Parte I – Attività della Società

- 5 Rapporto di attività 2019
- 8 Lettera aperta: Urgenza clima
- 10 Il clima non è un'opinione
- 11 164^a Assemblea ordinaria STSN 2019

Parte II - Comunicazioni scientifiche

- 17 Editoriale L'intelligenza artificiale al servizio delle scienze naturali
- 19 Ospite N. Deluigi e C. Scapozza: Il permafrost nelle Alpi Ticinesi: ripartizione potenziale attuale e futura
- 33 C. Scapozza et al.: Il permafrost nelle Alpi Ticinesi (2017/2018 e 2018/2019)
- 45 M. Mattei-Roesli et al.: Contributo alla conoscenza dei chirotteri dei boschi del comprensorio del progetto di Parco nazionale del Locarnese (Svizzera)
- 53 T. Maddalena et al.: Contributo alla conoscenza dei mammiferi terrestri dei boschi del comprensorio del progetto di Parco nazionale del Locarnese (Svizzera)
- 63 F. Rampazzi: Monitoraggio del ciclo biologico del gufo reale Bubo bubo con metodi bioacustici in una zona di difficile accesso del Cantone Ticino (Svizzera)

Parte III - Notizie

- 77 M. Gaia et al.: Bilancio meteorologico dell'anno 2019
- 81 S. Ziani e E. Bariffi: Conferma della presenza in Svizzera di *Neagolius schlumbergeri consobrinus* (Daniel, 1900) (Coleoptera, Scarabaeidae, Aphodiinae)
- 83 S. Mangili et al.: Note floristiche ticinesi 2020: ritrovamento di tre neofite nuove per la Svizzera e di due nuove per il Cantone Ticino
- 93 C. Capelli: Fioriture di *Planktothrix rubescens* (Cyanophyceae) nel Lago di Lugano
- 97 F. Lepori: Breve storia dello zooplancton da crostacei della zona pelagica del Lago di Lugano
- 103 S Peduzzi et al.: Ritrovamento di un tronco di quercia subfossile (5755-5640 cal BP) nel quadro della rivitalizzazione del fiume Ticino in Riviera: cronaca e prime annotazioni

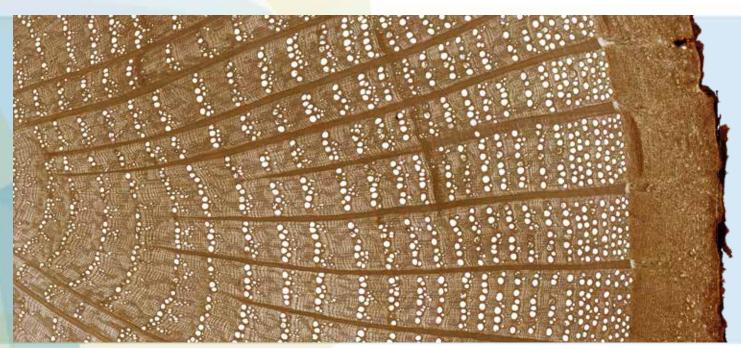
Parte IV - Contributi speciali

- 115 R. Peduzzi e A. Borsari: Intossicazioni da Veratrum album L. Attualità e storia di due piante da non confondere: genziana e veratro
- 121 R. Peduzzi: Bilancio quinquennale dell'attività svolta presso il Centro Biologia Alpina di Piora
- 127 M. Antognini et al.: La collezione mineralogica di Carlo Taddei (1879-1969) al Politecnico federale di Zurigo (ETHZ)
- 133 A. Simonetti: Ricordo di Carlo Taddei a 50 anni dalla scomparsa
- 137 F. Bianconi: In ricordo di Ivan Mercolli (1949-2019)

Foto in copertina: Sezione sottile trasversale di un ramo di farnia (*Quercus robur*) che cresce sulla riva sinistra della Moesa in località La Crola (San Vittore, Grigioni). Immagine realizzata da P. Krebs col microscopio Olympus BX53. L'anatomia è del tutto simile a quella del legno subfossile di Cresciano (v. p. 103 in questo volume). Si tratta quindi della stessa specie ma a distanza di circa 5700 anni e 8 km in linea d'aria, a dimostrazione della continuità della sua presenza nei boschi planiziali del Sopraceneri.

STSN Società ticinese di scienze naturali

Bollettino della Società ticinese di scienze naturali



Volume 108

SN 2020 - Volume



Bollettino della SOCIETÀ TICINESE DI SCIENZE **NATURALI**

Con il sostegno finanziario di



SOCIETÀ TICINESE DI SCIENZE NATURALI

Fondata nel 1903

Affiliata all'Accademia svizzera di scienze naturali (SCNAT)

Scopo della Società

Promuovere e divulgare nella Svizzera italiana le scienze naturali e in particolar modo lo studio degli aspetti scientifici delle regioni al Sud delle Alpi e delle zone limitrofe.

Soci

I soci attivi e collettivi sono ammessi per decisione a maggioranza del Comitato e vengono comunicati all'Assemblea sociale. 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.

4 7 . . .

Comitato (stato 31.12.2019)

Ripartizione attività in seno al Comitato

Presidente	Manuela Varini	Archivista	Filippo Rampazzi
Vicepresidente	Mauro Tonolla		
Segretaria	Gilda Giudici	Delegato alla piattaforma	Scienze naturali e regione (NWR)
Cassiera	Gisella Novi	della SCNAT (Comitato)	_
			Marco Moretti
Membri di comitato	Silvia Antognoli		
	Luca Bacciarini	Webmaster	Marco Cagnotti (esterno)
	Camilla Capelli		Camilla Capelli
	Marco Gaia		Manuela Varini
	Pia Giorgetti		
	Mauro Jermini	Commissione	Mauro Jermini
	Cristina Marazzi	redazionale	Marco Moretti (coordinatore)
	Marco Moretti		Cristian Scapozza
	Filippo Rampazzi		Filippo Schenker (esterno)
	Cristian Scapozza		
	Silvio Seno	Commissione	Silvia Antognoli
	Mauro Tonolla	divulgazione	Marco Cagnotti (esterno)
		_	Camilla Capelli
Revisori esterni	Cecilia Antognoli		Pia Giorgetti
	Silvana Soldini		Cristina Marazzi
			Silvio Seno
Membri onorari	Dr. Guido Cotti		Manuela Varini (coordinatrice)

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

Prof. Dr. Raffaele Peduzzi

web: www.stsn.ch e-mail: info@stsn.ch

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.

Luca Bacciarini

Pietro Romerio (esterno)

Stampa del Bollettino Tipografia Stazione SA CH-6600 Locarno

Delegati alla Commissione scientifica del Parco Botanico delle Isole di Brissago

PARTE I Attività della Società

RAPPORTO DI ATTIVITÀ 2019

La 164a Assemblea generale della Società ticinese di scienze naturali si è tenuta il 6 aprile 2019 presso la Casa della Miniera d'Oro di Sessa, seguita da visite guidate alla miniera per la cinquantina di partecipanti (Fig. 1a), visita che il comitato della STSN (Fig. 1b-d) aveva effettuato prima dell'assemblea.

Prese di posizione

Nel 2019 sono state inviate ai media le seguenti prese di posizione, che sono pubblicate integralmente in questo Bollettino.

In particolare, considerati gli articoli apparsi tra fine agosto e settembre 2019 sul Corriere del Ticino, volti a mettere in dubbio le cause antropiche del riscaldamento climatico, la STSN ha deciso di esprimersi a riguardo tramite la lettera aperta *Urgenza clima* del 4.9.2019, a cui hanno aderito più di 200 persone con formazione scientifica e alcuni enti e associazioni (lista visionabile al link: www.stsn.ch/adesioni-lettera-sul-clima).

La STSN ha inoltre contattato ProClim, il forum per il clima e i cambiamenti ambientali globali della SCNAT, il quale, a sua volta, ha interpellato esperti di fama internazionale nell'ambito delle scienze climatiche. Questi, in risposta alle pesanti critiche mosse alla scienza del clima in generale e all'IPCC in particolare, hanno elaborato una replica. La lettera aperta *Il clima non è un'opinione* è stata quindi inviata il 23.9.2019 al Corriere del Ticino ed è stata pubblicata il 16.10.2019.

Nuovo sito

Il sito della STSN (www.stsn.ch) è stato rinnovato e rivisitato rispetto al passato. Questo ha comportato un grosso impegno a titolo volontario da parte di Marco Cagnotti, membro della Commissione divulgazione, e di Manuela Varini, oltre che l'ingaggio di un professionista esterno al comitato.

Divulgazione

Per celebrare i 150 anni dall'invenzione da parte di Mendeleev della Tavola per classificare gli elementi chimici, il tema delle attività della STSN nel 2019 sono stati gli **Elementi**. Si è quindi organizzato un *ciclo di conferenze* sul tema in collaborazione con diversi enti, 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: Scopriamo le bellezze e le particolarità della zona golenale fra Lodano e Someo (28.5.2019), gita botanica in Vallemaggia guidata da Antonella Borsari fitoterapista e botanica di campo. Storie intorno ai canali d'acqua di vecchia e nuova generazione: un'eredità biologica da scoprire e valorizzare (11.5.2019), escursione in collaborazione con il Parco del Piano di Magadino, sotto la guida del biologo Marco Nembrini, il rappresentante del Consorzio Correzione Fiume Ticino Alessandro Costini e Sandro Peduzzi dell'Ufficio cantonale corsi d'acqua. Alla scoperta del Sentiero

delle Meraviglie (19.5.2019), gita guidata dal botanico Nicola Schoenenberger. Escursione al Parc naturel Finges (6-7.7.2019), gita di due giorni organizzata dalla Murithienne, la Società di scienze naturali del Vallese in collaborazione con la STSN. Greina - I segreti svelati dell'altopiano delle meraviglie (13-14.7.2019), escursione di due giorni organizzata in collaborazione con il Museo della Valle di Blenio di Lottigna e Pro Natura, sotto la guida del geografo e geomorfologo Cristian Scapozza, del biologo Christian Bernasconi e della biologa Manuela Varini. Alla scoperta dei funghi delle nostre zone (18.8.2019), escursione nella zona di Nante, in collaborazione con la Società micologica luganese. Sono inoltre state svolte tre gite alla scoperta del Bramito dei cervi il 29.9, il 6.10 e il 13.10.2019 in collaborazione con il Centro Pro Natura Lucomagno, sotto la guida del biologo Christian Bernasconi, della biologa Manuela Varini e dell'esperto Marco Scapozza.

Ciclo di conferenze Elementi

Ciclo di conferenze organizzate in collaborazione con diversi enti. Le prime due sono state organizzate in collaborazione con la Società Astronomica Ticinese (SAT) e si sono svolte presso l'Auditorium di BancaStato a Bellinzona. La prima, dal titolo Siamo figli delle stelle (23.9.2019), è stata tenuta dall'astrofisica Francesca Matteucci, professoressa ordinaria di Fisica stellare all'Università di Trieste. In seguito, vi è stata la conferenza Le comete e le nostre origini (30.9.2019), dove è intervenuta l'astrofisica Paola Caselli, direttrice del Max-Planck-Institute for extraterrestrial Physics a Garching. È stata poi la volta della conferenza Dal ferro all'acciaio. Elementi di un'epoca protostorica (24.10.2019), con l'archeologa Rosanna Janke, in collaborazione con l'Associazione Archeologica Ticinese (AAT) e con la Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI). Questa si è svolta nell'Aula Magna SUPSI a Canobbio. Il ciclo si è concluso con la conferenza Qualità dell'aria negli edifici scolastici (12.11.2019), per presentare i risultati intermedi del progetto Interreg "qualità dell'aria negli edifici scolastici" con Luca Pampuri, ricercatore SUPSI, responsabile del Centro di competenza radon, Tiziano Teruzzi, professore SUPSI in fisica della costruzione, Milton Generelli, responsabile dell'agenzia Minergie della Svizzera Italiana e Claudia Vassella, del Servizio veleni domestici dell'Ufficio federale della sanità pubblica. Questa conferenza è stata proposta in collaborazione con la SUPSI e si è svolta nella Sala del consiglio comunale di Bellinzona.

Altre serate pubbliche

Piante viaggiatrici (7.6.2019), conferenza con Nicola Schoeneberger, organizzata in collaborazione con Pro Natura Ticino, il Museo cantonale di storia naturale (MCSN) e il Museo storico etnografico della Valle di Blenio di Lottigna e si è tenuta al MCSN a Lugano. Si è poi svolta la conferenza Bellinzona: fra antichi ghiacciai, laghi e "buzze" (4.9.2019) nell'ambito del Congresso bien-

nale "Geomorfologia & Società" della Società Svizzera di Geomorfologia (SSGm) e tenuta da Cristian Scapozza, geografo e geomorfologo, ricercatore SUPSI, nella Sala del consiglio comunale di Bellinzona. È stata poi la volta della conferenza Orso: l'emigrazione degli umani e dei predatori (17.10.2019), organizzata in collaborazione con Pro Natura, con la biologa ed esperta di grandi predatori Joanna Schoenenberger presso il Cinema Teatro Blenio, Acquarossa.

Proposte per i più piccoli

Non sono mancate le attività per i più giovani. Il Museo cantonale di storia naturale (MCSN), in collaborazione con il settore "Extrascolastico" della Città di Lugano e con il sostegno della STSN, ha svolto il 24 e 25.4.2019 una colonia diurna pasquale e dal 2 al 25.7.2019 la colonia diurna estiva *Vivi Lugano*. Ha pure organizzato, con il sostegno della STSN, 23 animazioni per bambini *Un occhio sulla natura* di sabato e 8 attività creative per bambini *Un salto al Museo* di mercoledì e durante le vacanze autunnali.

Nel contesto del Festival della natura si è svolta la Caccia al tesoro in Capriasca (26.5.2020), giornata per famiglie all'insegna della scoperta della natura organizzata da Capriasca Ambiente in collaborazione con la STSN, l'associazione Orto Amico, Casa Cattaneo incontri e

l'alberoteca. Al centro delle attività svolte vi era la mostra *Sguardi sulla biodiversità*.

Inoltre, la STSN ha sostenuto lo svolgimento di attività di scoperta della scienza tramite animazioni interattive organizzate dall'Ideatorio, Università della Svizzera Italiana, a Cadro. In particolare, due laboratori per famiglie, *Passioni odorose* (29.9.2019) e *Imperfetto: inciampi e abilità del nostro cervello* (10.11.2019), e, dal 28 al 31.10.2019, una vacanza scientifica diurna per bambini di 4a e 5a elementare.

Esposizioni

La STSN ha poi sostenuto le seguenti esposizioni:

No limits! I campioni dell'altitudine, 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 fino a maggio 2019 è stata ospitata insieme alla mostra La biodiversità raccontata dai francobolli dell'Istituto scolastico di Lugano e del MCSN al Dipartimento Formazione e Apprendimento della SUPSI a Locarno.









Figure 1a-d: a) Presentazione prima della visita alla Miniera d'oro di Sessa dopo l'Assemblea annuale della STSN del 6 aprile 2019; b) Visita del comitato della STSN alla Miniera d'oro di Sessa; c) Parte del comitato della STSN prima della visita alla miniera; d) Parte del comitato della STSN riuniti a pranzo.

Da settembre 2019 è invece stata esposta alla Scuola Media di Lugano 1.

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, a cui ora collaborano anche la Scuola Media e la Scuola Speciale delle Medie di Lugano 1. Il progetto, in collaborazione con diversi partner, si è snodato su più livelli ed è continuato nel 2019. Grazie al MCSN alcune classi hanno svolto attività didattiche in tema con visite all'orto.

Interviste

Alcuni membri di comitato hanno svolto interviste a nome della STSN per la RSI (www.stsn.ch/media).

Pubblicazioni

Il 2019 ha visto la pubblicazione del 107° *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.

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 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

Lettera aperta: Urgenza clima

La Società ticinese di scienze naturali (STSN) è una sezione dell'Accademia svizzera di Scienze naturali (SCNAT) che riunisce ricercatori e appassionati delle diverse discipline scientifiche, nonché i responsabili di numerosi istituti di ricerca del Cantone. Considerate alcune lettere apparse ultimamente sulla stampa volte a mettere in dubbio le cause antropiche del riscaldamento climatico la STSN ha deciso di esprimersi a riguardo, vista l'importanza e la priorità del tema.

La STSN ritiene fondamentale che il tema sia dibattuto pubblicamente, ma si appella affinché il dibattito si appoggi su corrette basi scientifiche, come quelle riassunte nel V rapporto IPCC pubblicato nel 2014 e contestualizzate per quel che riguarda la Svizzera nel rapporto "Coup de projecteur sur le climat suisse" pubblicato dalla SCNAT nel 2016.

Sulla base di queste conoscenze scientifiche la STSN ritiene indispensabile adottare al più presto efficaci provvedimenti di protezione del clima come quelli ad esempio previsti dal Consiglio federale, che nella sua seduta dello scorso 28 agosto ha deciso di inasprire gli obiettivi di riduzione delle emissioni di CO₂, visto che «la Svizzera è molto colpita dai cambiamenti climatici poiché le temperature aumentano in misura doppia rispetto alla media mondiale»¹.

Con l'obiettivo di contribuire ad un costruttivo dibattito che poggi su solide basi scientifiche la STSN riprende, con questa comunicazione, i contenuti della lettera aperta e petizione dello scorso 3 luglio "Il riscaldamento globale è di origine antropica" promossa dal fisico italiano Roberto Buizza, coordinatore dell'iniziativa federata sulla climatologia. Lettera a cui hanno aderito centinaia di scienziati e intellettuali e, ad oggi, più di 21'000 persone². In particolare è stata sottoscritta ad esempio dalle seguenti associazioni italiane: Associazione Italiana Scienze dall'Atmosfera e della Meteorologia (AISAN), Associazione Meteo Professionisti (AMPRO), Comitato Glaciologico Italiano (CGI), Società Idrologica Italiana (SII), Società Italiana Scienze del Clima (SISC), Gruppo di scienziati per l'energia pulita, NIMBUS - Società Meteorologica Italiana, UNI-MET - Tavolo di coordinamento delle associazioni che si occupano di meteorologia, Centro di eccellenza CETEMPS, LaMMA - Laboratorio di Monitoraggio e Modellistica Ambientale per lo sviluppo sostenibile (consorzio pubblico della Regione Toscana e del Consiglio Nazionale delle Ricerche). Anche la STSN ha deciso di sottoscriverla.

Di seguito riportiamo buona parte del testo originale:

(...)

- a) Dati osservati provenienti da una pluralità di fonti dicono che il sistema Terra è oggi sottoposto a variazioni climatiche molto marcate che stanno avvenendo su scale di tempo estremamente brevi;
- b) Le osservazioni indicano chiaramente che le concentrazioni di gas serra in atmosfera, quali l'anidride carbonica e il metano, sono in continua crescita, soprattutto a partire dagli anni successivi alla seconda guerra mondiale, in seguito ad un utilizzo sempre più massiccio di combustibili fossili e al crescente diffondersi di alcune pratiche agricole, quali gli allevamenti intensivi;
- c) Le misure dell'aumento dei gas-serra e delle variazioni del clima terrestre confermano ciò che la fisica di base ci dice e quanto i modelli del sistema Terra indicano: le attività antropiche sono la causa principale dei cambiamenti climatici a scala globale cui stiamo assistendo;
- d) Migliaia di scienziati che studiano il clima del sistema Terra, la sua evoluzione e le attività umane, concordano sul fatto che ci sia una relazione di causa ed effetto tra l'aumento dei gas serra di origine antropica e l'aumento della temperatura globale terrestre, come confermato dai rapporti dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), che riassumono i risultati pubblicati dalla comunità scientifica globale;
- e) I modelli numerici del sistema Terra basati sulle leggi della fisica sono gli strumenti più realistici che abbiamo a disposizione per studiare il clima, per analizzare le cause dei cambiamenti climatici osservati e per stimare possibili scenari di clima futuro; questi modelli sono sempre più affidabili grazie all'accrescimento della rete di osservazioni utilizzate per validare la loro qualità, al miglioramento della nostra conoscenza dei fenomeni che influenzano il clima e alla disponibilità di risorse computazionali ad alte prestazioni;
- f) L'esistenza di una variabilità climatica di origine naturale non può essere addotta come argomento per negare o sminuire l'esistenza di un riscaldamento globale dovuto alle emissioni di gas serra; la variabilità naturale si sovrappone a quella di origine antropica, e la comunità scientifica possiede gli strumenti per analizzare entrambe le componenti e studiare le loro interazioni;
- g) Gli scenari futuri «business as usual» (cioè in assenza di politiche di riduzione di emissioni di gas serra) prodotti da tutti i modelli del sistema Terra scientificamente accreditati, indicano che gli effetti dei cambiamenti climatici su imnumerevoli settori della società e sugli ecosistemi naturali sono tali da mettere in pericolo lo sviluppo sostenibile della società come oggi la conosciamo, e quindi il futuro delle prossime generazioni;
- h) Devono essere pertanto intraprese misure efficaci e urgenti per limitare le emissioni di gas serra e mantenere il riscaldamento globale ed i cambiamenti climatici ad esso associati al di sotto

^{1. &}quot;Stop alle emissioni di gas serra entro il 2050", articolo apparso sul Corriere del Ticino il 28 agosto 2019.

^{2.} Dall'11 luglio, la lettera può venire firmata sul sito "change.org": https://bit.ly/2xMt4SX

del livello di pericolo indicato dall'accordo di Parigi del 2015 (mantenere l'aumento della temperatura media globale ben al di sotto di 2°C rispetto ai livelli pre-industriali, e perseguire sforzi volti a limitare l'aumento di temperatura a 1,5°C);

Queste conclusioni sono basate su decine di migliaia di studi condotti in tutti i paesi del mondo dagli scienziati più accreditati che lavorano sul tema dei cambiamenti climatici. È sulla base di queste conclusioni che vanno prese decisioni importanti per la lotta ai cambiamenti climatici (...).

