri, gestione forestale, legno morto, sapiroxilofagi, xilobionti, xilofagi

Xilobiont beetles of the old sweet chestnut trees of the Mont Grand's orchard, Soazza/GR, Switzerland

Abstract: The old chestnut orchard and the old sweet chestnut trees are habitats created and maintained by human beings and are of high ecological potential. So far, no study has quantified their conservation value based on a quantitative survey of the organisms living there. In 2003 and 2004, 18 old chestnut trees were sampled in Mont Grand's orchard (Soazza, GR): 9 trees were managed in open habitat and 9 abandoned inside the forest. The invertebrate fauna was sampled using different types of traps placed in different microhabitats of the different trees: crown, isolated cavities in the trunk or in large branches, cavities communicating towards the outside and outer part of the trunk. A total of 308 beetle species belonging to 50 different families were sampled: 176 species (57%) are related to wood (xylobionts). Of these, 12 were relict species of primary forests, 41 were emblematic forest species, both important in terms of conservation and were present in chestnut orchard of Mont Grand in greater numbers than in other forest areas in Switzerland. The study found no differences in the number of xylobiont beetle species between managed and abandoned chestnut trees. Nevertheless, only 50% of the species occurred in both managed and abandoned trees, while 25% were exclusive in managed trees and 25% in abandoned ones. To maximize the ecological value of the old chestnut trees, we recommend (i) to manage trees both in open habitat and in the forests, where different species do occur, (ii) to avoid removing parts of dead and rotting wood and, in particular, decomposing wood dust in the trunk cavities, and in particular (iii) to avoid massive pruning and short time restoration actions, while do rather intervene frequently and staggered over time.

Key words: Beetles, Coleopera, forest management, giant chestnut, *Castanea sativa*, dead wood, sweet chestnut, sapiroxylophagous, xylophagous, xylobionts

INTRODUZIONE

Alberi secolari e legno morto sono una componente importante degli ecosistemi forestali. Essa rappresenta la risorsa principale di numerose specie. In Svizzera, circa un quarto di tutte le specie forestali dipendono dal legno morto, sia come habitat che come fonte ali-

mentare durante almeno una parte del proprio ciclo vitale (Lachat *et al.*, 2019). Tali specie sono dette xilobionte (dal greco *xylos* = legno, *bios* = vita) (Speight 1989). Per talune di queste specie, singoli alberi rappresentano veri e propri habitat definiti col termine di *alberi-habitat*, dall'Inglese *habitat-trees*.

La presenza di *alberi-habitat* e di legna morta nei boschi

svizzeri (9.1-44.2 m³ all'ettaro; media 18.5 m³ all'ettaro) sono generalmente scarsi. Per conservare le specie xilobionti occorrono quantitativi minimi pari a 20-40 m³ all'ettaro. Oltre alla quantità, anche la qualità del legno morto è importante, soprattutto in termini di diversità dello stadio di decomposizione, delle specie e del diametro degli alberi, come pure delle condizioni microclimatiche locali (Lachat & Buetler 2009; Lachat *et al.*, 2011). Con una media di circa 22 m³ all'ettaro, i quantitativi di legno morto nei boschi al Sud delle Alpi (Lachat *et al.*, 2019) sono di poco al di sopra la media nazionale.

Vecchi castagni da frutto (*Castanea sativa* Mill.) di grandi dimensioni, detti anche castagni monumentali quando il diametro supera 7 m (Krebs & Conedera 2005; Krebs *et al.*, 2005), rappresentano un'importante fonte di legno morto. Vecchi castagni da frutto sono spesso presenti nelle selve castanili del versante sud delle Alpi. Le selve castanili sono ambienti di tipo silvo-pastorale creati e mantenuto dall'uomo con alberi di castagno innestati e spesso con una spaziatura regolare tra loro (David *et al.*, 2012). Questo tipo di ambiente ha caratterizzato il paesaggio culturale della fascia pedemontana di molte regioni della Svizzera italiana fino a metà del secolo scorso (Conedera *et al.*, 2004; Krebs *et al.*, 2012). E' proprio questo stretto legame con l'uomo a rendere le selve vulnerabili a cambiamenti socio-economici e a un diverso uso del territorio (Förster *et al.*, 2009; Krebs *et al.*, 2008). Senza una gestione regolare, infatti, le selve castanili tendono a chiudersi, con il progressivo deperimento dei castagni.

Nella Svizzera italiana l'area occupata dalle selve castanili gestite è diminuita nell'ultimo secolo del 70%, passando da 9'500 ha a 3'000 ha (Brändli 2010). Nel Cantone Ticino e nel Moesano sono attualmente presenti oltre 400 ettari di selve castanili gestite in modo tradizionale (David *et al.*, 2012). Gran parte di esse è stata recuperata negli ultimi 30 anni grazie alla collaborazione tra autorità e privati con positive ricadute sul paesaggio e su aspetti socio-culturali.

Finora, mancavano tuttavia dati quantitativi sugli effetti del recupero delle selve sulla biodiversità. A tale scopo, tra il 1998 e il 2015 sono state condotte una serie di indagini su uccelli, pipistrelli, invertebrati e licheni (Moretti 2019).

Tra gli invertebrati forestali, i coleotteri rappresentano il 95% della biomassa degli insetti legati al legno (xilobionti). Per alcuni di essi, il legno costituisce l'habitat principale per lo sviluppo larvale, che può durare fino a 4-5 anni, com'è il caso per il cervo volante (*Lucanus cervus*) e per lo scarabeo eremita (*Osmoderma eremita*). Tuttavia, data la difficoltà ad assimilare la cellulosa, le larve si nutrono di batteri, funghi e di altri organismi presenti nel legno.

In Europa centrale sono conosciute circa 1'400 specie di coleotteri xilobionti (Lachat *et al.*, 2012), molte delle quali minacciate. La recente Lista rossa dei coleotteri xilobionti Buprestidi, Cerambicidi, Cetonidi e Lucanidi (Monnerat *et al.*, 2016) riporta che la maggior parte delle specie minacciate vive in boschi di latifoglie di pianura e di collina, in particolare in boschi luminosi/aperti, nelle radure e lungo i margini boschivi. In Svizzera, le conoscenze sui coleotteri xilobionti restano tut-

tavia ancora scarse e frammentarie e limitate alle quattro famiglie citate sulle oltre 70 conosciute (Schmidl & Bussler 2004).

Data questa scarsità di conoscenze su fauna invertebrata del legno, e in particolare di quella legata ai vecchi castagni, nel 2003 e 2004 abbiamo lanciato uno studio volto a censire per la prima volta gli invertebrati presenti in 18 castagni da frutto, con l'obiettivo di: 1) valutare l'effetto dell'abbandono delle selve e dei singoli castagni sulle comunità dei coleotteri xilobionti, 2) individuare le parti dell'albero (micro-habitat) con maggiore valore dal profilo naturalistico e 3) fornire indicazioni utili per la loro gestione e conservazione.

Glossario

Coleotteri xilobionti – Specie di coleotteri che si riproducono nel legno in qualsiasi stato e fase di decomposizione, come pure nei funghi ad esso associati. Le specie xilobionti obbligatorie dipendono dal legno morto per la loro sopravvivenza, mentre le specie xilobionti facoltative sono legate al legno morto, ma possono anche colonizzare altri substrati.

Specie relitte di foreste primarie – Le specie legate a foreste con presenza costante di legno vecchio e in fase di decadimento e con esigenze ecologiche elevate in termini di qualità e quantità di legno morto. In base all'indice URW (Specie relitte di foreste primarie) tali specie hanno un valore tra 1 e 2 (Eckelt *et al.*, 2018).

Specie forestali emblematiche della Svizzera – Specie forestali con elevate esigenze ecologiche dal profilo dell'habitat e che vivono soprattutto in vecchie foreste in Svizzera. Una specie forestale è considerata emblematica quando, su una scala tra 2-7 dell'indice-Is (che quantifica il grado di esigenze ecologiche e la rarità di una determinata specie) la specie raggiunge un indice-Is ≥ 4 . Valori di Is tra 6-7 indicano che la specie in questione è relitta di foreste primarie al pari dell'indice URW 1-2 visto sopra (Sanchez *et al.*, 2016).

MATERIALI E METODI

Area di studio e design

Lo studio è stato condotto nella selva del Mont Grand (Comune di Soazza, Grigioni) nell'ambito di due lavori di semestre presso l'Istituto federale di ricerca WSL (Altenburger 2004; Tonolla 2004). La selva del Mont Grand è stata scelta per la presenza di numerosi castagni di grandi dimensioni (Krebs & Conedera 2005; Plozza 2016). Al momento dell'indagine (2003 e 2004) molti di questi alberi si trovavano in uno stato di avanzato deperimento all'interno del bosco non più gestito da decenni. Altri castagni, sebbene non particolarmente curati, si trovavano in aree aperte, in prati e pascoli o al margine del bosco ed erano più sani e vigorosi. All'interno di un'area di circa 120 ha a Sud-Ovest dell'agglomerato di Soazza (Fig. 1) abbiamo seleziona-

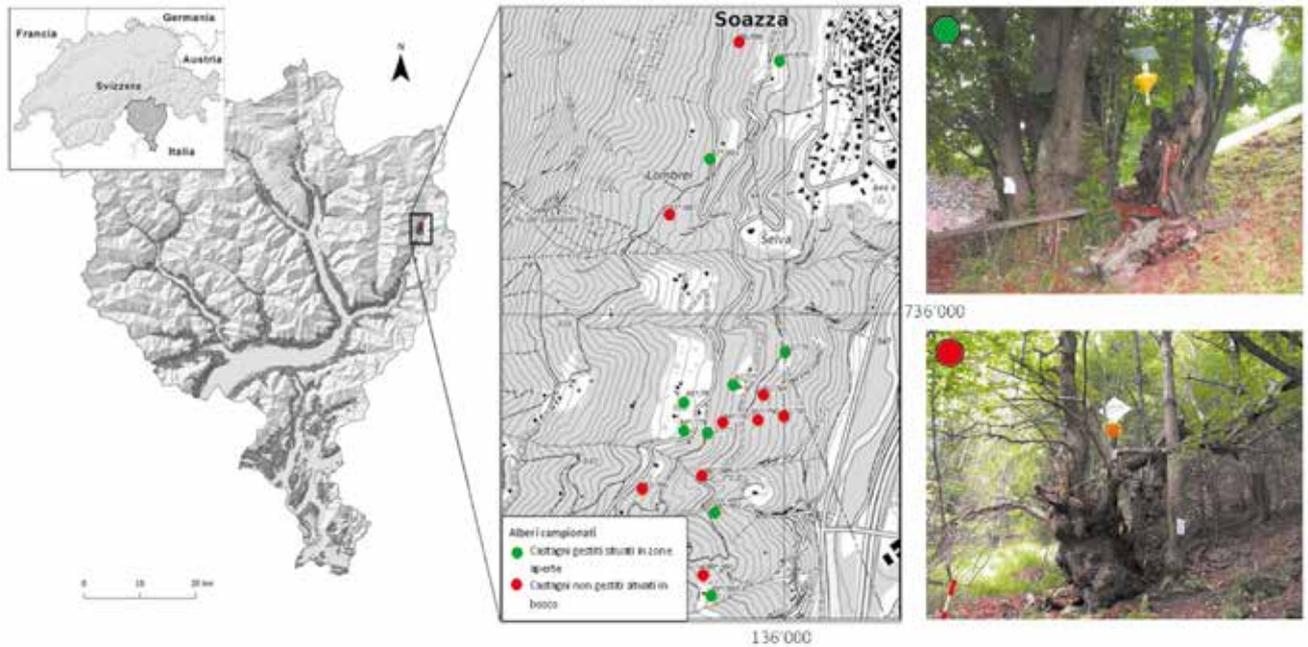


Figura 1: Distribuzione geografica dei 18 alberi di castagno investigati nella selva del Mont Grand, Soazza/GR: 9 alberi gestiti e situati in ambienti aperti (●) e 9 alberi abbandonati e situati in bosco (●).

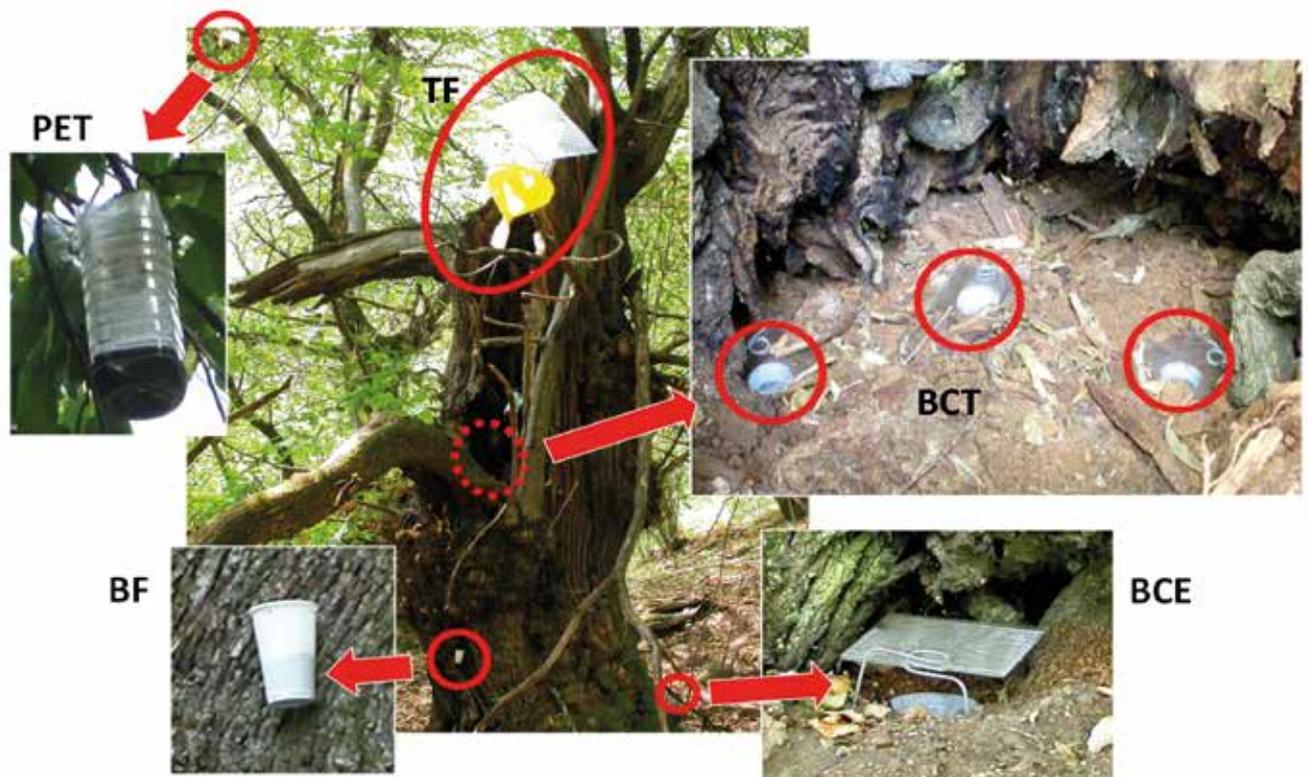


Figura 2: Tipi di trappole utilizzate per campionare gli invertebrati dei castagni nella selva del Mont Grand a Soazza/GR. TF: trappola a finestra; PET: trappola ad esca a base di vino e zucchero; BF: trappole Barber appesa al tronco con frutta in fermentazione; BCT: trappole a caduta (Barber) all'interno cavo del tronco principale (non comunicanti col terreno circostante) e BCE: trappole a caduta all'interno di cavità alla base del tronco comunicati verso l'esterno a livello del terreno. Le trappole a caduta all'esterno della base del tronco (BE) non sono raffigurate, ma sono simili a BCE.

to 18 grossi castagni con diverse cavità, sia all'interno che alla base del tronco e sui rami più grossi. Metà dei castagni ($n = 9$) sono stati scelti in ambienti aperti (prati e margini del bosco). Si tratta di alberi vigorosi e in buono stato di salute (definiti col termine di 'alberi gestiti'). L'altra metà dei castagni ($n = 9$) è stata invece scelta all'interno del bosco. In questo caso, in questo

caso gli alberi erano in avanzato stadio di deperimento, in quanto non più gestiti da tempo ('alberi abbandonati' oppure 'alberi non gestiti').

In ogni castagno sono stati campionati cinque diversi microhabitat: 1) la cavità principale del tronco aperta unicamente verso l'alto, 2) le cavità del tronco comunicanti verso l'esterno a livello del suolo, 3) le cavità e le

nicchie sui rami, 4) la parte esterna alla base del tronco, e 5) la chioma (parte fogliare dell'albero). Siccome non tutti gli alberi selezionati presentavano l'insieme dei microhabitat citati, per nove di essi abbiamo dovuto aggiungere un secondo albero (albero secondario), nelle immediate vicinanze, al fine di completare l'insieme dei microhabitat da campionare. In totale, sono stati quindi campionati 27 alberi (18 alberi principali e 9 alberi secondari). Per semplicità, i dati delle coppie di alberi principali e secondari sono stati uniti e quindi, i risultati fanno riferimento a 18 alberi (9 gestiti e 9 abbandonati).

Raccolta dei dati

Per il campionamento degli invertebrati sono state utilizzate sei tipi diversi di trappole posizionate nei cinque microhabitat citati (Fig. 2): TF, trappola gialla a finestra (Ø 50 cm, con plexiglass incrociato 50 cm x 80 cm e coperta con un tettuccio contro le intemperie) sospesa al centro della chioma destinata alla cattura di insetti volanti, in particolare floricoli; PET, bottiglia di plastica con imbuto rovesciato contenente vino e zucchero per la cattura di invertebrati attirati dalla fermentazione della frutta; BF, bicchierini di plastica (Ø 6 cm) sospese all'esterno del tronco all'altezza di 1.5 m contenente frutta in fermentazione; BCT, trappole a caduta poste a filo del substrato all'interno della cavità principale del tron-

co (ma non comunicanti col terreno circostante); BCE, stesso tipo trappole, ma sistemate nelle cavità alla base del tronco comunicanti verso l'esterno al livello del terreno, e BE, stesse trappole, ma sistemate nel suolo alla base esterna del tronco e quindi aperte verso la selva. I campionamenti sono stati eseguiti tra giugno e agosto 2003 (fase pilota su cinque coppie di alberi) e tra aprile e agosto 2004 (rilievi completi sulle nove coppie di alberi).

Analisi dei dati

Gli invertebrati raccolti sono stati smistati in 18 gruppi tassonomici diversi (v. Fig. 3). Alcuni di essi sono stati determinati alla specie (dati non pubblicati; banca dati Fauna del WSL e Info Fauna). Riguardo alla famiglia dei coleotteri, le determinazioni sono state eseguite da Christoph Germann (curculionidi), Cinzia Pradella (cerambicidi e buprestidi), Miloš Knížek (scolitidi), Mirko Zanini (carabidi) e Petr Zaradnik (altri coleotteri xilobionti).

Per la valutazione ecologica dei castagni investigati e per un giudizio sulla loro gestione ci siamo basati su diversi criteri tra cui il grado di legame delle specie con il legno morto (Schmidl & Bussler 2004), il livello di minaccia delle singole specie (Monnerat *et al.*, 2016) e la loro affinità con le foreste primarie dell'Europa Centrale (Eckelt *et al.*, 2018) e con le foreste ricche di legno morto in Svizzera (Sanchez *et al.*, 2016). Sono inoltre

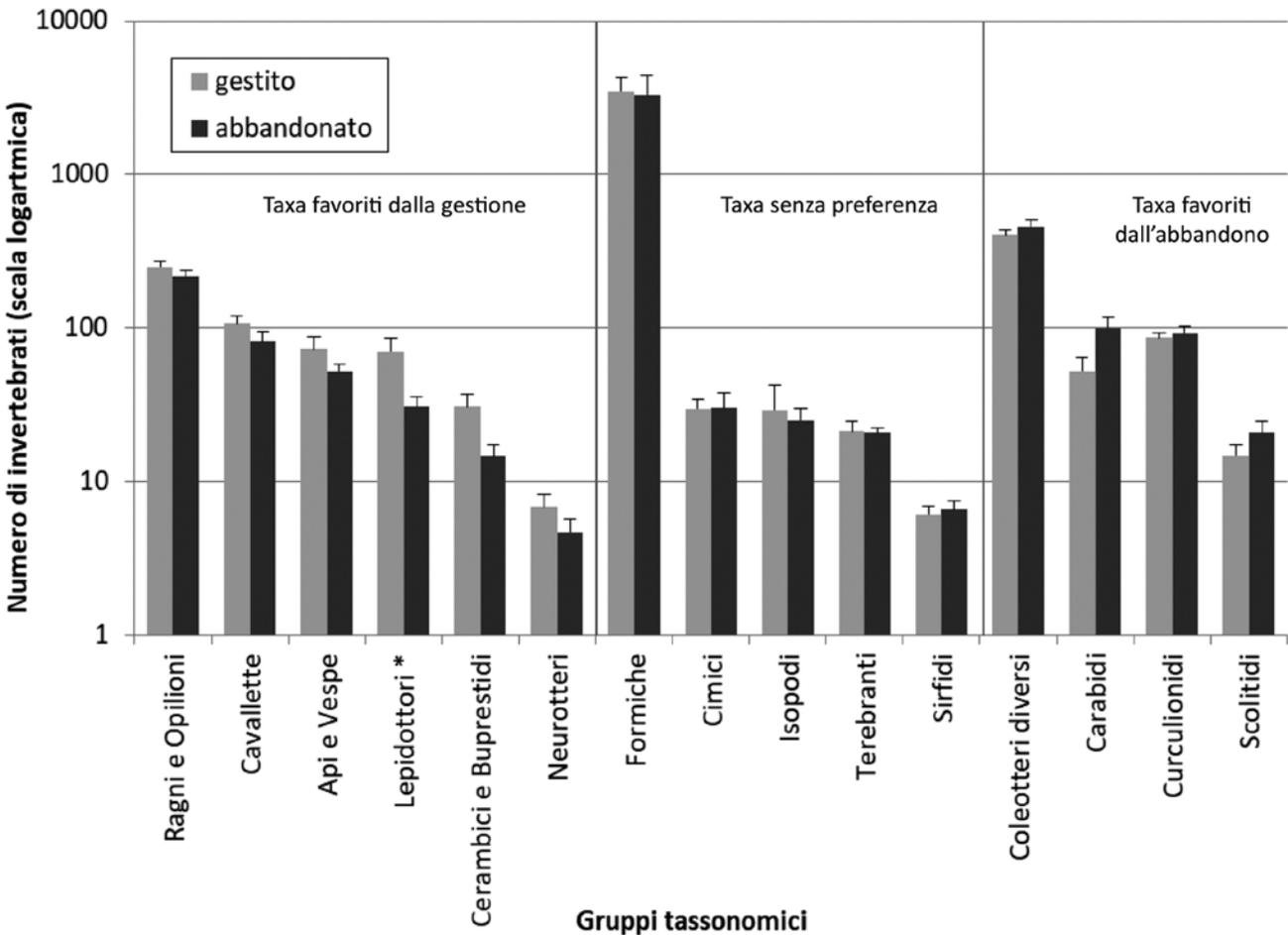


Figura 3: Numero di individui di invertebrati campionati nei castagni gestiti (barre verdi) e abbandonati (barre marroni) nel 2004 suddivisi 18 gruppi tassonomici distinti (N.B.: ragni+opilioni e cerambici+buprestidi sono accorpati). Si distinguono i gruppi favoriti dalla gestione (parte sinistra del grafico), quelli sfavoriti (parte destra) e quelli indifferenti (parte centrale). Si noti che il numero di invertebrati (asse Y del grafico) è espresso in valori logaritmici.

Tabella 1: Caratterizzazione dei coleotteri campionati nei 18 castagni da frutto della selva del Mont Grand a Soazza/GR suddivisi in vari gruppi ecologici. Per ogni gruppo sono riportati il numero di individui e di specie campionati complessivamente (Totale) ed esclusivamente (Esclusivi) in alberi gestiti e abbandonati (abband.) in base a due tipi di informazione: **A)** Grado di affinità delle specie al legno morto (xilobionti o meno), Rarità (dato dall'Indice di specificità 'Is') e Minaccia (Lista rossa). **B)** Esigenze microclimatiche delle specie, Affinità a determinate specie di alberi e al relativo Substrato. Is = Indice di specificità che combina 'rarità' ed 'esigenza ecologica'; specie con Is>4 sono considerate molto rare ed esigenti (Sanchez *et al.*, 2016).