Concludiamo riaffermando con forza che il problema dei cambiamenti climatici è estremamente importante ed urgente, per l'Italia come per tutti i paesi del mondo. Politiche tese alla mitigazione e all'adattamento a questi cambiamenti climatici dovrebbero essere una priorità importante del dibattito politico nazionale per assicurare un futuro migliore alle prossime generazioni.

A nome della Società ticinese di scienze naturali

Manuela Varini Mauro Tonolla Presidente Vice-presidente

Lettera alla redazione del Corriere del Ticino, pubblicata, in seguito, il 10 ottobre 2019

Il clima non è un'opinione

Considerati gli articoli apparsi ultimamente sul Corriere del Ticino volti a mettere in dubbio le cause antropiche del riscaldamento climatico, la Società ticinese di scienze naturali (STSN), società regionale dell'Accademia svizzera di scienze naturali (SCNAT), ha deciso di esprimersi a riguardo tramite una lettera aperta visibile e sottoscrivibile sul suo sito (www.stsn.ch/clima), a cui hanno aderito più di 200 persone con formazione scientifica e alcuni enti e associazioni. Ha inoltre contattato ProClim, il forum per il clima e i cambiamenti ambientali globali della SCNAT, il quale, a sua volta, ha interpellato esperti di fama internazionale nell'ambito delle scienze climatiche. Questi, in risposta alle pesanti critiche mosse alla scienza del clima in generale e all'IPCC in particolare, hanno elaborato la seguente replica. A nome della Società ticinese di scienze naturali

Manuela Varini, Presidente e Mauro Tonolla, Vicepresidente

Gentili Signore, Egregi Signori,

Sul Corriere del Ticino sono stati pubblicati a fine agosto due commenti che non solo mettono in discussione il cambiamento climatico provocato dall'uomo, ma hanno presentato le conoscenze appurate dalla scienza e dal Gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico (IPCC) come campagna propagandistica, imbroglio e manipolazione di massa. Esternazioni di questo tipo si sentono e si leggono di continuo e ottengono spazio nei media con la motivazione del lasciare spazio a diversi punti di vista. In linea di principio siamo favorevoli al dare voce a tutte le opinioni. Tuttavia è indispensabile, specie quando si tratta di nozioni scientifiche, dare uno sguardo approfondito alla correttezza e alla logica degli argomenti esposti. La scienza non è una questione di opinioni, bensì si fonda sull'eseguire esperimenti, misurazioni, creare modelli e fornirne una sintesi.

Il comitato di esperti sul cambiamento climatico IPCC è un organo intergovernativo fondato dal Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente UNEP e dall'Organizzazione meteorologica mondiale WMO. Esso stila periodicamente rapporti, rivolti a chi ha potere decisionale a livello politico, sullo stato attuale della scienza e sulle questioni climatiche. Questi rapporti sono sempre redatti a titolo totalmente gratuito da centinaia di scienziati e scienziate indipendenti, di ogni parte del mondo. Essi sono stati accettati all'unanimità da esponenti ufficiali dei governi di 195 Paesi. Nessuno di questi governi ha interesse a «inventarsi» un cambiamento climatico che renda necessarie manovre spiacevoli al governo e ai cittadini. Vedere dietro questo scenario un «governo mondiale tecnocratico» nascosto, è pura fantasia. Qui si tratta piuttosto di screditare chi si fa portavoce di una notizia spiacevole e di distogliere l'attenzione dal vero problema, vale a dire il fatto che la Terra e la sua atmosfera non siano in grado di accogliere quantità illimitate di rifiuti e gas di scarico, quali ad es. appunto i gas serra, senza che questo abbia delle conseguenze.

La scienza elabora comprensione e fatti, discutendo e verificando teorie e argomenti differenti secondo regole scientifiche. Nella scienza del clima esiste una rappresentazione completa e coerente del funzionamento del sistema climatico. Questa rappresentazione è stata elaborata in oltre 100 anni ed è minuziosamente descritta nei rapporti dell'IPCC e nella letteratura scientifica. Ogni nuovo argomento è considerato e studiato. Questo vale anche per gli argomenti dei citati signori Lindzen, Gray, Svensmark, ecc. I loro argomenti, tuttavia, sono stati già da tempo ripetutamente confutati da un'approfondita analisi scientifica o si sono dimostrati non rilevanti. Tuttavia, essi vengono di continuo divulgati da parte di determinati circoli come «diversa opinione» o «fatti taciuti» e in questo modo si diffonde il mito del «dogmatismo» nella scienza del clima e nell'IPCC. Questi scienziati, che contestano l'influenza dovuta all'operato umano, non hanno sviluppato alcuna spiegazione alternativa coerente, fondata su osservazioni e misurazioni, che possa superare anche soltanto in parte un esame scientifico. Essi offrono solamente una raccolta di argomenti talvolta contraddittori e non inseriti in un quadro coerente. In particolare, per il forte aumento della temperatura globale e per i tanti cambiamenti osservati a livello mondiale dalla metà del XX secolo, non è mai stata presentata una spiegazione diversa dalla combustione del carbone, del petrolio e del gas. Il più citato fattore naturale di influenza sul clima, l'attività solare, è in questo periodo diminuito e attualmente si è riportato all'incirca allo stesso livello della fine del XIX secolo. Il riscaldamento di circa 1°C da quell'epoca non è perciò affatto spiegabile con l'attività solare. E anche lo sviluppo dell'attività vulcanica ha in quest'epoca piuttosto un'azione di raffreddamento.

È irresponsabile fingere semplicemente di non vedere le conseguenze, previste a livello globale, delle emissioni di gas serra, se queste continueranno a non essere frenate. Saranno proprio i più poveri su questa Terra a essere i più colpiti dalle conseguenze di un progressivo cambiamento climatico. Molto più di quanto non lo saranno dalle misure necessarie atte a ridurre le emissioni, perché questi interventi generano, in confronto, emissioni praticamente nulle.

È nostro dovere discutere di quali tecnologie e di quali strumenti politici possiamo avvalerci per rispondere ai rischi del cambiamento climatico al fine di ridurli, e parlare di quali opportunità disponiamo con questi mezzi. Al riguardo ci sono diverse opinioni. Quantificare i rischi globali e locali del cambiamento climatico è invece compito della scienza e non è una questione di opinioni o ideologie politiche. Infatti, se la matematica non è un'opinione, non lo sono neanche le cause antropiche dei cambiamenti climatici.

Prof. Ch. Appenzeller, Capo settore Analisi e previsioni, MeteoSvizzera – Prof. K. Boulouchos, ETH Zurigo – Prof. D. Bresch, ETH Zurigo e Meteo-Svizzera – Prof. S. Brönnimann, Univ. Berna, IPCC Autore principale – Dr. M. Croci-Maspoli, Responsabile Divisione Clima MeteoSvizzera – Prof. A. Fischlin, ETH Zürich, Vice-Presidente IPCC-Gruppo di lavoro 2 – Prof. N. Gruber, ETH Zürich, IPCC Autore principale – Prof. H. Gutscher, Univ. Zurigo – Prof. F. Joos, Univ. Berna, già Vice-Presidente IPCC-Gruppo di lavoro 1 – Prof. R. Knutti, ETH Zürich, IPCC Autore principale – Prof. C. Körner, Univ. Basilea – Prof. P. Messerli, Univ. Berna – Dr. U. Neu, ProClim/Accademia svizzera di scienze naturali – Prof. M. Rebetez, Univ. Neuchâtel – Prof. K. Steffen, Direttore Istituto Federale di Ricerca per la Foresta, la Neve e il Paesaggio WSL, IPCC Autore principale – Prof. T. Stocker, Univ. Berna, già Co-Presidente IPCC-Gruppo di lavoro 1 – Prof. P. Thalmann, EPF Lausanna

164^a Assemblea ordinaria STSN 2019

Verbale dell'Assemblea svolta presso lo stabile della Miniera d'oro di Sessa il sabato 6 aprile 2019

Scusati

Bianchi Enrica, Borsari Antonella, Bulgheroni Monica, Cagnotti Marco, Iametti-Tettamanti Chiara e famiglia, Jann Beatrice, Piatti Alberto, Saurwein Davide, Scapozza Cristian, Spinelli Alberto, Spinelli Cristina, Vanini Simone.

Parte amministrativa

La Presidentessa Manuela Varini dà il benvenuto ai presenti, ricorda che il programma 2019 si apre con la visita della Miniera d'Oro di Sessa a seguito dell'Assemblea e scusa gli assenti. Vengono nominati gli scrutatori, Alma Sartoris e Claudio Pozzi. Il verbale della 163ª Assemblea ordinaria STSN, per cui l'esonero della lettura è richiesto, è accettato. Varini passa in rassegna i punti all'ordine del giorno.

Relazione presidenziale

Alla presenza di quarantacinque soci Manuela Varini rievoca che nel 2018 è stato proposto un ricco programma di attività incentrate sul tema della riproduzione e che il volume delle Memorie La biodiversità dei vigneti della Svizzera italiana, i cui autori principali sono Valeria Trivellone e Marco Moretti ed edito dalla STSN e dal Museo cantonale di storia naturale (MCSN), ha ricevuto la menzione speciale da parte dell'Organizzazione internazionale della vigna e del vino (OIV). Varini si congratula con gli autori. Ricorda poi che nel 2018 è stata pubblicata una presa di posizione a nome del comitato della STSN pronunciatosi all'unanimità a favore del progetto del Parco nazionale del Locarnese. Specifica che sin dagli albori la Società ha sostenuto i parchi nazionali, in quanto occasione per proteggere la natura e la biodiversità permettendo uno sviluppo socioeconomico rispettoso dell'ambiente. Si tratta di una linea guida della STSN: la Presidentessa si augura che in futuro la Società possa contribuire di nuovo con questo tipo di sostegno. Rievoca poi le prese di posizione a sostegno del Parco botanico delle Isole di Brissago e informa che quanto auspicato anche dalla STSN sta prendendo forma: la loro proprietà passerà totalmente al Cantone. Il socio Alfonso Spagnol interviene dicendo che auspicherebbe una presa di posizione della STSN anche riguardo al progetto di "passerella" alle Isole di Brissago. Varini informa che se ne è discusso in comitato, in cui risiede anche Luca Bacciarini, presidente della Commissione scientifica del Parco botanico delle Isole di Brissago. La STSN aveva deciso di non esprimersi ancora a riguardo, in quanto sembrava prematuro, viste le numerose incognite legate al potenziale progetto. Prende quindi la parola Bacciarini, che segnala appunto che in mancanza di informazioni approfondite in merito al progetto, si è deciso di aspettarne l'evoluzione. Conferma però che se il progetto si dovesse concretizzare, si potrebbe decidere di esprimersi a riguardo. Varini informa che la trattanda verrà ripresa durante la prossima riunione del comitato.

La Presidentessa ricorda poi che la Società nel 2018 ha sostenuto diverse esposizioni e progetti: No limits! I campioni dell'altitudine del MCSN e della Fondazione Centro Biologia Alpina ad Airolo; Sguardi sulla biodiversità, di Capriasca Ambiente e in collaborazione con il Museo e la scuola media di Tesserete, il cui scopo è quello di risvegliare nei giovani una maggiore consapevolezza della natura e della biodiversità 'fuori dalla porta di casa'. Ricorda che la mostra è attualmente ospitata presso il DFA-SUPSI a Locarno. Segnala che la mostra Erbe di qui, spezie del mondo realizzata dal MCSN e sostenuta in passato è ancora visitabile presso il Dazio Grande. Informa poi che in passato la Società ha sostenuto Sale in zucca!, un progetto di orto didattico, incentrato sulla sostenibilità urbana e agricola, che è continuato nel 2018 e che è proposto dal Liceo cantonale di Lugano 1 in collaborazione con Lugano al Verde, il MCSN, L'alberoteca e altri numerosi partner e scuole.

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 2018 dettagliato, presentato dalla cassiera Gisella Novi, chiude con una maggiore entrata di Fr. 2'056.40 (costi Fr. 40'949.05, ricavi Fr. 43'005.45). A bilancio (attivi e passivi, fatture in sospeso comprese) risultano Fr. 103'981.30.

Novi fornisce poi ulteriori chiarimenti in merito ai conti e ai ricavi.

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

Avvicendamenti in seno al comitato della STSN

Varini segnala la composizione del comitato in carica fino all'Assemblea, segnalando che ci sono 3 dimissionari e 4 nuovi membri. Sottolinea, inoltre, che con questi cambiamenti, si tratta della prima volta che il numero di uomini (8) e di donne (7) in comitato è quasi uguale e che questo vuole anche essere un segnale in relazione alla tematica delle pari opportunità di genere, non solo in seno alla STSN, ma anche in ambito scientifico in generale. Rievoca, infatti, che, inizialmente, agli albori del '900, quando la STSN è stata fondata, le donne non erano neanche ammesse come socie. La prima donna è entrata a far parte del comitato solo nel 1953 e, fino ad ora, non vi era stata una presidenza femminile. Dice infatti che in questo ambito vi sono ancora numerosi stereotipi da abbattere, che spesso non permettono di raggiungere un vero equilibrio.

I dimissionari, che la Presidentessa ringrazia per il loro contributo nella Società, sono Marco Cagnotti, che come esterno continuerà a far parte della Commissione divulgazione e a gestire il sito e la newsletter (coadiuvato da una dei nuovi membri di comitato); Giovanni Pellegri, che Varini ringrazia per l'importante contributo nei programmi annuali e nei cicli conferenze e Alberto Piatti, che da esterno continuerà a collaborare con la Commissione divulgazione per l'organizzazione di attività

Varini presenta poi le quattro nuove persone, attive in ambito scientifico, che entrano a far parte del comitato e della Commissione divulgazione: Silvia Antognoli, naturalista, collaboratrice scientifica del Gruppo Operativo Zanzare, Laboratorio Microbiologia Applicata, SUPSI e collaboratrice del MCSN, che nel comitato aiuterà anche Gilda Giudici con alcuni compiti amministrativi. Camilla Capelli, biologa, limnologa, ricercatrice presso l'Istituto scienze della Terra della SUPSI, già membro di comitato e rappresentante dei giovani ricercatori e dottorandi nella International Society of Limnology e nell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia. Capelli aiuterà Cagnotti nella gestione del sito web e della newsletter. Pia Giorgetti, botanica, responsabile della mediazione culturale presso il MCSN e già membro del comitato della STSN per una decina di anni in passato, nella quale ha svolto diversi ruoli. Cristina Marazzi, collaboratrice del servizio fitosanitario del Cantone Ticino e membro della Commissione scientifica del Parco botanico delle Isole di Brissago.

Rapporto della Commissione divulgazione sulle attività svolte e programmate (2018/2019)

Programma 2018

Giovanni Pellegri dà il benvenuto ai presenti e informa riguardo alla strategia che la STSN ha sviluppato negli ultimi anni, ossia cercare degli strumenti per avvicinare la scienza alla gente attraverso dei momenti di confronto, di dialogo, ecc. Per fare questo, sono stati sviluppati tre strumenti: il primo consiste in incontri con il grande pubblico su tematiche interdisciplinari/trasversali (nel 2017 il tempo, nel 2018 l'amore), con impatto e comunicazione mediatica. Il secondo è composto dalle attività sul territorio in collaborazione con associazioni, enti, ecc., mentre il terzo è costituito dall'organizzazione di occasioni speciali per i soci. A questo proposito ricorda ai presenti che eventuali proposte di attività sono benvenute.

Informa che il programma del 2018 è stato incentrato sulla tematica dell'amore, attorno a cui è stato proposto un ciclo di conferenze con quattro incontri, gratuiti e aperti a tutti: il 2 ottobre Claudia Bordese e Sara Hejazi hanno presentato Riproduciamoci! Dall'animale agli umani; il 22 ottobre è stata proposta la conferenza Mamma, papà? Che cos'è l'amore? con Barbara Tamborini e Andrea Pellai; il 6 di novembre Daniela Ovadia e Francesco Bianchi-Demicheli hanno proposto Uomini e donne splendidamente diversi; infine il 29 novembre Francesca Rigotti e Telmo Pievani hanno presentato Il maschio è inutile?. Gli appuntamenti hanno riscontrato molto successo (in totale hanno partecipato 720 persone) e hanno avuto un grande impatto a livello comunicativo. Sono infatti state fatte diverse interviste radiofoniche RSI, è stato pubblicato un primo piano sul Corriere del Ticino e le conferenze sono state pubblicate online sul canale Youtube della STSN e de L'ideatorio-USI e visualizzate da numerosi utenti (oltre 5'000, con una media di visualizzazione di 20 minuti). Pellegri auspica che la STSN possa continuare a utilizzare questa strategia.

Riassume poi le escursioni proposte attorno alla tematica dell'amore: il 19 maggio ad Acquacalda ha avuto luogo Parate nuziali del fagiano di monte, con il biologo Christian Bernasconi e in collaborazione con il Centro Pro Natura Lucomagno. La gita di due giorni Greina mon amour - i segreti svelati dall'altipiano delle meraviglie è stata annullata a causa delle previsioni meteorologiche. In alternativa, il 22 luglio è stata organizzata un'escursione di un giorno in Val Scaradra con il geografo e geomorfologo Cristian Scapozza. Le uscite Il bramito del re, proposte nella zona di Acquacalda e in collaborazione con il Centro Pro Natura Lucomagno, si sono tenute il 23 e il 30 settembre e sono state guidate da Christian Bernasconi e dalla biologa Carlotta Simona. La terza gita prevista il 7 ottobre è stata annullata a causa del maltempo, ed è stata poi effettuata da un piccolo gruppo con Manuela Varini. La gita botanica Riproduzione delle piante – i frutti, con la fitoterapista Antonella Borsari, ha avuto luogo il 29 settembre tra il Delta del fiume Maggia e le Terre di Pedemonte.

Pellegri informa che il 5 maggio si è inoltre svolto il corso Riproduzione delle piante – i fiori delle Isole, guidata dalla botanica e ricercatrice Brigitte Marazzi e organizzata in collaborazione con la Società Botanica Ticinese. Vengono poi illustrati gli altri appuntamenti pubblici. In seguito all'Assemblea del 26 aprile è stata proposta una serata sul progetto del Parco nazionale del Locarnese ad Ascona, a cui hanno partecipato un centinaio di persone; il 28 settembre presso le scuole medie di Acquarossa si è tenuta la conferenza Quando le acque travolsero il Ticino e il 6 ottobre si è tenuta, presso il Centro Pro Natura Lucomagno ad Acquacalda, La Greina - Firögna scientifica. Infine, il 7-8 luglio ha avuto luogo un'escursione di due giorni organizzata in collaborazione con La Murithienne, la Società di scienze naturali del Vallese, intitolata Alla scoperta del progetto del Parco nazionale del Locarnese.

A proposito delle attività per i più giovani, Pellegri passa la parola a Mauro Tonolla, che informa che dal 6 al 10 agosto presso il Centro di Biologia Alpina di Piora ha avuto luogo una Summer School per studenti liceali organizzata in collaborazione con la Piattaforma Biologia dell'Accademia svizzera di scienze naturali (SCNAT). I ragazzi hanno potuto incontrare la microbiologia visibile a occhio nudo. Ricorda che la settimana ha avuto un buon riscontro mediatico: è stato prodotto un video che è disponibile sul sito della SCNAT. Durante il periodo estivo si sono inoltre svolte le consuetudinarie vacanze scientifiche estive del MCSN, presentate da Pia Giorgetti, e de L'ideatorio dell'Università della Svizzera italiana, riassunte da Pellegri, proposte in collaborazione con l'Istituto scolastico della Città di Lugano e con la STSN.

Programma 2019

Pellegri informa i presenti che per il 2019, in occasione dell'anno internazionale della Tavola periodica, la Commissione divulgazione ha organizzato un pro-

gramma intitolato "Natura ed elementi...". Presenta quindi il ciclo di conferenze sugli elementi e riassume brevemente le conferenze proposte. Il 23 settembre a Bellinzona si terrà Siamo figli delle stelle, il 30 settembre – sempre a Bellinzona – avrà luogo Le comete e le nostre origini, il 24 ottobre a Canobbio verrà presentata Dal ferro all'acciaio e il 12 novembre, a Bellinzona, si terrà la conferenza Qualità dell'aria negli edifici scolastici.

Pellegri cita poi le escursioni che rientrano nel programma, ricordando ai presenti di invitare amici e conoscenti a partecipare a queste proposte. L'escursione Bellezze e particolarità della zona golenale tenuta da Antonella Borsari avrà luogo il 28 aprile 2018 in Vallemaggia; la gita Storie intorno ai canali d'acqua di vecchia e nuova generazione: un'eredità da scoprire e valorizzare, in collaborazione con il Parco del Piano di Magadino e brevemente presentata dalla direttrice Alma Sartoris, si terrà l'11 maggio e il 19 maggio seguirà l'escursione botanica Alla scoperta del Sentiero delle Meraviglie con Nicola Schoenenberger. Il 26 maggio si terrà la Caccia al tesoro sulla biodiversità organizzata da Capriasca Ambiente in collaborazione con la STSN e altri enti nell'ambito del Festival della natura. Avranno poi luogo due attività della durata di un weekend: il 6-7 luglio l'Escursione al parc naturel Finges, in Vallese, in cui vi sarà uno scambio con la Società del Vallese La Maurithienne, e il 13-14 luglio in cui si terrà I segreti svelati dall'altipiano delle meraviglie alla Greina, guidata da Cristian Scapozza e Christian Bernasconi. Infine il 18 agosto, in collaborazione con la Società micologica luganese verrà proposta l'escursione Alla scoperta dei funghi delle nostre zone, mentre il 29 di settembre e il 6 e 12 ottobre verrà proposta la visita Il Bramito del re in collaborazione con il Centro Pro Natura di Acquacalda.

Pellegri presenta poi le serate pubbliche legate al programma Mosè Bertoni di nuovo in Ticino organizzate da Pro Natura in collaborazione con la STSN: Piante viaggiatrici con Nicola Schoenenberger, che avrà luogo a Lugano il 7 giugno e Orso: l'emigrazione degli umani e dei predatori con Joanna Schoenenberger, che si terrà ad Acquarossa il 17 ottobre. Annuncia poi che il 4 settembre avrà luogo a Bellinzona la conferenza Geomorfologia e Società: Bellinzona: fra antichi ghiacciai, laghi e 'buzze'.

Pubblicazioni 2018 - Bollettino e Memorie

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

Moretti afferma che la pubblicazione del volume richiede un grande lavoro dietro le quinte e ricorda che verso la fine del mese di gennaio si raccolgono le proposte, che vengono poi vagliate.

Fornisce poi alcuni dettagli in merito al Bollettino (volume 106): 516 sono state le copie emesse, di cui 427 recapitate a soci residenti in Svizzera. Riguardo ai contenuti, 2 articoli corrispondono ad attività della Società, 9 a contributi scientifici, 4 a notizie e 4 a contributi speciali. Ricorda che nella seconda parte del Bollettino erano presenti gli abstract del Congresso di botanica sudalpina della SBT, svoltosi nel 2017, in italiano e inglese.

Riassume i contributi ricevuti per il Bollettino 2019, rinnova l'invito a inviare nuovi articoli entro il 31 gennaio 2020 e ricorda brevemente riguardo ai criteri necessari (area geografica della Svizzera italiana, contribuiti in italiano, ecc.).

Varini ringrazia il gruppo redazionale per il grande lavoro svolto.

Approvazione modifica degli articoli 4 e 23 statuti

Varini illustra le modifiche che il comitato propone apportare agli statuti. Le modifiche proposte sono evidenziate come segue.

art. 4

I soci attivi e collettivi sono ammessi per decisione a maggioranza dell'Assemblea sociale. del Comitato e vengono comunicati all'Assemblea sociale.

art. 23

II Comitato rappresenta la Società di fronte a terzi con le firme del presidente o del vicepresidente con quella del segretario. almeno due firme: quella del presidente e/o del vicepresidente e/o del segretario.

Le modifiche vengono approvate dall'Assemblea all'unanimità.

Ammissioni di nuovi soci e dimissioni

Varini informa che negli ultimi anni si è registrato un aumento del numero di soci, probabilmente dovuto ai cicli di conferenze e alle attività variegate. Tra il 26 aprile 2018 e il 5 aprile 2019 sono state 31 le nuove richieste di adesione e 26 i soci dimissionari, deceduti o, la maggior parte, estromessi per mancato pagamento della quota sociale. Varini comunica che il numero di soci raggiunge così la quota di 450 (444 svizzeri, 6 esteri).

Nuovi soci

Antognoli Silvia, Bertogliati Mark, Bulgheroni Monica, Caccia Paolo, Cadier Benoît Maël, Capelli Camilla, Carlone Palma, Dagani Alfio, De Santis Mina, Del Ponte Chiara, Disoteo Pamela, Ferrari Christian, Giugni Dimitri, Guglielmazzi Anita, Heitz Patrick, Jola Simone, Lenzi Omar, Long Frank, Muggiasca Stefano, Müller Caterina, Pedrazzini Chiara, Petruzzella Aaron, Piazza Silvia, Pozzoni Maurizio, Rimle Andrina, Sartori Gabriella, Saurwein Davide, Schmid Giovanna, Soldati Adrian, Vannini Simone.

Eventuali

Non ci sono eventuali.

A nome del comitato STSN Gilda Giudici

PARTE II Comunicazioni scientifiche

EDITORIALE

L'intelligenza artificiale al servizio delle scienze naturali

Con il presente volume del Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, la Commissione redazionale ha deciso di aprire la parte scientifica con un editoriale con il duplice obiettivo di presentare l'ospite dell'anno e di riassumere i contenuti nel volume. Infatti un'altra novità proposta a partire da quest'anno è la pubblicazione del contributo di un ospite invitato a presentare un tema scientifico di attualità o legato a un aspetto innovativo delle scienze naturali. Quest'anno la scelta è caduta sull'utilizzo dell'intelligenza artificiale come supporto ai metodi statistici classici di analisi dei dati. L'intelligenza artificiale si sta affermando anche nelle scienze naturali con ottimi risultati soprattutto in analisi di predizione con grandi quantità di dati, i cosiddetti "Big Data". Sebbene il termine "artificiale" possa suonare poco "naturale" e sebbene i risultati non tengano conto delle leggi che governano i fenomeni naturali, l'apprendimento automatico (o machine learning) dei dati offerto dall'intelligenza artificiale è in grado di fornire un importante supporto ai più classici approcci fisici e statistici comunemente utilizzati nelle scienze naturali. Il modello di calcolo attinge ai dati direttamente da enormi banche dati e, attraverso una serie di algoritmi e tecniche statistiche, estrapola modelli matematici in grado di quantificare la validità delle correlazioni tra le variabili ambientali e il fenomeno naturale oggetto

Come esempio di applicazione dell'uso dell'intelligenza artificiale nelle scienze naturali, la commissione redazionale ha invitato **Nicola Deluigi** e **Cristian Scapozza** a presentare uno studio sull'utilizzo dell'apprendimento automatico nella predizione della ripartizione attuale e futura del permafrost nelle Alpi ticinesi. Si tratta di una modellazione numerica che, per la prima volta, considera la grande mole di dati di cartografia e monitoraggio del permafrost che, a partire dal 2012, sono presentati ogni due anni sul Bollettino della Società ticinese di scienze naturali.

Gli altri contributi di questo numero del Bollettino sono, come di consueto, ricchi di spunti che spaziano tra le discipline più variegate delle scienze naturali: dalla zoologia alla botanica, dagli organismi unicellulari alle alghe dei nostri laghi, passando per la meteorologia, la geologia e la paleoecologia.

In particolare, le Comunicazioni scientifiche (parte II) e le Notizie (parte III) ospitano i contributi dedicati alle conoscenze dei chirotteri e dei mammiferi terrestri nel comprensorio del mancato progetto di Parco nazionale del Locarnese a opera di Marzia Mattei-Roesli e coautori, rispettivamente di Tiziano Maddalena e coautori, il monitoraggio del ciclo biologico del gufo reale Bubo bubo attraverso l'uso di metodi bioacustici di Filippo Rampazzi, e la conferma in Svizzera di un raro coleottero (Neagolius schlumbergeri consobrinus

Daniel, 1900) di Stefano Ziani e Ettore Bariffi. Seguono i contributi di Fabio Lepori sulla storia dalla fine dell'Ottocento a oggi del zooplancton da crostacei del Lago di Lugano e di Camilla Capelli sulla recente fioritura delle alghe Planktothrix rubescens (Cyanophyceae) in grado di ostacolare lo sfruttamento delle risorse idriche del Lago di Lugano. Sofia Mangili e coautori segnalano, invece, l'ennesimo ritrovamento di specie di piante esotiche nuove per la Svizzera e per il Canton Ticino, mentre Sandro Peduzzi e coautori documentano la scoperta a Cresciano di un tronco di una quercia subfossile vissuta nella nostra regione 5755-5640 anni fa. La parte scientifica del Bollettino della Società ticinese di scienze naturali si conclude con il puntuale rapporto biennale sullo stato del permafrost nelle Alpi ticinesi di Cristian Scapozza e coautori e il bilancio meteorologico dell'anno 2019 di Marco Gaia e coautori.

I Contributi speciali (parte IV) del presente volume propongono due articoli di Raffaele Peduzzi. Il primo, scritto in collaborazione con Antonella Borsari, è dedicato a due specie di piante da non confondere: la genziana (Gentiana lutea) e il veratro (Veratrum album), quest'ultima tossica! Il secondo riporta il bilancio quinquennale dell'attività svolta presso il Centro di Biologia Alpina di Piora. Altri due contributi, a firma di Marco Antognini e coautori, onorano la figura di Carlo Taddei, mineralogista amatore e autodidatta, di cui sono presentati la storia della sua collezione mineralogica donata al Politecnico federale di Zurigo e il ricordo a 50 anni dalla sua scomparsa a cura di Athos Simonetti. Conclude il Bollettino il necrologio a firma di Filippo Bianconi, che ricorda la carriera accademica di Ivan Mercolli, professore emerito di geologia all'Università di Berna, deceduto il 26 novembre 2019.

OSPITE

Il permafrost nelle Alpi Ticinesi: ripartizione potenziale attuale e futura

Nicola Deluigi^{1,2*} e Cristian Scapozza²

¹ Stream Biofilm and Ecosystem Research Laboratory, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), 1015 Losanna, Svizzera (affiliazione attuale)

² Istituto scienze della Terra (IST), Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI), 6952 Canobbio, Svizzera

* nicola.deluigi@epfl.ch

Riassunto: Una conoscenza precisa della ripartizione del permafrost alpino è fondamentale nella valutazione dell'impatto della sua degradazione quale conseguenza dei cambiamenti climatici. La disponibilità crescente di dati spaziali e osservazioni dello stato termico del suolo nelle Alpi Ticinesi ha permesso l'applicazione dell'algoritmo delle foreste casuali a un set di dati composto da 15 variabili predittive e 134'500 osservazioni di terreno indicative della presenza o dell'assenza di permafrost. L'interrelazione statistica tra tali osservazioni e i relativi fattori di controllo è stata estrapolata automaticamente senza dover ricorrere ad alcun set di parametri empirici prestabiliti. La carta della ripartizione potenziale del permafrost delle Alpi Ticinesi si rivela conforme alle reali osservazioni di terreno e dimostra che l'impiego di variabili ambientali che ben rappresentano la microtopografia del terreno abbia favorito la previsione della sua estrema variabilità spaziale. Mediante un approccio lineare è inoltre stata ottenuta una carta dell'evoluzione delle probabilità di occorrenza che tiene conto dell'aumento medio della temperatura suggerito dagli scenari climatici CH2018 e che indica la quasi scomparsa del permafrost delle Alpi Ticinesi entro la fine del trentennio 2020-2049.

Parole chiave: Alpi Ticinesi, apprendimento automatico, cartografia, modellazione del permafrost, scenari climatici CH2018

Permafrost in the Ticino Alps: current and future potential distribution

Abstract: A precise knowledge of the Alpine permafrost distribution is crucial in assessing the impact of climate change on its degradation. The increasing availability of spatial data and observations of the thermal state of the ground in the Ticino Alps has allowed the application of the random forest algorithm to a dataset composed of 15 predictive variables and 134,500 field observations, indicative of the presence or absence of permafrost. The interrelation between these observations and the related control factors was automatically extrapolated without recurring to any set of predetermined empirical parameters. The map of the potential permafrost distribution of the Ticino Alps proved to be in line with real field observations and the use of environmental variables that well represent the microtopography favoured the prediction of the permafrost heterogeneous distribution at the micro geographical scale. By means of a deductive approach, an evolution map of the probability of occurrence was also obtained, considering the average temperature increase suggested by the CH2018 climate scenarios and showing that by the end of the 2020-2049 period almost all the permafrost in the Ticino Alps will be affected by climate change and will most likely be completely disappeared.

Keywords: CH2018 climatic scenarios, machine learning, mapping, permafrost modeling, Ticino Alps

INTRODUZIONE

Nel corso del 21° secolo la criosfera alpina subirà profonde modifiche in seguito all'aumento della temperatura dell'aria e alle modifiche dei regimi delle precipitazioni (CH2018 2018). Tra le componenti della criosfera, anche il permafrost di montagna, terreno con temperature uguali o inferiori a 0°C per due anni consecutivi (Washburn 1979), è soggetto a una degradazione termica quale conseguenza del cambiamento climatico (Etzelmüller & Frauenfelder 2009; Harris et al. 2009; Beniston et al. 2018). Un riscaldamento del

terreno nei settori dove il permafrost è potenzialmente presente può infatti avere vari effetti sulla stabilità dei versanti, quali ad esempio un aumento delle cadute di massi (Gruber & Haeberli 2007; Ravanel et al. 2010) o un'accelerazione della velocità di scorrimento dei ghiacciai rocciosi (Arenson and Springman 2005; Kääb et al. 2007; Roer et al. 2008; PERMOS 2016). Una rappresentazione spaziale dettagliata della ripartizione del fenomeno permafrost è dunque fondamentale per capire quali settori saranno destinati a subire un'evoluzione più repentina nei prossimi decenni. Come regola generale, a livello regionale, l'altitudine alla qua-

le è presente una temperatura media annua dell'aria (MAAT) di -3°C può essere considerata una soglia limite per confinare i terreni dove è attualmente presente un permafrost discontinuo (Gruber & Haeberli 2009). Molti studi e progetti di monitoraggio (per es. Harris et al. 2009; Staub et al. 2015) hanno tuttavia rivelato la complessità del permafrost alpino alla scala locale, sia in termini di ripartizione spaziale sia di sensibilità al riscaldamento attuale. Il permafrost risulta infatti essere distribuito in modo estremamente discontinuo all'interno della fascia periglaciale alpina. Ciò significa che ampie aree non sono gelate nonostante la presenza di condizioni topo-climatiche teoricamente favorevoli (vedi ad esempio Scapozza et al. 2011a; Staub et al. 2015). Una chiara rappresentazione di come il fenomeno si distribuisce spazialmente nei depositi sciolti è difficile da ottenere a causa dei molteplici fattori locali che ne controllano l'eterogenea occorrenza. Sebbene i modelli fisici siano in grado di simulare in modo efficiente lo stato termico del terreno alla scala puntuale (1D, ad esempio un pozzo di trivellazione; Marmy et al. 2016), essi non sono adattati alla cartografia della ripartizione del permafrost di montagna (2D e 3D) a causa dell'elevato numero e dell'elevata variabilità spaziale dei dati di input necessari. Nonostante una ripartizione potenziale del permafrost sia già stata ottenuta per mezzo di modelli empirico-statistici più o meno complessi (per es. Keller & Hoelzle 1996; BAFU 2005; Boeckli et al. 2012), tali modelli offrono generalmente una buona panoramica della distribuzione potenziale del fenomeno su scala locale e regionale, ma non sono tuttavia in grado di riprodurre l'elevata discontinuità spaziale del permafrost di montagna alla micro scala geografica (scala di una specifica forma del terreno, di risoluzione variabile da qualche decina fino a qualche centinaio di metri). Tale limite è imposto dal numero ristretto di parametri topografici e climatici considerati. L'emergere di modelli altimetrici digitali (DEM) con una risoluzione spaziale sub-decametrica e dei corrispondenti indicatori geomorfologici estrapolabili (come ad esempio l'esposizione del terreno, la pendenza, la radiazione solare, la curvatura del terreno, ecc.) ha aumentato sensibilmente la disponibilità e la risoluzione dei dati spaziali. Quale conseguenza di questo progresso, i metodi statistici tradizionali sono recentemente diventati meno accurati a causa dell'aumento del numero di osservazioni associate a ciascuna variabile ambientale. Per poter sfruttare al meglio una così grande quantità di dati (potenzialmente dei big data), gli algoritmi di apprendimento automatico (o machine learning) hanno dimostrato di essere in grado di prendere in considerazione un numero maggiore di parametri rispetto agli approcci classici (vedi Deluigi & Lambiel 2013; Sattler et al. 2016; Deluigi et al. 2017; Deluigi 2018). Per questo motivo, disponendo di una grande quantità di dati spaziali ad alta risoluzione, l'applicazione di algoritmi robusti e non lineari diventa un'efficiente alternativa sia ai tradizionali modelli fisici sia a quelli empiricostatistici volti a modellare la ripartizione spaziale del permafrost con una buona accuratezza alla scala regionale o locale, ma meno accurati alla micro scala (per es. Baroni et al. 2004; Seppi et al. 2005; Etzelmüller et al. 2007; Allen et al. 2009; Boeckli et al. 2012). Grazie all'impiego dei numerosi dati estratti dalle misurazioni sul campo e dai catasti dei ghiacciai rocciosi è finalmente possibile modellare spazialmente l'interrelazione non lineare che esiste tra le componenti climatiche e le proprietà del suolo/sottosuolo che controllano la presenza o assenza del permafrost di montagna alla micro scala, senza dover ricorrere ad alcun modello fisico.

Questo studio si prefigge di applicare un algoritmo di apprendimento automatico ai numerosi dati spaziali raccolti nell'ultimo decennio nelle Alpi Ticinesi nel contesto di vari studi, quali ad esempio Scapozza & Mari (2010), Scapozza et al. (2011b), Scapozza et al. (2018), Scapozza et al. (2020a). L'obiettivo principale è una modellazione della distribuzione potenziale del permafrost di montagna coerente alla micro scala geografica e la produzione di una carta che rifletta l'eterogeneità spaziale di questo fenomeno naturale nel rispetto delle osservazioni di terreno raccolte su territorio ticinese. Viene inoltre presentato un approccio lineare applicato alle probabilità di occorrenza di permafrost ottenuto grazie all'apprendimento automatico per estrapolare le probabilità di occorrenza future sulla base dell'aumento medio della temperatura annua proposto dagli scenari climatici CH2018, che prevedono un aumento di 1.1°/1.3°/1.4°C entro la fine del periodo 2020-2049 (secondo lo scenario considerato; RCP2.6/4.5/8.5). La distribuzione potenziale attuale e futura del permafrost è dunque stata prodotta tramite due approcci diversi: con l'apprendimento automatico è stata ottenuta (1) una rappresentazione alla micro scala geografica dell'estensione dei suoli potenzialmente gelati in permanenza delle Alpi Ticinesi che indica quali aree di montagna possiedono un'alta probabilità di permafrost all'esterno del perimetro dei ghiacciai rocciosi attivi; con un approccio più deduttivo sono state generate (2) delle carte rappresentanti l'evoluzione delle probabilità di permafrost nel futuro, che forniscono una rappresentazione dei settori potenzialmente maggiormente soggetti a un incremento futuro delle temperature del suolo.

MATERIALI E METODI

Ripartizione attuale del permafrost delle Alpi Ticinesi mediante un approccio di apprendimento automatico L'apprendimento automatico (o machine learning) è un campo dell'intelligenza artificiale che applica algoritmi e tecniche statistiche tali da consentire ai computer di estrapolare un modello matematico direttamente dai dati (per es. Vapnik 1998; Kohonen 2001; Cherkassky & Mulier 2007; Kanevski 2008; Hastie et al. 2009; Haykin 2009). La caratteristica di questi algoritmi è la loro capacità di estrapolare, dai dati ad essi forniti, la relazione matematica che esiste tra un fenomeno naturale e le rispettive variabili ambientali che ne controllano la presenza o l'assenza senza ricorrere ad alcun modello fisico prestabilito. Le reti neurali artificiali (artificial neural network), i vettori a margini di supporto (support vector machine), le reti di Kohonen (self-organizing maps) o le foreste casuali (random forest) sono solo alcune delle tecniche più utilizzate per la modellazione di

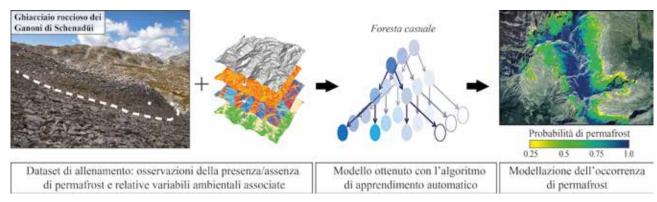


Figura 1: Differenti tappe della modellazione del permafrost con un approccio basato sui dati. In una prima fase ogni osservazione di terreno (pixel di presenza/assenza certa di permafrost) è associata alle relative informazioni spaziali (variabili ambientali quali pendenza, radiazione solare, curvatura del suolo, ecc.). I dati raccolti sono in seguito trattati dall'algoritmo di apprendimento automatico per l'estrapolazione di un modello matematico, che è poi applicato a tutta la zona di studio per la produzione della carta delle probabilità di occorrenza di permafrost (fotografia: N. Deluigi; ortoimmagine: swisstopo).

fenomeni naturali. Nel campo della modellazione della distribuzione spaziale del permafrost, la disponibilità di un numero importante di dati spaziali dal quale poter estrapolare un modello è il prerequisito principale per applicare algoritmi basati sull'apprendimento automatico. Il numero sempre più crescente di dati spaziali, ottenuti grazie ad esempio al monitoraggio sistematico dello stato termico del suolo o della cinematica dei ghiacciai rocciosi (per es. Scapozza et al. 2020a), così come la disponibilità di informazioni estrapolate dal telerilevamento (ortofoto, modelli digitali del terreno, ecc.), permettono oggi la creazione di modelli spaziali sempre più precisi. A differenza dei modelli topo-climatici più classici (per es. Keller & Hoelzle 1996; BAFU 2005), che si basano solamente su un numero ristretto di fattori di controllo, i modelli basati sull'apprendimento automatico possono tenere in considerazione decine di variabili ambientali e produrre così risultati che si avvicinano in maniera precisa alle reali osservazioni di terreno. Per cartografare in modo efficiente la ripartizione spaziale del permafrost di montagna utilizzando un approccio basato sui dati occorre dunque costruire un set di dati completo e rappresentativo della distribuzione conosciuta del permafrost, nel quale a ogni osservazione di terreno sono associate le sue caratteriste spaziali. Nella pratica, tale set di dati si presenta sotto forma di una matrice contenente le informazioni spaziali associate ai pixel della griglia di predizione (che copre la regione nella quale si vuole ottenere il modello) e le osservazioni della presenza o assenza di permafrost, che sono successivamente impiegate durante il processo di modellazione dall'algoritmo di apprendimento automatico scelto (i cosiddetti dati o esempi di allenamento; Fig. 1).

Sulla base del modello matematico estratto direttamente dai dati (pixel corrispondenti alla presenza o assenza certa del fenomeno), una predizione della probabilità di occorrenza di permafrost è poi associata ai pixel della griglia per cui questa probabilità è sconosciuta. La carta finale della ripartizione potenziale del permafrost risulta dunque da una classificazione statistica effettuata dall'algoritmo di apprendimento automatico e basata sugli esempi di allenamento estratti dalle osservazioni di terreno (Fig. 2). La valutazione della qualità del

modello è in seguito calcolata applicando il medesimo modello su una porzione di dati indipendente dal set di dati di allenamento (mai fornita all'algoritmo), utilizzato unicamente per testare le capacità predittive del modello.