A) Affinità col legno morto, rarità e minaccia	Dettagli	Unità	Totale	Totale in alberi gestiti		Esclusivi in alberi gestiti	
				gestiti	abband.	gestiti	abband.
Dati complessivi		Individui	10'528	4'869	5'659		
		Specie	308	252	240	68	56
Specie non-xilobionti		Individui	4'778	1'919	2'859		
		Specie	132	107	100	32	25
Specie xilobionti		Individui	5'750	2'950	2'800		
		Specie	176	145	140	36	31
Specie Lista Rossa (B. Büche, esperto in Germania e Monnerat <i>et al.</i> , 2006)	Specie xilobionti	Individui	1'268	632	636	25	10
		Specie	49	40	40	9	9
	Specie non xilobionti	Individui	32				
		Specie	3				
Specie relitte di foreste primarie (Eckelt <i>et al.</i> , 2018)		Individui	351	186	165	1	3
		Specie	12	10	11	1	2
Specie forestali emblematiche in base all'Indice di specificità (Is) (Sanchez <i>et al.</i> , 2016)	valore-Is 4	Specie	23	17	16	7	6
	valore-Is 5		9	7	8	1	2
	valore-Is 6		9	8	8	0	0

B) Affinità con specie di alberi, microclima e tipo di substrato	Dettagli	Unità	Totale	Totale in alberi gestiti		Esclusivi in alberi gestiti	
				gestiti	abband.	gestiti	abband.
Specie termofile (Winrich, banca dati non pubbl.)	Ambienti aperti e soleggiati	Specie	34	25	23	11	9
Specie floricole (Winrich, banca dati non pubbl.)	Adulti sui fiori	Specie	40	35	27	13	5
Specie di latifoglie e conifere (Möller, 2009)	Latifoglie	Specie	102	88	76	26	14
	Latifoglie e conifere		37	32	33	4	5
	Conifere		21	14	14	7	7
Specie di castagno e di quercia (Möller, 2009)		Specie	64	56	54	10	8
Gruppi ecologici in base al substrato (Schmidl & Bussler 2004)	Legno vecchio	Specie	60	52	44	16	8
	Legno fresco		59	43	45	14	16
	Funghi del legno		20	16	16	4	4
	Cavità con segatura		9	8	8	1	1
	Altri xilobionti		7	7	6	1	0

state considerate le esigenze microclimatiche delle specie (Winrich M., banca dati non pubbl.) e l'affinità a determinate specie di alberi (Möller 2009) e al tipo di microhabitat (Schmidl & Bussler 2004).

Tale suddivisione e caratterizzazione ecologica delle specie è stata realizzata da Barbara Hubert e Remo Wild dell'ufficio Abenis AG, Coira su mandato del Ufficio forestale e pericoli naturali del Cantone Grigioni, Coira. Per un approfondimento, rimandiamo al rapporto tecnico Wild *et al.* (2018).

RISULTATI

Durante lo studio abbiamo campionato oltre 20'000 individui di invertebrati appartenenti a 700 specie di 60 famiglie diverse suddivise in 18 gruppi tassonomici distinti (Fig. 3). Circa due terzi delle specie provengo-

no dai castagni gestiti e un terzo da quelli abbandonati. Gruppi tassonomici mobili e legati ad ambienti aperti, come api, cavallette, lepidotteri, carabidi e buprestidi, sono stati campionati in prevalenza nei castagni gestiti (parte sinistra della Fig. 3); quelli più sedentari legati ad ambienti forestali (p.es. carabidi) e al legno morto (come gli scolitidi e altre famiglie di coleotteri xilofagi) sono stati campionati in proporzioni maggiori in castagni abbandonati (parte destra della Fig. 3).

Approfondimento sui coleotteri

Durante i due anni di studio (2003 e 2004) sono stati campionati 10'528 coleotteri appartenenti a 308 specie di 50 famiglie diverse (Tab. 1). Il numero di specie campionato negli alberi gestiti (media 94.6±StDv 9.3) e abbandonati (96.1±12.2) è simile. Di queste, 124 specie (60%) sono comuni a entrambi i tipi di alberi (gestiti

e abbandonati), mentre 68 specie sono state campionate unicamente negli alberi gestiti e 56 specie negli alberi abbandonati. Inoltre, 176 specie (57%) sono considerate xilobionti (Tab. 1), di cui 60 specie vivono nel legno morto e 59 nel legno fresco, mentre 20 in funghi del legno e solo 9 specie vivono in segatura in decomposizione presente all'interno di cavità.

Inoltre, 41 specie sono considerate 'carismatiche in Svizzera' (Tab. 1), mentre 12 specie sono classificate come 'relette di foreste primarie dell'Europa Centrale' (Tab. 2 e Fig. 4). Tali specie sono state campionate in numero e composizione diversi nei vari microhabitat all'interno dei castagni.

Le trappole e i microhabitat che hanno campionato il maggior numero di specie relette sono le trappole a finestra (TF) poste nella chioma e le trappole a caduta situate sia nella cavità del tronco aperte verso l'esterno (BCE, Fig. 2 e 4) che, in particolare, all'interno del tronco isolate verso l'esterno (BCT, Fig. 2 e 4). Se, da un lato, il numero di specie campionate in questi tre microhabitat è equivalente (circa sette specie per microhabitat), il numero di alberi sui quali queste specie sono state campionate all'interno delle cavità (BCE: 20 alberi e BCT: 27 alberi) è doppio rispetto a quelli catturati nelle chiome (TF: 10 alberi).

Assieme, questi microhabitat ospitano la totalità delle specie relette rilevate dallo studio. Nelle chiome sono state osservate le specie più mobili e legate anche a risorse floricole, mentre nella cavità del tronco le specie più sedentarie e legate al legno morto. Nelle cavità del tronco comunicanti verso l'esterno (BCE., Fig. 2 e 4) sono state osservate pressoché le stesse specie presenti nella cavità non comunicanti verso l'esterno.

Dettagli relativi a 24 specie forestali particolarmente importanti dal profilo della conservazione in base al

grado di minaccia e al legame a foreste relitte in Europa Centrale e in Svizzera, come pure alla loro affinità con diversi substrati del legno (microhabitat) sono riportate nella tabella 2.

DISCUSSIONE

Complessivamente, il numero di individui e di specie di invertebrati campionati nei castagni gestiti e in quelli abbandonati nella selva Mont Grand è da considerare alto se confrontato ai dati relativi a indagini simili condotte in castagneti nel Cantone Ticino (Moretti & Barbalat 2004; Pradella *et al.*, 2010) e diverse aree forestali in Svizzera (Wild *et al.*, 2018). Anche il numero di specie di coleotteri censito è paragonabile a quello rilevato nella selva castanile di Fully nel Cantone Vallese (294 specie, Chittaro & Sanchez 2015). Ciò mostra l'alto valore ecologico e di conservazione dei vecchi castagni del Mont Grand e, più in generale, di selve castanili con presenza di vecchi castagni da frutto.

Le parti dei castagni con il maggiore valore ecologico sia per il numero di specie rilevato che per il loro grado di minaccia sono: la chioma e le cavità del tronco. Questi microhabitat, assieme ai funghi lignicoli, sono di fondamentale importanza per la conservazione delle specie maggiormente minacciate, in particolare, di quelle relette di foreste primarie.

Sebbene le selve castanili siano ambienti creati e mantenuti dall'uomo, la presenza di vecchi castagni di oltre 300 anni di età, rappresenta un potenziale habitat di grande valore per numerose di queste specie (Tab. 1 e 2). In fatti, delle 23 specie di coleotteri importanti dal profilo della conservazione campionate nella selva del Mont Grand (Tab. 2), 19 sono minacciate in

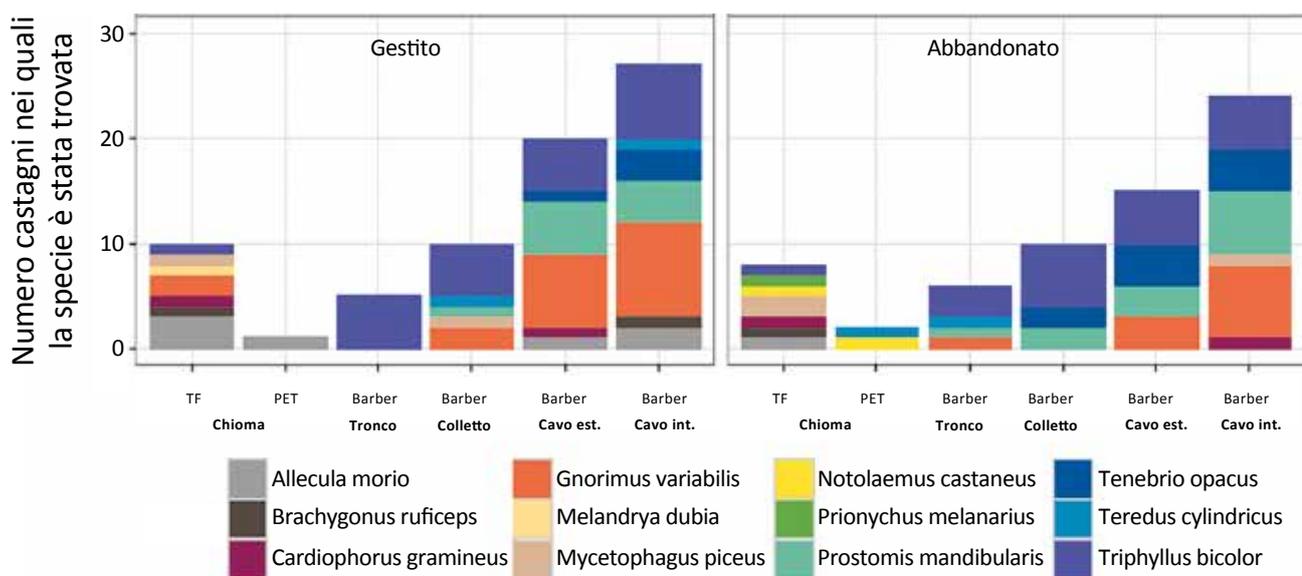


Figura 4: Numero cumulato di castagni nei quali sono state campionate le 12 specie di coleotteri xilobionti relette di foreste primarie (Tab. 2). I dati sono suddivisi nei diversi tipi di trappole (microhabitat) di castagni gestiti e abbandonati. TF= Trappola a finestra posta nella chioma; PET= bottiglia di PET con vino posta nella chioma; BF= trappole a caduta con frutta in fermentazione appesa al tronco; BE= trappole a caduta (tipo Barber) poste all'esterno della base del tronco; BCE= trappole a caduta poste in cavità del tronco comunicanti verso l'esterno a livello del terreno; BCT= trappole a caduta poste nella cavità principale del tronco senza contatto verso l'esterno (v. Fig. 2). Grafico modificato da Wild *et al.* (2018). N.B.: il totale degli alberi è maggiore di 18, poiché ogni singola specie di coleottero potrebbe potenzialmente essere campionata in tutti i 18 alberi investigati.

Svizzera o in Italia, 12 specie sono relictte di foreste primarie in Europa centrale (Eckelt *et al.*, 2018) (Tab. 2, UWR 1-2) e in Svizzera (Tab. 2, EWA Is 6-7). Cinque di queste specie vivono nella segatura di legno in decomposizione, 7 nel legno vecchio, 2 in funghi del legno.

Non da ultimo, dal profilo della gestione dei vecchi castagni da frutto, lo studio ha permesso di evidenziare alcuni punti fondamentali che favoriscono la conservazione:

- 1) Mantenere castagni di grosse dimensioni sia nelle selve gestite che in quelle non gestite anche se il loro stato è precario. Infatti solo il 50% delle specie di coleottero xilobionti campionate sono comune dei castagni gestiti e abbandonati, mentre il 25% è esclusivo di alberi gestiti e altri 25% di quelli abbandonati. Soprattutto per i grossi castagni in selve abbandonate si dovrà quindi prevedere un piano d'intervento puntuale sui singoli alberi, al fine di garantirne la conservazione nel tempo.

Tabella 2: Specie importanti dal profilo della conservazione campionate nella selva Mont Grand, Soazza, GR nel 2003 e 2004, sia perché minacciate (Lista rossa (LR) in Svizzera (CH) e in Italia (IT) o perché relictte di foreste primarie in Europa centrale (UWR 1-2¹) Eckelt *et al.* (2018) e in Svizzera (EWA Is 6-7²) Sanchez *et al.* (2016). Micro-habitat = specie legate a microhabitat specifici, a = legno vecchio; f = legno fresco; m = segatura; p = funghi del legno, s = altro (sterco, gallerie di altri xilobionti ecc.). Le immagini di alcune di queste specie sono mostrate alla figura 5.

Famiglia	Specie	LR		UWR 1-2	EWA Is 6-7	Micro-habitat
		CH	IT			
Bothrideridae	<i>Teredus cylindricus</i> (Olivier, 1790)			x	x	Legno vecchio
Cerambycidae	<i>Anaesthetis testacea</i> (Fabricius, 1781)	NT				Legno fresco
Cerambycidae	<i>Chlorophorus figuratus</i> (Scopoli, 1763)	VU				Legno fresco
Cerambycidae	<i>Deilus fugax</i> (Olivier, 1790)	VU				Legno fresco
Cerambycidae	<i>Leptura aurulenta</i> (Fabricius, 1792)	NT				Legno vecchio
Cerambycidae	<i>Mesosa curculionoides</i> (Linnaeus, 1761)	CR				Legno fresco
Cerambycidae	<i>Parmena unifasciata</i> (Dalman, 1817)	NT				?
Cerambycidae	<i>Purpuricenus kaehleri</i> (Linnaeus, 1758)	VU				Legno fresco
Cerambycidae	<i>Rhagium sycophanta</i> (Schrank, 1781)	EN	NT			Legno fresco
Cerambycidae	<i>Saphanus piceus</i> (Laicharting, 1784)	EN	NT			Legno vecchio
Cerambycidae	<i>Xylotrechus antilope</i> (Schönherr, 1817)	NT				Legno fresco
Elateridae	<i>Brachygonus ruficeps</i> (Mulsant & Guillebeau, 1855)		EN	x	x	Cavità con segatura
Elateridae	<i>Cardiophorus gramineus</i> (Scopoli, 1763)		NT	x		Legno vecchio
Laemophloeidae	<i>Notolaemus castaneus</i> (Erichson, 1845)		NT		x	Legno vecchio
Melandryidae	<i>Melandrya dubia</i> (Schaller, 1783)		NT		x	Legno fresco
Mycetophagidae	<i>Mycetophagus piceus</i> (Fabricius, 1792)		NT		x	Legno vecchio
Mycetophagidae	<i>Triphyllus bicolor</i> (Fabricius, 1792)				x	Funghi del legno
Prostomidae	<i>Prostomis mandibularis</i> (Fabricius, 1801)			x	x	Funghi del legno
Scarabaeidae	<i>Gnorimus variabilis</i> (Linnaeus, 1758)	EN	VU	x		Legno vecchio
Scarabaeidae	<i>Protaetia marmorata</i> (Fabricius, 1792)	VU	VU			Cavità con segatura
Tenebrionidae	<i>Allecula morio</i> (Fabricius, 1787)				x	Cavità con segatura
Tenebrionidae	<i>Prionychus melanarius</i> (Germar, 1813)		NT	x		Cavità con segatura
Tenebrionidae	<i>Tenebrio opacus</i> (Duftschmid, 1812)		CR	x	x	Cavità con segatura

¹ URW 1-2 (Urwaldreliktarten Wert 1-2) = specie relictte di foreste primarie con valore 1 e 2.

² EWA Is 6-7 (Emblematische Waldarten mit Is-Wert 6-7) = specie forestali emblematiche con valore Is 6-7.



Figura 5: Immagini di alcune delle specie minacciate della Lista Rossa campionate nei vecchi castagni della selva Mont Grand a Soazza/GR. Da sinistra a destra: *Gnorimus variabilis* (Scarabaeidae), *Calosoma sycophanta* (Carabidae), *Mesosa curculionoides* (Cerambycidae), *Rhagium sycophanta* (Cerambycidae) e *Saphanus piceus* (Cerambycidae). Foto tratte dal rapporto di Wild *et al.* (2018).

- 2) Evitare di asportare parti di legno morto e marcescente dai castagni di grosse dimensioni, bensì accastatelo alla base del tronco.
- 3) Proibire la svuotatura di materiale legnoso in decomposizione (segatura) dalle cavità dei tronchi e dei rami, come pure di riempirlo di detriti e altro materiale. L'uso di calce o del fuoco (brucature) e di prodotti chimici per disinfettare le parti marcescenti del legno sono assolutamente da evitare.
- 4) In fase di recupero delle selve castanili abbandonate, evitare interventi massicci realizzati in breve tempo e favorire piuttosto interventi di recupero a tappe, come pure una gestione (p.es. potatura) regolare nel tempo.

RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo vivamente tutte le persone e gli enti che hanno partecipato e contribuito alla raccolta e alla preparazione dei dati sul terreno e in laboratorio:

- Luca Plozza e Marco Vanoni, Ufficio forestale dei Grigioni, Centro Regionale dei Servizi, Roveredo/GR e i proprietari dei castagni della selva Mont Grand a Soazza/GR.
- Davide Tonolla (praticante ETH Zurigo), Iris Altenburger (praticante Univ. Basilea), Ruben Moretti (servizio civile WSL) e Franco Fibbioli (tecnico scientifico WSL) per la raccolta e lo smistamento degli invertebrati nel 2003 e nel 2004.
- Gli esperti che hanno identificato le specie degli invertebrati (in ordine alfabetico): Christoph Germann (curculionidi), Miloš Knížek (scolitidi), Cinzia Pradella (cerambicidi e buprestidi), Mirko Zanini (carabidi), Petr Zaradnik (coleotteri xilobionti).
- Marti K. Obrist (WSL Birmensdorf) e Gianni Boris Pezzatti (WSL Cadenazzo) per la gestione delle banche dati Fauna e Selve castanili.
- Marco Conedera (WSL Cadenazzo) per il sostegno e le discussioni sui vari progetti legati alle selve castanili svolti dal 1998 al 2015.

BIBLIOGRAFIA

Altenburger I. 2004. Biodiversität in Kastanienselven des Mont Grand (Soazza, GR). *Umweltnaturwissenschaften* ETH Zürich, Zurich, p. 76.

Brändli U.-B. (ed). 2010. Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004-2006. Bundesamt für Umwelt, BAFU, Bern.

Chittaro Y. & Sanchez A. 2015. Inventaire des Coléoptères saproxyliques d'un site exceptionnel: la Châtaigneraie de Fully. *Bulletin la Murithienne* 133: 13-27.

Conedera M., Stanga P., Oester B. & Bachmann P. 2004. Natural dynamics of abandoned chestnut stands in southern Switzerland. In: Mazzoleni S., di Pasquale G., Mulligan M., di Martino P. & F. Rego (eds), *Recent Dynamics of the Mediterranean Vegetation and Landscape*. John Wiley & Sons, West Sussex, pp. 237-247.

David R., Poggiati P., Stanga (†) P., Bettelini D., Serretti S., Moretti G., Riva F. & Rampazzi F. 2012. Piano Forestale Cantonale - Allegato I: Concetto per la protezione, la promozione e la valorizzazione della biodiversità nel bosco ticinese. Repubblica e Cantone Ticino, Dipartimento del territorio, Bellinzona, p. 33 + Schede.

Eckelt A., Müller J., Bense U., Brustel H., Bufler H., Chittaro Y., Cizek L., Frei A., Holzer E., Kadej M., Kahlen M., Köhler F., Möller G., Mühle H., Sanchez A., Schaffrath U., Schmid J., Smolis A., Szallies A., Németh T., Wurst C., Thorn S., Christensen R.H.B. & Seibold S. 2018. "Primeval forest relict beetles" of Central Europe: a set of 168 umbrella species for the protection of primeval forest remnants. *Journal of Insect Conservation* 22: 15-28.

Förster B., Engesser R. & Meier F. 2009. Il cinipide del castagno ha raggiunto il canton Ticino. Die Kastaniengallwespe hat das Tessin erreicht. *Situazione fitosanitaria attuale*. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, p. 2.

Krebs P. & Conedera M. 2005. L'inventario dei castagni monumentali del Ticino e del Moesano. *Dati statistiche e società: trimestrale dell'Ufficio di statistica del Cantone Ticino* 4: 102-118.

Krebs P., Conedera M. & Fonti P. 2005. The inventory of the giant chestnut trees in southern Switzerland. *Proceedings of the Third International Chestnut Congress*: 171-177.

Krebs P., Koutsias N. & Conedera M. 2012. Modelling the ecological niche of giant chestnut trees: new insights into land use history in southern Switzerland through distribution analysis of a living heritage. *Journal of Historical Geography* 38: 372-386.

Krebs P., Moretti M. & Conedera M. 2008. Castagni monumentali nella Svizzera sudalpina - Importanza geostorica, valore ecologico e condizioni sanitarie. *Sherwood* 140: 5-10.

Lachat T., Brang P., Bolliger M., Bollmann K., Brändli U.-B., Büttler R., Herrmann S., Schneider O. & Wermelinger B. 2019. Bois mort en forêt: Formation, importance et conservation. *Notice pour le praticien* 52: 1-12.

Lachat T. & Buetler R. 2009. Identifying Conservation and Restoration Priorities for Saproxylic and Old-Growth Forest Species: A Case Study in Switzerland. *Environmental Management* 44: 105-118.

Lachat T., Pauli D., Gonseth Y., Klaus G., Scheidegger C., Vittoz P. & Walter T. (eds). 2011. *Evolution de la biodiversité en Suisse depuis 1900. Avons-nous touché le fond*. Bristol-Stiftung, Haupt, Zurich, Bern, Stuttgart, Wien.

Lachat T., Wermelinger B., Gossner M.M., Bussler H., Isacson G. & Mueller J. 2012. Saproxylic beetles as indicator species for dead-wood amount and temperature in European beech forests. *Ecological Indicators* 23: 323-331.

Möller G. 2009. *Struktur- und Substratbindung holzbewohnender Insekten, Schwerpunkt Coleoptera - Käfer*. Biologie, Chemie, Pharmazie. Freie Universität Berlin, p. 284.

Monnerat C., Barbalat S., Lachat T. & Gonseth Y. 2016. Lista Rossa dei Coleotteri Buprestidi, Cerambicidi, Cetonidi e Lucanidi. Specie minacciate in Svizzera. Ufficio federale dell'ambiente, Berna; Info Fauna - CSCF, Neuchâtel; Istituto federale di ricerca WSL, Birmensdorf.

Moretti M. 2019. Biodiversità delle selve castanili della Svizzera italiana. Istituto federale di ricerca WSL, Birmensdorf.

- Moretti M. & Barbalat S. 2004. The effects of wildfires on wood-eating beetles in deciduous forests on the southern slope of the Swiss Alps. *Forest Ecology and Management* 187: 85-103.
- Plozza L. 2016. Riesenkastanien – Lebendige Zeugen einer vergangenen Kultur. http://www.fondazionemontgrand.ch/upload/2017/11/Brosch%C3%BCre_Riesenkastanien.pdf (ultima consultazione 21.1.2019).
- Pradella C., Obrist M.K., Duelli P., Conedera M. & Moretti M. 2010. Coleotteri (Cerambycidae, Buprestidae, Lucanidae, Cetoniidae) del legno morto nei castagneti. *Bollettino della Società ticinese di Scienze naturali* 98: 35-44.
- Sanchez A., Chittaro Y., Monnerat C. & Gonseth Y. 2016. Les Coléoptères saproxyliques emblématiques de Suisse, indicateurs de la qualité de nos forêts et milieux boisés. *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft* 89: 261-280.
- Schmidl J. & Bussler H. 2004. Ökologische Gilden xylobionter Käfer Deutschlands. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 36: 202-218.
- Speight M.C.D. 1989. Saproxylic invertebrates and their conservation. Council of Europe, Strasbourg.
- Tonolla D. 2004. Studio pilota sulla biodiversità nelle selve castanili gestite rispetto a quelle abbandonate. Istituto federale di ricerca WSL, Bellinzona, p. 71.
- Wild R., Huber B. & Moretti M. 2018. Die Käferfauna der Kastanienselven Mont Grand (Soazza, GR). Amt für Wald und Naturgefahren, Chur, p. 40 + Appendices.
- Winrich M. Datenbank xylobionte Käfer Schweiz - Status 11.2.2005. CSCF / Info Fauna, Neuchâtel.