Dati ambientali di allenamento: ripartizione nota del permafrost

Per questo studio, i dati indicativi della presenza e assenza di permafrost sono stati raccolti da diverse fonti, quali in catasto dei ghiacciai rocciosi del Ticino (Scapozza & Mari 2010) e i dati estrapolati da specifiche campagne di terreno (vedi Scapozza et al. 2011b; 2018; 2020a; 2020b). Informazioni riguardanti la presenza o l'assenza di permafrost sono state derivate in base all'attività dei ghiacciai rocciosi presenti nel catasto. I ghiacciai rocciosi attivi o inattivi (detti anche ghiacciai rocciosi intatti) attestano generalmente una potenziale esistenza di condizioni favorevoli a un suolo gelato in permanenza, mentre quelli relitti ne indicano l'assenza (Haeberli 1985; Barsch 1996; Humlum 1996). L'attività è stata verificata con l'analisi delle caratteristiche geomorfologiche attraverso l'interpretazione di ortoimmagini e segnali interferometrici radar ad apertura sintetica (InSAR) (Scapozza & Mari 2010). I limiti complessivi dei ghiacciai rocciosi sono quindi stati corretti tramite il confronto con le ortofoto più recenti a disposizione (2013-2016 swisstopo SWISSIMAGE, risoluzione al suolo: 25 cm). L'estensione massima della superficie dei ghiacciai rocciosi è stata inoltre delimitata disegnando il confine esterno dei loro corpi principali. Mediante tale scelta, l'algoritmo di modellazione può infatti sfruttare la curvatura della morfologia dei ghiacciai rocciosi, tipicamente convessa, per apprendere con precisione le caratteristiche spaziali di queste forme geomorfologiche. Un totale di 281 poligoni è stato estrapolato dall'aggiornamento del catasto proposto in Scapozza & Mari (2010), permettendo di rappresentare i settori delle Alpi Ticinesi per i quali la presenza e l'assenza di permafrost sono state accertate (maggioritariamente in presenza di ghiacciai rocciosi intatti e relitti, con l'aggiunta di alcune falde di detrito; Fig. 2).

Un totale di 15 predittori ambientali (variabili) in grado di spiegare la presenza di permafrost sono state se-

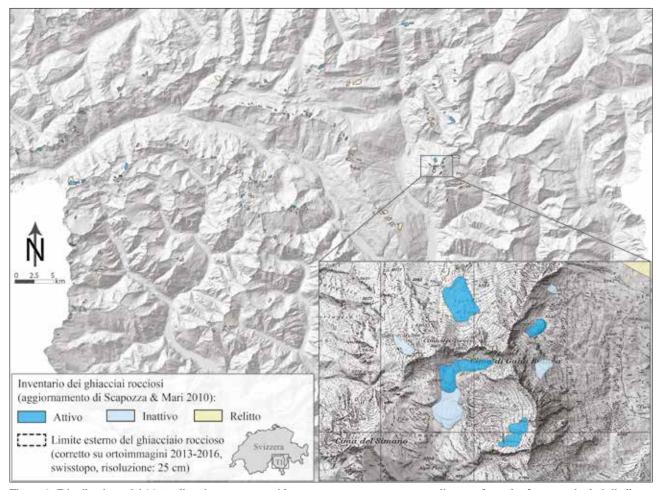


Figura 2: Distribuzione dei 281 poligoni rappresentanti la presenza e assenza accertata di permafrost che fungono da dati di allenamento per l'estrapolazione del modello matematico basato sull'apprendimento automatico (hillshade e carta topografica: swisstopo).

lezionate per questo studio (Tab. 1) sulla base dei risultati ottenuti selezionando lo stesso tipo di predittori in Deluigi & Lambiel (2013), Deluigi et al. (2017) e Deluigi (2018). Oltre ai fattori di controllo del permafrost generalmente impiegati nella modellazione della sua ripartizione (come l'altitudine, MAAT, l'esposizione del terreno e la radiazione solare diretta; per es. BAFU 2005; Boeckli et al. 2012), alcuni predittori morfologici come ad esempio gli indici di curvatura sono stati selezionati quale rappresentazione della microtopografia delle forme periglaciali. La curvatura può infatti aiutare a riconoscere la presenza di forme lobate potenzialmente occupate da permafrost quali i ghiacciai rocciosi o altre forme di flusso periglaciale. Per rappresentare al meglio tutte le scale spaziali di tali forme, la curvatura del terreno è stata calcolata sulla base di modelli altitudinali a diverse risoluzioni (10/30/50/100/500/1000 m): le curvature a risoluzione più alta rappresentano le forme di terreno di dimensioni più ridotte quali lobi, piccoli cordoni o depressioni, mentre le curvature a risoluzione più bassa hanno lo scopo di aiutare l'algoritmo di modellazione a rilevare la presenza di grandi creste o grandi depressioni (a indicare per esempio un fondovalle). Nel set di dati impiegato sono inoltre stati considerati predittori ambientali che descrivono le caratteristiche del terreno studiato: la copertura del suolo, come ad esempio la presenza di ghiacciai, laghi o fiumi (indicativi dell'assenza di permafrost), l'indice di vegetazione a differenza normalizzata (NDVI; con duplice utilizzo di indicatore di aree vegetate o texture spaziale), e la granulometria. Quest'ultima variabile è indicativa della presenza o assenza di terreni a blocchi di grosse dimensioni, nei quali la presenza di permafrost nelle aree montane può essere più favorevole (per es. Sawada et al. 2003; Gruber & Hoelzle 2008). Un terreno coperto da grossi blocchi può infatti essere caratterizzato da meccanismi convettivi dell'aria nel sottosuolo che possono provocare forti variazioni spaziali delle temperature del suolo (per es. Morard et al. 2010; Rödder & Kneisel 2012). L'integrazione della granulometria tra le variabili ambientali utilizzate è dunque estremamente importante per rappresentare la ripartizione potenziale del permafrost di montagna alla micro scala geografica.

Delimitazione della griglia di predizione

La cosiddetta griglia di predizione è la porzione di territorio a cui è applicata la funzione matematica estratta dai dati. La delimitazione di questa griglia si basa sulle variabili di copertura del suolo e sul NDVI. La predizione dell'occorrenza del permafrost è stata calcolata solo per i settori in cui quest'ultima era sconosciuta, ossia nelle superfici a copertura minerale quali falde di detrito, depositi morenici e altre superfici coperte di detriti e affioramenti di roccia. Le aree in cui il permafrost è generalmente assente (come ghiacciai, margini proglaciali, fiumi, laghi o settori vegetati) sono state invece escluse dalla griglia dato che posseggono condizioni ter-

Tabella 1: Descrizione e relativo utilizzo delle variabili ambientali (o predittori) utilizzate nel set di dati di allenamento.

Variabile	Tipo	Utilizzo	Descrizione
Altitudine	Continuo	Classificazione	Altitudine dell'area di studio estratta dal modello digitale di terreno (swissALTI3D di swisstopo, risoluzione 2 m riconvertito a 10 m), dalla quale dipende la temperatura dell'aria.
Componente nord	Continuo	Classificazione	Componente nord dell'orientazione del terreno, espresso come il coseno dell'angolo di orientazione (dalla quale dipendono la quantità di radiazione solare diretta che raggiunge il suolo).
Componente est	Continuo	Classificazione	Componente est dell'orientazione del terreno, espresso come il seno dell'angolo di orientazione (dalla quale dipendono la quantità di radiazione solare diretta che raggiunge il suolo).
Pendenza	Continuo	Classificazione	Pendenza del terreno, dalla quale dipendono la quantità di radiazione solare diretta che raggiunge il suolo e la quantità di neve depositabile.
PSIR	Continuo	Classificazione	Quantità di radiazione solare diretta per il periodo compreso tra il 1° luglio e il 31 ottobre (periodo di assenza del manto nevoso). Tiene conto dell'effetto di ombreggiatura provocato dal profilo topografico.
NDVI	Continuo	Classificazione e delimitazione della griglia di predizione	Normalized Difference Vegetation Index calcolato da immagini (swisstopo). Permette la distinzione di superfici vegetate rispetto ad altre superfici o la variabilità locale della tessitura delle zone a copertura minerale.
Granulometria	Continuo	Classificazione	Deviazione standard locale calcolata con un filtro a 21 pixel e applicata alle ortoimmagini in scala di grigi (SWISSIMAGE di swisstopo, risoluzione 25 cm).
Curvatura planimetrica	Continuo	Classificazione	Curvatura planimetrica, perpendicolare alla direzione di massima pendenza (utile all'identificazione indicare lobi o depressioni).
Curvatura di profilo	Continuo	Classificazione	Curvatura di profilo, parallela alla direzione di massima pendenza (utile all'identificazione di lobi o depressioni).
Curvatura combinata	Continuo	Classificazione	Combinazione delle curvature planimetriche e di profilo (utile all'identificazione di lobi o depressioni).
Margine proglaciale	Categorico	Delimitazione della griglia di predizione	Terreni recentemente liberati dalla presenza di ghiacciai, dove le condizioni termiche del suolo sono generalmente sfavorevoli alla presenza di permafrost.
Ghiacciaio	Categorico	Delimitazione della griglia di predizione	Terreni coperti da ghiacciai, principalmente a base temperata o politermici, dove le condizioni termiche del suolo sono generalmente sfavorevoli alla presenza di permafrost.
Lago	Categorico	Delimitazione della griglia di predizione	Terreni dove le condizioni termiche del suolo sono generalmente sfavorevoli alla presenza di permafrost.
Parete rocciosa	Categorico	Delimitazione della griglia di predizione	Permafrost potenzialmente presente ad altitudini sufficientemente elevate.
Fiume	Categorico	Delimitazione della griglia di predizione	Terreni dove le condizioni termiche del suolo sono generalmente sfavorevoli alla presenza di permafrost.

miche generalmente troppo calde per garantire la presenza di permafrost. Per ridurre il numero di computazioni e il tempo di calcolo, tutti i settori inferiori a 2000 m slm sono stati anch'essi esclusi. Tale scelta è giustificata dall'assenza nelle Alpi Ticinesi di sufficienti dati di allenamento indicativi di terreni gelati sotto a 2000 m slm. Benché alcuni studi abbiano rivelato che nelle Alpi è possibile osservare del permafrost sporadico a tali altitudini (per es. Delaloye et al. 2003), la loro estensione è troppo ridotta per giustificare una modellazione dell'estensione del permafrost sull'intero territorio ticinese. Sopra i 2000 m slm invece, le evidenze di permafrost raccolte derivano principalmente da indagini effettuate su superfici a copertura detritica mentre sono scarsi i dati disponibili nelle pareti rocciose. Quest'ultime non sono sufficienti a produrre un modello di ripartizione affidabile in questo tipo di terreno e, di conseguenza, anche le pareti rocciose sono state escluse dalla griglia di predizione, delimitandole selezionando tutti i settori con copertura minerale e una pendenza superiore a 40°, soglia corrispondente al limite superiore dell'angolo di inclinazione del pendio a partire dal quale la neve o i detriti si depositano con difficoltà (Pogliotti 2011). Se si considera poi che la presenza di permafrost nelle pareti rocciose è sempre stata accertata ad altitudini più elevate (diverse centinaia di metri) rispetto al permafrost nei detriti rocciosi (Boeckli et al. 2012), la sua occorrenza in buona parte delle Alpi Ticinesi è da escludere o da considerare esclusivamente sporadica.

Alberi di classificazione e foreste casuali

L'algoritmo di apprendimento automatico selezionato per questo studio si basa sulla tecnica degli alberi di classificazione (Hunt et al. 1966) che appartengono a una famiglia di classificatori supervisionati che segmentano i dati in gruppi omogenei secondo la classe della varia-

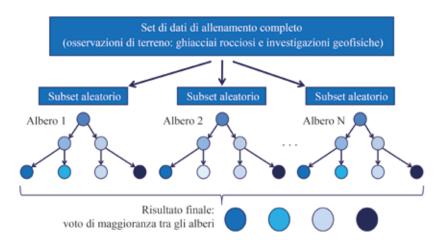


Figura 3: Rappresentazione schematica del funzionamento di una foresta casuale, con la creazione di N alberi di decisione basati sul partizionamento del set di dati di allenamento e la produzione del risultato finale per voto di maggioranza tra le differenti classificazioni ottenute.

bile da classificare (presenza o assenza di permafrost nel presente caso di studio). Questi alberi sono dei grafi aciclici e sono rappresentati sotto forma di diagrammi ad albero, i quali si diramano a mano a mano che la classificazione è compiuta (Fig. 3). Sviluppate sfruttando questo classificatore, le foreste casuali (o random forest) sono un modello multi-albero costituito da una collezione o ensemble di alberi di classificazione (Breiman 2001). In una foresta casuale i singoli alberi sono costruiti selezionando in maniera randomizzata porzioni delle osservazioni di terreno e delle rispettive variabili ambientali predittive. Ogni albero è infatti sviluppato utilizzando dei set di dati replicati (con la tecnica del bootstrap) e dei sottogruppi di variabili campionate in maniera aleatoria. Le differenti classificazioni suggerite dai diversi alberi costruiti sono in seguito combinate per ottenere la predizione finale (Fig. 3). Tale predizione è espressa in probabilità di appartenere a una determinata classe e, nel caso di studio specifico, essa esprime la probabilità di appartenere alla classe "presenza di permafrost".

La validazione del modello si basa su due misure di valutazione: l'errore out-of-bag e le curve ROC (Receiver Operating Characteristic). Il primo deriva dall'utilizzo del bootstrap quale metodo di campionamento del set di dati. Dato che solo 2/3 delle osservazioni del sottoinsieme bootstrap sono adottate per far crescere l'albero, il restante 1/3 può essere utilizzato per valutare la capacità di generalizzazione dell'algoritmo e può essere espresso sotto forma di errore (il cosiddetto out-of-bag error o OOB). La seconda misura della qualità del modello si basa sull'analisi della curva ROC, effettuata tramite lo studio della funzione che lega la probabilità di ottenere un risultato vero positivo nella classe della presenza di permafrost, alla probabilità di ottenere un risultato falso positivo nella classe dell'assenza di permafrost. Dal grafico ROC è possibile calcolare l'area sotto la curva ROC (o AUC), la quale fornisce un'indicazione della performance del modello. Valori che variano tra 0.5 e 0.7 indicano generalmente un modello con scarse capacità predittive, tra 0.7 e 0.8 capacità predittive moderate, tra 0.8 e 0.9 buone capacità predittive e superiori a 0.9 un modello eccellente (Sweets 1988).

Le foreste casuali sono già state precedentemente utilizzate da Deluigi et al. (2017) e Deluigi (2018) per la modellizzazione del permafrost; si rimanda dunque a tali pubblicazioni per ulteriori approfondimenti metodologici.

Ripartizione potenziale futura del permafrost delle Alpi Ticinesi mediante un approccio lineare

Non avendo a disposizione dati di allenamento che riflettano l'evoluzione spaziale di alcuni parametri ambientali o l'estensione dei ghiacciai rocciosi attivi utilizzati nella produzione della carta di ripartizione attuale del permafrost per mezzo delle foreste casuali, un approccio lineare è stato sviluppato per ottenere una rappresentazione dell'estensione potenziale futura del permafrost delle Alpi Ticinesi. Utilizzando il gradiente di temperatura di -0.59°C/100 m proposto da Bouët (1985) e già utilizzato in Scapozza & Fontana (2009) nel contesto delle Alpi Ticinesi, per ogni esposizione (N, NO, O, SO, S, SE, E, NE), sono state estrapolate le altitudini alle quali si è registrata una MAAT di 0°C. Tenendo conto poi dei valori teorici di aumento della temperatura proposti negli scenari CH2018 (2018) per il sud delle Alpi svizzere (scenari regionali CHS), sono state calcolate le altitudini alle quali è prevista una MAAT di 0°C in un futuro prossimo (2035 secondo gli scenari CH2018, a riferimento del periodo 2020-2049), attorno alla metà del secolo (2060 secondo gli scenari CH2018, a riferimento del periodo 2045-2074) e verso la fine del secolo (2085 secondo gli scenari CH2018, a riferimento del periodo 2070-2099). Queste proiezioni del cambiamento climatico propongono una simulazione regionale della variazione del clima rispetto agli scenari climatici RCP2.6 (ossia forte mitigazione che mantiene il riscaldamento globale sotto i 2°C rispetto alla temperatura preindustriale), RCP4.5 (che propone una moderata mitigazione) e RCP8.5 (nessun tipo di mitigazione) (CH2018, 2018). Per ogni esposizione, le probabilità medie di permafrost alle altitudini calcolate sono state in seguito estratte dalla carta di ripartizione potenziale del permafrost ottenuta con le foreste causali, sia per le isoterme di 0°C medie attuali sia per quelle future. Una carta teorica dell'evoluzione del permafrost per ogni scenario è stata infine ottenuta sottraendo la differenza di probabilità all'intera carta.

RISULTATI

L'inventario dei ghiacciai rocciosi e i siti oggetto di investigazioni di terreno sono stati riassunti in un dataset contenente un totale di 281 poligoni, 124 dei quali a rappresentare la presenza di permafrost (principalmen-

te ghiacciai rocciosi intatti) e i restanti 157 la sua assenza (ghiacciai rocciosi relitti). Grazie alla creazione di una griglia di predizione di 10 m di risoluzione, questi poligoni hanno fornito alle foreste casuali circa 50'000 esempi di presenza e 84'500 esempi di assenza. La superficie coperta da tali poligoni copre 13.45 km² della griglia di predizione, corrispondente a circa il 5.3% della porzione di territorio alla quale è stata applicata la funzione matematica estrapolata direttamente dai dati di allenamento. La qualità del modello, calcolata sul dataset di test ed espressa tramite l'errore OOB e l'area sotto la curva ROC, si attesta rispettivamente a 7.48% e 0.84. Secondo Sweets (1988), la classificazione prodotta ha dunque delle buone capacità predittive quando il modello è riapplicato ai pixel per i quali la probabilità di occorrenza di permafrost è sconosciuta. La funzione matematica finale è stata ottenuta facendo crescere un totale di 1000 alberi e calcolando la media dei singoli risultati da essi ottenuti. La carta della ripartizione potenziale del permafrost nelle Alpi Ticinesi è stata in seguito ottenuta applicando tale funzione alla totalità dei pixel della griglia di predizione ed esprimendo il risultato binario (presenza/assenza) in probabilità

di appartenenza a una delle due classi (Fig. 4; la carta nella sua interezza è visualizzabile su: http://repository. supsi.ch/11589/). Una rappresentazione dell'incertezza del modello è anch'essa visualizzabile nella versione digitale della carta ed è stata ottenuta calcolando lo scarto quadratico medio di tutti i risultati ottenuti dalle foreste casuali per ogni pixel della griglia di predizione. A livello regionale, la carta della ripartizione del permafrost nelle Alpi Ticinesi indica che il fenomeno è potenzialmente presente nei settori che si situano a un'altitudine superiore a 2500 m slm. Questo limite varia leggermente secondo le caratteristiche spaziali specifiche dell'area di studio (orientazione, presenza di copertura detritica a granulometria grossolana, ecc.) ed è stato estrapolato direttamente dai dati, senza che alcun limite altitudinale empirico sia stato fornito al modello. L'occorrenza di permafrost aumenta sensibilmente con l'aumentare dell'altitudine (Fig. 5, sopra). Tra 2250 e 2499 m slm infatti la carta indica delle probabilità di circa il 50% di permafrost nei terreni a copertura detritica, mentre a partire da tale soglia le probabilità aumentano fino a raggiungere il 95% per l'intervallo compreso fra 3250 e 3499 m slm. Le pro-

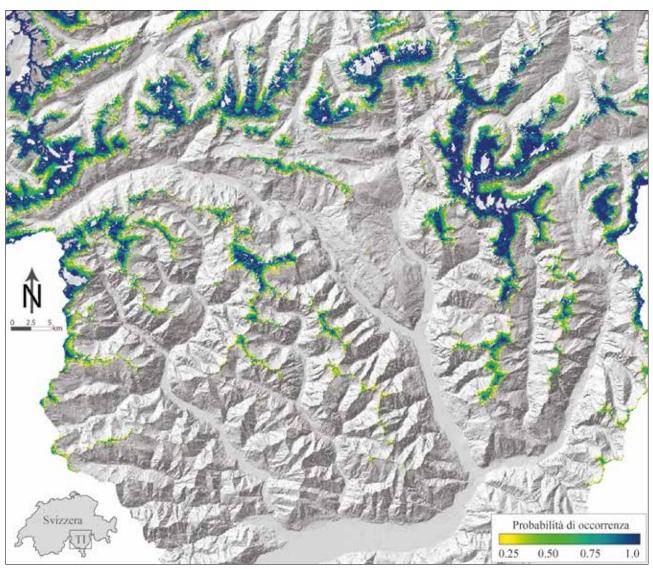


Figura 4: Carta della ripartizione potenziale del permafrost nelle Alpi Ticinesi ottenuta dalla classificazione di dati spaziali di terreno per mezzo delle foreste casuali (hillshade: swisstopo). La carta interattiva è visualizzabile nella sua interezza su: http://repository.supsi.ch/11589/

babilità di occorrenza sono invece equamente ripartite tra le otto esposizioni del terreno (Fig. 5, sotto). Infine, la porzione di territorio alla quale è stata attribuita una probabilità di occorrenza superiore al 50% copre circa 265 km², corrispondente al 9.4% della superficie totale del Cantone Ticino (2812.46 km²).

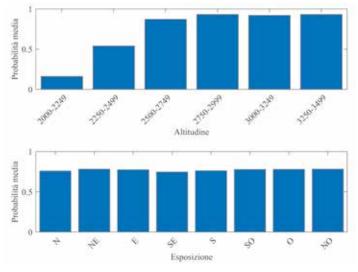


Figura 5: Distribuzione delle probabilità di occorrenza di permafrost per intevallo di altitudine (sopra) e per esposizione del versante (sotto).