PARTE III

Notizie

Bilancio meteorologico dell'anno 2018

Marco Gaia ed Elena Altoni

MeteoSvizzera, Centro regionale sud, CH-6600 Locarno Monti

marco.gaia@meteosvizzera.ch

Il 2018: l'anno che verrà

Caldo e povero di precipitazioni, così si è presentato l'anno 2018 in Svizzera. Dieci mesi su dodici sono stati più caldi della norma, sei dei quali in modo estremo. Il caldo senza fine ha provocato non solo un nuovo primato per quel che riguarda la temperatura annuale, ma anche il record di temperatura del semestre estivo, mai così alta dall'inizio delle misurazioni nel 1864. Il caldo ben oltre le norme pluriennali è stato accompagnato da una scarsità di precipitazioni eccezionale. Nella Svizzera orientale si è trattato addirittura di un evento secolare. Quello che oggi ci appare come un anno fuori dalla norma, a metà del XXI secolo potrebbe essere un anno tipico, normale. Questo perlomeno secondo le proiezioni degli Scenari climatici CH2018, elaborati da MeteoSvizzera con altri partner del mondo della ricerca e presentati pubblicamente nel novembre 2018.

Nuovo anno, nuovo primato di temperature

La temperatura media del 2018 in Svizzera è stata di 6.9 °C, il valore più alto dall'inizio delle misurazioni

nel 1864. Il 2018 è stato il quarto anno con temperature superiori alle medie nell'arco di poco tempo. Hanno infatti pure superato la norma di riferimento il 2015 con una temperatura media di 6.6 °C, il 2014 con 6.5 °C e il 2011 con 6.6 °C. Sono proprio questi quattro anni che guidano la classifica delle temperature annuali in Svizzera. Limitandoci al versante sudalpino i 5.8 °C di temperatura media annuale non costituiscono un nuovo primato, ma pur sempre il terzo valore della serie di misura iniziata più di 150 anni fa. In alcune località, come ad esempio Lugano con 13.9 °C, l'anno passa comunque agli annali come il più caldo mai registrato. Salvo febbraio e marzo, risultati più freschi, tutti gli altri mesi sono stati più caldi della norma. In particolare il periodo estivo, da aprile ad ottobre, culminato con un'ondata di caldo nel pieno dell'estate, con le temperature massime giornaliere che si sono spinte oltre i 30 °C per 18 giorni consecutivi a partire dal 22 luglio. Presso la stazione di misura di Locarno Monti, la media delle temperature massime giornaliere in questo periodo è stata di 32.6 °C e corrisponde alla terza

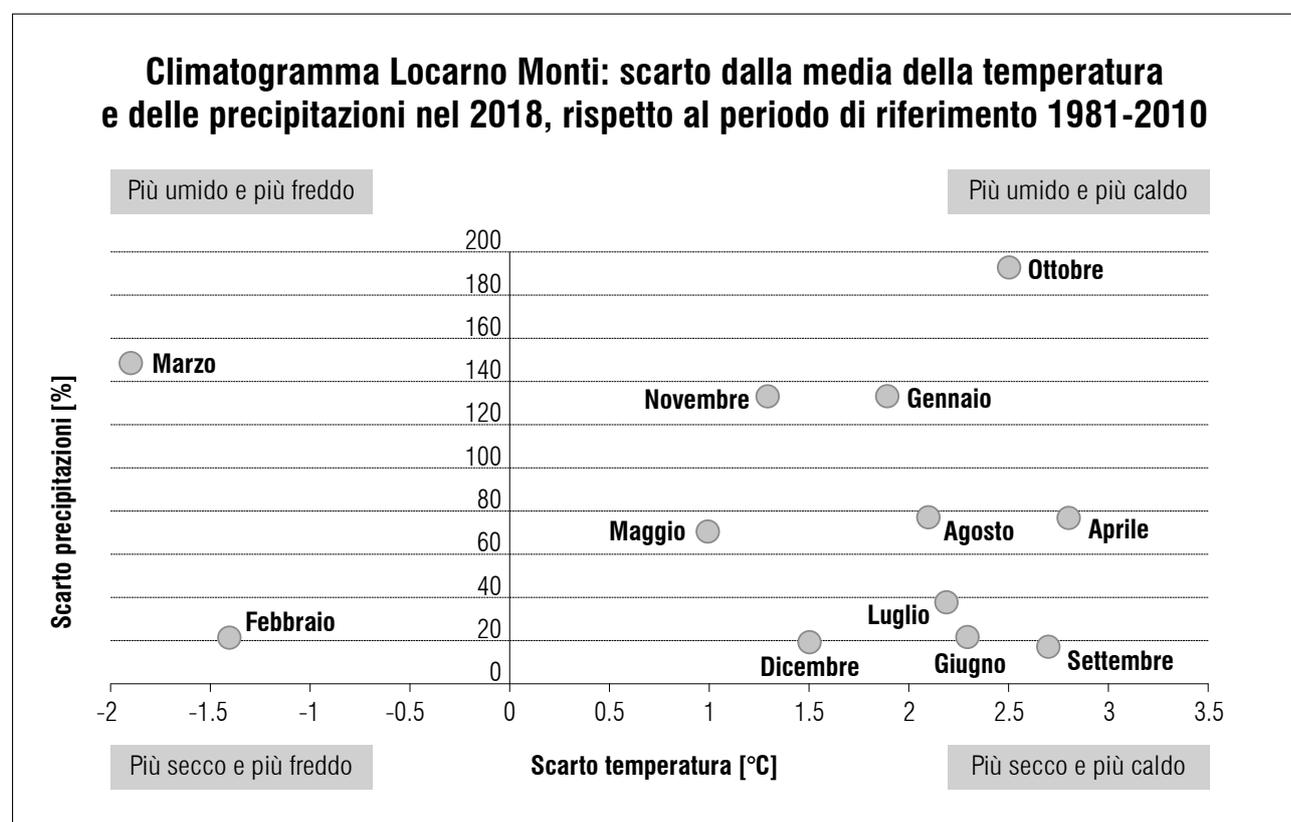


Figura 1: Climatogramma di Locarno-Monti per il 2018, con la posizione di ogni mese dell'anno in base allo scarto della temperatura e delle precipitazioni rispetto alla norma (media del periodo 1981-2010). Solo febbraio e marzo sono stati più freddi della norma, tutti gli altri mesi sono stati più caldi.

ondata di caldo (della durata di 18 giorni) più intensa dal 1935, data di inizio delle misure sistematiche presso questa stazione. Si tratta di un valore comparabile ai 32.8 °C registrati nel 2003 e leggermente inferiore ai 33.1 °C rilevati nel 2015. Particolarmente sopra le medie pluriennali è risultato essere anche l'autunno, che a Lugano e a Locarno-Monti con un'anomalia di 2.2 °C è stato il più caldo da quanto misuriamo.

Generalmente poche piogge e distribuite irregolarmente

Le precipitazioni annuali su scala nazionale hanno raggiunto l'80-95% del valore medio di riferimento 1981-2010. Mentre al Sud delle Alpi si sono registrate precipitazioni corrispondenti al 100-115% e in Vallese al 110-150% dei valori di riferimento, nella Svizzera orientale esse si sono fermate al 70-80% della norma. La distribuzione delle precipitazioni non è stata irregolare solamente nello spazio, ma anche nel tempo. Il semestre estivo è stato particolarmente avaro di precipitazioni. La regione più toccata è stata la Svizzera orientale dove la scarsità di precipitazioni registrata tra la primavera e l'autunno 2018 ha raggiunto le dimensioni di un evento secolare. Negli 8 mesi che da aprile portano fino a novembre è piovuto unicamente il 59% della norma 1981-2010; sono praticamente mancate le precipitazioni corrispondenti a più di 3 mesi estivi. Ciò corrisponde al deficit idrico del periodo aprile-novembre più importante mai registrato dall'inizio delle misure sistematiche, nel 1864. Al Sud delle Alpi le precipitazioni sono state molto irregolari nel corso dell'anno. Mesi molto piovosi si sono alternati con

mesi decisamente più asciutti. Prendendo come riferimento la stazione di Lugano febbraio (27%), giugno (34%), settembre (18%) e dicembre (11%) sono stati mesi asciutti, mentre marzo (176%), ottobre (170%) e novembre (115%) sono stati mesi decisamente bagnati.

Soleggiamento estivo da record

Complessivamente il soleggiamento annuale su scala nazionale è stato superiore alla norma 1981-2010 sull'intero versante nordalpino, in particolare sull'Altopiano con valori che passano dal 110% nella Svizzera francese al 120% nella regione del Lago di Costanza. In Vallese, nelle Alpi e sul versante sudalpino il soleggiamento complessivo è risultato attorno alla media di riferimento. Come nel resto della Svizzera anche a Sud delle Alpi tutti e tre i mesi estivi sono stati caratterizzati da un soleggiamento importante, che ha stabilito localmente dei nuovi primati. A Lugano (874 ore di sole) e Locarno Monti (889 ore di sole) l'estate 2018 è la più soleggiata sulla base delle serie di misure omogenee, iniziate nel 1959. Il record precedente spettava all'estate 2003, con rispettivamente 845 ore a Lugano e 866 a Locarno Monti. Questi mesi soleggiati sono stati compensati in Ticino da gennaio, febbraio e marzo ricchi di nubi ma soprattutto da novembre che con il 28% del soleggiamento normale a Locarno e il 39% a Lugano è stato un mese con ben poco sole.

Burglind e Vaia, una apre e una chiude l'anno

Il passaggio della tempesta Burglind, il 3 gennaio 2018, ha aperto metaforicamente il 2018. Si è trattato della più forte tempesta invernale dopo Lothar nel 1999. Il

Tabella 1: Specchietto riassuntivo dei valori mensili dei principali elementi meteorologici rilevati a Locarno Monti nel 2018, con le variazioni rispetto alla norma (periodo 1981-2010). Seguendo le raccomandazioni dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM) *Meteo-Svizzera ha introdotto nel 2013 la nuova norma climatica, calcolata sul trentennio 1981-2010, che sostituisce la precedente norma, calcolata sul periodo 1961-1990. Nell'interpretazione dei grafici e del testo di questo contributo, ma soprattutto nel paragonare i dati del 2018 con quelli degli anni prima del 2013, va considerato dunque il cambiamento della norma di riferimento.*

Dati climatologici per il 2018 a Locarno Monti																								
Mese	Temperatura						Umidità relativa			Precipitazioni				Numeri di giorni con					Sole					
	Media gradi °C	Differenza dalla norma °C	Massima °C	Giorno	Minima °C	Giorno	Media %	Minima %	Giorno	Totale mm	Differenza dalla norma %	Massimo giornaliero mm	Giorno	Precipitazioni ≥ 0.3 mm	* Neve	☔ Temporali	△ Grandine	III Nebbia	Giorni chiari	Giorni oscuri	Nuvolosità in %	Totale ore	% del possibile	Differenza dalla norma
I	5.3	1.9	13.7	19	0.4	21	79	21.1	19	95	133%	21	8	14	3	0	0	8	11	14	64	101	45	74
II	3.3	-1.4	11.6	3	-7.5	27	62	12.6	13	13	22%	6	1	8	1	0	0	2	10	10	60	127	51	85
III	6.9	-1.9	17.4	14	-3.8	1	70	14.5	21	143	149%	33	11	15	1	1	0	7	8	16	71	134	40	68
IV	14.6	2.8	27.6	21	4.9	13	61	16.8	1	143	77%	37	11	13	0	1	0	1	12	8	56	199	54	109
V	16.8	1.0	27.8	25	9.5	14	75	35.2	18	156	71%	30	13	22	0	7	0	1	3	6	70	180	44	94
VI	21.7	2.3	32.5	30	14.1	1	60	11.2	22	43	22%	11	4	6	0	1	0	0	14	5	46	290	72	126
VII	24.1	2.2	34.3	31	16.0	22	59	19.5	17	68	38%	22	4	10	0	7	0	0	16	0	40	320	78	123
VIII	23.3	2.1	35	6	13.8	27	64	17.5	26	162	77%	33	9	13	0	7	0	0	15	2	47	278	71	114
IX	19.9	2.7	28.8	12	9.8	27	67	16.9	24	41	18%	13	2	6	0	1	0	0	15	2	41	252	73	130
X	15.1	2.5	30.5	24	7.5	31	72	17.4	24	368	194%	110	29	10	0	1	0	3	13	11	55	172	58	113
XI	8.7	1.3	17.2	13	1.5	20	85	21.5	27	217	134%	50	6	18	0	0	0	9	3	23	78	33	14	28
XII	5.6	1.5	18.2	4	-2.0	15	62	11.5	25	18	20%	6	19	5	1	0	0	1	19	7	42	142	67	120
Anno	13.8	1.4	35.0	6-VIII	-7.5	27-II	68	11	22-VI	1466	77%	110	29-X	140	6	26	0	32	139	104	56	2229	56	99

versante sudalpino ha risentito poco o niente del passaggio di questa tempesta, grazie alla protezione offerta dalla catena alpina. Sull'Altopiano le raffiche hanno raggiunto punte fino a 130 km/h, mentre sulle creste sono stati raggiunti valori fra 150 e 200 km/h. Ben diverso è stato invece il passaggio di Vaia, che ha costituito il culmine della situazione di maltempo registrata fra il 27 e il 30 ottobre 2018. Una tempesta particolare, Vaia, per tre motivi: la sua traiettoria (è raro che una depressione passi proprio sopra la Svizzera, spostandosi fra il Golfo di Genova e il sud della Germania), l'essere "fuori stagione" (di solito simili tempeste transitano durante il periodo invernale) e la sua intensità (con valori di pressione inusualmente bassi e raffiche di vento molto sostenute). Vaia ha portato sul versante sudalpino a raffiche di scirocco eccezionali, con valori anche superiori ai 100 km/h. Lo scirocco si è spinto fino alle valli superiori, con raffiche che a Cevio sono state di 109.4 km/h, ad Acquarossa-Comprovasco di 105.5 km/h e a Lugano addirittura di 128.5 km/h. Valori simili in situazioni di scirocco sono una rarità sul

versante sudalpino. Anche sulla catena alpina le raffiche sono state notevoli, con i 213 km/h registrati sul Güttsch. In Ticino i danni provocati dal vento sono stati per fortuna limitati. Nella Valle Poschiavo e nelle zone circostanti diversi ettari di bosco sono per contro stati distrutti dall'impeto del vento.

* * *

Seguendo le raccomandazioni dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM) MeteoSvizzera ha introdotto nel 2013 la nuova norma climatica, calcolata sul trentennio 1981-2010. Essa va a sostituire la precedente norma, calcolata sul periodo 1961-1990. Nell'interpretazione dei grafici e del testo di questo contributo, ma soprattutto nel paragonare i dati del 2018 con quelli degli anni precedenti, va considerato dunque il cambiamento della norma di riferimento. A partire dal 2014 i dati citati sono sistematicamente solo quelli delle stazioni di misura automatiche, per le grandezze meteorologiche disponibili.

Esempi di corrispondenze della suddivisione formale della Serie/Epoca dell'Olocene nella Svizzera italiana

Cristian Scapozza

Istituto scienze della Terra (IST), Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI), Campus Trevano,
CH-6952 Canobbio

cristian.scapozza@supsi.ch

Riassunto: Nel 2018 è stata ratificata la suddivisione formale della Serie/Epoca dell'Olocene in tre Piani/Età (Groenlandiano, Nordgrippiano e Meghalayano) e le loro Subserie/Subepoche corrispondenti (Olocene Inferiore/Precoce, Medio/Medio-, Superiore/Tardivo). Dopo la fine della Serie/Epoca del Pleistocene, si assiste a un riscaldamento climatico generale che conduce al Massimo Termico dell'Olocene avvenuto fra la seconda metà del Groenlandiano e la prima metà del Nordgrippiano. La transizione fra questi due Piani/Età corrisponde all'“evento 8.2 ka”, non ancora riconosciuto chiaramente nella Svizzera italiana. Sebbene la colonizzazione del territorio ticinese sia avvenuta a seguito del Massimo Termico dell'Olocene nel Nordgrippiano, è nel Meghalayano, con la transizione dall'età della pietra all'età dei metalli, che le tracce di un sempre maggiore influsso dell'Uomo a livello territoriale diventano chiaramente visibili e documentabili negli archivi naturali e in contesti geoarcheologici.

Parole chiave: b2k, geoarcheologia, Groenlandiano, Meghalayano, Nordgrippiano, Quaternario, stratigrafia

Examples of correspondences of the formally subdivided Holocene Series/Epoch in Southern Switzerland

Abstract: In 2018, the formal subdivision of the Holocene Series/Epoch in three Stages/Ages (Greenlandian, Northgrippian and Meghalayan) and their corresponding Subseries/Subepochs (Lower/Early, Middle/Mid-, Upper/Late Holocene) was ratified. After the end of the Pleistocene Series/Epoch, there was a general climate warming that led to the Holocene Thermal Maximum, which occurred between the second half of the Greenlandian and the first half of the Northgrippian. The transition between these two Stages/Ages corresponds to the “8.2 ka event”, which is not clearly recognized in Southern Switzerland. Although the colonization of the territory of the Ticino took place following the Holocene Thermal Maximum in the Northgrippian, it is in the Meghalayan, with the transition from the stone age to the metals age, that traces of an ever-increasing anthropogenic influence on the territory become clearly visible and documented in natural archives and in geoarchaeological contexts.

Key words: b2k, geoarchaeology, Greenlandian, Meghalayan, Northgrippian, Quaternary, stratigraphy

INTRODUZIONE

L'Unione Internazionale di Scienze Geologiche (IUGS, *International Union of Geological Sciences*) ha ratificato all'unanimità, il 14.6.2018, la suddivisione della Serie/Epoca dell'Olocene in tre Piani/Età e nelle loro Subserie/Subepoche corrispondenti (Gibbard, 2018; Walker *et al.*, 2018). La suddivisione formale dell'Olocene era stata da qualche tempo proposta dalla Sottocommissione internazionale di stratigrafia quaternaria (ISQS, *International Subcommittee on Quaternary Stratigraphy*), una sottocommissione della Commissione internazionale di stratigrafia (ICS, *International Commission on Stratigraphy*), che aveva lanciato la discussione congiuntamente al gruppo di lavoro INTIMATE (*INtegration of Ice-core, MArine and TErrestrial records*) (Walker *et al.*, 2012). Si tratta a tutti gli effetti della prima suddivisione geologica formale dell'Olocene, una Serie/Epoca che fino a oggi era informalmente suddivisa, nella letteratura sul

Quaternario, dall'uso diffuso ma variabile di una divisione tripartita in “precoce” (*early*), “medio” (*middle, mid-*) e “tardo” o “tardivo” (*late*) (Walker *et al.*, 2014). In questa nota si intende presentare la suddivisione formale dell'Olocene e la relativa definizione dei Piani/Età in lingua italiana, allo scopo di definirne l'utilizzo in ambito geologico e archeologico anche nel contesto della Svizzera italiana. A questo proposito, alcuni riscontri regionali degli eventi globali che hanno portato a formalizzare la suddivisione dell'Olocene sono descritti e discussi brevemente.

SUDDIVISIONE FORMALE DELL'OLOCENE

L'Olocene corrisponde all'ultima Serie/Epoca del Sistema/Periodo Quaternario. È preceduto dalla Serie/Epoca del Pleistocene, che ha la sua base a 2.58 Ma

Tabella 1: Suddivisione formale dell'Olocene e definizione degli stratotipi.

Piano/Età	Groenlandiano	Nordgrippiano	Meghalayano
Stage/Age	<i>Greenlandian</i>	<i>Northgrippian</i>	<i>Meghalayan</i>
Subserie/Subepoca	Olocene Inferiore/Precoce	Olocene Medio/Medio-	Olocene Superiore/Tardivo
Subseries/Subepoch	<i>Lower/Early Holocene</i>	<i>Middle/Mid- Holocene</i>	<i>Upper/Late Holocene</i>
Stratotipo limite (GSSP)¹	Carota di ghiaccio NorthGRIP2, Groenlandia ²	Carota di ghiaccio NorthGRIP1, Groenlandia	Speleotema della grotta Mawmluh, Maghalaya, India
Stratotipo ausiliario³	Walker <i>et al.</i> (2009)	Speleotema della grotta Gruta do Padre, Brasile	Carota di ghiaccio Mount Logan, Canada
Età [a b2k]	11'700	8'236	4'250

¹ GSSP = *Global Stratigraphic Section and Point* (it. > Sezione e punto stratigrafico globale).

² Coincidente con il GSSP della Serie/Epoca dell'Olocene (Walker *et al.*, 2008).

³ *Global Auxiliary Stratotype*.

(Gibbard *et al.*, 2010). Il passaggio dal Pleistocene all'Olocene, e quindi la base dell'Olocene stesso, è stata invece definita formalmente e datata a 11'700 a b2k (*before AD 2000*; trad. "prima del 2000 AD") con un'incertezza di 99 anni stimata a 2σ (Walker *et al.*, 2008, 2009). La suddivisione dell'Olocene ha permesso di definire tre Piani/Età (Tab. 1): Groenlandiano, Nordgrippiano e Meghalayano (Walker *et al.*, 2018). Per quanto concerne le Subserie/Subepoche, in lingua italiana sono utilizzati i termini "Inferiore", "Medio" e "Superiore" per le Subserie (definizione cronostratigrafica), e i termini "Precoce", "Medio-" e "Tardivo" per le Subepoche (definizione geocronologica). In geocronologia, si ritrovano nella letteratura di lingua italiana anche i termini "Primo" e "Tardo", in particolare nelle pubblicazioni del Servizio geologico nazionale (per es. Bernoulli *et al.*, 2018); vi sarebbero però da preferire i termini "Precoce" e "Tardivo", conformemente a quanto riportato dal Comitato Svizzero per la Stratigrafia (Remane *et al.*, 2005).

La base del Groenlandiano è stata definita dal segnale geochemico di un riscaldamento climatico significativo avvenuto alla fine del Dryas recente / Stadio Groenlandese 1 (*Younger Dryas / Greenland Stadial 1*), riscontrato a 1'492.45 m di profondità nella carota di ghiaccio NorthGRIP2 (GRIP = *Greenland Ice Core Project*), localizzata al centro della calotta glaciale groenlandese (75.10°N, 42.32°W; Walker *et al.*, 2008). Anche la base del Nordgrippiano, come indicato dal nome stesso, è stata definita in una carota di ghiaccio del progetto NorthGRIP, in questo caso la carota numero 1; essa corrisponde all'evento climatico conosciuto in letteratura come "8.2 ka BP event" (Alley *et al.*, 1997), definito formalmente a 1'228.67 m di profondità nella carota di ghiaccio NorthGRIP1 e datato a 8'236 a b2k, equivalente a un'età di 8'186 a cal BP (BP = *Before Present*, fissato convenzionalmente al 1950 AD) nella scala cronologica calibrata del radiocarbonio (Walker *et al.*, 2012). La base del Meghalayano, infine, è stata posta in corrispondenza all'evento 4.2 ka BP, definito come un evento principale di aridificazione delle basse e medie latitudini avvenuto fra 4.3 e 4.1 ka cal BP (Mayewski *et al.*, 2004). Questo evento è stato formalmente definito nel profilo del $\delta^{18}\text{O}$ realizzato su speleotemi della grotta Mawmluh, nello stato di Meghalaya, India nord-

orientale (Berkelhammer *et al.*, 2012). L'età di 4'200 a cal BP nella cronologia calibrata del radiocarbonio è quindi equivalente a un'età di 4'250 a b2k nella *Greenland Ice Core Chronology 2005 (GICC05)*. Questo evento climatico bicentennale ha un forte riscontro nella storia delle società agricole formatesi attorno al Mediterraneo, nel subcontinente indiano e in Cina nel Medio-Olocene, poiché causò il collasso di queste civiltà, con conseguenti migrazioni e rigenerazioni, in Egitto, Grecia, Siria, Palestina, Mesopotamia, e nelle valli dei fiumi Indo e Yangtse (Durham University, 2018; Walker *et al.*, 2018).

CORRISPONDENZE NELLA SVIZZERA ITALIANA

Groenlandiano e Nordgrippiano

La transizione fra il Pleistocene e l'Olocene è stata marcata da un riscaldamento molto rapido e brutale, dell'ordine di 7°C in 50 anni in Groenlandia (Dansgaard *et al.*, 1989). Nonostante l'Olocene sia stato climaticamente assai omogeneo, con temperature medie estive nelle Alpi svizzere comprese tra $\pm 0.7-0.9^\circ\text{C}$ rispetto all'attuale (Haas *et al.*, 1998), sul lungo periodo è possibile osservare un riscaldamento generale della temperatura durante il Groenlandiano e una leggera tendenza generale al raffreddamento dalla seconda metà del Nordgrippiano (Fig. 1). La fine del Groenlandiano e l'inizio del Nordgrippiano sono caratterizzati dal cosiddetto Massimo Termico dell'Olocene (MTO o HTM = *Holocene Thermal Maximum*), che nelle Alpi è datato a ca. 9.5–6.3 ka b2k, con le temperature medie estive che erano da 0.5 a 1.5°C più calde rispetto al Novecento (Burga *et al.*, 2001). Il MTO è stato intervallato dall'episodio freddo corto e brutale conosciuto come "evento 8.2 ka BP", che segna appunto la transizione fra Groenlandiano e Nordgrippiano (Fig. 1). Durante questa oscillazione fredda, i ghiacciai alpini sono progrediti in maniera importante, depositando le morene del cosiddetto "Stadio di Kromer" (Kerschner *et al.*, 2006). Questo evento non è ancora stato riconosciuto chiaramente nella Svizzera italiana per mancanza di datazioni puntuali e precise delle relative morene.

A livello morfoclimatico, l'inizio del Groenlandiano è

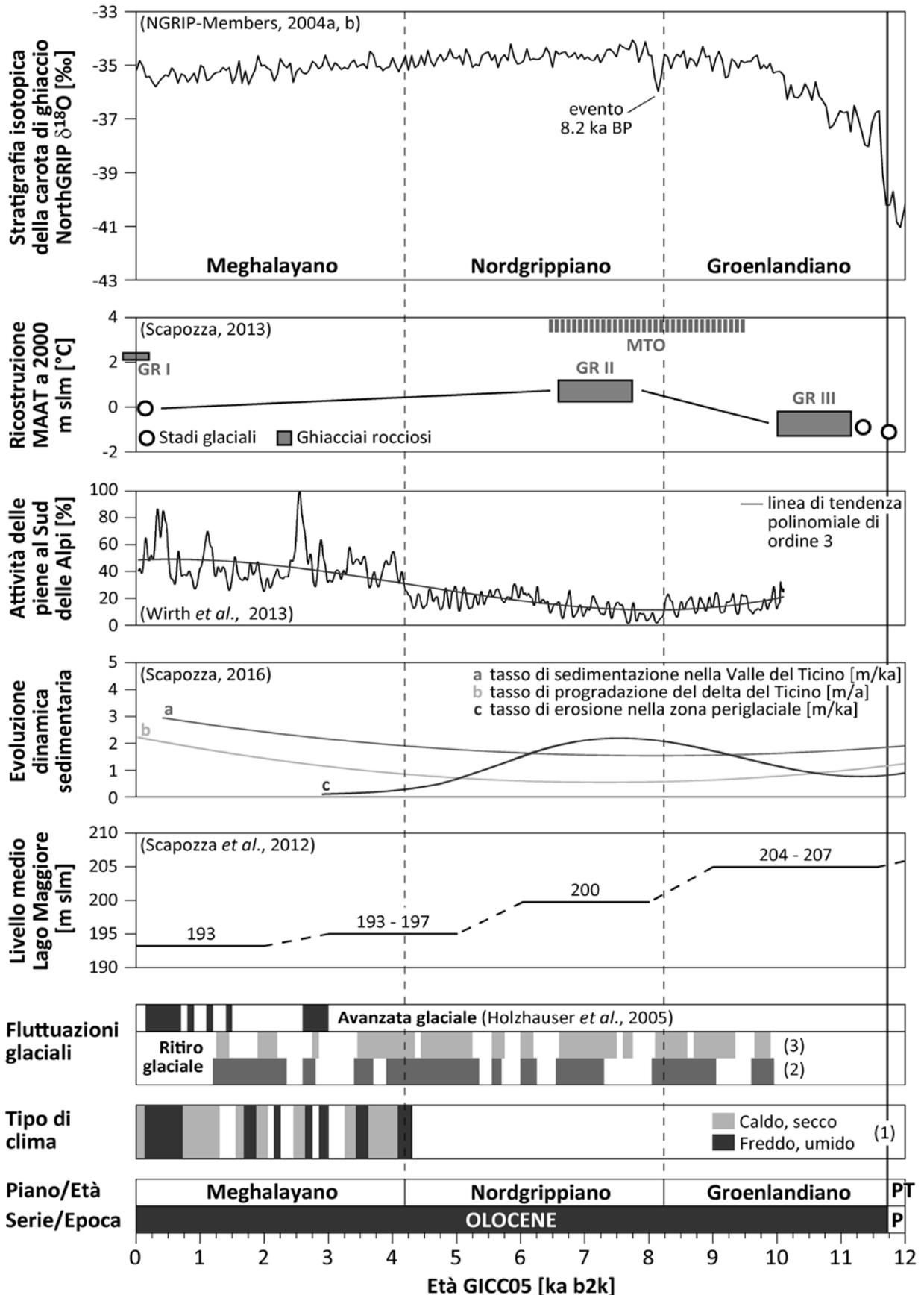


Figura 1: Confronto fra la stratigrafia della Serie/Epoca dell'Olocene e la curva isotopica groenlandese NorthGRIP (combinazione fra le carote di ghiaccio NorthGRIP 1 e 2) e correlazione con i principali indicatori morfoclimatici definiti per le Alpi centrali svizzere e per il Sud delle Alpi in particolare. Fonti: (1) Timmer *et al.* (2003) per il periodo 2'300 a.C.-800 d.C., Mann *et al.* (2009) per il Periodo Caldo Medioevale, Zumbühl & Holzhauser (1988) per la Piccola Era Glaciale; (2) Hormes *et al.* (2006); (3) Joerin *et al.* (2006). Acronimi e abbreviazioni: GICC05 = *Greenland Ice Core Chronology* 2005 (cronologia delle carote di ghiaccio groenlandesi); GR = Generazione di ghiacciai rocciosi; MAAT = *Mean Annual Air Temperature* (temperatura media annua dell'aria); MTO = Massimo Termico dell'Olocene (HTM = *Holocene Ternal Maximum*); P = Pleistocene; PT = Pleistocene Tardivo.

marcato dall'ultimo dei tre stadi glaciali che hanno marcato la fine del Tardoglaciale, definito regionalmente in Val Corno (Val Bedretto) e datato a *ca.* 10.8 ± 1.1 ka per correlazione con lo "Stadio Egesen III" (Kartell) delle Alpi Orientali (Scapoza *et al.*, 2014a). Il riscaldamento climatico avvenuto all'inizio del Groenlandiano è responsabile dell'inattivazione/fossilizzazione dei

ghiacciai rocciosi più antichi (GR III in Fig. 1), formati durante il Tardoglaciale (Scapoza, 2013). La generazione di ghiacciai rocciosi seguente (GR II in Fig. 1), formatasi fra la fine del Pleistocene e l'inizio dell'Olocene, si sarebbe invece inattivata/fossilizzata alla fine del MTO. Per quanto concerne i ghiacciai rocciosi attualmente ancora attivi, essi sono interamente olocenici e

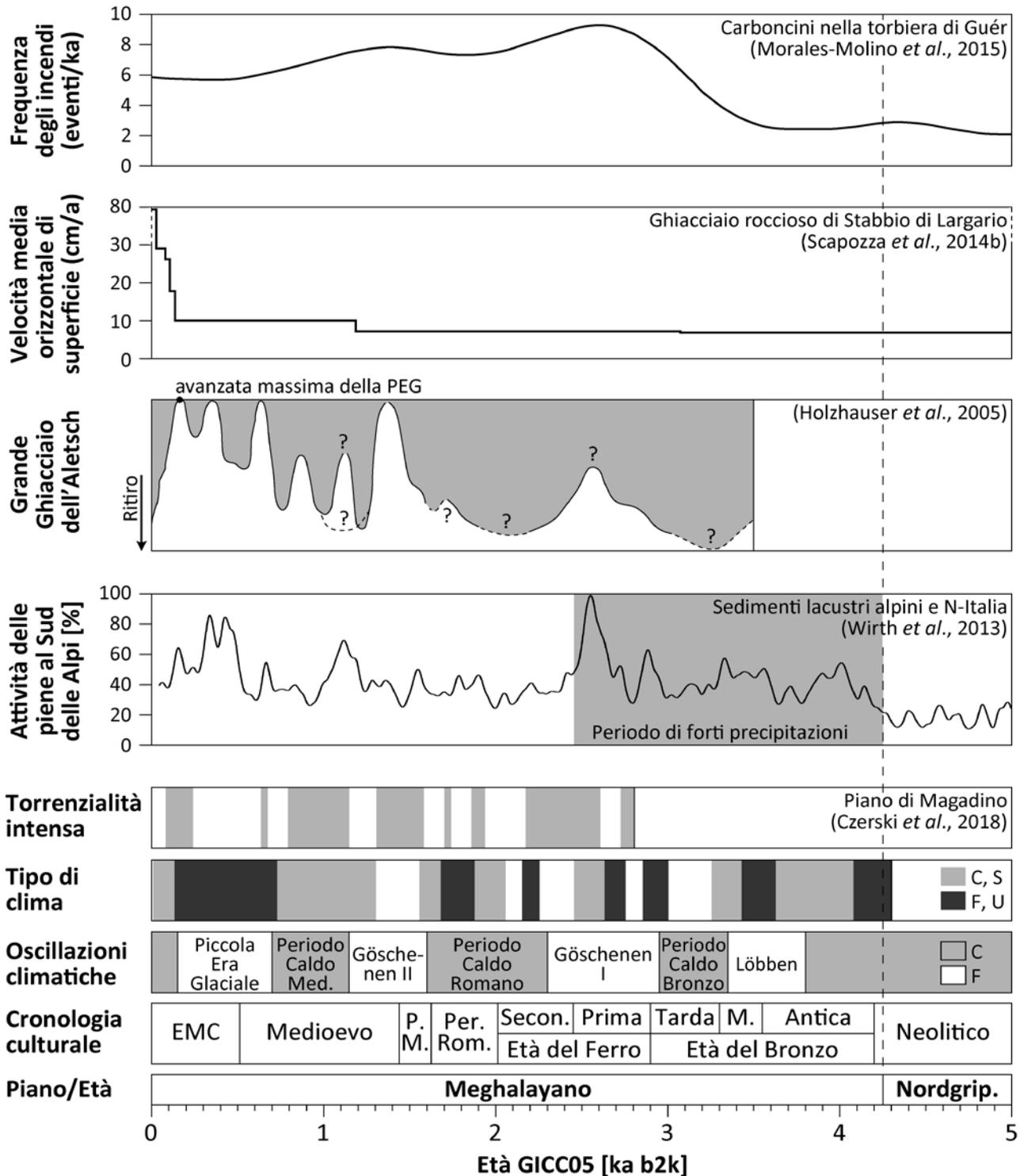


Figura 2: Evoluzione dei principali indicatori morfoclimatici definiti per le Alpi centrali svizzere e per il Sud delle Alpi in particolare durante il Piano/Èta del Meghalayano (Subserie/Subepoca dell'Olocene Superiore/Tardivo). Fonti: tipo di clima da Tinner *et al.* (2003) per il periodo 2'300 a.C.-800 d.C., Mann *et al.* (2009) per il Periodo Caldo Medioevale, Zumbühl & Holzhauser (1988) per la Piccola Era Glaciale; oscillazioni climatiche da Scapoza (2013) e da Patterson *et al.* (2010) per il Periodo Caldo Romano; cronologia culturale da Tinner *et al.* (2003) e da Carlevaro (2013) per la Tarda età del Bronzo e l'età del Ferro. Acronimi e abbreviazioni: EMC = Epoca moderna e contemporanea; GICC05 = *Greenland Ice Core Chronology* 2005 (cronologia delle carote di ghiaccio groenlandesi); M. = Media; PEG = Piccola Era Glaciale; P.M. = Periodo delle migrazioni; Per. Rom. = Periodo Romano.

si sarebbero formati o subito prima o durante il MTO (Scapozza, 2013).

L'andamento climatico generale dell'Olocene si riflette, al Sud delle Alpi, nell'evoluzione generale della dinamica sedimentaria (Fig. 1). Il tasso di sedimentazione fluviale nella Valle del Ticino e il tasso di progradazione del delta del Ticino (Piano di Magadino) nel Lago Maggiore presentano una diminuzione dell'attività durante il MTO e una ripresa generale lungo la seconda parte del Nordgrippiano e il Meghalayano (Scapozza, 2016). Questo comportamento è ben visibile anche per quanto concerne l'attività delle piene al Sud delle Alpi determinata dall'analisi dei sedimenti lacustri (Wirth *et al.*, 2013), come lo mostra la linea di tendenza (Fig. 1). Per quanto concerne il tasso di erosione nella zona periglaciale, esso presenta un picco durante il MTO quale probabile conseguenza della degradazione del permafrost nelle pareti rocciose, responsabile del rilascio degli importanti volumi di detriti rocciosi ancora in buona parte stoccati nei ghiacciai rocciosi ancora attivi e nelle falde di detrito della zona periglaciale (Scapozza, 2016). Dal punto di vista archeologico, il MTO corrisponde alla prima fase di colonizzazione del nostro territorio, quando la collina di Castelgrande a Bellinzona fu occupata da un insediamento stabile fra il 7'325 e il 7'065 b2k (Carlevaro *et al.*, 2017), avvenuto quindi nel Nordgrippiano.

Meghalayano

La vera e propria occupazione del territorio ticinese da parte dell'Uomo è però avvenuta con la fine dell'età della pietra e l'avvento dell'età dei metalli che segna, dal punto di vista culturale, il passaggio dal Nordgrippiano al Meghalayano (Fig. 2). Si osserva di conseguenza un sempre maggiore afflusso dell'Uomo, ben visibile per esempio nell'evoluzione della copertura vegetale (per es. Carlevaro *et al.*, 2017) o nelle variazioni di frequenza degli incendi di bosco, che raggiunsero il loro picco massimo durante l'età del Ferro, verso il 2'650-2'300 b2k (Fig. 2).

Il Meghalayano è pure caratterizzato da un aumento di frequenza delle oscillazioni climatiche, con diversi passaggi repentini da un tipo di clima caldo/secco a uno freddo/umido e viceversa, ben documentati dalla climatologia storica soprattutto dal Periodo Caldo Romano in poi (Patterson *et al.*, 2010). Queste oscillazioni climatiche si riflettono nelle fluttuazioni glaciali, ricostruite nei dettagli soprattutto sui ghiacciai alpini di più ampie dimensioni (Holzhauser *et al.*, 2005), e in una certa periodicità delle fasi di torrenzialità più intensa (Fig. 2), sulle quali in questi ultimi anni si sono raccolte sempre maggiori informazioni soprattutto sul Piano di Magadino (Czerski *et al.*, 2018). I sedimenti lacustri sudalpini (Ticino e Italia settentrionale) indicano un aumento dell'attività delle piene soprattutto fra 4.2 e 2.4 ka cal BP (Fig. 2), risultante da condizioni climatiche più fredde/umide indotte probabilmente da una posizione più meridionale delle correnti occidentali in relazione a una fase negativa dell'Oscillazione Nord Atlantica (NAO, *North Atlantic Oscillation*) (Wirth *et al.*, 2013).

Si distanziano dall'andamento climatico generale del Meghalayano solamente i decenni più recenti. Il riscal-

damento climatico globale di probabile origine antropica è infatti andato a influire in maniera notevole sulla criosfera alpina. Sui ghiacciai che, probabilmente, non sono mai stati così ridotti dalla fine del MTO (con qualche incertezza per il Periodo Caldo del Bronzo). E sui ghiacciai rocciosi che, quasi sicuramente, negli ultimi decenni hanno raggiunto delle velocità medie orizzontali di superficie probabilmente neanche lontanamente raggiunte durante i millenni precedenti, quale conseguenza di un notevole riscaldamento del permafrost.

RINGRAZIAMENTI

Un ringraziamento particolare ad Anja Studer e a Marco Antognini per la rilettura critica del manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

- Alley R.B., Mayewski P.A., Sowers T., Stuiver M. & Taylor K.C. 1997. Holocene climatic instability: a prominent, widespread event 8200 yr ago. *Geology*, 25: 483-486.
- Berkelhammer M.B., Sinha A., Stott L., Cheng H., Pausata F.S.R. & Yoshimura K. 2012. An abrupt shift in the Indian Monsoon 4000 years ago. *Geophysical Research Letters*, 196, DOI: 10.1029/2012GM001207.
- Bernoulli D., Ambrosi C., Scapozza C., Stockar R., Schenker F.L., Gaggero L., Antognini M. & Bronzini S. 2018. Fogli 1373 Mendrisio (parte Est) con parte Ovest del foglio Como. Atlante geologico della Svizzera 1:25'000, Note esplicative 152: 1-199.
- Burga C., Perret R. & Zoller H. 2001. Swiss localities of early recognized Holocene climate oscillations – characterisation and significance. *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, 146: 65-74.
- Carlevaro E. 2013. Dinamiche del popolamento nell'area sudalpina dal Bronzo finale alla romanizzazione. Tesi di dottorato, Università di Zurigo, 343 pp.
- Carlevaro E., Colombaroli D., Conedera M., Krebs P., Morales-Molino C., Scapozza C., Timmer W. & Vescovi E. 2017. Claro e il suo territorio. *Archeologia svizzera*, 40: 24-29.
- Czerski D., Mosetti L., Cardani Vergani R., Pellegrini M., Federici-Schenardi M., Gillioz M. & Scapozza C. 2018. The evolution of the fluvial environments and the history of human settlements during the Late Holocene on the Piano di Magadino (Cantone Ticino, Switzerland): new sedimentological and geoarchaeological data. *A Habitable Planet. Abstract Volume 16th Swiss Geoscience Meeting, Bern, 30th November – 1st December 2018, P11.7: 336-337.*
- Dansgaard W., White J.W. & Johnson J. 1989. The abrupt termination of the Younger Dryas climate event. *Nature*, 339: 532-534.
- Durham University 2018. Collapse of civilizations worldwide defines youngest unit of the Geologic Time Scale. <https://www.dur.ac.uk/earth.sciences/news/?itemno=35201> (ultima consultazione: 14.1.2019).
- Gibbard P.L., Head M.J., Walker M. & The Subcommission on Quaternary Stratigraphy 2010. Formal ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma. *Journal of Quaternary Science*, 25: 96-102.

- Gibbard P.L. 2018. Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch. Cambridge, International Commission on Stratigraphy, 26.6.2018.
- Haas J.N., Richoz I., Tinner W. & Wick L. 1998. Synchronous Holocene climatic oscillations recorded on the Swiss Plateau and at the timberline of the Alps. *The Holocene*, 8: 301-309.
- Holzhauser H., Magny M. & Zumbühl H.J. 2005. Glacier and lake-level variations in west-central Europe over the last 3500 years. *The Holocene*, 16: 789-801.
- Hormes A., Beer J. & Schlüchter C. 2006. A geochronological approach to understanding the role of solar activity on Holocene glacier length variability in the Swiss Alps. *Geografiska Annaler Series A Physical Geography*, 88: 282-294.
- Joerin U.E., Stocker T.F. & Schlüchter C. 2006. Multicentury glacier fluctuations in the Swiss Alps during the Holocene. *The Holocene*, 16: 697-704.
- Kerschner H., Hertl A., Gross G., Ivy-Ochs S. & Kubik P.W. 2006. Surface exposure dating of moraines in the Kromer valley (Silvretta Mountains, Austria) – evidence for glacial response to the 8.2 ka event in the Eastern Alps? *The Holocene*, 16: 7-15.
- Mann M.E., Zhang Z., Rutherford S., Bradley R.S., Hughes M.K., Shindell D., Ammann C., Faluvegi G. & Fenbiao N. 2009. Global signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. *Science*, 326: 1256-1260.
- Mayewski P.A., Rohling E.E., Stager J.C., Karlén W., Maasch K.A., Meeker D., Meyerson E.A., Gasse F., van Kreveld S., Holmgren K., Lee-Thorp J., Rosqvist G., Staubwasser M., Schneider R.R. & Steig E.J. 2004. Holocene climate variability. *Quaternary Research*, 62: 243-255.
- Morales-Molino C., Vescovi E., Krebs P., Carlevaro E., Kaltenrieder P., Conedera M., Tinner W. & Colombaroli D. 2015. The role of human-induced fire and sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) cultivation on the long-term landscape dynamics of the Southern Swiss Alps. *The Holocene*, 25: 482-494.
- NGRIP-Members 2004a. High resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. *Nature*, 431: 147-151.
- NGRIP-Members 2004b. North Greenland Ice Core Project Oxygen Isotope Data. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series n. 2004-059. Boulder (CO), NOAA/NGDC Paleoclimatology Program.
- Patterson W.P., Dietrich K.A., Holmden C. & Andrews J.T. 2010. Two Millennia of North Atlantic seasonality and implications for Norse colonies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107: 5306-5310.
- Remane J., Adatte T., Berger J.-P., Burkhalter R., Dall'Agnolo S., Decrouez D., Fischer H., Funk H., Furrer H., Graf H.-R., Gouffon Y., Heckendorn W. & Winkler W. 2005. Direttive per l'uso della nomenclatura stratigrafica: litostratigrafia e cronostratigrafia. *Eclogae geologicae Helvetiae*, 98: 397-400.
- Scapozza C. 2013. Stratigraphie, morphodynamique, paléoenvironnements des terrains sédimentaires meubles à forte déclivité du domaine périglaciaire alpin. *Géovisions*, 40. Lausanne, Institut de géographie de l'Université de Lausanne, 551 pp.
- Scapozza C. 2016. Evidence of paraglacial and paraperglacial crisis in Alpine sediment transfer since the Last Glaciation (Ticino, Switzerland). *Quaternaire*, 27: 139-154.
- Scapozza C., Antognini M., Oppizzi P. & Patocchi N. 2012. Stratigrafia, morfodinamica, paleoambienti della piana fluvio-deltizia del Ticino dall'Ultimo Massimo Glaciale a oggi: proposta di sintesi. *Bollettino della Società ticinese di scienze naturali*, 100: 89-106.
- Scapozza C., Castelletti C., Soma L., Dall'Agnolo S. & Ambrosi C. 2014a. Timing of LGM and deglaciation in the Southern Swiss Alps. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 20: 307-322.
- Scapozza C., Lambiel C., Bozzini C., Mari S. & Conedera M. 2014b. Assessing the rock glacier kinematics on three different timescales: a case study from the southern Swiss Alps. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39: 2056-2069.
- Tinner W., Lotter A.F., Ammann B., Conedera M., Hubschmid P., van Leeuwen J.F. & Wehrli M. 2003. Climatic change and contemporaneous land-use phases north and south of the Alps 2300 BC to 800 AD. *Quaternary Science Reviews*, 22: 1447-1460.
- Walker M., Johnsen S., Rasmussen S.O., Steffensen J.-P., Popp T., Gibbard P., Hoek W., Lowe J., Andrews J., Björck S., Cwynar L.C., Hughen K., Kershaw P., Kromer B., Litt T., Lowe D.J., Nakagawa T., Newnham R. & Schwander J. 2008. The Global Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period) in the NGRIP ice core. *Episodes*, 31: 264-267.
- Walker M., Johnsen S., Rasmussen S.O., Popp T., Steffensen J.-P., Gibbard P., Hoek W., Lowe J., Andrews J., Björck S., Cwynar L.C., Hughen K., Kershaw P., Kromer B., Litt T., Lowe D.J., Nakagawa T., Newnham R. & Schwander J. 2009. Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. *Journal of Quaternary Science*, 24: 3-17.
- Walker M., Berkelhammer M., Björck S., Cwynar L.C., Fisher D.A., Long A.J., Lowe J.J., Newnham R.M., Rasmussen S.O. & Weiss H. 2012. Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a Discussion Paper by a Working Group of INTIMATE (Integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the Subcommittee on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy). *Journal of Quaternary Science*, 27: 549-659.
- Walker M., Gibbard P.L., Berkelhammer M., Björck S., Cwynar L.C., Fisher D.A., Long A.J., Lowe J.J., Newnham R.M., Rasmussen S.O. & Weiss H. 2014. Formal Subdivision of the Holocene Series/Epoch. In: Rocha R., Pais J., Kullbert J.C. & Finney S. (eds.), *STRATI 2013. First International Congress on Stratigraphy "At the Cutting Edge of Stratigraphy"*. Springer, Cham, pp. 983-987.
- Walker M., Head M.J., Berkelhammer M., Björck S., Cheng H., Cwynar L., Fisher D., Gkinis V., Long A., Lowe J., Newnham R., Rasmussen S.O. & Weiss H. 2018. Formal ratification of the subdivision of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period): two new Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSPs) and three new stages/subseries. *Episodes*, 41: 213-223.
- Wirth S.B., Glur L., Gilli A. & Anselmetti F.S. 2013. Holocene flood frequency across the Central Alps – solar forcing and evidence for variations in North Atlantic atmospheric circulation. *Quaternary Science Reviews*, 80: 112-128.
- Zumbühl H.J. & Holzhauser H. 1988. Glaciers des Alpes du Petit âge glaciaire. *Les Alpes*, 3/1988: 1-322.