DISCUSSIONE

Ripartizione del permafrost nelle Alpi Ticinesi

Un'analisi approfondita della carta indica che, a livello della micro scala geografica, il modello simula una ripartizione potenziale del permafrost estremamente eterogenea, risultato che rispetta in maniera accurata la realtà di terreno e che si distingue dai modelli classici che utilizzano approcci empirici o empirico-statistici (come quelli proposti ad esempio nei modelli PERMAKART di Keller 1992; PERMAMAP di Hoelzle & Haeberli 1996; o del BAFU 2005). L'esempio di analisi settoriale nel massiccio della Cima di Gana Bianca (Fig. 6), tra la Valle di Blenio e la Val Malvaglia, mostra la buona corrispondenza tra le probabilità prodotte dalle foreste casuali e la presenza di permafrost attestata dai ghiacciai rocciosi attivi di Gana Bianca II, III e IV (Fig. 6A, lett. a). I settori a copertura detritica localizzati a quote superiori a 2550-2600 m slm sono infatti caratterizzati da probabilità di trovare permafrost che superano il 70%. Alle quote del ghiacciaio roccioso inattivo dell'Alpe Pièi, invece, le probabilità di occorrenza sono sensibilmente inferiori, ad indicare che la presenza di permafrost è più incerta (simulata tra il 35 e il 50%; Fig. 6A, lett. b). A quote ancora più basse, il modello simula in maniera corretta l'assenza di permafrost, come lo testimoniano le deboli probabilità prodotte per la Valle di Sceru, dove le condizioni climatiche non sono sufficienti al mantenimento di permafrost come confermato dallo stato termico dei ghiacciai rocciosi cartografati come relitti in Scapozza et al. (2011b) (Fig. 6C, lett. c). L'importante eterogeneità della ripartizione del permafrost è stata ottenuta estrapolando l'interrelazione statistica che esiste tra le osservazioni di terreno fornite all'algoritmo e le caratteristiche spaziali ad esse associate. Ciò significa che la carta di distribuzione potenziale del permafrost non è stata ottenuta ricorrendo a un set fisso di parametri, come ad esempio alcune soglie di altitudine predeterminate sulla quota dei fronti dei ghiacciai rocciosi classicamente impiegate per rappresentare diverse categorie di occorrenza del permafrost (per es. BAFU 2005). Questa differenza è ben osservabile confrontando la ripartizione del permafrost nel massiccio della Cima di Gana Bianca ottenuta in questo studio (Fig. 6A) con quella proposta nella Carta ufficiale del BAFU (2005) (Fig. 6B). Quest'ultima è infatti caratterizzata da un'occorrenza di permafrost che aumenta con la quota e che si traduce in una rappresentazione a bande altitudinali poco coerente con la realtà di terreno e con la forte eterogeneità spaziale tipica della ripartizione del fenomeno alla micro scala geografica. A differenza dei modelli tradizionali, le foreste casuali sono state in grado di apprendere automaticamente il limite inferiore del permafrost e la sua ripartizione all'interno della zona periglaciale senza alcuna necessità di predefinire una serie di regole che permettano di discriminare la presenza di permafrost dalla sua assenza. Sono stati infatti i dati stessi a fornire tali informazioni all'algoritmo di classificazione. È importante però notare che i parametri ambientali utilizzati in questo studio sono una rappresentazione delle condizioni climatiche della fine del secolo scorso e che quindi la carta della ripartizione attuale del permafrost rappresenta una distribuzione che non è in equilibrio con le condizioni climatiche attuali.

Nonostante l'approccio di modellazione preveda l'esclusione di un set di validazione dedicato che non è mai fornito all'algoritmo nel processo di classificazione, un'ulteriore verifica della carta è presentata in Figura 7, dove le temperature dell'acqua di alcune sorgenti presenti nell'area del Lago di Leit (regione del Passo Campolungo, Valle Leventina) sono state confrontate con le probabilità di occorrenza per i medesimi settori (Tab. 2). Sulla base della classificazione proposta da Haeberli (1975), Scapozza et al. (2011b) e Carturan et al. (2016), temperature dell'acqua comprese tra 0°C e 1°C corrispondono a una presenza probabile di permafrost, temperature comprese tra 1°C e 2°C sono attribuibili a una sua presenza possibile, mentre valori superiori a 2°C si traducono in assenza di suoli gelati in permanenza. Le temperature delle sorgenti localizzate a valle del ghiacciaio roccioso attivo di Pizzo Campolungo attestano una presenza probabile di permafrost (Fig. 7), mentre le altre sorgenti studiate si trovano in settori dove le probabilità di occorrenza sono basse (tra il 25% e il 40%). Questo esempio mostra, da un lato, la corretta modellazione del limite inferiore del permafrost, dall'altro, l'eterogenea ripartizione del fenomeno, la cui probabilità di occorrenza non è direttamente proporzionale all'aumento di altitudine, ma riflette piuttosto specifiche caratteristiche spaziali estrapolate direttamente dai dati.

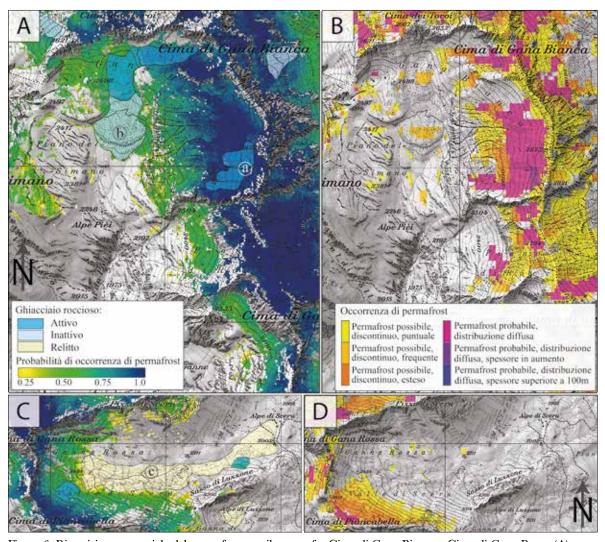


Figura 6: Ripartizione potenziale del permafrost per il settore fra Cima di Gana Bianca e Cima di Gana Rossa (A) e per il settore della Valle di Sceru (C); (a) ghiacciai rocciosi attivi di Gana Bianca II, III e IV; (b) ghiacciaio roccioso inattivo dell'Alpe Pièi; (c) complesso di ghiacciai rocciosi relitti della Valle di Sceru. (B e D) Carta ufficiale della ripartizione del permafrost, modificata da BAFU (2005) (hillshade e carta topografica: swisstopo).

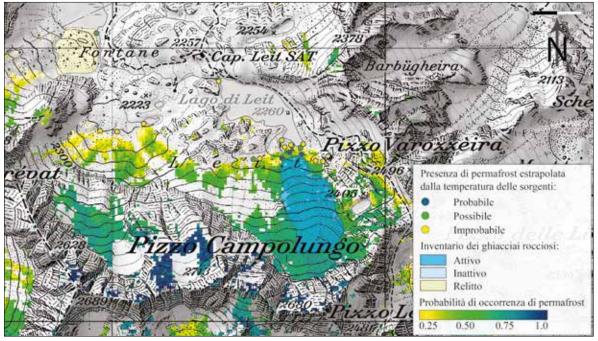


Figura 7: Confronto tra la ripartizione potenziale del permafrost nel settore del Lago di Leit-Pizzo Campolungo e la presenza di permafrost dedotta dalla temperatura delle acque di sorgente misurata il 12.9.2019 (hillshade e carta topografica: swisstopo).

Tabella 2: Localizzazione e temperatura delle sorgenti misurate nella regione del Lago di Leit-Pizzo Campolungo il 12.9.2019 e confronto con la probabilità di occorrenza simulata per il relativo pixel della carta della ripartizione potenziale del permafrost. Forma: AR = affioramento roccioso; FD = falda di detrito GR = ghiacciaio roccioso. Coord.: coordinate secondo il sistema CH1903+ / LV95.

Sito	Forma	T. (°C)	Coord. X	Coord. Y	Alt. (m slm)	Permafrost (da sorgenti)	Probabilità di permafrost (%)
LEI_S01	GR intatto	0.9	2'698'694	1'146'612	2266	Probabile	58
LEI_S05	GR intatto	1.0	2'698'623	1'146'598	2292	Probabile	58
LEI_S03	GR intatto	0.8	2'698'650	1'146'619	2287	Probabile	51
LEI_S13	FD	1.9	2'698'518	1'146'594	2292	Possibile	44
LEI_S12	FD	2.1	2'698'541	1'146'597	2287	Improbabile	36
LEI_S09	FD	3.5	2'698'745	1'146'589	2286	Improbabile	29
LEI_S17	FD	2.7	2'697'956	1'146'698	2187	Improbabile	29
LEI_S07	AR	3.2	2'698'632	1'146'639	2294	Improbabile	28
LEI_S15	FD	2.4	2'698'116	1'146'724	2223	Improbabile	28
LEI_S16	FD	2.3	2'698'018	1'146'695	2233	Improbabile	27
LEI_S02	GR intatto	1.1	2'698'690	1'146'636	2260	Possibile	25
LEI_S04	GR intatto	2.1	2'698'659	1'146'644	2265	Improbabile	0
LEI_S06	GR intatto	2.4	2'698'655	1'146'647	2260	Improbabile	0
LEI_S08	FD	4.4	2'698'772	1'146'586	2294	Improbabile	0
LEI_S10	Lago di Leìt	4.3	2'698'700	1'146'650	2260	Improbabile	0
LEI_S11	FD	2.4	2'698'621	1'146'664	2285	Improbabile	0
LEI_S14	Lago di Leìt	10.0	2'698'390	1'146'880	2262	Improbabile	0
FON_S01	GR relitto	1.6	2'697'942	1'147'056	2136	Possibile	0

Evoluzione futura del permafrost nelle Alpi Ticinesi

Il modello di ripartizione potenziale attuale del permafrost presentato in questo studio si basa su esempi di allenamento che riflettono l'estensione spaziale conosciuta del permafrost e la sua interrelazione con i parametri ambientali di controllo attuali (o comunque rappresentativi delle condizioni climatiche della fine del secolo scorso). Non è purtroppo possibile applicare il medesimo approccio per modellare l'evoluzione della distribuzione spaziale del permafrost nei prossimi decenni non avendo a disposizione dati di allenamento che riflettano l'evoluzione spaziale di alcuni parametri utilizzati nel processo di apprendimento automatico. Nonostante l'evoluzione di alcuni predittori ambientali quali MAAT o PSIR sia facilmente modellabile, simulare ad esempio l'estensione futura dei ghiacciai rocciosi, dei terreni a copertura minerale o della vegetazione è più complesso e genererebbe troppe incertezze per la corretta modellazione della ripartizione del permafrost alla micro scala. Con un approccio lineare alternativo, basato sull'incremento della temperatura dell'aria come proposto dagli scenari climatici svizzeri CH2018, è stata ottenuta una carta dell'estensione futura del permafrost nelle Alpi Ticinesi che è però da ritenersi valida unicamente per una valutazione dell'evoluzione del permafrost alla scala regionale. Tramite tale metodologia si presuppone infatti che la degradazione termica del suolo sia linearmente correlata all'aumento della temperatura dell'aria e non si tiene conto che le caratteristiche specifiche di un determinato sito, come ad esempio il raffreddamento in terreni a grossi blocchi, possano ritardare il riscaldamento della temperatura del suolo.

La simulazione dell'evoluzione delle probabilità d'occorrenza del permafrost considerando l'aumento medio della temperatura suggerito dallo scenario RCP2.6, il più conservativo e che prevede l'aumento minimo (+1.1°C entro la fine del periodo 2020-2049), mostra come i settori con forte probabilità di presenza di permafrost saranno soggetti nel prossimo futuro a una riduzione significativa della probabilità di occorrenza sotto al 35% per tutte le quote e tutte le orientazioni (Fig. 8). Essendo gli incrementi simulati di temperatura per il periodo 2045-2074 e il periodo 2070-2099 molto simili a quanto predetto per il periodo 2020-2049 (+1.2° per entrambi i periodi), tra il 2020-2049 e la fine del secolo la presenza di permafrost diminuirà solo leggermente a livello locale se le azioni proposte dallo scenario RCP2.6 saranno rispettate. Sebbene l'evoluzione delle probabilità proposta mostri chiaramente come entro il 2020-2049 le condizioni topo-climatiche saranno troppo elevate per mantenere il permafrost ad altitudini di 2500-3000 m slm, è possibile che particolari caratteristiche del terreno possano comunque preservare temperature fredde del suolo e dunque il mantenimento sporadico del permafrost. Qualora invece l'aumento delle temperature dell'aria seguirà quanto previsto dagli scenari RCP4.5 e RCP8.5, meno conservativi rispetto allo scenario RCP2.6, alla fine del 21° secolo nelle Alpi Ticinesi sarà molto improbabile osservare delle temperature del suolo tali da permettere il mantenimento di suoli gelati in permanenza, poiché il limite altitudinale di 0° si troverà ben al di sopra delle quote

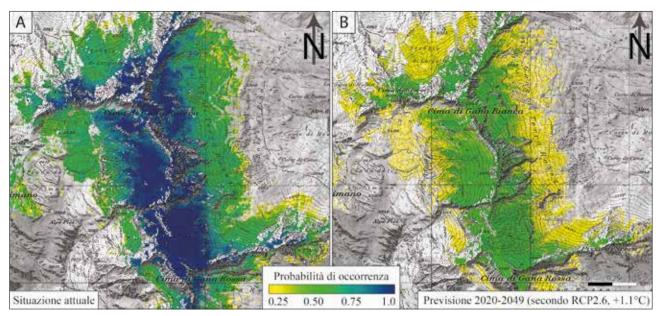


Figura 8: (A) Ripartizione potenziale del permafrost basata su dati che riflettono le condizioni climatiche attuali (o della fine del secolo scorso) e (B) evoluzione futura simulata sulla base dell'aumento delle temperature dell'aria proposto dallo scenario climatico CH2018, secondo il piano di mitigazione RCP2.6 (+1.1°C per il periodo 2020-2049) (hillshade e carta topografica: swisstopo).

massime delle montagne ticinesi. Sarà di conseguenza probabile che un'importante degradazione termica dei suoli delle zone periglaciali ticinesi avverrà al massimo entro la fine dei prossimi tre decenni.

CONCLUSIONE

La carta della ripartizione potenziale del permafrost delle Alpi Ticinesi è stata ottenuta estraendo una funzione di classificazione matematica direttamente da dati raccolti sul campo. L'algoritmo delle foreste casuali si è dimostrato efficiente grazie a risultati coerenti e comparabili alle osservazioni di terreno. L'impiego di variabili ambientali che ben rappresentano la microtopografia e le sue caratteristiche spaziali, quali ad esempio gli indici di granulometria o di curvatura, hanno favorito la previsione dell'eterogenea ripartizione del permafrost alla micro scala geografica. Il modello ottenuto presenta variazioni della probabilità di occorrenza entro distanze di poche decine di metri, con i limiti inferiori del permafrost che sono stati estratti automaticamente dalle osservazioni di terreno. Come mostrano i dati di temperatura raccolti per le sorgenti nel settore del Lago di Leìt, i limiti indicati dalla carta ben corrispondono alla realtà di terreno. La previsione del permafrost è stata calcolata senza ricorrere a soglie di altitudine all'interno della cintura del permafrost discontinuo, sopra alle quali il permafrost può essere trovato, e la rappresentazione della forte discontinuità del permafrost di montagna alla micro scala è stata meglio predetta rispetto ai modelli tradizionali quali ad esempio quello del BAFU (2005).

La previsione dell'estensione futura del permafrost nelle Alpi Ticinesi è stata ottenuta mediante un approccio che presuppone un riscaldamento del suolo linearemente correlato agli aumenti altitudinali ai quali è prevista una MAAT di 0°C entro la fine del secolo. La carta mostra che, secondo gli scenari climatici svizzeri CH2018, la maggiore diminuzione spaziale del permafrost si verificherà entro i prossimi tre decenni, con probabilità di occorrenza che attualmente rappresentano un permafrost probabile (superiori al 75%) che si ridurranno sensibilmente (inferiori al 45-50%). Qualora specifiche caratteristiche del sottosuolo non agevolino un ritardo al riscaldamento del terreno, gli attuali settori gelati in permanenza subiranno l'influenza del cambiamento climatico con conseguente riduzione della superficie occupata dal permafrost.

RINGRAZIAMENTI

Per la revisione e l'aggiornamento dei dati contenuti nel catasto dei ghiacciai rocciosi delle Alpi Ticinesi si ringraziano Alessandra Pollo e Chantal Del Siro, che ha anche partecipato alla misurazione delle temperature delle sorgenti nel settore del Lago di Leìt. Si ringraziano inoltre per i commenti e i contributi alla revisione Alessandro Cicoira (revisore) e Filippo Schenker (editore).

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

Allen S.K., Gruber S. & Owens I.F. 2009. Exploring steep bedrock permafrost and its relationship with recent slope failures in the Southern Alps of New Zealand. Permafrost and Periglacial Processes, 20(4): 345-356.

Arenson L.U., & Springman S.M. 2005. Mathematical descriptions for the behaviour of ice-rich frozen soils at temperatures close to 0 C. Canadian Geotechnical Journal, 42(2), 431-442.

BAFU 2005. Hinweiskarte der potenziellen Permafrostverbreitung der Schweiz. Bern, Bundesamt für Umwelt (BAFU).

Baroni C., Carton A. & Seppi R. 2004. Distribution and behaviour of rock glaciers in the Adamello-Presanella Massif (Italian Alps). Permafrost and Periglacial Processes, 15(3): 243-259.

- Barsch D. 1996. Rockglaciers: indicators for the present and former geoecology in high mountain environments. Berlin/Heidelberg, Springer, 331 pp.
- Beniston M., Farinotti D., Stoffel M., Andreassen L.M., Coppola E., Eckert N., Fantini A., Giacona F., Hauck C., Huss M., Huwald H., Lehning M., López-Moreno J.-I., Magnusson J., Marty C., Moran-Tejéda E., Morin S., Naaim M., Provenzale A., Rabatel A., Six D., Stötter J., Strasser U., Terzago S. & Vincent C. 2018. The European mountain cryosphere: A review of past, current and future issues. The Cryosphere, 12: 759-794.
- Boeckli L., Brenning A., Gruber S. & Noetzli J. 2012. A statistical approach to modelling permafrost distribution in the European Alps or similar mountain ranges. The Cryosphere, 6: 125-140.
- Bouët M. 1985. Climat et météorologie de la Suisse romande. Lausanne, Payot, 170 pp.
- Breiman L. 2001. Random forests. Machine learning, 45: 5-32.
- CH2018 2018. CH2018 Climate Scenarios for Switzerland. Zurich, National Centre for Climate Services, Technical Report, 271 pp.
- Carturan L., Zuecco G., Seppi R., Zanoner T., Borga M., Carton A. & Dalla Fontana G. 2016. Catchment Scale Permafrost Mapping using Spring Water Characteristics. Permafrost and Periglacial Processes, 27(3): 253-270.
- Cherkassky V. & Mulier F.M. 2007. Learning from data: concepts, theory, and methods. Chichester, John Wiley & Sons, 624 pp.
- Delaloye R., Reynard E., Lambiel C., Marescot L., & Monnet R. 2003. Thermal anomaly in a cold scree slope (Creux du Van, Switzerland). In Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost, Vol. 2125, pp. 175-180.
- Deluigi N. 2018. Data-driven Analysis and Mapping of the Potential Distribution of Mountain Permafrost. PhD Thesis, University of Lausanne, 284 pp.
- Deluigi N. & Lambiel C. 2013. PERMAL: a machine learning approach for alpine permafrost distribution modeling. In: Graf C. (ed), Mattertal ein Tal in Bewegung. Jahrestagung der Schweizerischen Geomorphologischen Gesellschaft, 29. Juni-1. Juli 2011. St. Niklaus, Schweiz, pp. 47-62.
- Deluigi N., Lambiel C. & Kanevski M. 2017. Data-driven mapping of the potential mountain permafrost distribution. Science of The Total Environment, 590: 370-380.
- Etzelmüller B. & Frauenfelder R. 2009. Factors controlling the distribution of mountain permafrost in the Northern Hemisphere and their influence on sediment transfer. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 41: 48-58.
- Etzelmüller B., Farbrot H., Gudmundsson A., Humlum O., Tveito O.E. & Björnsson H. 2007. The regional distribution of mountain permafrost in Iceland. Permafrost and Periglacial Processes, 18(2): 185-199.
- Gruber S. & Haeberli W. 2007. Permafrost in steep bedrock slopes and its temperature related destabilization following climate change. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 112: F02S18.
- Gruber S. & Haeberli W. 2009. Mountain permafrost. In: Margesin R. (ed), Permafrost soils. Berlin/Heidelberg, Springer, pp. 33-44.
- Gruber S. & Hoelzle M. 2008. The cooling effect of coarse blocks revisited: a modelling study of a purely conductive mechanism. Proceedings of the 9th International Conference on Permafrost, 29: 557-561.