PARTE IV

Contributi speciali

Università “extra muros” di Ginevra, le realizzazioni in Ticino: Centro Biologia Alpina di Piora, Centro Nazionale Referenza Legionella e Laboratorio Ecologia Microbica

Raffaele Peduzzi, membro onorario STSN

Fondazione Centro Biologia Alpina Piora, Via Mirasole 22a, CH-6500 Bellinzona

raffaele.peduzzi@cadagno.ch

Riassunto: Grazie al concetto dell'Università di Ginevra “extra-muros” è stato possibile sviluppare in Ticino presso l'Istituto cantonale di microbiologia (ICM) un'attività di ricerca riconosciuta a livello accademico. Con questo “label” universitario abbiamo potuto ospitare nei laboratori dell'ICM studenti in biologia e medicina che hanno potuto svolgere il lavoro di dottorato e di diploma e in seguito ottenere il titolo di studi dell'Università di Ginevra. Tramite il laboratorio di “Ecologie microbienne” dell'Università con sede in Ticino abbiamo potuto intensificare i lavori d'indagine su batteri di origine idrica *Legionella*, *Aeromonas*, *Yersinia*. Sul Lago di Cadagno è stato possibile completare con esercitazioni pratiche l'insegnamento teorico del corso di “Hydrologie microbienne” tenuto a Ginevra dall'autore di questa nota. Inoltre, la ricerca svolta in questo ambito è stata riconosciuta e finanziata dal Fondo Nazionale e da altri enti. In particolare ha portato all'introduzione a livello di analisi di routine di nuove procedure tecniche. L'attività accademica svolta in seno al Laboratorio di ecologia microbica ed esaminata in questo “excursus” ha pure permesso la creazione del Centro Biologia Alpina di Piora e del Centro Nazionale Referenza Legionella.

Parole chiave: Centro Biologia Alpina Piora, Lago di Cadagno, Laboratorio Ecologia Microbica, Centro Nazionale Referenza Legionella, *Chromatium*, *Thiocystis*

Geneva “Extra-muros” University, achievements in Ticino: the Alpine Biology Centre in Piora, National Reference Center of Legionella and Laboratory of Microbial Ecology

Abstract: The idea and concepts of University of Geneva “extra-muros” lead to the establishment in the Cantone Ticino of the Laboratory of Microbial ecology at the Cantonal Institute of Microbiology. Thanks to the impulsion of the University of Geneva in a region without an academic tradition, we were able to develop a scientific research line, graduate and undergraduate education and training in clinical and environmental microbiology. Moreover, the symbiotic collaboration between Geneva and Ticino promoted and allowed the accomplishment of several PhD research thesis. The present contribution collect the cornerstones of our scientific work by describing the researched bacterial genera together with the evolution of more and more powerful analytical tools over more than 40 years of activity. New technological advances in microbiology and molecular biology permit the detection and tracking of emerging opportunistic pathogens such as *Legionella*, *Aeromonas*, *Yersinia* and *Acinetobacter* in the environment and help to resolve the path from the environment to human contamination and ultimately disease. A permanently stratified freshwater ecosystem, the meromictic lake Cadagno located nearby the Alpine Biology Centre, was taken as a model for the study of biogeochemical cycles in freshwater habitats. Major interests focused on the biological filter developing in the chemocline, retaining toxic compounds such as sulfide, which is mainly driven by anaerobic key genera such as *Chromatium* and *Thiocystis*. The Academic activities (research and teaching) carried out at the Microbial ecology Laboratory lead to the Alpine Biology Center and the National Reference Center for Legionella.

Key words: Center of alpine biology Piora, Lake Cadagno, Laboratory microbial ecology, National Center Reference Legionella, *Chromatium*, *Thiocystis*

INTRODUZIONE

Il concetto dell'Università “extra muros” preconizzato dall'Università di Ginevra, a partire dagli anni '80, ha permesso di sviluppare in Ticino una linea di ricerca in microbiologia e un'attività accademica presso l'Istituto cantonale di microbiologia. In particolare ha portato alla

creazione del Centro Biologia Alpina di Piora (CBA) del Centro Nazionale Referenza Legionella (CNRL) e del Laboratorio di ecologia microbica (LEM).

Una eccellente ed attualissima pubblicazione sul ruolo centrale dei microbi (Selosse, 2017) è stato uno stimolo per ritracciare le tappe della microbiologia nel nostro micro-cosmo ticinese.

Il tema centrale delle nostre ricerche ha considerato i generi batterici con un habitat naturale idrico, come ad esempio: *Legionella*, *Aeromonas*, *Yersinia*, *Acinetobacter*.

Il filo conduttore della linea d'indagine era lo studio delle popolazioni batteriche nelle diverse nicchie acquatiche allo scopo di tracciare, soprattutto per i microbi con capacità patogene, le vie di contaminazione partendo dall'ambiente idrico fino all'uomo. Per esaminare la diffusione idrica dei germi patogeni vengono utilizzati metodi fenotipici e molecolari. A livello accademico questi studi hanno permesso l'acquisizione di numerosi diplomi in biologia e numerose tesi di dottorato in scienze presentati all'Università di Ginevra.

Per quanto concerne i batteri ambientali che rappresentano le specie chiave degli ecosistemi idrici, il nostro interesse ha esaminato i generi *Chromatium*, *Chlorobium*, *Thiocystis* e *Lamprocystis* che costituiscono un filtro biologico, compongono un consorzio microbico capace di ritenere i composti tossici solforosi di un lago meromittico naturale considerato come modello: il Lago di Cadagno.

Si reputa pertinente ed interessante mediante questo “excursus” riesaminare l'evoluzione dell'insegnamento e della ricerca nel contesto accademico ginevrino con una sede nella Svizzera italiana. Regione che non dispone di una Facoltà di scienze e che fino al 1996 era priva di un'Università.

CENTRO BIOLOGIA ALPINA DI PIORA (CBA)

Il 15 dicembre 1989 il Gran Consiglio ticinese approvava il Decreto legislativo concernente l'istituzione del Centro di biologia alpina nella Valle di Piora. Questo atto parlamentare costituiva il risultato di più di vent'anni di lavoro costante, volto ad ancorare con una infrastruttura in loco, l'attività scientifico-didattica che da decenni si svolgeva e si svolge tuttora in Val Piora e nella regione del San Gottardo (Peduzzi & Caroni, 1971).

Alla fine degli anni '70, la ripresa dell'attività di ricerca in Piora è stata importante al punto di costituire l'impulso per la creazione del Centro Biologia Alpina per ancorare in loco un'attività accademica d'insegnamento e d'indagine. Infatti nel 1989, in un Ticino privo di università che aveva respinto il CUSI (Centro Universitario della Svizzera Italiana) nel 1986 in votazione popolare, il Centro di Biologia Alpina costituiva la prima infrastruttura voluta dallo Stato “allo scopo di incentivare una concreta collaborazione tra il Cantone Ticino e le Università svizzere” come appare nel Messaggio d'istituzione no. 3501 del 19 settembre 1989 elaborato dal Consiglio di Stato e destinato al Gran Consiglio. In effetti, la realizzazione concreta è stata possibile solo grazie alla stretta collaborazione con Università di Ginevra e di Zurigo che hanno assicurato la copertura accademica.

Nello stesso Messaggio del 1989 veniva evidenziato il sostegno ed il giudizio positivo sul progetto espresso dalla Società ticinese delle scienze naturali e dalla direzione del Museo cantonale di storia naturale. Il CBA

è poi stato ancorato negli Statuti della nostra Società nell'articolo 1 “lo scopo di promuovere e di divulgare le scienze naturali” è raggiunto “sostenendo le attività del Museo cantonale di storia naturale e del Centro di biologia alpina di Piora”. Nei contributi redatti per il Bollettino e le Memorie abbiamo aggiornato l'evoluzione dell'attività svolta presso il CBA (Peduzzi, 1993; Peduzzi, 2003; Rampazzi *et al.*, 2012).

Va ribadito il ruolo svolto da Piora nella politica universitaria ticinese che ha portato alla creazione dell'USI nel 1996. Infatti, in occasione dell'inaugurazione ufficiale del CBA il 29 luglio 1994, l'incontro tra le autorità cantonali e federali si è rilevato di fondamentale importanza per l'illustrazione del progetto di Università della Svizzera italiana e per avviare le trattative a livello federale direttamente con la responsabile del Dipartimento federale degli interni Ruth Dreifuss. La stessa Consigliera federale affermerà in un'intervista di aver conosciuto G. Buffi in Piora e di aver avviato il discorso a livello federale dell'USI durante questa occasione. Forse è importante ribadire chi ha partecipato a questa giornata: oltre a Ruth Dreifuss responsabile del Dipartimento federale dell'interno, erano presenti i Consiglieri di Stato Giuseppe Buffi e Pietro Martinelli, il Consigliere di Stato Alfred Gilgen, capo dipartimento istruzione pubblica del Canton Zurigo, la Consigliera nazionale Mimi Lepori-Bonetti e l'ex-rettore Martin Peter con il segretario generale dell'Università di Ginevra André Vifian.

Dagli statuti della Fondazione:

Art. 1.1 - Lo Stato del Cantone Ticino, con la collaborazione delle Università di Ginevra e di Zurigo, costituisce, ai sensi degli art. 80 e segg. CC, una fondazione denominata “Centro Biologia Alpina” con sede nel comune di Quinto.

Art. 1.2 - Lo scopo della fondazione è di promuovere l'insegnamento di livello universitario, la ricerca scientifica, la divulgazione e altri compiti di utilità pubblica tramite la gestione del Centro Biologia Alpina della Valle di Piora. Essa persegue il scopo senza fini di lucro.

Inquadrato 1: Stralcio dagli statuti della Fondazione Centro Biologia Alpina.

Certamente presso il CBA l'attività universitaria, ricerca e insegnamento rimane preponderante e corrisponde a più del 70% (Inquadrato 1). Oltre ai biologi, registriamo un aumento della presenza di geologi e di specialisti in scienze della Terra in quanto l'offerta didattica esistente in Piora è molto ricca, anche dovuta a tutti gli studi geologici preliminari effettuati in quanto necessari per i diversi trafori ferroviari e autostradale, da ultimo per l'Alp-Transit che passa ai piedi del Pizzo Columbe Campanitt.

L'inizio del nostro interesse didattico per Piora era soprattutto legato alla biologia dell'acqua; per quanto mi concerne costituiva l'illustrazione pratica sul terreno di un corso teorico di idrobiologia impartito all'Università di Ginevra a partire dal 1973. Avendo finora pri-



Figura 1: Centro Biologia Alpina Piora, stabile A, laboratorio (foto: D. Maini).

vilegiato gli studi idrobiologici, sul Lago di Cadagno negli ultimi anni sono uscite 50 pubblicazioni su riviste internazionali (con comitato di lettura, “peer review publications”).

Attualmente anche botanici, geologi ed entomologi (specialisti nello studio degli insetti) trovano interessante la Val Piora, che costituisce un “vero laboratorio della natura” (Fig. 1).

Nel 2005, degna di nota è la designazione del CBA quale laboratorio dell’anno da parte della “International Society for Microbial Ecology”. Certamente l’organizzazione nel 1998 ad Airolo - S. Gottardo - Piora del Congresso annuale dell’Accademia svizzera delle scienze naturali, con l’accoglimento di oltre 1’000 partecipanti, ha contribuito a far conoscere le attività svolte presso il CBA.

Oltre alle due Università di Ginevra e Zurigo con ruolo trainante, costituenti della Fondazione CBA, annualmente 10-12 Università frequentano Piora. Prendendo come esempio l’attività svolta durante la stagione 2018, la vocazione internazionale è pure riconfermata con l’accoglimento di studenti, ricercatori ed insegnanti delle Università provenienti dalla Danimarca (Aarhus), dagli USA (Georgia del Sud), da Tirana da Torino e da Brema. In particolare, sempre per permettere l’attività “extra-muros”, una convenzione tra il Canton Ticino e l’Università di Ginevra regge l’insegnamento e la ricerca in microbiologia e le scienze ambientali. Attualmente la tradizione è mantenuta tramite due collaboratori del CBA, che operano in Ticino, e che occupano la posizione di “chargé de cours” presso l’Università di Ginevra. Ad esempio la stagione 2018 presso il Centro Biologia Alpina (CBA) di Piora è stata molto intensa, iniziata a

metà giugno è terminata nella prima settimana di ottobre. Dal 1994, anno d’istituzione della Fondazione CBA, con le 2’588 giornate di lavoro, insegnamento e visite della stagione 2018, abbiamo raggiunto le 51’202 unità giornaliere investite in quota.

Nella tabella riassuntiva sono elencati i fruitori del Centro Biologia Alpina e le attività svolte durante la stagione 2018 (Inquadrato 2).

AVVIO DELLE INDAGINI SULLA *LEGIONELLA* E ISTITUZIONE DEL CENTRO NAZIONALE DI REFERENZA (CNRL)

Riteniamo utile dedicare un paragrafo riassuntivo ai 20 anni di esistenza del “Centro Nazionale di Referenza per la *Legionella* (CNRL)” creato nel 1997 dall’Ufficio federale della sanità pubblica di Berna presso l’Istituto cantonale di microbiologia (ICM) a quel tempo con sede a Lugano.

La scelta dell’Istituto cantonale di microbiologia come sede del Centro di referenza a livello svizzero è stata basata sul fatto che il nostro servizio poteva svolgere delle analisi sia sul materiale clinico proveniente dai pazienti che sul campionamento ambientale costituito soprattutto da prelievi di acque da analizzare. Va inoltre sottolineato che nella storia sanitaria Svizzera per la prima volta un Centro di referenza a livello nazionale era affidato ad un Istituto attivo al sud delle Alpi ed il “label” accademico ottenuto ha giocato un ruolo.

Quando negli anni ’80 abbiamo iniziato le indagini su *Legionella*, il battere possedeva ancora un alone di mi-

Frequenza universitaria

Università svizzere

Università di Ginevra

- un corso di due settimane per la «Maîtrise Universitaire en Sciences de l'Environnement (MUSE)», Geologia e botanica, idrobiologia del bacino imbrifero e funzionamento ecosistema L. Cadagno
- un corso di una settimana, "Lab. d'écologie microbienne", Ecologia alpina microbica e idrobiologia
- un corso di una settimana del "Dép. Sciences de la Terre" sulla cartografia geologica e metamorfismo nella regione di Piora e del Gottardo

Università e Politecnico-ETH di Zurigo

- un corso di una settimana ETH-ZH, Microbiologia alpina ambientale
- un corso di tre giorni UNI-ZH, Geographisches Institut
- un corso di una settimana UNI-ZH con studenti Università di Tirana, Alpinbiologie

Università di Basilea

- un corso di una settimana "Scienze ambientali", Bodenkartierung

Università di Berna

- un corso di una settimana "Istituto di geologia", cartografia geologica.

Scuola universitaria professionale SUPSI Lugano

- diverse campagne di misura sul Lago di Cadagno
- Laboratorio conservazione e restauro, indagine sugli endoliti (microorganismi che si sviluppano nelle rocce)

Università e Istituti esteri

Italia

- un corso di una settimana della Facoltà delle Scienze dell'Uni-Torino, laurea in Scienze naturali, soggiorno interdisciplinare

Georgia USA

- un corso di due settimane della Georgia Southern University, artropodi/entomologia

Germania

- un corso universitario di specializzazione, Max Planck Institut, Bremen

Corsi e soggiorni di ricercatori

- Università di Basilea, "Methane in Lake Cadagno"
- Università Aarhus (Danimarca), "Sediment microbiology"
- Scuola politecnica federale EPFL Losanna con EA-WAG (Istituto per l'approvvigionamento la depurazione e la protezione delle acque) Kastanienbaum, vari soggiorni su "Lake physics"
- SUPSI/Laboratorio Microbiologia Applicata diversi giorni di attività scientifica e di supporto ai gruppi, Lugano-Bellinzona
- Società svizzera di idrologia e limnologia, scuola dottorale su questa tematica, aperta ai dottorandi di tutte le Università svizzere
- Association Ascomycete.org, soggiorno di studio in micologia per ricercatori avanzati

Liceo, medio-superiore e scuole medie

(corsi della durata di una settimana)

- un corso della Kantonsschule, Sargans
- un corso di biologia e chimica (BIC) del Liceo Lugano 2 (soggiorno di tre giorni)
- un corso, campus scientifico per liceali delle quattro regioni linguistiche, "Summer School" dell'Accademia Svizzera Scienze Naturali (SCNAT) Berna
- Corso per docenti di scienze del Liceo di Nyon
- giornate di studio Liceo Wattwil

Giornate di lavoro

- Interviste per le riviste: Tierwelt, Terra Ticinese, NZZ am Sonntag, Vivere la montagna; documentario televisivo su ARTE con Piora inserita nel "Mito Gottardo"
- Museo della pesca Caslano

- Dirigenti dell'Università Svizzera Italiana, Lugano
- Concetto telefonia
- Organizzazione "Summer School" con i dirigenti dell'Accademia svizzera scienze naturali

Corsi non universitari/momenti formativi in scienze ambientali

- Società Astronomica Ticinese c/o Specola Solare Ticinese
- WWF, formazione ambientale per giovani su fauna e flora alpina
- Escursionisti con interessi ambientali

Visite illustrative guidate

- Studenti Dipartimento Formazione Apprendimento SUPSI, Locarno
- CAS, Diesse
- Alpine Rettung Schweiz, Airolo
- Sezione Scout S. Antonino
- Corpo pompieri Alta Leventina, Ambri
- Kollegium Stans
- EcoEng SA, Arbedo
- Ufficio Strade Nazionali, Div. Infrastruttura stradale, Bellinzona
- Banca Stato Canton Ticino, Bellinzona
- FFS, settore trasporti pubblici
- Associazione fitosociologica, Dortmund
- Gruppo ex dirigenti scolastici ticinesi
- Gruppo storici di Varese
- Istituto scolastico Riviera, Osogna
- Numerosi i turisti di passaggio che chiedono di visitare il Centro
- Ideatorio soggiorno scientifico estivo, Lugano
- Atlante Idrologico Svizzero

Inquadrato 2: Tabella riassuntiva dell'attività 2018 svolta presso il CBA Piora. Frequenza dei corsi e attività di ricerca organizzati da Università e Istituti svizzeri ed esteri, elenco dei fruitori.

stero; va ricordata la sua scoperta dopo l'epidemia di polmonite del luglio 1976 a Philadelphia al Congresso dell'American Legion (149 casi con 29 decessi) e la difficoltosa messa in evidenza del battere, agente infettivo, avvenuta solo l'anno successivo nel 1977 su materiale autoptico. Si temeva il suo potere infettivo, incerte erano le modalità di contaminazione umana e la biologia del germe era sconosciuta; ad esempio non si conoscevano esattamente le esigenze per metterlo in coltura. È forse utile ripercorrere come è nato il nostro interesse. È stato al rientro da uno stage effettuato all'Institut Pasteur di Parigi presso l'Unité d'écologie bactérienne del prof. Mollaret. In questo reparto si era iniziato uno studio su *Legionella*, le manipolazioni delle prime colture batteriologiche venivano effettuate in laboratori di “massima sicurezza”. Con questi stimoli dettati dalla “nouvelle bactériologie” abbiamo deciso di aprire una linea di ricerca a Lugano. Nel giugno 1987, nell'ambito del progetto “Inquinamento e Salute” promosso dalla Sezione sanitaria del Dipartimento Opere Sociali, veniva proposto dal nostro istituto un programma di studio di tipo predittivo sulla *Legionella*. L'indagine, effettuata allo scopo di evidenziare il germe, è stata articolata in due comparti: il materiale clinico proveniente dal paziente e l'ambiente idrico. Infatti, le legionelle hanno potuto essere isolate da tutti gli ambienti idrici: corsi d'acqua, laghi, acque termali, bacini di accumulazione, pozzi, fontane estetiche, rubinetti, soffioni delle docce, ecc.

Come primo approccio d'indagine sui materiali clinici prelevati sui pazienti e destinati al reparto dedicato alle infezioni dell'apparato respiratorio, abbiamo inserito l'analisi per la messa in evidenza della *Legionella*. Questo aggiungendo i terreni di coltura specifici (contenenti cisteina) anche se non veniva espressamente richiesto dal medico curante. In particolare, quando viene identificato un caso di legionellosi bisogna procedere a dei prelievi ambientali al fine di localizzare la fonte inquinante così da delimitare possibilmente l'epidemia. È quindi importante poter stabilire quale dei serbatoi infettivi presi in considerazione sia quello realmente implicato nel contagio.

Parallelamente bisogna pure evidenziare l'elaborazione e la conduzione di due progetti di ricerca accettati all'inizio degli anni '90 dal Fondo nazionale svizzero per la ricerca che permisero in particolare di finanziare una tesi di dottorato in microbiologia svolta a Lugano e presentata alla Facoltà delle scienze dell'Università di Ginevra nel 1995 (Inquadrato 3). Inoltre, l'ufficio federale della salute pubblica (UFSP) aveva già dimostrato il suo interesse per la nostra attività sulla legionellosi ed ancora prima della decisione di istituire il Centro di referenza ci aveva incaricati di un mandato di sorveglianza della *Legionella*, come agente di polmoniti “community-acquired” e nosocomiali.

Compiti del Centro Nazionale di Referenza per la *Legionella* (CNRL)

Il CNRL costituisce un osservatorio che permette di valutare le tendenze epidemiologiche ed analitiche più recenti. In particolare il bilancio e l'esperienza maturata in questi anni vengono raffrontati con i dati, inerenti

Crediti del Fondo nazionale ricerca, due progetti dal titolo:

- “Etude épidémiologique de *Legionella* par analyse des profils de digestion des gènes ribosomiaux (ribo-typing)”, data d'accettazione: 1991.
- “Potential use of DNA sequence information for taxonomic and epidemiological investigations of *Legionellaceae*”, data d'accettazione: 1995.

Mandato dell'Ufficio federale salute pubblica (UFSP):

- “Surveillance des *Legionella*: la maladie du légionnaire parmi les pneumonies *community-acquired* et nosocomiales dans un hôpital régional dont le circuit d'eau est contaminé par *Legionella*”.

Dottorato di ricerca Università di Ginevra:

- “Caractérisation épidémiologique de souches de *Legionella* par trois marqueurs génotypiques: ribotypie, PLFR et PLFA”. Soutenance: 1995.

Il lavoro di dottorato effettuato all'ICM da V. Gaia ha esaminato a livello genetico ceppi di origine clinica e ambientale.

Inquadrato 3: Indagini su *Legionella*: crediti ottenuti, mandati e ricerca di dottorato.

Utenza che fa capo al Centro Nazionale di Referenza Legionella

Medici ospedalieri, cliniche e studi medici privati

Microbiologi, laboratori d'analisi, ospedali universitari: in particolare per l'identificazione dei ceppi batterici, tipizzazioni legate ad episodi epidemici

Servizi di igiene ospedaliera: ricerca in campioni d'acqua da installazioni di climatizzazioni

Personale tecnico sanitario di ospedali, cliniche, case per anziani, alberghi

Inquadrato 4: Il Centro Nazionale di Referenza Legionella offre un sostegno ad una vasta utenza pubblica e privata.

gli altri stati europei, raccolti dal Centro europeo di prevenzione e controllo delle malattie infettive ecdd (European Centre for Disease Prevention and Control) tramite la rete di sorveglianza ELDSNet (European Legionnaires' Disease Surveillance Network).

Infatti, tra i compiti generalmente svolti dai Centri nazionali di referenza vi è la collaborazione con i Centri omologhi situati all'estero. Questo costante scambio internazionale permette di svolgere il discorso odierno sull'evoluzione della legionellosi soprattutto a livello europeo, ma anche in modo più vasto in altri continenti.

L'evoluzione del lavoro svolto presso il CNRL come ad esempio il volume d'analisi effettuate, preso come indicatore, dimostra una progressione costante del numero d'analisi inerenti i due comparti: clinico e ambientale. Di fondamentale importanza vanno evidenziate le indagini epidemiologiche mediante l'identificazione della fonte del contagio.

Attualmente vengono svolte una media di 2'400 analisi

annuali (Peduzzi & Gaia, 2017), con preponderanza di quelle effettuate su materiale di provenienza ambientale (Inquadrato 4). Per quanto concerne le acque analizzate possiamo evidenziare che più di un quarto dei campioni contiene *Legionella spp.*; questo anche per prelievi provenienti da zone dove ufficialmente non vengono dichiarati casi di legionellosi.

Vie di trasmissione

La malattia del legionario si trasmette per inalazione di goccioline d’acqua contaminate provenienti da sistemi idrici come docce, piscine, vasche da idromassaggio, sistemi di raffreddamento e di trattamento dell’aria come le torri di raffreddamento, gli umidificatori e i nebulizzatori (Fig. 2). Nell’ambiente esistono però anche altri serbatoi per le Legionelle che potrebbero pure costituire delle fonti importanti per la trasmissione della malattia. Il CNRL ha dedicato negli scorsi anni diversi studi alla ricerca di queste fonti alternative, come per esempio i terricci da giardino, le stazioni di compostaggio e più recentemente i tombini.

Evoluzione dei casi di legionellosi

La legionellosi è una forma di polmonite che colpisce soprattutto gli anziani e i soggetti immunocompromessi. Essendo una malattia infettiva a dichiarazione obbligatoria le informazioni relative ai casi di legionellosi vengono raccolte ed elaborate settimanalmente dall’Ufficio federale di sanità pubblica (UFSP). Se consideriamo il numero annuale dei casi di legionellosi in Svizzera possiamo evidenziare una progressione costante. Secondo i dati pubblicati dall’UFSP in cifre assolute siamo passati da 210 casi nel 2007 a 567 casi registrati nel 2018¹; per dare un’idea della progressio-



Figura 2: Nebulizzatori in luogo pubblico.

ne, negli anni 1994-1995 i casi registrati erano 50. Nel corso degli ultimi 10 anni l’incidenza della legionellosi in Svizzera è più che raddoppiata passando da 2.67 casi per 100’000 abitanti nel 2009 a 6.65 casi per 100’000 abitanti nel 2018. Nel grafico (Fig. 3) vengono riportati anno per anno il numero dei casi di legionellosi dichiarati in Svizzera dal 2007 al 2018.

La malattia non è presente in modo uniforme sul territorio nazionale e il Ticino con 58 casi e un’incidenza di 16.37 casi/100’000 abitanti nel 2017 si situa ben al di sopra della media nazionale (nel 2007 l’incidenza era di 10.65 casi/100’000 abitanti). In particolare, a partire dal 2015 il numero di casi in Ticino è aumentato in modo significativo rispetto agli anni precedenti, con un numero totale di casi quasi raddoppiato rispetto al 2014. Questa importante differenza può essere spiegata grazie all’ottimo lavoro diagnostico svolto da medici e ospedali presenti sul territorio ticinese. In Ticino infatti una buona parte delle polmoniti di origine comunitaria sono sottoposte ad uno screening per la *Legionella* mediante un test di rilevamento dell’antigene nelle urine. Inoltre, secondo degli studi eseguiti negli scorsi anni presso il CNRL, le caratteristiche meteorologiche della nostra regione, con valori particolarmente elevati di umidità e temperatura sembrano favorire in modo importante lo sviluppo delle legionelle nell’ambiente idrico e quindi la diffusione di questa malattia.

1. https://www.bag.admin.ch/bag/it/home/zahlen-und-statistiken/zahlen-und-infektionskrankheiten.exturl.html/aHR0cDovL3d3dy5iYWctYW53LmFkbWluLmNoLzlwMTZfbWVsZG/VzeXNOZW11L2luZnJlcG9ydGluZy9kYXRlbnRldGFpbHMvaS9s/ZWdpb251bGxhLmh0bWw_d2ViZ3JhYj1pZ25vcmU=.html

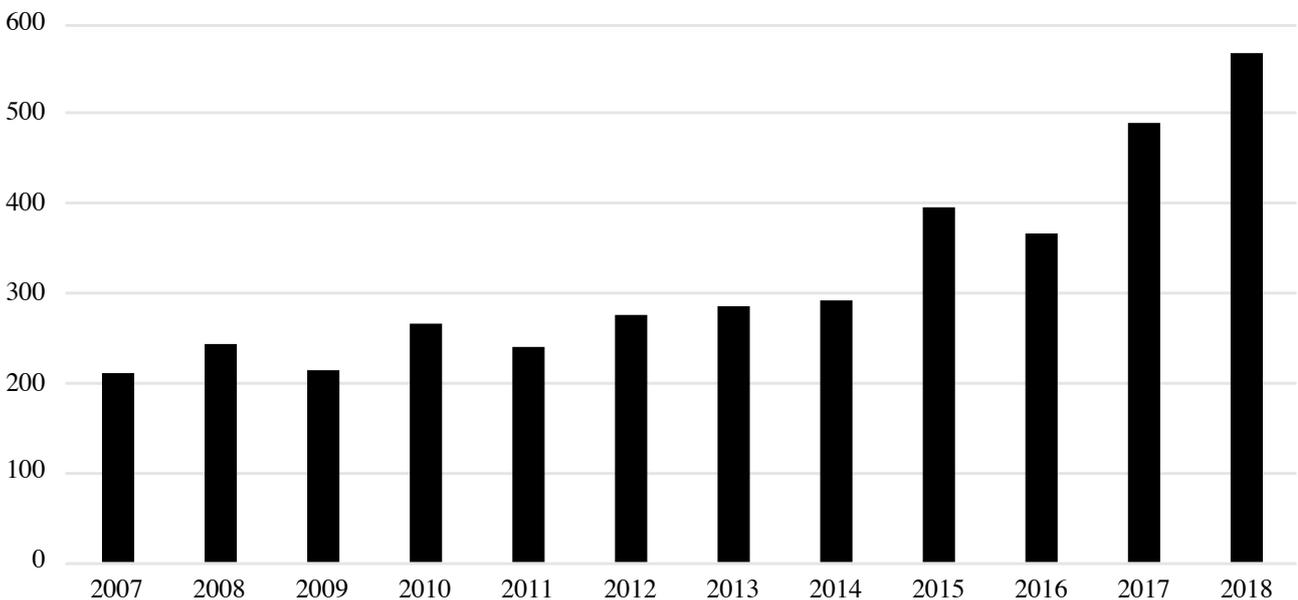


Figura 3: Numero annuo di casi di legionellosi dichiarati in Svizzera dal 2007 al 2018.

Ripartizione dei casi per classi d'età, sesso e andamento stagionale

Sulla base dei dati prodotti a livello nazionale dall'UFSP risulta che il maggior numero di casi dichiarati concerne la fascia d'età che va dai 51 ai 79 anni con un “picco” di numero di casi nella decina dai 60 ai 69 anni.

Inoltre si può evidenziare che i pazienti di sesso maschile sono più esposti. Il rapporto uomo: donna è di 3 a 1.

Secondo i casi settimanali di legionellosi registrati in Svizzera si può evidenziare un andamento stagionale influenzato dalla messa in funzione dei condizionatori d'aria.

Legionellosi malattia professionale

Nel recente Congresso del giugno 2018 “Mendrisio Medical Meeting (MMM)”, la Lega polmonare ticinese ha animato un simposio sulle malattie respiratorie occupazionali. Per quanto inerente il rischio infettivo abbiamo incentrato il discorso sulla legionellosi malattia professionale che costituisce un aspetto abbastanza recente del quale la medicina del lavoro deve tener conto. Infatti, la crescente importanza attribuita alla legionellosi come malattia professionale richiede un'indagine sull'ambiente di lavoro dove vengono prodotti degli aerosol. A livello svizzero dal 2000 - 2017 sono stati repertoriati 61 casi professionali, con una media che oscilla da 2 a 8 casi annuali.² Bisogna sottolineare la difficoltà di stabilire una correlazione: causa - effetto e probabilmente il numero costituisce una sottostima, proprio legata alla difficoltà di stabilire questo nesso. Nel formulario di dichiarazione obbligatoria della legionellosi la prima domanda posta concerne il luogo di lavoro, in quanto si riscontrano situazioni a rischio soprattutto legate ad ecosistemi artificiali creati recentemente. In questi casi la legionellosi rientra pienamente nella definizione della malattia professionale: come affezione che non ci sarebbe in assenza di un'esposizione legata al luogo di lavoro dove vengono prodotti degli aerosol.

La contaminazione da *Legionella* avviene anche in professioni e situazioni inattese e coinvolge professioni svolte in ambienti che a prima vista non presentano un nesso logico di rischio, come ad esempio:

- addetti alle reti telefoniche che avevano lavorato in tombini dove stagnava un'acqua contaminata da *Legionella*
- giardinieri contaminati dall'acqua di un tubo per l'innaffiamento che era rimasto esposto al sole
- personale addetti alla gestione di torri aerorefrigeranti dove la concentrazione di *Legionella* nell'acqua erano elevate
- dentisti e operatori sanitari che evolvono in ambienti dove si producono degli aerosol con acque contaminate da *Legionella*

Bisogna pure sottolineare il pericolo costituito dalla

produzione di aerosol per ottenere un raffrescamento in luoghi pubblici. In questi casi si pensi anche ai camerieri che risultano esposti per ore a questi aerosol.

Il concetto di legionellosi malattia professionale è certamente acquisito a tutti gli effetti e quindi riconosciuto anche a livello legislativo.

La produzione scientifica del CNRL consta di 60 titoli bibliografici e comprende: articoli apparsi su Riviste scientifiche, professionali e divulgative, e 26 Contributi scientifici sottoforma di conferenze, seminari e presentazioni a congressi svolti a livello nazionale ed europeo.

LABORATORIO DI ECOLOGIA MICROBICA (LEM)

Le linee di indagine sviluppate in Istituto tramite il LEM, hanno alimentato un'attività analitica di diagnosi costantemente aggiornata ed hanno permesso l'acquisizione di numerosi diplomi e dottorati da parte di studenti iscritti all'Università di Ginevra e in diverse Università svizzere e straniere (per esempio Università di Milano, Varese e Parigi). Infatti, in questi anni l'Istituto ha ottenuto un'autonomia universitaria proprio tramite il concetto dell'Università “extra muros” dell'Università di Ginevra; in particolare con il Laboratorio d'ecologia microbica beneficia della facoltà di portare fino alla difesa della tesi (soutenance) i diversi candidati al dottorato senza passare da altri responsabili universitari che svolgono la loro attività all'interno dell'Accademia. Rette da diverse convenzioni tra lo Stato del Canton Ticino, l'Istituto cantonale di microbiologia e la Facoltà delle scienze dell'Università di Ginevra il LEM ha permesso la ripresa con successo del Certificato di specializzazione in microbiologia e l'inizio della Scuola dottorale in microbiologia. Inoltre, ha assicurato la coordinazione della microbiologia generale a Ginevra durante 10 anni, in quanto la posizione del professore ordinario non era più stata ricondotta.

Dal profilo tecnico questi anni sono stati caratterizzati dal passaggio da metodi analitici basati su criteri fenotipici, morfologici e biochimici agli approcci molecolari utilizzati per la messa in evidenza degli agenti infettivi, in particolare basati sull'amplificazione del DNA come ad esempio la PCR (polymerase chain reaction) e la FISH (fluorescence in situ hybridization), ecc. (Peduzzi *et al.*, 2006). Inoltre, abbiamo assistito alla ripresa d'attualità delle malattie infettive con l'apparizione di “nuove” patologie come la legionellosi, l'AIDS, la SARS, l'influenza aviaria (H₅N₁). L'OMS stima che nell'ultimo ventennio sono apparse 30 nuove patologie infettive, compresa l'apparizione di germi particolarmente virulenti e particolarmente resistenti alla terapia antibiotica e l'insorgenza di batteri patogeni di cui si ignorava l'esistenza come la *Legionella*. Mi sembra di poter affermare che anche in questa rapida evoluzione l'Istituto cantonale di microbiologia abbia saputo tenere il passo anche tramite il LEM.

In particolare la resistenza batterica agli antibiotici è sempre stata una delle nostre maggiori preoccupazioni e costituisce un'importante linea d'indagine. Già nel

2. R. Peduzzi, “Rischio infettivo: legionellosi, aspergilloma e carbonchio”, Simposio dedicato alle malattie respiratorie occupazionali, Mendrisio Medical Meeting e Lega polmonare ticinese, 6 giugno 2018.

1980 pubblicavamo nella Rivista medica della Svizzera italiana una rassegna delle principali tematiche connesse con questo problema (Peduzzi, 1980). Ricerche regolarmente portate avanti in questi decenni, tra le quali possiamo menzionare la partecipazione al “Programma nazionale di ricerca 49, Antibiotic Resistance” del Fondo nazionale.

Per combattere i batteri multi-resistenti abbiamo pure verificato la possibilità dell'utilizzo dei batteriofagi. Virus che parassitano i batteri di cui provocano la lisi. Batteriofagi che ritornato d'attualità di fronte all'enorme e preoccupante problema della resistenza batterica agli antibiotici.

Partendo da batteriofagi isolati dalle acque del fiume Cassarate ci è pure stato possibile constatare l'efficacia del loro impiego riuscendo la sterilizzazione di un focolaio infettivo nell'uomo (raggiungibile mediante istillazione di una sospensione virale). Questo trattamento con i batteriofagi ha permesso di risolvere un'infezione ribelle da *Pseudomonas aeruginosa* dopo una serie di antibiotico-terapie somministrata con esito negativo (Piffaretti *et al.*, 1984).

Sempre nell'ottica di una “riscoperta” dell'utilizzo dei batteriofagi abbiamo testato il loro impiego nell'ambiente idrico per abbassare i tassi batterici. I risultati su scala sperimentale si riferiscono all'utilizzazione di batteriofagi anti *Aeromonas* ed un progetto di ricerca in corso preconizza l'utilizzazione dei batteriofagi per abbassare il tasso di batteri del genere *Legionella* nei circuiti idrici.

Questi lavori d'indagine hanno fornito la possibilità di rivisitare in termini moderni (Fig. 4) la scoperta di D'Herelle che risale agli anni '20 del '900 (D'Herelle, 1921). Le applicazioni pratiche dimostrano il potenziale terapeutico e biotecnologico dei batteriofagi (Demarta *et al.*, 2015).

Anche dal profilo finanziario il “label” accademico ha permesso di effettuare numerose perizie sanitarie e ambientali. Ad esempio in Piora l'École doctorale in microbiologia ha ottenuto anche il riconoscimento ed un finanziamento parziale dall'Ambasciata francese di Berna in quanto era in atto la collaborazione scientifica con il Museo nazionale di scienze naturali di Parigi. Per i diversi dottorandi, diplomandi ed anche per i primi impieghi post-dottorato abbiamo sempre trovato i relativi finanziamenti come ad esempio: il Fondo nazionale di ricerca, la Lega polmonare ticinese, la Fondazione Crivelli, il Fondo Riva, la Commissione internazionale per la protezione delle acque comuni italo-svizzere (CIPAIS), ecc.

CONCLUSIONI

L'Università “extra muros” ha costituito una simbiosi collaborativa tra l'Università di Ginevra e l'Istituto cantonale di microbiologia che ha permesso l'ottenimento di oltre 30 titoli accademici basati sul lavoro sperimentale effettuato in Ticino, la creazione del CBA di Piora, l'istituzione del Centro di referenza per la *Legionella* e del Laboratorio di ecologia microbica. La salvaguardia del “label” accademico e l'incentivo dell'aspetto uni-

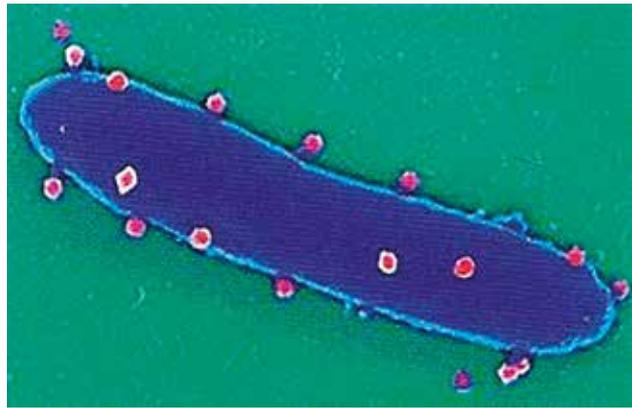


Figura 4: Batteriofagi (in rosso) che attaccano una cellula di *Pseudomonas aeruginosa* (in blu) (foto: Robert-Koch-Institut).

versitario presso l'Istituto cantonale di microbiologia vede una prosecuzione nell'attuale Laboratorio di microbiologia applicata della SUPSI.

Considerata la grande attualità di cui gode attualmente la *Legionella* ci siamo soffermati in modo particolare sulla sua biologia e sui lavori intrapresi. Pensiamo inoltre di aver dato un'idea della tendenza evolutiva della legionellosi e della pertinenza, dell'utilità e della necessità di un Centro di referenza a livello nazionale. In particolare la conoscenza dei bisogni e delle esigenze ecologiche del genere batterico *Legionella* permette di meglio lottare contro la proliferazione di questo germe a partire dal comparto ambientale. Infatti, la diagnosi di legionellosi deve in linea principio essere associata alla ricerca di *Legionella* nell'ambiente idrico, fonte principale dell'infezione, per permettere l'applicazione di misure tecniche atte ad eliminare il focolaio contaminante. Dato che i problemi legati alla gestione dell'acqua non sono mai risolti definitivamente, la dinamica della diffusione di un patogeno emergente come la *Legionella* deve essere approfondito in tutti i suoi aspetti: biologici, diagnostici, epidemiologici e idraulico-tecnici. Sempre con l'obiettivo di contenere la progressione dei casi di legionellosi.

BIBLIOGRAFIA

- Demarta A., Piffaretti J.C. & Peduzzi R. 2015. Renewal of interest in the utilization of bacteriophages. Atti del Congresso annuale della Società svizzera di microbiologia, Lugano, P031, 126.
- D'Herelle F. 1921. Le bactériophage son rôle dans l'immunité. Ed. Masson, Paris, pp. 252.
- Peduzzi R. & Caroni P. 1971. Le Centre d'écologie de Piora : une synthèse bibliographique, recueil du matériel pour la création d'un parc alpin et d'un laboratoire pour l'enseignement de l'écologie alpine (Avant-Projet), Università Ginevra, Centrale des photocopies, pp. 32.
- Peduzzi R. 1980. Rassegna delle principali tematiche connesse con il problema della resistenza batterica agli antibiotici. Rivista Medica della Svizzera Italiana, 45 (7): 278-291.
- Peduzzi R. 1993. Il nuovo Centro di Biologia Alpina di Piora. Memorie Società ticinese di Scienze naturali, 4: 25-31.
- Peduzzi R. 2003. Storia e bilancio del Centro di Biologia Alpina di Piora. Bollettino della Società ticinese di Scienze naturali, 91: 71-80.

- Peduzzi R., Tonolla M., Peduzzi S. & Demarta A. 2006. L'évolution de l'hydrobiologie microbienne dans le cadre de l'Université “extra-muros”. Archives des Sciences, 59: 99-106.
- Peduzzi R. 2007. 30 anni di microbiologia all'Istituto cantonale. L'evoluzione della microbiologia nel nostro microcosmo. Tribuna Medica Ticinese, 153-165.
- Peduzzi R. & Gaia V. 2017. I 20 anni del Centro Nazionale di Riferenza per la Legionella (CNRL) in Ticino. Centotreesimo Rapporto e Rendiconto, Lega polmonare ticinese, 30-39.
- Piffaretti J.C., Martinoni G. & Peduzzi R. 1984. Fagoterapia: trattamento di un'infezione auricolare ribelle da *Pseudomonas aeruginosa*, Tribuna Medica Ticinese, 48: 165-168.
- Rampazzi F., Tonolla M. & Peduzzi R. 2012. Biodiversità della Val Fiora. Risultati e prospettive delle “Giornate della biodiversità” (23-25 luglio 2010). Memoria della Società ticinese di scienze naturali e del Museo cantonale di storia naturale – vol. 11, pp. 280.
- Selosse M-A. 2017. Jamais seul. Ces microbes qui construisent les plantes, les animaux et les civilisations. Ed. Actes Sud, Paris, pp. 357.

La Grotta dell'Araba Fenice, Val Breggia, Monte Generoso

Francesco Bianchi-Demicheli, Nicola Oppizzi e Luigi Tantardini

Scienza e Grotte, Calferee, CH-6822 Arogno

francesco.bianchi-demicheli@bluewin.ch

Riassunto: Il Monte Generoso è un'area carsica dove sono attualmente conosciute (2019) 105 grotte, per un totale di circa 17.5 km di gallerie topografate. La massima concentrazione di cavità significative è ubicata nell'area della Val Breggia in territorio italiano, dove si sviluppano la *Nevera* e l'*Immacolata* le due più importanti cavità finora esplorate sul Monte Generoso. L'*Araba Fenice* è il tratto iniziale di un'importante grotta che drena le acque della Valle Squadrina in profondità verso il reticolo carsico profondo molto esteso e sviluppato esistente in quest'area. L'*Araba Fenice* rappresenta verosimilmente un affluente del *Complesso Nevera-Immacolata-Ades* tributario delle principali sorgenti del Generoso ubicate in territorio svizzero (da Nord a Sud: Cà del Ferec, Sorgente Bossi, Sorgente Sovaglia, Sorgente del Castelletto, Sorgenti di Melano, Sorgenti di Val del Molino, Sorgenti del Paolaccio).

Parole chiave: grotte, carsismo, speleogenesi, sedimenti, sorgenti

The Araba Fenice Cave, Val Breggia, Monte Generoso

Abstract: The Monte Generoso is a carstic area where more than 105 caves are currently known (2019). These caves amount to a total of almost 17.5 km of mapped galleries. The highest concentration of significant caves is situated in the Val Breggia area, in Italian territory, where are also located *Nevera* and *Immacolata* the two major explored caves of Monte Generoso. *Araba Fenice* represents the first part of a major cave which drains water of Squadrina valley to the deep extended and developed underground network of this area. *Araba Fenice* likely is tributary of *Nevera-Immacolata-Ades System* which carries water to main sources of Monte Generoso located in swiss territory (from North to South: Cà del Ferec, Bossi spring, Sovaglia spring, Castelletto spring, Melano spring, Val del Molino springs, Paolaccio springs).

Key words: cave, karst phenomena, speleogenesis, sediments, springs

MG 83 ARABA FENICE

Altitudine: 1080 m s.m.
Provincia: Como
Comune: San Fedele
Località: Erbonne
Sviluppo: 180 m
Profondità: -48 m

INTRODUZIONE

La regione del Monte Generoso è una rilevante area carsica con un notevole patrimonio speleologico comprendente attualmente (2019) 105 grotte (115 entrate) scoperte, repertorate e topografate, per un totale di circa 17.5 km di gallerie. Le 2 più estese e profonde grotte finora esplorate sono i sistemi *Immacolata* (sviluppo 4.288 km per una profondità di 384 m) e *Nevera* (sviluppo oltre 2.350 km per una profondità di 330 m) (Bianchi-Demicheli, 1991; Bianchi-Demicheli & Oppizzi, 2006). La superficie totale del massiccio del Generoso è di circa 45 km² (Oppizzi & Bianchi-Demicheli, 2011). Lo sviluppo medio delle grotte del Generoso è di 167 m e la densità è di 2.3 grotte/km².