- Haeberli W. 1975. Untersuchungen zur Verbreitung von Permafrost zwischen Flüelapass und Piz Grialetsch (Graubünden). Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich, 17: 1-221.
- Haeberli W. 1985. Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich, 77: 5-142.
- Harris C., Arenson L., Christiansen H.H., Etzelmuller B., Frauenfelder R., Gruber S., Haeberli W., Hauck C., Hoelzle M., Humlum O., Isaksen K., Kääb A., Kern-Luetschg M.A., Lehning M., Matsuoka N., Murton J. B., Noezli J., Phillips M., Ross N., Seppala M., Springman S.M. & Vonder Muehll D. 2009. Permafrost and climate in Europe: Monitoring and modelling thermal, geomorphological and geotechnical responses. Earth-Science Reviews, 92(3): 117-171.
- Hastie T., Tibshirani R. & Friedman J. 2009. The elements of statistical learning. Data mining, Inference, and Prediction. Berlin/Heidelberg, Springer, 745 pp.
- Haykin S. 2009. Neural networks and learning machines (Third edition). New York, Pearson, 906 pp.
- Humlum O. 1996. Origin of rock glaciers: observations from Mellemfjord, Disko Island, central West Greenland. Permafrost and Periglacial Processes, 7(4): 361-380.
- Hunt E.B., Marin J. & Stone P.J. 1966. Experiments in induction. New York and London, Academic Press, 76 pp.
- Kääb A., Frauenfelder R. & Roer I. 2007. On the response of rockglacier creep to surface temperature increase. Global and Planetary Change, 56: 172-187.
- Kanevski M. 2008. Advanced Mapping of Environmental Data: Geostatistics. Machine Learning and Bayesian Maximum Entropy. London, ISTE Ltd., 352 pp.
- Keller F. 1992. Automated mapping of mountain permafrost using the program PERMAKART within the geographical information system ARC/INFO. Permafrost and Periglacial Processes, 3(2): 133-138.
- Keller F. & Hoelzle M. 1996. PERMAKART und PERMA-MAP. In: Haeberli W., Hölzle M., Dousse J.-P., Gardaz J.-M., Imhof M., Keller F., Kunz P. Lugon. R. & Reynard, E. (eds), Simulation der Permafrostverbreitung in den Alpen mit geographischen Informationssystemen. Zürich, vdf Hochschulverlag, pp. 35-46.
- Kohonen T. 2001. Self-Organizing Maps. Berlin/Heidelberg, Springer, 502 pp.
- Marmy A., Rajczak J., Delaloye R., Hilbich C., Hoelzle M., Kotlarski S., Lambiel C., Noetzli J., Phillips M., Salzmann N., Staub B. & Hauck C. 2016. Semi-automated calibration method for modelling of mountain permafrost evolution in Switzerland. The Cryosphere, 10: 2693-2719.
- Morard S., Delaloye R. & Lambiel C. 2010. Pluriannual thermal behaviour of low elevation cold talus slopes in western Switzerland. Geographica Helvetica, 65(2): 124-134.
- PERMOS 2016. Permafrost in Switzerland 2010/2011 to 2013/2014. Noetzli J., Luethi R. & Staub B. (eds), Glaciological Report (Permafrost) No. 12-15 of the Cryospheric Commission of the Swiss Academy of Sciences.
- Pogliotti P. 2011. Influence of snow cover on MAGST over complex morphologies in mountain permafrost regions. PhD thesis, University of Torino, 79 pp.
- Ravanel L., Allignol F., Deline P., Gruber S. & Ravello M. 2010. Rock falls in the Mont Blanc Massif in 2007 and 2008. Landslides, 7(4): 493-501.

- Rödder T. & Kneisel C. 2012. Influence of snow cover and grain size on the ground thermal regime in the discontinuous permafrost zone, Swiss Alps. Geomorphology, 175: 176-189.
- Roer I., Haeberli W., Avian M., Kaufmann V., Delaloye R., Lambiel C. & Kääb A. 2008. Observations and considerations on destabilizing active rock glaciers in the European Alps. Proceedings of the 9th International Conference on Permafrost, 29: 1505-1510.
- Sattler K., Anderson B., Mackintosh A., Norton K. & de Róiste, M. 2016. Estimating Permafrost Distribution in the Maritime Southern Alps, New Zealand, Based on Climatic Conditions at Rock Glacier Sites. Frontiers in Earth Science, 4:
- Sawada Y., Ishikawa M. & Ono Y. 2003. Thermal regime of sporadic permafrost in a block slope on Mt. Nishi-Nupukaushinupuri, Hokkaido Island, Northern Japan. Geomorphology, 52: 121-130.
- Scapozza C & Fontana G. 2009. Le Alpi Bleniesi. Storia glaciale e periglaciale e patrimonio geomorfologico. Memorie della Società ticinese di scienze naturali e del Museo cantonale di storia naturale, Lugano, 10: 1-111.
- Scapozza C. & Mari S. 2010. Catasto, caratteristiche e dinamica dei rock glaciers delle Alpi Ticinesi. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 98: 15-29.
- Scapozza C., Lambiel C., Baron L., Marescot L. & Reynard E. 2011a. Internal structure and permafrost distribution in two alpine periglacial talus slopes, Valais, Swiss Alps. Geomorphology, 132(3): 208-221.
- Scapozza C., Lambiel C., Gex P. & Reynard E. 2011b. Prospection géophysique multi-méthodes du pergélisol alpin dans le sud des Alpes suisses. Géomorphologie: relief, processus, environnement, 17: 15-32.
- Scapozza C., Antognini M. & Ambrosi C. 2018. Il permafrost nelle Alpi Ticinesi (2015/2016 e 2016/2017). Rapporto No. 4 del Gruppo Permafrost Ticino. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 106: 13-22.
- Scapozza C., Deluigi N., Del Siro C., Pollo A. & Antognini M. 2020a. Il permafrost nelle Alpi ticinesi (2017/2018 e 2018/2019). Rapporto No. 5 del Gruppo Permafrost Ticino. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 108: questo volume.
- Scapozza C., Deluigi N., Bulgheroni M., Pera S., Pozzoni M., Colombo L. & Lepori F. 2020b. Assessing the impact of ground ice degradation on high mountain lake environments (Lago Nero catchment, Swiss Alps). Aquatic Sciences, 82: 5.
- Seppi R., Carton A. & Baroni C. 2005. Proposta di una nuova scheda per il censimento dei rock glaciers da fotografie aeree: applicazione sull'Alta Val Ultimo (Gruppo Ortles-Cevedale). Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 7: 329-338.
- Staub B., Marmy A., Hauck C., Hilbich C. & Delaloye R. 2015. Ground temperature variations in a talus slope influenced by permafrost: a comparison of field observations and model simulations. Geographica Helvetica, 70: 45-62.
- Swets J.A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 240(4857): 1285-1293.
- Vapnik V. 1998. Statistical learning theory. New York, Wiley, 736 pp.
- Washburn A.L. 1979. Geocryology: a survey of periglacial processes and environments. London, Arnold.

APPENDICE

PERMAL-TI: Carta della ripartizione potenziale del permafrost nelle Alpi Ticinesi. Disponibile su: http://repository.supsi. ch/11589 (ultima consultazione: 4.6.2020).

Il permafrost nelle Alpi Ticinesi (2017/2018 e 2018/2019)

Rapporto No. 5 del Gruppo Permafrost Ticino

Cristian Scapozza^{1*}, Nicola Deluigi^{1,2}, Chantal Del Siro^{1,3}, Alessandra Pollo^{1,4} e Marco Antognini⁵

¹ Istituto scienze della Terra (IST), Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI), 6952 Canobbio, Svizzera ² Stream Biofilm and Ecosystem Research Laboratory, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), 1015 Lausanne (affiliazione attuale), Svizzera

Institut des dynamiques de la surface terrestre (IDYST), Université de Lausanne, 1015 Lausanne, Svizzera
 Scuola di Scienze della Natura, Università degli Studi di Torino, 10126 Torino, Italia
 Museo cantonale di storia naturale, 6901 Lugano, Svizzera

* cristian.scapozza@supsi.ch

Riassunto: Dall'anno idrologico 2017/2018 la temperatura media annua della superficie del suolo ha subito un riscaldamento compreso fra 1.70 e 2.71°C. Il riscaldamento è stato più marcato con l'aumentare della quota del ghiacciaio roccioso. La temperatura del suolo ha subito soprattutto l'influsso del periodo caldo di inizio agosto 2018, quando non c'era più l'effetto tampone della neve, come indicato dai valori massimi registrati fra gennaio e maggio del 2019. L'evoluzione sul lungo periodo della media annua della temperatura del suolo è stata caratterizzata dalle anomalie positive del 2015 e del 2019, che ne hanno causato un riscaldamento compreso fra 0.8 e 1.1°C nel decennio 2010-2019. La velocità orizzontale di superficie dei ghiacciai rocciosi, dopo la sostanziale diminuzione misurata nel 2016 e 2017, si è assestata nel 2018 su valori simili a quelli del 2017, mentre ha subito una significativa accelerazione nel 2019. Il riscaldamento della temperatura del suolo compreso fra 1.12 e 1.92°C in relazione alle anomalie termiche del 2015 e del 2019 ha causato un incremento di velocità di un fattore compreso fra 1.4 e 2.5 volte, con una relazione incrementalmente positiva fra il fattore di accelerazione e l'aumento di temperatura. Il confronto fra il 2015 e il 2019 consente di osservare come i valori più elevati di velocità dei ghiacciai rocciosi siano stati osservati durante estati calde che seguivano un inverno nevoso, mentre al contrario le velocità risultavano più contenute quando l'estate calda seguiva un inverno secco.

Parole chiave: acqua liquida, Alpi svizzere, fattori di controllo, cinematica, ghiacciaio roccioso, temperatura della superficie del suolo

Permafrost in the Ticino Alps (2017/2018 and 2018/2019). Report No. 5 of the Gruppo Permafrost Ticino

Abstract: Since the hydrological year 2017/2018 the mean annual ground surface temperature has warmed up between 1.70 and 2.71°C. The warming has been more pronounced with the increase of the rock glacier elevation. The ground temperature was mainly influenced by the warm period at the beginning of August 2018, when there was no longer a snow buffer effect, as indicated by the maximum values recorded between January and May 2019. The long-term evolution of the mean annual ground surface temperature was characterised by two positive anomalies in 2015 and 2019, which caused a warming comprised between 0.8 and 1.1°C in the 2010-2019 decennium. The rock glaciers surface horizontal velocity, after the substantial decrease measured in 2016 and 2017, settled in 2018 at values similar to those of 2017, while it accelerated significantly in 2019. The warming of the ground temperature comprised between 1.12 and 1.92°C in relation to the temperature anomalies of 2015 and 2019 caused a velocity increase by a factor comprised between 1.4 and 2.5 times, with an incremental positive relationship between the acceleration factor and the temperature increase. The comparison between 2015 and 2019 allows to observe how the higher rock glacier velocities were observed during hot summers following a snowy winter, whereas at the opposite the velocities were lower when the hot summer followed a dry winter.

Keywords: control factors, ground surface temperature, kinematics, liquid water, rock glacier, Swiss Alps

INTRODUZIONE

Il monitoraggio dello stato termico e della cinematica del permafrost nei detriti rocciosi delle Alpi ticinesi è fondato su una rete di otto ghiacciai rocciosi ripartiti fra la Val Bavona e la Valle di Blenio, ai quali si aggiunge una ghiacciaia naturale posta a 1350 m slm a monte di Olivone (per la localizzazione, vedi Scapozza et al. 2018). Questa rete di nove siti è gestita dall'Istituto scienze della Terra SUPSI, in collaborazione con la rete svizzera di monitoraggio del permafrost PERMOS (Noetzli et al. 2019; PERMOS 2019) e con il Museo

cantonale di storia naturale di Lugano. Su territorio ticinese, sono monitorati da parte dell'Università di Friborgo due ulteriori ghiacciai rocciosi sul Monte Prosa nella regione del Passo del San Gottardo (Noetzli et al. 2019). Per il ghiacciaio roccioso del Lago Nero, ultimo sito integrato nella rete di monitoraggio, un approfondimento legato all'evoluzione della temperatura negli anni idrologici 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018 è stato esposto in Scapozza et al. (2020).

Questo rapporto, che è il quinto della serie (per i rapporti precedenti, vedi Mari et al. 2012; Scapozza et al. 2014; 2016; 2018), ha l'obiettivo di presentare nel dettaglio i dati concernenti i due anni idrologici 2017/2018 e 2018/2019, di commentare l'effetto dell'estate canicolare 2019 e di discutere l'evoluzione dello stato termico e della cinematica dei ghiacciai rocciosi nell'ultimo decennio. Il biennio 2017/2018 e 2018/2019 segue un periodo durante il quale la temperatura della superficie del suolo aveva subito un raffreddamento e la velocità orizzontale della superficie dei ghiacciai rocciosi era diminuita dopo il picco di entrambi gli indicatori durante l'anno idrologico 2014/2015, con i valori più alti mai registrati fin dal 2006 (Scapozza et al. 2016). In particolare, per quanto concerne lo stato precedente al periodo coperto in questo contributo (vedi Scapozza et al. 2018), l'inverno 2015/2016 senza precipitazioni nevose di rilievo aveva permesso un raffreddamento significativo della temperatura della superficie del suolo (compreso fra -1.6 e -2.5°C) tra il 5 settembre 2015 e metà agosto/fine settembre 2016. L'inverno 2016/2017 di nuovo asciutto aveva poi mantenuto stabile la temperatura della superficie del suolo, senza riscaldamenti significativi fino a maggio-giugno 2017. Ne conseguì una diminuzione compresa tra il 39% e il 64% della velocità orizzontale della superficie dei ghiacciai rocciosi dal 2015 al 2017, con le velocità medie del 2017 che furono le più basse dal 2009 per i siti di Stabbio di Largario (lobo E), Piancabella e Ganoni di Schenadüi.

MATERIALI E METODI

Monitoraggio della temperatura della superficie del suolo

Lo stato termico del permafrost è monitorato sulla base della misura della temperatura della superficie del suolo (GST: Ground Surface Temperature) grazie a sensori autonomi (mini-logger) del tipo UTL-3 (Geotest AG), con un'accuratezza di ±0.1°C. Le misure sono acquisite a cadenza bioraria (12 misure giornaliere fra la 1.00 e le 23.00), calibrate grazie alla fase di zero curtain, dove al momento della fusione del manto nevoso GST rimane invariabilmente a 0°C per diverse settimane (Scapozza 2009), e aggregate in GST medie giornaliere. Il monitoraggio di GST è eseguito in sei siti di alta quota (fra 2000 e 3000 m slm) e su di un sito (Ghiacciaia di Rambött) situato a media quota (fra 1000 e 2000 m slm). In alta quota, ogni sito è equipaggiato con 4 mini-logger al minimo, che possono essere anche 10 nei siti dove sono monitorati più elementi geomorfologici (ghiacciaio roccioso, falda di detrito, ice patches), come al Lago Nero e a Piancabella - Valle di Sceru (Tab. 1).

La media mobile su 365 giorni di GST medio giornaliero consente di calcolare la temperatura media annua della superficie del suolo (MAGST: *Mean Annual Ground Surface Temperature*), che permette di quantificare le fluttuazioni stagionali/annuali di GST e di osservare la sua correlazione con le variazioni della cinematica dei ghiacciai rocciosi. La localizzazione, le caratteristiche, il numero di punti di misura di GST e i sensori utilizzati per calcolare MAGST per ogni sito sono presentati nella Tabella 1.

Monitoraggio della cinematica dei ghiacciai rocciosi

Il monitoraggio della cinematica dei ghiacciai rocciosi è basato sulla misura della posizione tridimensionale di una serie di blocchi alla superficie del terreno grazie a un sistema satellitare globale di navigazione GNSS (Global Navigation Satellite System), con un'accuratezza di 0.5-2.0 cm sulla posizione orizzontale e di 1.0-2.5 cm (massimo 5.0 cm) sulla posizione verticale, acquisita con strumentazione Leica Geosystems SR530. Il confronto fra la posizione bidimensionale di ogni blocco da un anno all'altro consente di quantificarne lo spostamento orizzontale (dH), che è normalizzato su un periodo di 365 giorni per determinare la velocità media orizzontale di superficie annua (vH). La media di vH per una serie invariabile di punti di misura che sono considerati rappresentativi del movimento di insieme del ghiacciaio roccioso permette di calcolare la velocità orizzontale di riferimento (vH_{ref}, detta anche reference value). Nel caso di ghiacciai rocciosi complessi come quelli di Stabbio di Largario, dei Ganoni di Schenadüi e dell'Alpe Pièi, vH_{ref} è computata separatamente per ogni singolo lobo del ghiacciaio roccioso. Il numero di punti di misura GNSS e dei valori di riferimento per il calcolo di vH_{ref}sono presentati nella Tabella 2.

La relazione fra vH_{ref} e MAGST che, in assenza di misure dirette in perforazioni nel permafrost, costituiscono i due indicatori principali utilizzati nel monitoraggio svolto nelle Alpi Ticinesi, consente di valutare lo stato e l'evoluzione di questa componente della criosfera nei ghiacciai rocciosi nell'attuale periodo di riscaldamento climatico che interessa soprattutto l'alta montagna.

RISULTATI

Temperatura della superficie del suolo

Il confronto fra i valori minimi e massimi mostra un riscaldamento di MAGST compreso fra 1.70 e 2.71°C dall'anno idrologico 2017/2018, con un valore medio di ben 2.16°C (Tab. 3). Il riscaldamento è stato più marcato nei ghiacciai rocciosi situati più a nord e alle altitudini più alte, come quelli dei Ganoni di Schenadüi (2496-2591 m slm), del Passo di Grandinagia (2614-2632 m slm) e del Pizzo Gallina (2723-2739 m slm), mentre è rimasto inferiore a 0°C sui due ghiacciai rocciosi situati più a sud e alle quote più basse, quelli di Stabbio di Largario (2291-2469 m slm) e Piancabella (2482-2569 m slm). Sull'evoluzione di MAGST ha influito soprattutto il periodo caldo di inizio agosto 2018, quando non c'era più l'effetto tampone della neve, come indicato dai va-

Tabella 1: Localizzazione e caratteristiche dei sensori per la misura della temperatura della superficie del suolo (GST), e sensori utilizzati per calcolare la temperatura media annua della superficie del suolo (MAGST) per i siti di monitoraggio del permafrost gestiti dalla SUPSI. *Sito PERMOS. Coordinate (Coord.) secondo il sistema svizzero CH1903+ / LV95.

No.	Sito/unità morfologica	Sensore	Coord. X	Coord. Y	Altitudine [m slm]	media MAGS1
29b	Pizzo Gallina					
	ghiacciaio roccioso	GAL-L01	2'673'433	1'149'199	2723	GAL
	ghiacciaio roccioso	GAL-L02	2'673'367	1'149'238	2739	GAL
	ghiacciaio roccioso	GAL-L03	2'673'361	1'149'154	2716	
	ghiacciaio roccioso	GAL-L04	2'673'351	1'149'275	2736	
80	Passo di Grandinagia					
	ghiacciaio roccioso	PDG-L01	2'680'609	1'146'160	2632	PDG
	ghiacciaio roccioso	PDG-L02	2'680'682	1'146'165	2614	PDG
	ghiacciaio roccioso	PDG-L03	2'680'735	1'146'170	2594	
	ghiacciaio roccioso	PDG-L04	2'680'679	1'146'294	2589	
0b	Lago Nero					
	aria a 200 cm	LNE-L01	2'684'336	1'144'692	2406	
	suolo a -5 cm	LNE-L02	2'684'379	1'144'639	2412	
	suolo a -10 cm	LNE-L03	2'684'379	1'144'639	2412	
	suolo a -20 cm	LNE-L04	2'684'379	1'144'639	2412	
	ghiacciaio roccioso	LNE-L05	2'685'040	1'144'580	2585	LNE
	ghiacciaio roccioso	LNE-L06	2'685'060	1'144'555	2592	LNE
	ghiacciaio roccioso	LNE-L07	2'685'090	1'144'530	2600	LNE
	sorgente ice patches	LNE-L08	2'684'995	1'144'405	2556	
	ice patches	LNE-L09	2'685'030	1'144'400	2571	
	ice patches	LNE-L10	2'685'075	1'144'365	2593	
1	Ganoni di Schenadüi					
	ghiacciaio roccioso	GDS-L01	2'700'326	1'156'997	2496	GDS
	ghiacciaio roccioso	GDS-L02	2'700'332	1'156'909	2520	GDS
	ghiacciaio roccioso	GDS-L03	2'700'320	1'156'824	2547	GDS
	ghiacciaio roccioso	GDS-L04	2'700'323	1'156'728	2591	GDS
2	Piancabella – Valle di Sceru*					
	affioramento roccioso	SCE-L01	2'720'151	1'145'742	2483	
	ghiacciaio roccioso	SCE-L02	2'720'154	1'145'630	2482	SCE
	ghiacciaio roccioso	SCE-L03	2'720'133	1'145'575	2504	SCE
	ghiacciaio roccioso	SCE-L04	2'720'060	1'145'449	2569	SCE
	falda di detrito	SCE-L05	2'720'064	1'145'655	2473	
	falda di detrito	SCE-L06	2'719'986	1'145'653	2516	
	falda di detrito	SCE-L07	2'719'936	1'145'631	2547	
	falda di detrito	SCE-L08	2'720'129	1'145'671	2460	
	ghiacciaio roccioso	SCE-L09	2'720'173	1'145'613	2480	
	ghiacciaio roccioso	SCE-L10	2'720'083	1'145'507	2530	SCE
3	Stabbio di Largario*					
	lobo Est ghiacciaio roccioso	SDL-L01	2'718'828	1'148'515	2349	SDL-E
	lobo Est ghiacciaio roccioso	SDL-L02	2'718'865	1'148'405	2368	SDL-E
	lobo Est ghiacciaio roccioso	SDL-L03	2'718'880	1'148'320	2438	SDL-E
	lobo Est ghiacciaio roccioso	SDL-L04	2'718'890	1'148'187	2469	SDL-E
	lobo Ovest ghiacciaio roccioso	SDL-L05	2'718'731	1'148'485	2300	SDL-0
	lobo Ovest ghiacciaio roccioso	SDL-L06	2'718'714	1'148'500	2291	SDL-0
	Ghiacciaia di Rambött					
	aria nella ghiacciaia	RAM-L01	2'713'900	1'152'930	1350	

Tabella 2: Frequenza delle misurazioni, reti di punti di misura GNSS e dei valori di riferimento per il calcolo della velocità orizzontale di riferimento (vHref) per i siti di monitoraggio del permafrost gestiti dalla SUPSI. * Sito PERMOS.

No.	Sito	Misura	No. punti GNSS	No. punti vH _{ref}	Punti vH _{ref}
29	Pizzo Nero	Quinquennale	30	25	3-9, 11-23, 30-34
29b	Pizzo Gallina	Biennale	26	20	6-16, 18-26
30	Passo di Grandinagia	Biennale	32	16	1-11, 13-17
31	Ganoni di Schenadüi				
	lobo Ovest	Annuale	25	18	1-16, 14b, 16b
	lobo Est	Annuale	12	12	20-29, 29b, 29c
32	Piancabella*	Annuale	22	20	1-2, 5-22
33	Stabbio di Largario*				
	lobo Est	Annuale	28	21	1-17, 20-23
	lobo Ovest	Annuale	5	4	29-32
33b	Alpe Pièi				
	lobo inferiore	Triennale	17	6	8, 11-12, 14-16
	lobo superiore	Triennale	17	12	21-25, 27, 29-33, 35

Tabella 3: Valori minimi e massimi della temperatura media annua della superficie del suolo (MAGST) e dell'aria (MAAT) e valori massimi della temperatura media giornaliera della superficie del suolo (dGST) e dell'aria (dAT) per il biennio idrologico 2017/2018 e 2018/2019. Dati MTR e ROE: MeteoSvizzera.