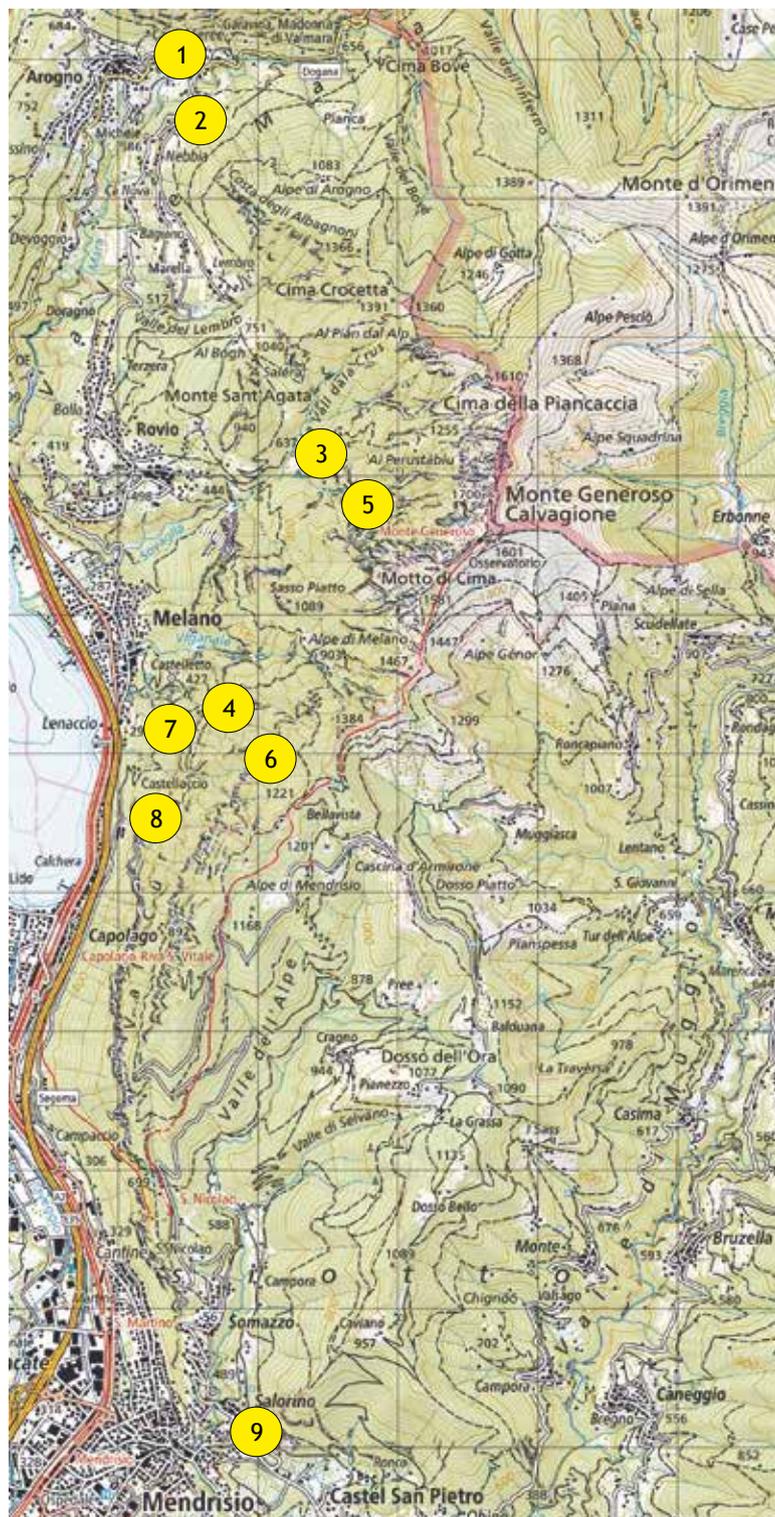
GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA

L'area è caratterizzata da una potente serie di rocce carbonatiche mesozoiche (dolomie e calcari) depostesi in ambiente marino al di sopra delle vulcaniti di età permiana e parzialmente ricoperte da depositi quaternari di origine glaciale e fluvio-glaciale (Bernoulli, 1964; Bernoulli *et al.*, 1976).

Il Monte Generoso è costituito prevalentemente da calcari selciferi grigi (Calcarea di Moltrasio) risalenti al Lias (Giurassio inferiore), ben stratificati, aventi un'importante componente silicea di origine organica, dovuta alla presenza di spicole di spugne.

La selce è molto abbondante, dal 10 al 50% circa sul totale, con valori medi del 30-35% e può presentarsi stratificata o concentrata a formare noduli di origine diagenetica, evidenziati nelle porzioni affioranti per corrosione differenziale (Bini & Cappa, 1974; Cavalli & Bianchi-Demicheli, 1982). Essa condiziona significativamente lo sviluppo dell'endocarso.

Questa unità calcarea ha uno spessore variabile tra 3000-4000 m e compone essenzialmente il blocco del Monte Generoso e al suo interno si sviluppano i fenomeni carsici (Bernoulli, 1964). La tettonica del Generoso è molto complessa per una serie di strutture sin-



LE PRINCIPALI SORGENTI CARSICHE:

- 1 CÀ DEL FEREE 605. m s.m (AROGNO)
- 2 BOSSI 590. m s.m (AROGNO)
- 3 SOVAGLIA 680. m s.m (ROVIO)
- 4 CASTELLETTO 530. m s.m (MELANO)
- 5 CORTE DI GENOVA 805. m s.m (ROVIO)
- 6 CHIAVE DEL GENEROSO 920. m s.m (MELANO)
- 7 CRIBIETTA 400. m s.m. (MELANO)
- 8 BUDRI 450. m s.m.(V.MOLINO, CAPOLAGO)
- 9 PAOLACCIO 410. m s.m.(MENDRISIO)

SORGENTI 3 e 4 (SEMI - ATTIVE), 5 e 6 (FOSSILI)

Figura 1: Sorgenti principali del Monte Generoso con le quote.

sedimentarie e alpine come pure per la presenza di un complesso sistema di fratture e faglie. Il grado di fratturazione, risultato dalle spinte tettoniche, è particolarmente variato (Ufficio geologico cantonale, 1989).

Le strutture geologiche come fratture, piani di stratificazione e la litologia giocano un ruolo fondamentale nello sviluppo dell'endocarso (Bianchi-Demicheli & Oppizzi, 1995; Oppizzi & Bianchi-Demicheli, 2011).

L'acquifero del Monte Generoso è drenato da potenti sorgenti carsiche situate a quote diverse (da Nord a Sud: Cà del Feree, Sorgente Bossi, Sorgente Sovaglia, Sorgente del Castelletto, Sorgenti di Melano, Sorgenti di Val del Molino, Sorgenti del Paolaccio, Fig. 1), che

rappresentano gli esutori delle acque di sistemi carsici molto sviluppati e complessi interconnessi fra di loro (Ufficio geologico cantonale, 1989; Bianchi-Demicheli & Oppizzi, 2006; Pera & Bronzini, 2013). All'interno del perimetro del massiccio carsico le valli principali sono rappresentate dalla Valle di Muggio e Valle Breggia, con direzione N-S, dalla Valle della Crotta, Val Sovaglia e Val Mara, orientate approssimativamente E-W, e dalla Valle dell'Alpe, con direzione NE-SW.

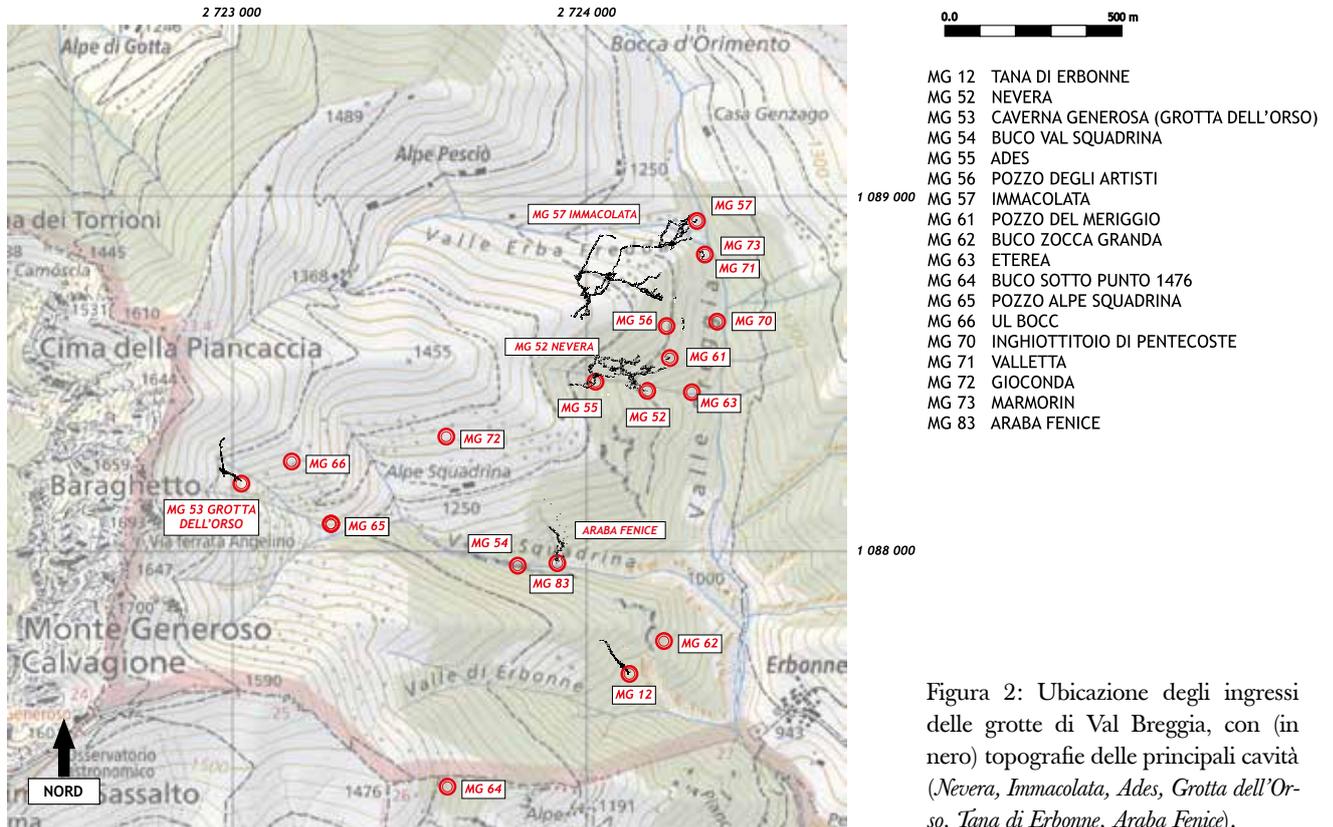


Figura 2: Ubicazione degli ingressi delle grotte di Val Breggia, con (in nero) topografie delle principali cavità (*Nevera*, *Immacolata*, *Ades*, *Grotta dell'Orso*, *Tana di Erbonne*, *Araba Fenice*).

LE GROTTA DELLA VAL BREGGIA

La massima concentrazione di cavità significative finora esplorate sul Monte Generoso è ubicata nel settore orientale del massiccio, alla destra idrografica della Valle di Muggio, nell'area della Val Breggia in territorio italiano (Fig. 2, Bianchi-Demicheli, 1991a; Oppizzi & Bianchi-Demicheli, 2011). Due di esse (*Nevera* e *Immacolata*) hanno uno sviluppo verticale e planimetrico importante e rappresentano vie di drenaggio preferenziale delle acque sotterranee (Bianchi-Demicheli, 1991b; Bianchi-Demicheli & Oppizzi, 2006). Le due grotte intersecano in profondità la rete freatica fossile, parzialmente riattivata in condizioni vadose, sviluppata intorno alle quote 800-950 m slm.

La superficie approssimativa della zona è di 2.93 km²; il numero totale ingressi conosciuti è di 20; lo sviluppo totale dell'insieme delle gallerie sotterranee finora conosciuto è di 7808 m. La densità d'ingressi è 6.8 ingressi/km² e la densità delle gallerie si calcola a 2.67 km gallerie/km² (Oppizzi & Bianchi-Demicheli, 2011).

ARABA FENICE: STORIA DELLE ESPLORAZIONI

La grotta fu scoperta da Francesco Bianchi-Demicheli nella primavera del 1995 durante una prospezione (Bianchi-Demicheli & Oppizzi, 2006). Un filo d'aria fuoriusciva da un anfratto poco sopra il fondo della valle. Uno scavo effettuato nel 1995 da Francesco Bianchi-Demicheli e Sergio Vorpe permise di penetrare in uno stretto e basso cunicolo discendente, che dopo qualche metro terminava ostruito. Una nuova serie di scavi permise di oltrepassare l'ostacolo e di accedere

a un'ampia galleria discendente che purtroppo terminava in una zona di grossi strati di calcare collassati e cementati da sedimenti argillosi. Nel settembre 2005 un difficile lavoro di disostruzione consentì a Luigi Tantardini, Pino Beati, Riccardo Pontiggia, Nicola Oppizzi e Francesco Bianchi-Demicheli di trovare la prosecuzione.

Il nome attribuito a questa importante cavità rimanda al mito dell'Araba Fenice che la storia di questa grotta secondo gli scopritori sembra rappresentare.

La Fenice viveva in prossimità di una sorgente d'acqua fresca all'interno di una piccola oasi nel deserto, un luogo appartato, nascosto e introvabile, citando il ben noto adagio di Metastasio ("Demetrio", atto II, scena III): "Come l'Araba Fenice, che vi sia ciascun lo dice, dove sia nessun lo sa". Al giorno d'oggi sussiste l'espressione "essere una Fenice", ovvero qualcosa di ineguagliabile, introvabile, un esemplare unico.

Con la denominazione di *Araba Fenice* si è voluto attribuire a questa grotta un valore simbolico di grotta mitica, fantastica, nascosta e misteriosa che rappresenta l'eterna rinascita della scoperta attraverso la ricerca.

DESCRIZIONE DELLA GROTTA

Poco sopra il fondovalle della Valle Squadrina, in una zona di difficile reperimento si apre, celato, l'imbocco discreto della grotta (Fig. 3, Fig. 4, Bianchi-Demicheli & Oppizzi, 2006).

Un basso cunicolo discendente porta ad una bassa cameretta dal pavimento ricoperto di sedimenti, essenzialmente terra e blocchi di calcare concrezionati.

Sul fondo un angusto passaggio continua in un cunicolo fortemente discendente che dopo qualche metro

Grotta Araba Fenice - MG 83

Coordinate: 2°7'23'920/1°87'950
Altitudine 1080 m s.m.
Comune S.Fedele
Sviluppo ca. 180.m, profondità -48.m

Topografia: F.Bianchi-Demicheli, N.Oppizzi, L.Tantardini (2005)
Disostruzione, Rilievo e pubblicazione: Scienza e Grotte - 6822 Arogno

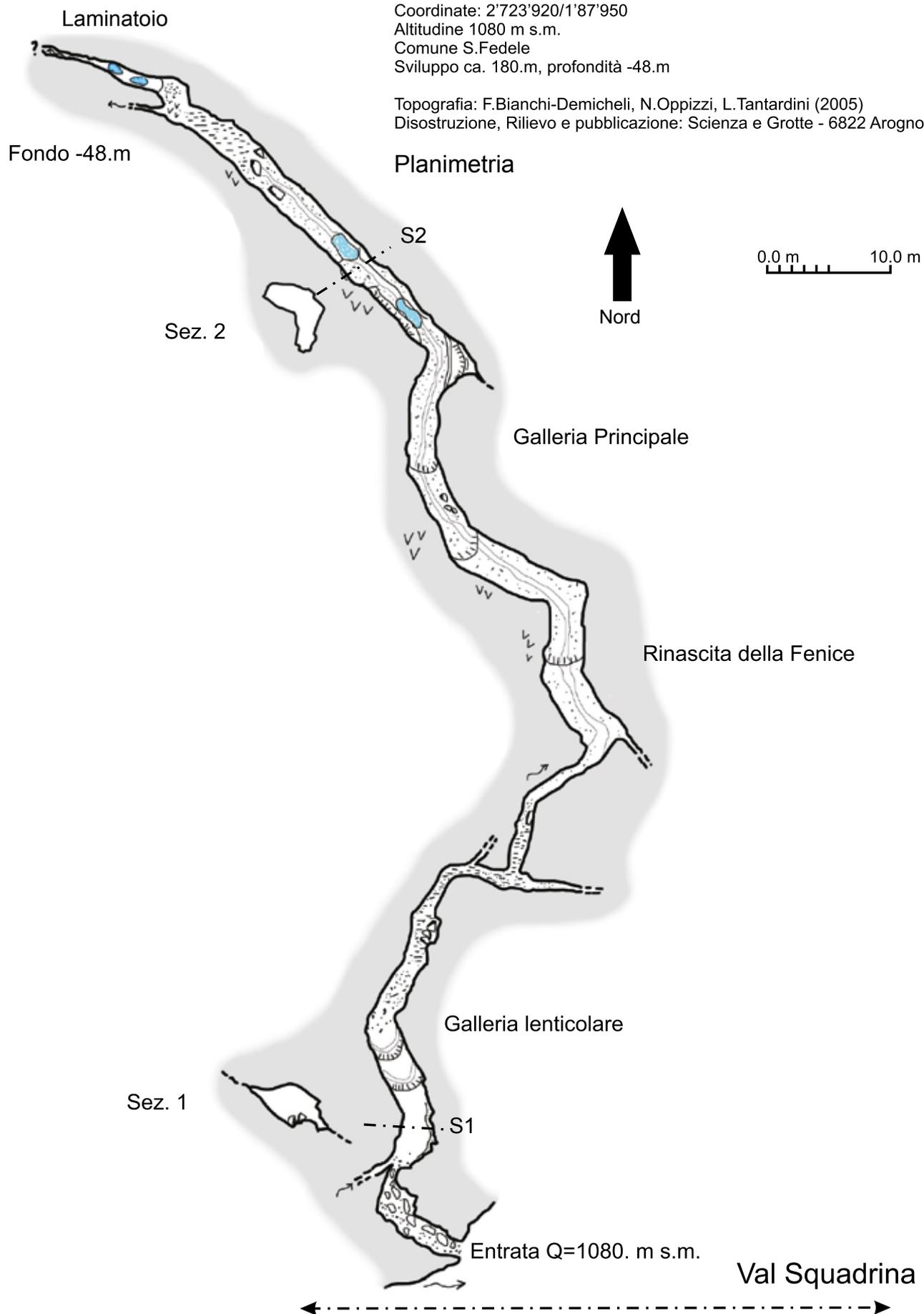


Figura 3: Topografia *Araba Fenice*: pianta.

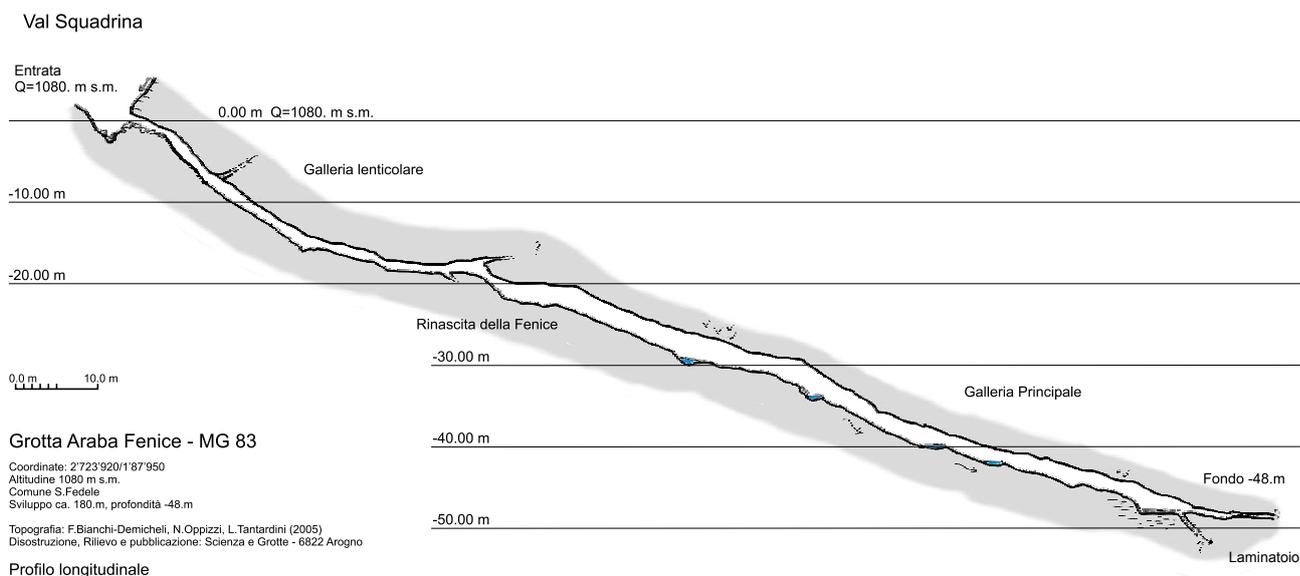


Figura 4: Topografia *Araba Fenice*: profilo.

si allarga in una ampia galleria lenticolare larga quasi 3 metri con direzione 30° e con il fondo ricco di vasche, marmitte e pozze d'acqua e altri segni di una forte attività erosiva attuale (Fig. 5a). La galleria dopo qualche metro riceve uno stretto affluente da Ovest e prosegue con una forte pendenza in direzione Nord/Nord-Est. Questa galleria, temporaneamente attiva, si trova già a una quota più profonda del fondovalle e drena, via l'affluente, le acque che percorrono in periodi di precipitazioni la Val Squadrina per convogliarle nell'endocarso. La galleria principale prosegue ampia per una ventina di metri per poi stringersi in un cunicolo orizzontale con il pavimento ricoperto da clasti e sedimenti argillosi. Ancora un passaggio stretto e la grotta si riaperta di nuovo in una bassa condotta con il fondo ricco di marmitte d'erosione e sedimenti di limo dilavati, fino a una cameretta. La parete di destra presenta un importante deposito di sedimenti stratificati, erosi e dilavati dallo scorrimento ciclico dell'acqua. In fondo alla cameretta un filo d'acqua si perde in un laminatoio strettissimo e impercorribile. Poco sopra il fondo, un passaggio stretto e fangoso permette di accedere a una saletta obliqua anch'essa ricoperta da limo e argilla.

Qui la grotta terminava in un grande crollo concrezionato e intasato di argilla che lasciava pochissime speranze di trovare una prosecuzione. Uno scavo molto arduo ha tuttavia permesso di creare uno stretto passaggio che porta a un cunicolo orizzontale con palta e ghiaia, dove la grotta sorprendentemente "rinascie". Dopo qualche metro, infatti, il cunicolo riceve un affluente e si allarga in una magnifica galleria (Galleria principale) che scende con forte pendenza verso Nord, percorsa da un ruscello sotterraneo. La morfologia e le dimensioni della galleria sono variabili e in certi punti la sezione raggiunge 3×2 metri. Si tratta di una condotta a pressione, con approfondimento vadoso, testimonianze dell'esistenza, in passato, di antichi e cospicui flussi idrici (Fig. 5b).

La grotta sfoggia, in questa parte, caratteristiche estetiche e ambientali di suggestiva e selvaggia bellezza. Le caratteristiche, le morfologie e le dimensioni della

galleria ricordano gli ambienti delle più importanti e notevoli cavità della zona.

In taluni tratti, dove l'andamento si fa sub-orizzontale, si trovano accumuli di ghiaia e sedimenti argillosi. La galleria è ben concrezionata con tratti stalattiti, stalagmiti, spaghetti, piccole eccentriche e una bella colonna (Fig. 5b-d).