No.	Sito MAGST/MAAT [°C]						dGST/dAT [°C]		
		MIN	Data	MAX	Data	Diff.	MAX	Data	
29b	Pizzo Gallina	-1.40	04.10.2017	1.31	20.05.2019	2.71	13.09	24.07.2019	
30	Passo di Grandinagia	-0.62	28.06.2018	1.57	14.05.2019	2.19	12.52	05.08.2018	
30b	Lago Nero	-0.38	22.07.2018	1.75	13.05.2019	2.13	13.10	04.08.2018	
31	Ganoni di Schenadüi	-1.19	02.01.2018	1.32	30.04.2019	2.51	14.06	05.08.2018	
32	Piancabella	-0.17	26.12.2017	1.53	08.01.2019	1.70	12.91	01.08.2018	
33	Stabbio di Largario								
	lobo Est	0.21	14.12.2017	2.20	03.05.2019	1.99	14.98	28.06.2019	
	lobo Ovest	0.87	28.06.2018	2.77	27.04.2019	1.90	17.72	28.06.2019	
MTR	Matro (2171 m slm)	2.11	16.04.2018	3.75	03.04.2019	1.64	21.40	27.06.2019	
ROE	Robièi (1896 m slm)	3.43	16.04.2018	4.92	14.04.2019	1.49	21.30	27.06.2019	

Tabella 4: Confronto fra i valori massimi della temperatura media annua della superficie del suolo (MAGST) e della temperatura media annua dell'aria (MAAT) fra le estati canicolari del 2015 e 2019. Dati MTR e ROE: MeteoSvizzera. * MAGST disponibile solo dall'01.10.2016.

No. Sito		MAG	ST 2015 [°C]	MAG	ST 2019 [°C]	Differenza
		MAX	Data	MAX	Data	[°C]
29b	Pizzo Gallina	1.01	05.09.2015	1.31	20.05.2019	0.30
30	Passo di Grandinagia	1.39	05.09.2015	1.57	14.05.2019	0.18
30b	Lago Nero	1.94	08.08.2017*	1.75	13.05.2019	-0.19
31	Ganoni di Schenadüi	1.42	05.09.2015	1.32	30.04.2019	-0.10
32	Piancabella	1.77	05.09.2015	1.53	08.01.2019	-0.24
33	Stabbio di Largario					
	lobo Est	2.15	05.09.2015	2.20	03.05.2019	0.05
	lobo Ovest	2.71	01.10.2015	2.77	27.04.2019	0.06
MTR	Matro (2171 m slm)	3.63	09.02.2016	3.75	03.04.2019	0.12
ROE	Robièi (1896 m slm)	4.91	09.02.2016	4.92	14.04.2019	0.01

lori massimi registrati fra gennaio (Piancabella) e maggio (Pizzo Gallina) del 2019. L'effetto della presenza del manto nevoso sui siti del Passo di Grandinagia, Lago Nero, Ganoni di Schenadüi e Piancabella durante il periodo canicolare di fine giugno - inizio luglio 2019 è ben documentato grazie al valore massimo della temperatura media giornaliera della superficie del suolo (dGST) registrato a inizio agosto 2018. Sul ghiacciaio roccioso di Stabbio di Largario, dove l'innevamento era troppo scarso o assente per inibire la trasmissione di calore al suolo, questo valore massimo è invece stato toccato il 28.6.2019, in linea con il valore massimo della temperatura media giornaliera dell'aria in altitudine (dAT), registrato il 27.6.2019 dalle stazioni MeteoSvizzera del Matro (2171 m slm) e Robièi (1896 m slm). La data esatta di sparizione della neve nel 2019 è osservabile nell'andamento di GST e conferma quanto riportato sopra. Se essa è avvenuta fra il 20 e il 27 giugno sul ghiacciaio roccioso di Piancabella, fra il 25 giugno e il 4 luglio al Pizzo Gallina, fra il 1° e il 27 luglio al Passo di Gandinagia, fra il 2 e il 22 luglio ai Ganoni di Schenadüi e il 2 agosto sul ghiacciaio roccioso del Lago Nero, è stata più precoce a Stabbio di Largario, dove è avvenuta fra il 3 e il 16 giugno. Nonostante l'estate molto calda, va comunque rilevato come nell'avvallamento situato a nord del ghiacciaio roccioso di Piancabella (sensore SCE-L08) e sull'ice patch superiore al Lago Nero (sensore LNE-L10) la neve sia rimasta al suolo per tutto l'anno idrologico 2018/2019.

Il confronto fra i valori massimi di MAGST misurati durante l'estate eccezionalmente calda del 2015, registrati fra inizio settembre e il 1° ottobre 2015, e i valori massimi registrati nel 2019, mostra una differenza contenuta fra –0.24 e 0.30°C (Tab. 4). È interessante notare come i valori massimi di MAGST nel 2019 siano il risultato del riscaldamento avvenuto fra inizio settembre 2018 e maggio 2019, vale a dire grossomodo durante il periodo innevato. L'effetto della canicola di fine giugno-

inizio luglio 2019 è stato quindi più limitato, anche grazie al fatto che in questo periodo persisteva ancora della neve al suolo in alta quota. Per darne un esempio, quando il 27.6.2019 la temperatura media giornaliera superava ampiamente i 20°C sia in cima al Matro sia a Robièi (Tab. 3), il valore medio giornaliero di GST era compreso fra 1.12°C sul ghiacciaio roccioso dei Ganoni di Schenadüi e 4.10°C sul ghiacciaio roccioso del Lago Nero. Dove la neve non era più presente, come sul ghiacciaio roccioso di Stabbio di Largario, il 28.6.2019 sono stati registrati i valori eccezionali di 14.98°C sul lobo Est e di ben 17.72°C sul lobo Ovest (Tab. 3).

L'evoluzione di MAGST dall'anno idrologico 2007/2008 è chiaramente caratterizzata dai picchi positivi del 2015 e del 2019 (Fig. 1), che hanno causato una netta tendenza al riscaldamento di GST. Questo è stato di 0.88°C in 11 anni sul ghiacciaio roccioso di Piancabella, dove però il periodo 2008-2013 è stato condizionato dall'inverno molto freddo del 2007/2008 e da quello freddo del 2009/2010 (Mari et al. 2012). Per quanto concerne MAGST media di tutti i siti, disponibile dall'autunno del 2010, la mancanza dei dati del periodo 2007-2010 e l'influsso delle estati del 2015 e del 2019 hanno come conseguenza un riscaldamento di 0.99°C in 9 anni (Fig. 1). Nel decennio 2010-2019 il riscaldamento di MAGST nelle Alpi Ticinesi è quindi stato compreso fra 0.8 e 1.1°C.

Cinematica dei ghiacciai rocciosi

Dopo la sostanziale diminuzione misurata nel 2016 e 2017 (vedi Scapozza *et al.* 2018), nel 2018 vH_{ref} si è assestata su valori simili a quelli del 2017 (Tab. 5 e Fig. 1). Sul sito di Stabbio di Largario e sul lobo Est del ghiacciaio roccioso dei Ganoni di Schenadüi, dal 2017 al 2018 si è assistito a un ulteriore, seppur lieve, rallentamento della velocità; quest'ultima è stata costante al Passo di Grandinagia, mentre sul lobo Ovest del ghiacciaio roccioso dei Ganoni di Schenadüi e a Piancabella

Tabella 5: Evoluzione della velocità orizzontale di riferimento (vH) media e massima fra il 2015 e il 2019 e confronto fra il valore minimo e il 2019 (o, nel caso di Passo di Grandinagia, del 2018 che è l'ultimo dato disponibile).

	vH media [m ⋅ a ⁻¹]				[%] vH massima [m · a ⁻¹]					[%]		
Sito	2015	2016	2017	2018	2019	Δ MIN-2019	2015	2016	2017	2018	2019	Δ MIN-2019
Pizzo Nero	0.07	0.07				-	0.19	0.19				
Pizzo Gallina	0.04	0.04	0.08	0.08	0.05	125	0.16	0.16	0.28	0.28	0.14	88
Passo di Grandinagia	0.16	0.16	0.11	0.11		69	0.43	0.43	0.25	0.25		58
Ganoni di Schenadüi												
lobo Ovest	0.22	0.20	0.10	0.11	0.19	190	0.38	0.31	0.16	0.26	0.36	225
lobo Est	0.19	0.15	0.09	80.0	0.20	250	0.40	0.30	0.17	0.13	0.38	292
Piancabella	0.26	0.20	0.16	0.17	0.23	144	0.45	0.41	0.38	0.41	0.51	134
Stabbio di Largario												
lobo Est	0.77	0.48	0.28	0.26	0.49	188	1.44	0.82	0.53	0.68	1.00	189
lobo Ovest	1.23	0.88	0.56	0.45	0.64	142	1.26	0.90	0.57	0.46	0.65	141
Alpe Pièi												
lobo inferiore	0.02	0.02	0.02			=	0.03	0.03	0.03			=
lobo superiore	0.03	0.03	0.03			_	0.04	0.04	0.04			-
	Pizzo Nero Pizzo Gallina Passo di Grandinagia Ganoni di Schenadüi lobo Ovest lobo Est Piancabella Stabbio di Largario lobo Est lobo Ovest Alpe Pièi lobo inferiore	Pizzo Nero 0.07 Pizzo Gallina 0.04 Passo di Grandinagia 0.16 Ganoni di Schenadüi lobo Ovest 0.22 lobo Est 0.19 Piancabella 0.26 Stabbio di Largario lobo Ovest 1.23 Alpe Pièi lobo inferiore 0.02	Sito 2015 2016 Pizzo Nero 0.07 0.07 Pizzo Gallina 0.04 0.04 Passo di Grandinagia 0.16 0.16 Ganoni di Schenadüi 0.22 0.20 lobo Ovest 0.19 0.15 Piancabella 0.26 0.20 Stabbio di Largario 0.77 0.48 lobo Ovest 1.23 0.88 Alpe Pièi lobo inferiore 0.02 0.02	Sito 2015 2016 2017 Pizzo Nero 0.07 0.07 0.08 Passo di Grandinagia 0.16 0.16 0.11 Ganoni di Schenadüi 0.22 0.20 0.10 lobo Ovest 0.19 0.15 0.09 Piancabella 0.26 0.20 0.16 Stabbio di Largario 0.77 0.48 0.28 lobo Ovest 1.23 0.88 0.56 Alpe Pièi 0.002 0.02 0.02	Sito 2015 2016 2017 2018 Pizzo Nero 0.07 0.07	Sito 2015 2016 2017 2018 2019 Pizzo Nero 0.07 0.07	Sito 2015 2016 2017 2018 2019 AMIN-2019 Pizzo Nero 0.07 0.07 - - - Pizzo Gallina 0.04 0.04 0.08 0.08 0.05 125 Passo di Grandinagia 0.16 0.16 0.11 0.11 0.11 69 Ganoni di Schenadüi 0.22 0.20 0.10 0.11 0.19 190 lobo Ovest 0.19 0.15 0.09 0.08 0.20 250 Piancabella 0.26 0.20 0.16 0.17 0.23 144 Stabbio di Largario 0.00 0.16 0.17 0.23 188 lobo Ovest 1.23 0.88 0.56 0.45 0.64 142 Alpe Pièi 1.00 0.02 0.02 0.02 0.02 - -	Sito 2015 2016 2017 2018 2019 ∆MIN-2019 2015 Pizzo Nero 0.07 0.07 - - 0.19 Pizzo Gallina 0.04 0.04 0.08 0.08 0.05 125 0.16 Passo di Grandinagia 0.16 0.16 0.11 0.11 0.11 69 0.43 Ganoni di Schenadüi 0.22 0.20 0.10 0.11 0.19 190 0.38 lobo Ovest 0.19 0.15 0.09 0.08 0.20 250 0.40 Piancabella 0.26 0.20 0.16 0.17 0.23 144 0.45 Stabbio di Largario 0.05 0.45 0.49 188 1.44 lobo Ovest 1.23 0.88 0.56 0.45 0.64 142 1.26 Alpe Pièi 1.00 0.02 0.02 0.02 0.02 - - 0.03	Sito 2015 2016 2017 2018 2019 AMIN-2019 2015 2016 Pizzo Nero 0.07 0.07 0.07 - - 0.19 0.19 Pizzo Gallina 0.04 0.04 0.08 0.08 0.05 125 0.16 0.16 Passo di Grandinagia 0.16 0.16 0.11 0.11 69 0.43 0.43 Ganoni di Schenadüi 0.22 0.20 0.10 0.11 0.19 190 0.38 0.31 Iobo Ovest 0.29 0.20 0.10 0.11 0.19 190 0.38 0.31 Piancabella 0.26 0.20 0.16 0.17 0.23 144 0.45 0.41 Stabbio di Largario Iobo Ovest 0.77 0.48 0.28 0.26 0.49 188 1.44 0.82 Iobo Ovest 0.23 0.88 0.56 0.45 0.64 142 1.26 0.90 <	Sito 2015 2016 2017 2018 2019 AMIN-2019 2015 2016 2017 Pizzo Nero 0.07 0.07 - - 0.19 0.19 - Pizzo Gallina 0.04 0.04 0.08 0.08 0.05 125 0.16 0.16 0.28 Passo di Grandinagia 0.16 0.16 0.11 0.11 69 0.43 0.43 0.25 Ganoni di Schenadüi - - 0.20 0.10 0.11 0.19 190 0.38 0.31 0.16 lobo Ovest 0.19 0.15 0.09 0.08 0.20 250 0.40 0.30 0.17 Piancabella 0.26 0.20 0.16 0.17 0.23 144 0.45 0.41 0.38 Stabbio di Largario 0.00 0.49 188 1.44 0.82 0.53 lobo Ovest 0.123 0.88 0.56 0.45 0.64 142 1.26	Sito 2015 2016 2017 2018 2019 AMIN-2019 2015 2016 2017 2018 Pizzo Nero 0.07 0.07 - - 0.19 0.19 - - 0.19 0.19 - - 0.19 0.19 0.28 0.28 - - 0.19 0.19 0.28 0.29 0.28 0.29 0.38 0.31 0.16 0.26 0.29 0.08 0.29 0.250 0.40 0.30 0.17 0.13 0.41 0.41 0.41 0.41 0.41 0.42 0.41 0.41	Sito 2015 2016 2017 2018 2019 AMIN-2019 2015 2016 2017 2018 2019 Pizzo Nero 0.07 0.07 "" "" "" "" 0.19 0.19 0.19 0.28 0.28 0.14 Pizzo Gallina 0.04 0.04 0.08 0.08 0.05 125 0.16 0.16 0.28 0.28 0.14 Passo di Grandinagia 0.16 0.16 0.11 0.11 0.11 69 0.43 0.43 0.25 0.25 0.25 Ganoni di Schenadü 0.22 0.20 0.10 0.11 0.19 190 0.38 0.31 0.16 0.26 0.36 Iobo Est 0.19 0.15 0.09 0.08 0.20 250 0.40 0.30 0.41 0.51 0.51 Stabbio di Largario 0.07 0.48 0.28 0.26 0.49 188 1.44 0.82 0.53

si è misurata una lieve accelerazione (+0.01 m·a·¹). Nel 2019 è stato possibile per contro osservare una significativa accelerazione di quasi tutti i ghiacciai rocciosi monitorati, con valori compresi fra il 142 e il 250% rispetto al minimo registrato nel 2017 o nel 2018. In linea generale, dopo il rallentamento avvenuto fra il 2016 e il 2018, vH_{ref} è ritornata a valori simili a quelli misurati nel 2014. Un'evoluzione simile è presente anche nelle velocità massime misurate (Tab. 5), dove l'aumento percentuale rispetto alla velocità media è

sostanzialmente più elevato solamente sul ghiacciaio roccioso dei Ganoni di Schenadüi, segno che il settore più rapido ha registrato un incremento di velocità maggiore rispetto al resto del ghiacciaio roccioso in questi ultimi 2-3 anni.

L'unica eccezione alla tendenza generale è costituita dal ghiacciaio roccioso del Pizzo Gallina, che ha presentato un aumento della velocità media del 200% nel biennio 2017-2018 rispetto al 2016 e una successiva diminuzione del 62.5% dal 2018 al 2019.

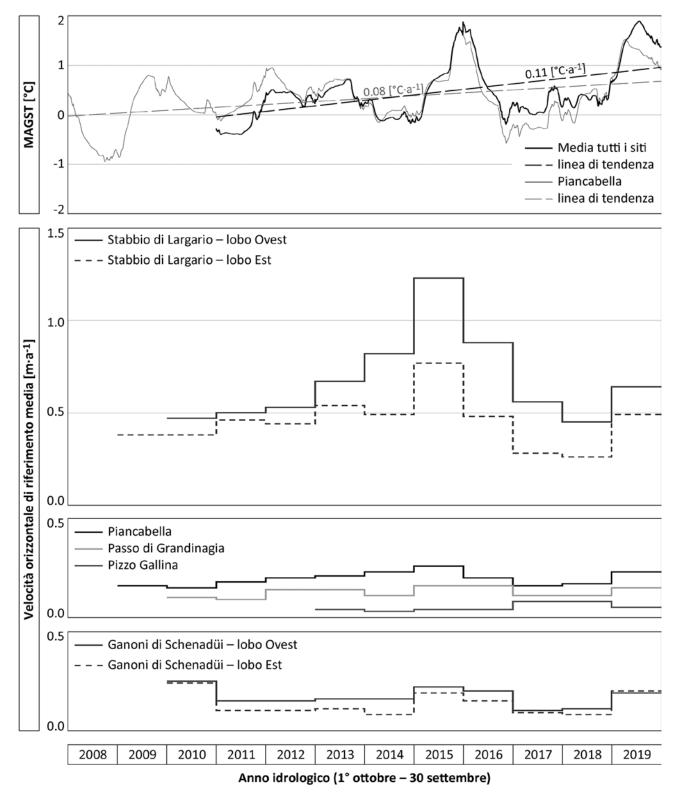


Figura 1: Evoluzione della temperatura media annua della superficie del suolo (MAGST) e della velocità orizzontale di riferimento media dei ghiacciai rocciosi delle Alpi Ticinesi fra gli anni idrologici 2007/2008 (segnato come 2008) e 2018/2019 (segnato come 2019).

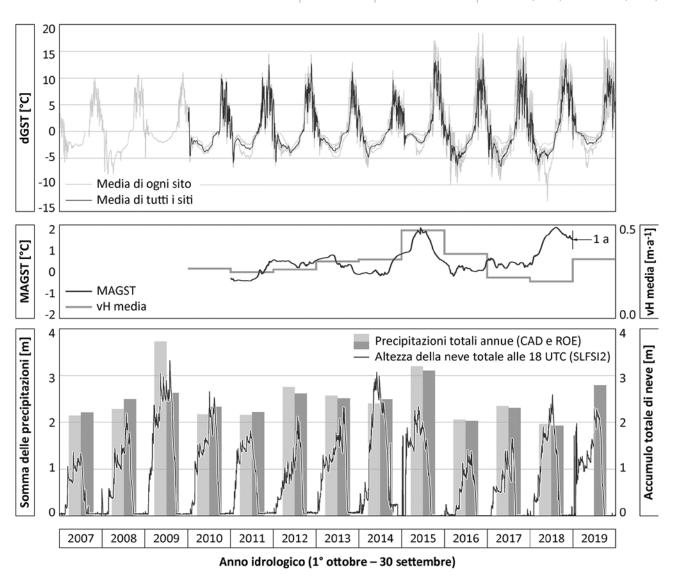


Figura 2: Evoluzione della temperatura media giornaliera del suolo (dGST), della relazione fra temperatura media annua della superficie del suolo (MAGST; che è stata spostata indietro nel tempo di 1 a) e velocità orizzontale di riferimento (vH) media, e delle precipitazioni totali e nevose in alta quota dal 1.10.2006 al 30.9.2019. CAD: Cavagnoli Diga (2'682'219/1'145'480; 2332 m slm), dati MeteoSvizzera (non disponibili per il 2019). ROE: Robièi (2'682'587/1'144'091; 1896 m slm), dati MeteoSvizzera. SLFSI2: Piano del Simano (2'718'450/1'147'400; 2450 m slm), dati Istituto per lo studio della neve e delle valanghe SLF.

DISCUSSIONE

Relazione fra la cinematica e la temperatura dei ghiacciai rocciosi

Come già evidenziato, anche in maniera quantitativa, nei precedenti rapporti sul permafrost nelle Alpi Ticinesi (vedi, in particolare, Scapozza et al. 2018), l'evoluzione della velocità dei ghiacciai rocciosi è correlata con l'andamento di MAGST. Questo legame è particolarmente evidente per quanto concerne le anomalie termiche positive registrate nel 2015 e nel 2019, in risposta alle quali si è assistito a una significativa accelerazione della velocità dei ghiacciai rocciosi (Figg. 1 e 2). Va poi considerato come GST non rifletta solamente le variazioni di temperatura dell'aria, ma integri anche le variazioni di innevamento (data, spessore, durata), le caratteristiche della superficie del terreno e i processi di trasferimento di calore nel sottosuolo (Staub et al. 2015). Se gli ultimi due fattori sono poco variabili a corto-medio termine (fatta eccezione per modifiche alla superficie dovute all'apporto di materiale detritico da parte di valanghe, crolli o flussi di detrito o modifiche sostanziali della porosità del sottosuolo dovute all'aumento dell'aria a scapito del ghiaccio), è chiaro come il monitoraggio di GST consenta di valutare l'effetto delle variazioni delle temperature atmosferiche e dell'innevamento sulla superficie del suolo.