Dopo una sessantina di metri di progressione palpitante la volta si abbassa inesorabile e la galleria si trasforma in un basso condotto quasi obliterato da ghiaia e argilla. Oltre, la galleria si restringe ancora a causa del collasso totale del soffitto. L'acqua si perde sul fondo in una fessura intransitabile. Sopra, fra lo strato collassato e il soffitto, si riesce ancora a strisciare in una strettissima estremità, lunga una decina di metri, semiallagata e molto pericolosa da percorrere, che ha una direzione 310° . Il passaggio è strettissimo e il problema principale è rappresentato dalle pozze d'acqua che costringono a svuotare il torace e a procedere in più punti con la faccia immersa e con una narice del naso fuori dall'acqua. In fondo, a sorpresa, il laminatoio si riaperta in una cameretta di origine erosiva, con la forma di una grande marmitta che sembra ridare respiro alla grotta. Purtroppo, l'illusione dura poco. La grotta termina poco dopo in una stretta zona franata e in un laminatoio strettissimo, alto qualche cm, dove la prosecuzione è impossibile e percorso da una sensibile corrente d'aria. Prima della strettissima, in una fessura strettissima, si intravede e si ode distintamente l'acqua scorrere e precipitare in un androne oscuro ancora inesplorato.

NOTE CARSOLOGICHE

L'*Araba Fenice* costituisce un importante inghiottitoio temporaneamente attivo della Val Squadrina. L'acqua s'infiltra in una perdita localizzata nel letto del torrente, che percorre in periodi di precipitazioni la valle, penetrando nella grotta attraverso lo stretto affluente della galleria lenticolare. Le gallerie hanno morfologie a pressione e vadoso e seguono generalmente la dire-



Figura 5a-e: Immagini scattate all'interno della grotta dell'Araba Fenice: a) Galleria lenticolare a una decina di metri dall'ingresso. Si possono notare i fenomeni erosivi e l'assenza di sedimenti. b) Galleria principale. Si osserva il profilo a "T" con una condotta forzata che sovrasta una parte vadosa più stretta. A sinistra un davanzale, dove culmina una colonna, formatosi da una colata di calcite che ricopriva sedimenti che sono stati erosi lasciando la colata sospesa. c) Stalattiti (Galleria principale, -30 m). d) Notevole concrezione a spaghetto con parte apicale allargata. Si può vedere una goccia d'acqua nella parte apicale. L'acqua, goccia dopo goccia, deposita il carbonato di calcio che fa crescere la concrezione. e) Deposito di sedimenti limo-argillosi stratificati, alternanti argilla limosa e frazioni più grossolane.



zione e la pendenza degli strati (Maire, 1980; Jeannin, 1990).

Le morfologie osservabili e i volumi di vuoto creatisi mostrano come il regime idrico che le ha scavate fosse costituito da cospicue portate, ben maggiori di quelle attuali. Le dimensioni delle gallerie sono infatti sovradimensionate rispetto alle portate del torrente attuale e non sono in equilibrio con la topografia esterna attuale. Queste osservazioni mostrano, come indubbiamente l'*Araba Fenice*, insieme ad altre cavità della zona (per esempio *Nevera* e *Immacolata*), faccia parte di un sistema carsico molto antico con un'evoluzione complessa e tutt'ora in atto, in stretta relazione con il sistema superficie, e in rapporto quindi all'evoluzione geografica, geologica e climatologica del territorio (Bini, 1999).

Nella prima parte la grotta presenta importanti fenomeni di incasione con lastre ricoperte da limo e sedimenti argillosi. Il concrezionamento in questa parte è molto limitato. Nella galleria lenticolare giacciono sul pavimento grossi blocchi di concrezione degradati ed erosi dall'acqua.

Va rilevato che la genesi delle grotte della zona, come per esempio la *Nevera*, non siano da attribuirsi, almeno in parte, a carsismo classico (Bini, 1999). Si parla in questo caso di pseudo-endocarso, riferendosi a una genesi non propriamente e specificamente chimica, ma per dissoluzione della frazione carbonatica della roccia e poi per asportazione del materiale (piping) delle rocce decalcificate che ne risultano (*fantômes de roche*) (Bini, 1999).

Un fenomeno che, una volta innescato, procede amplificandosi e ramificandosi con un'evoluzione tridimensionale. Questa matrice tridimensionale di zone di roccia fantomizzata risulta capitale per la pseudo-endocarsogenesi poiché costituisce un insieme di cavità prefigurate. In seguito, l'approfondimento delle valli, attiva una circolazione idrica nell'ammasso roccioso fantomizzato, con asportazione meccanica dei residui alterati e formazione all'interno del materiale alterato di cavità che si sviluppano per erosione regressiva a partire dal punto di uscita delle acque (Bini, 1999).

In diversi punti dell'*Araba Fenice* si trovano notevoli riempimenti alluvionali e di decantazione, depositi fini (sabbie fini, limo e argille), che testimoniano fasi di temporaneo allagamento. Poco sopra la strettoia, in fondo alla galleria lenticolare, si può osservare un deposito di sedimenti limo-argillosi chiaramente stratificati, alternanti argilla limosa e frazioni più grossolane e scure, e talora stratificate in relazione a differenti fasi di afflussi idrici (Fig. 5e). La frazione argillosa testimonia uno scorrimento lento e decantazione, con deposito di particelle fini. Le frazioni più grossolane traducono uno scorrimento più veloce con trasporto di sabbie grossolane, ghiaia e piccoli ciottoli. Queste diverse velocità potrebbero essere attribuibili a fasi di ripresa di flussi idrici, a variazioni della loro energia, a cambiamenti climatici esterni e a ostruzioni cicliche della grotta, con fasi di allagamento e svuotamento lento, come testimoniato da i diffusi "*dendritic surge markers*" descritti oltre nel testo.

Questo tipo di fenomeno è stato osservato e studiato nella vicina *Nevera* che presenta riempimenti alluvionali

e di decantazione distribuiti in tutta la cavità e che occupavano completamente, o quasi, le gallerie, i pozzi e le sale. Questi depositi sono in relazione sia con l'alterazione locale della roccia (*fantômes de roche*), sia con il colamento di alteriti dall'esterno. I versanti dove si aprono tutte le cavità della Val Breggia sono infatti ricoperti da un mantello di alteriti, derivanti dalla pedogenesi, di spessore variabile, talora molto importante (diversi metri) che sono colate (soliflusso e geliflusso) nelle cavità ostruendo completamente o parzialmente le grotte e i loro imbocchi. Anche se l'intera zona di Val Breggia non è stata interessata direttamente da glaciazioni plioquaternarie questi movimenti di alteriti si sarebbero verificati principalmente in periodi periglaciali per l'assenza di vegetazione arborea in periodi molto freddi (Bini, 1999). Queste colate di alteriti veicolate nelle grotte sono state, in certi casi, erose da scorrimenti di acqua che ha in parte o totalmente riscavato i sedimenti, riattivando un'attività idrica nella grotta. Nella parte più profonda l'*Araba Fenice* segue gli strati che si immergono verso Nord e presenta numerosi speleotemi.

La grande galleria terminale segue essenzialmente la fratturazione con una direzione media di 310°. La sua morfologia è caratterizzata da una condotta a pressione riempita anch'essa, in maniera disomogenea, da sedimenti alluvionali e di decantazione, spesso stratificati e di notevole spessore, occasionalmente concrezionati, in relazione ai cicli di attività idrica della grotta.

All'inizio della grande galleria terminale si trovano numerosi e diffusi "*dendritic surge markers*" che confermano come antichi depositi intasassero quasi completamente la galleria e intere sezioni della grotta, che quindi in certi periodi si allagava (Bini & Cappa, 1974, Bini & Cappa, 1974).

Sarebbe interessante effettuare uno studio sedimentologico dei depositi dell'*Araba Fenice* (analisi granulometriche, micro-morfologiche, geo-cronologiche e mineralogiche) e poter congiuntamente effettuare datazioni delle concrezioni che ricoprono i sedimenti per precisare l'età dei depositi e ricostruire la storia sedimentologica della grotta. I sedimenti endocarsici infatti sono considerati testimoni privilegiati dell'evoluzione geomorfologica di una regione, della carsogenesi e della speleogenesi di un acquifero carsico. La loro analisi permette oggi ricostruzioni paleoclimatiche ad alta risoluzione.

In una situazione analoga, nella grotta *Nevera* sono state effettuate delle datazioni di crostoni di concrezioni ricoprenti i sedimenti con il metodo U/Th. Le età radiometriche riscontrate si situano intorno ai 220-240.000 BP, quindi le sequenze sedimentarie sono più vecchie di queste concrezioni, che si sono formate all'epoca del Pleistocene medio.

La successione, la disposizione, la stratificazione e la tipologia dei sedimenti esistenti nell'*Araba Fenice*, testimoniano, anche qui, di una storia sedimentologica polifasica e disomogenea, caratterizzata da periodi di deposizione in ambiente lacustre e alluvionale alternati a periodi di forte erosione (Maire, 1980; Jeannin & al., 1990; Bini 1999).

Tutte le grotte dell'area della Val Breggia sono molto

antiche - la loro genesi precede le glaciazioni che non hanno peranco interessato direttamente questa zona - e avrebbero cominciato a formarsi, come i sistemi carsici più importanti della zona prealpina, quando la zona è emersa dal mare nel corso dell'Oligocene-Miocene Inferiore in un contesto paleogeografico molto diverso da quello attuale. Durante il Messiniano l'abbassamento importante del livello di base ha portato a una riorganizzazione profonda dei sistemi carsici che hanno in seguito continuato un'evoluzione dettata dalle importanti variazioni del livello di base, dal sollevamento tettonico e dalle condizioni climatiche (Bini, 1998).

Il sistema carsico della Val Breggia, a cui appartiene l'*Araba Fenice*, ha certamente quindi una genesi molto complessa in relazione ai fattori sopra descritti e sovrapporrebbe processi di pseudo-endocarsogenesi e di carsogenesi classica che interagirebbero fra di loro secondo modelli complessi e caotici nei quali una piccola variazione in una parte può indurre una variazione significativa in un'altra parte del sistema o del sistema intero (Bini, 1998; Bianchi-Demicheli & Oppizzi, 2006).

CLIMATOLOGIA

La grotta è percorsa da una sensibile, ma non forte, corrente d'aria.

L'andamento dell'aria è uscente in periodo estivo/caldo ed entrante in periodo invernale/freddo. Le temperature sono leggermente più elevate che nelle maggiori grotte della zona, tranne quelle della *Tana di Erbonne* (Tab. 1, Bianchi-Demicheli & Oppizzi, 1998; Bianchi-Demicheli & Oppizzi, 2006). Questa differenza di temperature è difficile da interpretare. Innanzitutto, la meteorologia delle grotte dell'area carsica del Generoso è stata finora soprattutto descritta, ma poco studiata. Certamente i flussi d'aria sono determinanti per le caratteristiche microclimatiche delle grotte e nell'area della Val Breggia esistono cavità percorse da forti correnti d'aria e altre dove l'aria sembra stagnante e gli scambi con l'esterno molto lenti (Bianchi-Demicheli & Oppizzi, 1998).

Nonostante la variabilità delle condizioni climatiche esterne, in generale l'aria sotterranea ha una temperatura pressoché costante. Nelle grotte non percorse da correnti d'aria, la temperatura della cavità corrisponde mediamente alla temperatura media esterna della zona considerata (Maire, 1980; Bianchi-Demicheli & Oppizzi, 1998).

Per quanto concerne le grotte ventilate, l'interpretazione è ben più problematica. La temperatura, l'igrome-

Tabella 1: Temperature rilevate all'imbocco il 27.6.1995.

MG	Grotta	Quota imbocco	temperatura °C	corrente d'aria
12	Tana di Erbonne	1060 m s.m.	8.5	appena percettibile
52	Nevera	1142 m s.m.	6.5	molto forte uscente
63	Eterea	1080 m s.m.	7.0	molto forte uscente
83	Araba Fenice	1080 m s.m.	7.8	leggera uscente

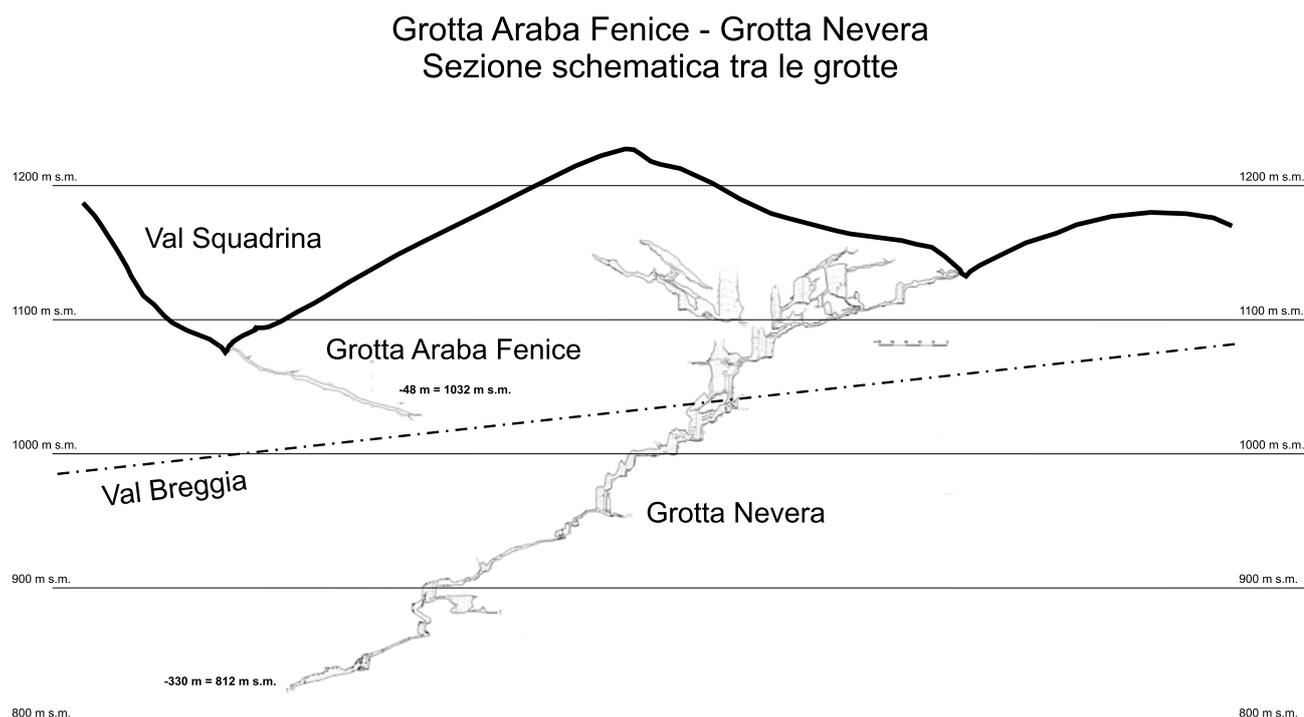


Figura 6: Sezione schematica delle grotte *Araba Fenice* e *Nevera* in rapporto al rilievo esterno.

tria, le portate dell'aria e il microclima in generale sono in relazione con il numero e l'altitudine degli imbocchi, l'andamento, la struttura della grotta, l'eventuale presenza di corsi d'acqua ipogei e con il "cavernamento" (Maire, 1980). Nella *Nevera* e nell'*Eterea* l'aria è molto forte e le temperature sono più basse, contrariamente alla *Tana di Erbonne* (praticamente stessa quota dell'*Eterea*), dove è la corrente d'aria è appena percettibile e la temperatura media è più elevata. Nell'*Araba Fenice*, che si trova quasi alla stessa quota della *Tana di Erbonne*, l'aria è sensibile, anche se mai forte, e la temperatura più bassa di quella della *Tana di Erbonne* (corrente d'aria appena percettibile), ma superiore a quelle della *Nevera* e dell'*Eterea* (corrente d'aria molto forte) (Tab. 1). La quota d'ingresso e la ventilazione potrebbero spiegare in parte queste differenze. Bisogna comunque rilevare che ci si trova di fronte a sistemi idrogeologici e strutturali estremamente complessi con baricentri termici diversi, flussi idrici variabili, e afflussi d'aria locali e diversi.

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

L'*Araba Fenice* è il tratto iniziale di un'importante grotta che drena le acque della Val Squadrina in profondità verso il reticolo carsico profondo, molto esteso e sviluppato, esistente in quest'area. La grotta sembra convogliare le acque verso Nord/Nord-Est in direzione di una piega sinclinale a Sud della *Nevera*, grotta che dista in linea d'aria solo 450 metri (Fig. 6). L'*Araba Fenice* rappresenta, verosimilmente, un'affluente del *Complesso Nevera-Immacolata-Ades* tributario delle principali sorgenti del Generoso ubicate in territorio svizzero.

La rete carsica attualmente conosciuta rappresenta, con elevata probabilità, solo una piccola porzione rispetto alla reale estensione del fenomeno ipogeo. Tutto il territorio da Lanzo a Casasco, Monte Crocione e Val Breggia deve contenere un'imponente complesso carsico che drena le acque verso le sorgenti svizzere e verso il lago di Lugano (Bini, 1999). Le prospettive speleologiche, quindi, di questa area carsica sembrano ancora molto notevoli.

RINGRAZIAMENTI

Un particolare ringraziamento vogliamo rivolgere a Pino Beati e Riccardo Pontiggia (Cavalieri dell'Ignoto), la cui strenua perseveranza, raro coraggio e grande entusiasmo hanno permesso di esplorare l'*Araba Fenice* come tante altre grotte del Monte Generoso.

BIBLIOGRAFIA

Bernoulli D. 1964. Zur Geologie des Monte Generoso-Beitr. geol. Karte Schweiz, NF 118.
 Bernoulli D., Govi M., Graeter P., Lehner P., Reinhard M. & Spicher A. 1976. Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000.
 Bianchi-Demicheli F. 1991a. Il carsismo dell'alta valle della Breggia. Actes du 9° Congrès national de la SSS. Charmey.

Bianchi-Demicheli F. 1991b. Il complesso carsico della Nevera e dell'Immacolata. Actes du 9° Congrès national de la SSS. Charmey.
 Bianchi-Demicheli F. & Oppizzi N. 1998. Ricerche sull'inquinamento atmosferico ipogeo di alcune grotte dell'area carsica del Monte Generoso Boll Soc tic sc nat, 86(2): 69-76.
 Bianchi-Demicheli F. & Oppizzi N. 2006. Grotte, sorgenti e abissi del Monte Generoso. Memorie della Società ticinese Scienze naturali 8, 110 pag.
 Bini A. & Cappa G. 1974. Appunti sull'evoluzione e distribuzione del carsismo nel territorio del Monte Generoso (Cantone Ticino) in rapporto al vicino territorio comasco. Actes du 5° Congrès national de spéléologie, Interlaken, Stalactite suppl. 9: 61-67.
 Bini A., Tognini P. & Zuccoli L. 1998. Rapport entre karst et glaciers durant les glaciations dans les vallées préalpines du Sud des Alpes. Karstologia 32: 7-26.
 Bini A. 1999. Rapporti tra evoluzione dei versanti e endocarso: studio dei sedimenti della Grotta La Nevera (2693 LoCo) sul Monte Generoso (Svizzera, Italia). Geologia Insubrica, 4(2): 76-61.
 Cavalli I. & Bianchi-Demicheli F. 1982. Il carsismo del selcifero lombardo del Monte Generoso-Stalactite, 32(2): 93-102.
 Jeannin P.Y., Urs Kloetzli U. & Lalou J.C. Karstologia mémoire, 1990. Remplissages karstiques. Actes du colloque 2. et paléoclimatiques Remplissages karstiques et paléoclimats. Fribourg.
 Maire R. 1980. Eléments de karstologie physique. Spelunca spécial n° 3, 56 p.
 Oppizzi N. & Bianchi-Demicheli F. 2011. Sviluppo dell'endocarso nell'area del Monte Generoso: conoscenze attuali e valutazioni teoriche. Bollettino della Società ticinese di Scienze naturali 99: 25-38.
 Prova di tracciamento Monte Generoso. Rapporto interno dell'Ist. Sci. Terra (SUPSI). Pera S. & Bronzini S. 2013.
 Monte Generoso. Rapporto. Studio multidisciplinare: geologia, tettonica e geofisica, carsismo, idrologia, idrogeologia, chimismo, isotopi e multitracciamento. Ufficio geologico cantonale. 1989. Bellinzona.

Uomini secolari

Un ricordo di Graziano Papa

Necrologio apparsa su La Regione il 26.3.2019

Si incontravano nelle sale del Museo cantonale di storia naturale, nel laboratorio o nelle aule didattiche, tra i cristalli straordinari della catena alpina, gli occhi vitrei degli animali esposti, i rettili fossili emersi dai sedimenti del Monte San Giorgio; li si raggiungeva percorrendo corridoi in penombra, la quiete di un luogo pubblico dopo l'orario di chiusura; parlava lui a un gruppo di teste canute, quasi tutte donne. Parlava quasi sempre solo lui. D'altronde era l'avvocato, il presidente, il braccio e la mente della Lega svizzera per la protezione della natura in Ticino (ora Pro Natura), e pure il garante della sua solidità finanziaria. Questo è il mio ricordo di allora, biologa, nemmeno trentenne, invitata a far parte di questo comitato all'inizio degli anni novanta. Ho conosciuto Graziano Papa osservandolo da una certa distanza: non dava confidenza, era un condottiero solitario, non aveva bisogno di noi, non ancora. Era un uomo che amava giocare sulla sorpresa. La fragilità apparente del fisico, un'immagine che forse coltivava anche un po', veniva smentita alla prima uscita: attaccava i rilievi con passo deciso, l'occhio vigile rivolto a terra a caccia di piante conosciute e non, teneva il passo e parlava, chiedeva, ascoltava, raccontava. E noi giovani si mascherava il fiatone. Non cessava di sorprendere nemmeno per le sue conoscenze botaniche e geologiche, una cultura da appassionato autodidatta che non ostentava, non ne aveva proprio bisogno, ma che impressionava sempre (per non parlare della sua cultura umanistica: un erudito come pochi). Aveva una voce un po' acuta, a tratti tremula, che sembrava confermare una certa fragilità, ma scandiva intenzionalmente le parole, le sceglieva con cura da un ricco vocabolario, con la sicurezza della competenza e dell'abitudine all'arringa. Anche nell'arte oratoria, dunque, sorprende: la vivacità del discorso, la dialettica, la capacità di parlare per ore; non aveva né il tono solenne né il piglio del rivoluzionario, ma la sua indole, innata e coltivata, di libero pensatore e la sua perseveranza in difesa del patrimonio naturale cantonale ne facevano una figura di contrasto che spesso andava ad opporsi alle logiche del profitto cortoterminista dell'economia liberista; una figura autorevole e dunque temuta.

Benché condividessimo gli stessi obiettivi in materia di protezione del territorio, non sono mancati i confronti e le tensioni con Graziano Papa: avevamo – noi, allora giovani – un approccio diverso alla natura, meno estetico, più sistemico, più ecologico, ma non per questo meno poetico, né meno appassionato. Lo abbiamo irritato in più di un'occasione e non faceva nulla per nascondere: sapeva incutere soggezione, per la differenza d'età, d'esperienza, di abilità retorica. Credo che si ritrovasse per la prima volta "in casa" una nuova generazione, rispettosa ma autonoma, di cui riconosceva le competenze e le buone intenzioni, ma che



Graziano Papa (foto: Andrea Persico).

avrebbe voluto più ubbidiente. Ci aveva cercati lui, ci aveva voluti lui nel comitato. E solo quando, ultraottantenne, annunciò il suo ritiro immediato e completo da Pro Natura, solo allora capimmo perché dieci anni prima ci aveva voluti: ci affidò di punto in bianco le redini dell'associazione. Per lui è stato sicuramente un momento doloroso, un taglio netto che ha affrontato con grande dignità nel riserbo di una vita ritirata; un momento che aveva pianificato, da uomo analitico e lucidamente strategico quale era, con ampio anticipo. Non si è mai privato, nemmeno negli anni successivi, di esprimere pubblicamente le sue opinioni, di lanciarsi in nuove battaglie, né di riconoscere i meriti dell'avversario. L'ultima volta che l'ho visto, si aggirava tra le vestigia dell'osteggiata Saceba ammettendo "certo che ha la sua bella monumentalità". Ancora capace di sorprendere, come un albero secolare che, sotto una spessa e ruvida corteccia, custodisce nuovi fiori.

Paola Pronini Medici
membro di comitato di Pro Natura Ticino