Ne abbiamo un ennesimo esempio durante l'inverno 2018/2019 quando, a causa delle condizioni meteorologiche molto miti al Sud delle Alpi e all'innevamento tardivo e abbondante nelle Alpi (MeteoSvizzera 2020), dGST sono state fra le più calde dall'inverno 2006/2007, superate solamente da quelle registrate durante l'inverno 2014/2015 (Fig. 2).

Il paragone fra l'anomalia positiva di GST del 2019 e quella registrata nel 2015 permette di valutare l'effetto tampone esercitato dall'innevamento. Nel 2015 il picco di riscaldamento di MAGST avvenne in concomitanza con il picco di riscaldamento della temperatura media annua dell'aria (MAAT: *Mean Annual Air Temperature*). Considerando che l'estate 2015 fu estremamente calda e fu preceduta dall'inverno 2014/2015 particolarmente

mite al Sud delle Alpi, l'effetto dell'intero anno idrologico 2014/2015 portò a un riscaldamento di MAGST di +1.7°C per il ghiacciaio roccioso di Piancabella, +1.9°C per quello dei Ganoni di Schenadüi, e di ben +2.2°C per quello di Stabbio di Largario (Scapozza et al. 2016). Visto lo scarso innevamento primaverile e l'assenza di neve a inizio estate, l'anomalia positiva di MAAT ebbe un effetto diretto sull'anomalia positiva di MAGST, causando una significativa accelerazione di vH_{ref} che fu praticamente sincrona al riscaldamento delle temperature dell'aria e del suolo. Per quanto concerne il 2019, al contrario, l'inizio estate molto caldo (con il secondo mese di giugno più caldo dal 1864; MeteoSvizzera 2020) ha avuto un influsso minore su GST a causa della persistenza della neve al suolo. Questa differenza fra il 2015 e il 2019 è ben visibile nella sovrapposizione fra la curva di MAGST spostata indietro nel tempo di un anno rispetto all'andamento di vH (Fig. 2), dove i picchi di entrambi gli indicatori sono sincroni nel 2015 e spostati nel tempo nel 2019.

Partendo dalla relazione esponenziale teorica fra la velocità di reptazione e la temperatura del permafrost (Arenson 2002), è possibile stabilire la relazione empirica tra la velocità massima e la temperatura media annua dell'aria (vedi Scapozza et al. 2016: 42; Scapozza et al. 2018: 18) e quindi fra la velocità orizzontale di superficie media e MAGST, della forma (Scapozza et al. 2018: 18):

$$vH \approx a \cdot e^{(b \cdot MAGST)} \tag{1}$$

Considerando i dati degli anni idrologici 2017/2018 e 2018/2019, in paragone al 2016/2017 i parametri a e b variano rispettivamente fra 0.17 e 0.36 (0.20 per tutti i siti considerati assieme) e fra 0.24 e 0.28 (0.44 per tutti i siti considerati assieme). Se in confronto a quanto riportato da Scapozza et al. (2018: 18) la variazione del parametro a è aumentata di 0.09, quella di b è stata nettamente più ristretta, diminuendo di conseguenza l'esponenzialità dell'accelerazione di vH in funzione dell'aumento di MAGST.

Fattori di controllo della cinematica dei ghiacciai rocciosi

Stando ai modelli numerici concernenti la cinematica di un ghiacciaio roccioso (Kääb et al. 2007), considerare una più complessa reologia delle miscele di ghiaccio e detriti (ice-debris mixtures) è teoricamente possibile e dovrebbe essere inclusa nei futuri modelli che riproducono la reptazione di un ghiacciaio roccioso (Müller et al. 2016). Fra le informazioni addizionali di tipo quantitativo che dovrebbero essere raccolte sul terreno e che potrebbero aiutare nello sviluppo di modelli più vicini alla realtà, bisognerà considerare soprattutto il ruolo dell'umidità e dell'acqua allo stato liquido (Ikeda et al. 2008; Lambiel 2011; Cicoria et al. 2019). L'apporto di acqua liquida nel corpo di un ghiacciaio roccioso lo possiamo valutare indirettamente considerando i dati delle precipitazioni in alta quota (Fig. 2). Il picco positivo di accelerazione di vH registrato nel 2015 corrisponde all'anno idrologico con la somma delle precipitazioni più alta dal 2010 (3200 mm alla Diga del Cavagnoli e

3109 mm a Robièi, stazioni gestite da MeteoSvizzera in alta Val Bavona). Anche l'accelerazione registrata nel 2019 corrisponde con un anno dove lo stock idrico è stato importante, con il secondo valore più alto dal 2010 nella somma totale delle precipitazioni registrata a Robièi (2800 mm). Una tendenza simile, seppure meno marcata, si ritrova nella variazione dell'altezza della neve totale misurata al Piano del Simano, in Valle di Blenio (Fig. 2). Per quanto concerne l'innevamento, l'effettivo apporto idrico nel ghiacciaio roccioso non è direttamente quantificabile senza calcolare il livello di neve equivalente in acqua SWE (Snow-Water Equivalent), vale a dire lo spessore dello strato d'acqua corrispondente ottenuta dalla fusione del manto nevoso, che richiede la conoscenza della densità della neve. Questo valore permette però di osservare l'evoluzione e la durata del manto nevoso. Per quanto concerne l'inverno 2018/2019, la neve è arrivata precocemente il 27.10.2018 ed è rimasta al suolo per ben 245 giorni fino al 29.6.2019, tamponando di fatto l'effetto del periodo canicolare di fine giugno. A titolo di paragone, nell'inverno 2014/2015 la data di arrivo della neve è stata leggermente più tardiva (4.11.2014), e la sua sparizione 214 giorni dopo (il 6.6.2015) è avvenuta con ben 23 giorni di anticipo rispetto al 2019.

L'apporto di acqua nel corpo di un ghiacciaio roccioso sembra avere un forte impatto sulle proprietà delle miscele di ghiaccio e detriti, anche se l'effetto di un avvicinamento della temperatura al punto di fusione del ghiaccio deve essere ancora maggiormente compreso (Moore 2014) per stabilire una legge che spieghi correttamente la deformazione di un ghiacciaio roccioso (Müller et al. 2016; Cicoria et al. 2019). Questo aspetto è relativamente complesso poiché il riscaldamento del permafrost non solo influenzerà le proprietà reologiche del ghiaccio stesso, ma cambierà anche il rapporto fra il ghiaccio e i detriti, riducendo il volume di ghiaccio e aumentando di conseguenza la porosità rappresentata dalla frazione volumetrica di aria e/o acqua liquida (Scapozza et al. 2015). Un nuovo rapporto fra il ghiaccio e i detriti avrà l'effetto di alterare la viscosità del ghiacciaio roccioso in maniera eterogenea dal punto di vista spaziale (Müller et al. 2016), poiché è stato dimostrato da diversi autori come gli effetti della fusione del ghiaccio siano spazialmente diversi secondo la quantità di ghiaccio, la pendenza e quindi, la posizione considerata nel ghiacciaio roccioso (Arenson & Springman 2005; Monnier & Kinnard 2016).

Se si può supporre che l'impatto di un cambiamento nel rapporto volumetrico fra ghiaccio e acqua liquida avrà delle conseguenze solamente a medio-lungo termine, è stato altresì dimostrato come le variazioni di umidità dovute a eventi pluviometrici intensi possono avere un impatto sulla reologia di un ghiacciaio roccioso a corto termine, addirittura nell'arco di pochi giorni (Wirz et al. 2016a; Cicoria et al. 2019). I soli dati a disposizione nelle Alpi Ticinesi che potrebbero illustrare questo comportamento a corto termine sono quelli raccolti dal monitoraggio continuo dei movimenti grazie a due ricevitori GPS fissi mono-frequenza installati sul ghiacciaio roccioso di Stabbio di Largario a settembre del 2014 (Wirz et al. 2016b). Purtroppo, a causa di

problemi tecnici, non è ancora stato possibile stabilire una serie temporale di misure che sia completa su più anni idrologici, in maniera da approfondire la reazione del ghiacciaio roccioso ai cambiamenti di umidità del terreno. Questo sarà uno degli aspetti da approfondire in prima priorità nei prossimi anni.

I dati di temperatura e velocità raccolti da più di dieci anni sui ghiacciai rocciosi delle Alpi Ticinesi permettono però di rivelare il loro comportamento cinematico generale, con il vantaggio di identificare i fattori di controllo più essenziali nell'evoluzione della velocità di un ghiacciaio roccioso. I valori teorici stabiliti da Arenson & Springman (2005) indicano un aumento della velocità di superficie di un fattore variabile fra 1.4, 1.7 e 2.7 volte per un riscaldamento di 1°C, partendo da una temperatura iniziale di riferimento del ghiacciaio roccioso di rispettivamente -2, -1.5 e -1°C (vedi Müller et al. 2016: 2875); in altre parole, più la temperatura di un ghiacciaio roccioso è prossima a 0°C e più il fattore di incremento della velocità di reptazione è elevato. Gli stessi fattori di incremento compresi fra 1.4 e 2.7 del tasso di aumento della reptazione di un ghiacciaio roccioso sono stati stabiliti nelle Alpi Svizzere da Müller et al. (2016: 2879) utilizzando un modello numerico. Se questo comportamento teorico è consistente con la misurazione di un'accelerazione di vH del 300% durante l'anno idrologico 2003/2004, caratterizzato da condizioni di innevamento eccezionali e da un'estate molto calda (Delaloye et al. 2010), esso è visibile anche nell'evoluzione degli indicatori misurati nelle Alpi Ticinesi in relazione alle anomalie positive di MAGST e vH osservate nel 2015 e nel 2019 (Tab. 6). Non sola-

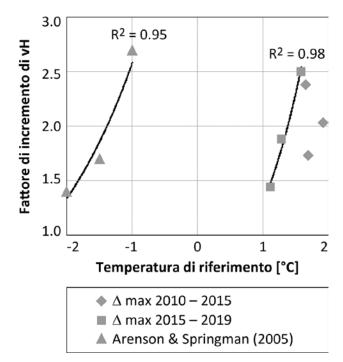


Figura 3: Relazione fra la temperatura di riferimento (la temperatura del ghiacciaio roccioso riscaldata di 1°C per Arenson & Springman 2005, il riscaldamento di MAGST per i ghiacciai rocciosi delle Alpi Ticinesi) e il fattore di incremento della velocità orizzontale di superficie (vH). Le linee di regressione sono di tipo esponenziale. Da notare la differenza di 2.6–3.1°C fra la temperatura del sottosuolo e della superficie del suolo.

Tabella 6: Confronto fra la differenza di temperatura media annua della superficie del suolo (MAGST) e l'incremento della velocità orizzontale di riferimento (vH) in relazione ai picchi dei due indicatori registrati nel 2015 e nel 2019. GDS: Ganoni di Schenadüi; SCE: Piancabella (Valle di Sceru); SDL – E: Stabbio di Largario, lobo Est.

	Gh	Ghiacciaio roccioso						
	GDS	SCE	SDL – E					
	Δ	max 2010-20)15					
MAGST [°C]	1.70	1.92						
vH [m · a ⁻¹]	0.11	0.11	0.39					
vH [%]	238	173	203					
	Δ	max 2015-20)19					
MAGST [°C]	1.59	1.12	1.29					
vH [m · a ⁻¹]	0.12	0.07	0.23					
vH [%] 250 144								

mente il riscaldamento di MAGST compreso fra 1.12 e 1.92°C ha causato un incremento di vH di un fattore compreso fra 1.4 e 2.5 volte (e fino a 2.9 volte per le velocità massime, vedi Tab. 5), ma più MAGST aumenta e più il fattore di incremento di vH cresce. È difficile stabilire una relazione con i fattori determinati da Arenson & Springman (2005), poiché nel nostro caso si tratta di temperature della superficie del suolo. Ciò nonostante, la tendenza evolutiva è simile, con le linee di regressione che sono quasi parallele, soprattutto fra i dati teorici di Arenson & Springman (2005) e l'evoluzione fra il 2015 e il 2019 (Fig. 3). È stata adottata una regressione esponenziale coerentemente a quanto proposto da Arenson & Springman (2005) in Müller et al. (2016: 2871) e per analogia con la relazione stabilita fra vH e MAGST presentata nell'Equazione 1 (cf. Arenson 2002; Staub 2015; Scapozza et al. 2018). Da notare come, fra la temperatura del ghiacciaio roccioso (e quindi del sottosuolo) e quella della superficie del suolo, vi sia una differenza compresa fra 2.6 e 3.1°C, coerente con quanto è possibile osservare nelle perforazioni nel permafrost delle Alpi Svizzere fra la superficie e 10 m di profondità (PERMOS 2019).

Considerando le misurazioni svolte sui ghiacciai rocciosi delle Alpi Ticinesi e quanto osservato da Wirz et al. (2016a) e da Cicoria et al. (2019), si potrebbe ipotizzare che i picchi di velocità siano stati causati principalmente da forti infiltrazioni d'acqua dovute a intensa fusione nivale e/o a forti precipitazioni nei giorni precedenti l'inizio dell'accelerazione. Il ghiacciaio roccioso potrebbe quindi funzionare a ciclo stagionale di velocità, con un'accelerazione estiva fortemente influenzata dall'acqua di fusione nivale (e quindi dalle quantità di neve accumulatisi durante il periodo autunnale-primaverile) e dagli eventi pluviometrici intensi estivo-autunnali, e una decelerazione invernale influenzata dal raffreddamento del suolo in inverno (anch'esso dipendente dalla data di arrivo e dal quantitativo totale della neve).

I dati di monitoraggio raccolti nelle Alpi Ticinesi indicano che nessuno dei ghiacciai rocciosi è stato destabilizzato dal riscaldamento delle temperature osservato in questo ultimo decennio, contrariamento a quanto avvenuto per altri siti delle Alpi Svizzere, dove l'accelerazione dei movimenti ha condotto a cambiamenti significativi della loro cinematica e morfologia (per es. Lambiel 2011; Marcer et al. 2019; Vivero & Lambiel 2019). Un'avvisaglia avrebbe potuto essere la risposta del ghiacciaio roccioso di Stabbio di Largario all'importante riscaldamento avvenuto nel 2015 (con un'accelerazione di vH del 150% rispetto al 2014), ma la successiva decelerazione e la limitata accelerazione delle velocità nel 2019 hanno fatto rientrare questo potenziale allarme. Non è stato il caso in altre regioni delle Alpi (per es. Ravanel et al. 2017; Marcer et al. 2019), dove l'ondata di caldo dell'estate 2015 ha avuto effetti significativi sul permafrost montano, che possono aver favorito le condizioni iniziali di un processo di destabilizzazione di un ghiacciaio roccioso (Vivero & Lambiel 2019). La successiva evoluzione delle condizioni meteorologiche con numerose estati calde, indica che la fusione nivale concentrata potrebbe aver indotto una lubrificazione per opera dell'acqua liquida nell'orizzonte di taglio dove avviene la maggior parte della deformazione, portando in alcuni casi a dei veri e propri distacchi di intere parti della sezione inferiore di un ghiacciaio roccioso (per es. Vivero & Lambiel 2019). L'effetto dell'aumento di temperatura sulla reologia del ghiacciaio roccioso è quindi osservabile nel comportamento stagionale/annuale dei ghiacciai rocciosi delle Alpi Ticinesi, dove vH presenta delle oscillazioni in linea con le fluttuazioni di MAGST. Le anomalie positive di temperatura del 2015 e del 2019 sembrerebbero inoltre indicare che, a questa tendenza a mediolungo termine, si possa sommare un'influenza a corto termine legata all'effetto dell'apporto in acqua liquida dovuto alla fusione nivale concentrata e/o agli eventi pluviometrici più intensi nel modificare la reologia dei medi porosi con ghiaccio, detriti di roccia, acqua liquida e aria (cf. Cicoria et al. 2019). Il proseguo del monitoraggio continuo degli spostamenti in atto sul ghiacciaio roccioso di Stabbio di Largario potrà, nel prossimo futuro, fornire maggiori dati di terreno a supporto di questa ipotesi.

CONCLUSIONE

L'analisi delle anomalie termiche positive registrate nel 2015 e 2019, in risposta alle quali è stata misurata una significativa accelerazione della velocità dei ghiacciai rocciosi, ha permesso di rafforzare la relazione empirica fra la velocità orizzontale di superficie media e MAGST (Eq. 1) già proposta nei rapporti precedenti. Le temperature della superficie del suolo dei ghiacciai rocciosi osservati nelle Alpi Ticinesi indicano uno stato termico già relativamente "temperato" del permafrost, vale a dire prossimo a 0°C, e mostrano una tendenza a un ulteriore riscaldamento, in linea con quanto osservato a livello svizzero (Nötzli et al. 2019; PERMOS 2019) e alpino (Kellerer-Pirklbauer et al. 2018).

Nelle Alpi Ticinesi il riscaldamento di MAGST compreso fra 1.10 e 1.92°C legato alle anomalie termiche del 2015 e del 2019 ha causato un incremento di velo-

cità dei ghiacciai rocciosi di un fattore compreso fra 1.4 e 2.5 volte. Si è inoltre osservato come più MAGST aumenta e più il fattore di incremento della velocità cresce di conseguenza. Questi dati sono perfettamente in linea con il modello teorico proposto da Müller et al. (2016), dove per un riscaldamento di 1°C partendo da una temperatura del ghiacciaio roccioso di -2°C il fattore di aumento di velocità risulta essere di 1.4 volte, mentre esso raddoppia e diventa di 2.7 volte per lo stesso riscaldamento di 1°C applicato a una temperatura iniziale del ghiacciaio roccioso di -1°C.

Il confronto fra le due significative accelerazioni di velocità dei ghiacciai rocciosi avvenute nel 2015 e nel 2019 ha portato a interrogarsi sull'effetto tampone esercitato dalla presenza della neve durante un evento canicolare e sul conseguente ruolo dell'infiltrazione di acqua liquida proveniente dalla fusione del manto nevoso e/o dall'apporto durante eventi pluviometrici particolarmente intensi. Se, da una parte, come mostrato da Wirz et al. (2016) e da Cicoria et al. (2019), i picchi di velocità potrebbero essere stati causati principalmente da forti infiltrazioni d'acqua dovute a intensa fusione nivale e/o a forti precipitazioni nei giorni precedenti l'inizio dell'accelerazione, dall'altra le condizioni di innevamento più tardivo registrate nel 2019 rispetto al 2015 avrebbero avuto l'effetto di inibire la trasmissione di calore nel sottosuolo durante l'evento canicolare di fine giugno/inizio luglio. Considerato che i due processi hanno differenti velocità di trasporto di calore, resta da valutare quale può essere il bilancio termico, a corto-medio termine, fra: (1) la presenza della neve al suolo in periodi di temperature dell'aria estremamente elevate (che inibisce la trasmissione di calore nel sottosuolo) e; (2) la sua successiva infiltrazione sotto forma di acqua liquida nel periodo di fusione (che favorisce la trasmissione di calore nel sottosuolo). Sappiamo già da ora che questo bilancio termico consente di osservare i valori più elevati di vH durante estati calde che seguono inverni nevosi, e vH più basse quando l'estate calda segue un inverno secco.

Considerando sia il legame fra MAGST e la velocità di un ghiacciaio roccioso, sia quello fra la disponibilità di acqua liquida e lo stato termico del permafrost, tanto i modelli teorici quanto i valori misurati nelle Alpi Ticinesi indicano che la prosecuzione del riscaldamento del permafrost avrà probabilmente l'effetto di amplificare ulteriormente la risposta in accelerazione dei ghiacciai rocciosi.

RINGRAZIAMENTI

L'acquisizione dei dati sui ghiacciai rocciosi delle Alpi Ticinesi è stata finanziata dalla rete svizzera di monitoraggio del permafrost PERMOS, dal Museo cantonale di storia naturale di Lugano e dalla Fondazione Avv. Dott. Angelo Berla, console generale, e Teresita Berla nata Veglio. La raccolta dei dati sul terreno ha beneficiato del supporto di Stefano Bergamaschi, Dorota Czerski, Alessando De Pedrini e Arturo Di Giacinto. La versione finale del manoscritto ha beneficiato dei commenti di Andrea Pedrazzini e Filippo Schenker.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

- Arenson L. 2002. Unstable alpine permafrost: a potentially important natural hazard Variations of geotechnical behaviour with time and temperature. PhD Thesis, ETH Zürich, Diss. ETH No. 14801, 271 pp.
- Arenson L.U. & Springman S.M. 2005. Mathematical descriptions for the behaviour of ice-rich frozen soils at temperatures close to 0°C. Canadian Geotechnical Journal, 42: 431-442.
- Cicoria A., Beutel J., Faillettaz J. & Vieli A. 2019. Water controls the seasonal rhythm of rock glacier flow. Earth and Planetary Science Letters, 528: 115844.
- Delaloye R., Lambiel C. & Roer I. 2010. Overview of rock glacier kinematics research in the Swiss Alps. Seasonal rhythm, interannual variations and trends over several decades. Geographica Helvetica, 65: 135-145.
- Ikeda A., Matsuoka N. & Kääb A. 2008. Fast deformation of perennially frozen debris in a warm rock-glacier in the Swiss Alps: an effect of liquid water. Journal of Geophysical Research, 113: F01021.
- Kääb A., Frauenfelder R. & Roer I. 2007. On the response of rockglacier creep to surface temperature increase. Global and Planetary Change, 56: 172-187.
- Kellerer-Pirklbauer A., Delaloye R., Lambiel C., Gärtner-Roer I., Kaufmann V., Scapozza C., Krainer K., Staub B., Thibert E., Bodin X., Fischer A., Hartl L., Morra di Cella U., Mair V., Marcer M. & Schoeneich P. 2018. Interannual variability of rock glacier velocities in the European Alps. Proceedings of the 5th European Conference on Permafrost (EUCOP5), Chamonix, Mont-Blanc, 23th June-1st July 2018: 396-397.
- Lambiel C. 2011. Le glacier rocheux déstabilisé de Tsaté-Moiry (VS): caractéristiques morphologiques et vitesses de déplacement. In: Lambiel C., Reynard E. & Scapozza C. (éds), La géomorphologie alpine: entre patrimoine et contrainte. Actes du colloque de la Société Suisse de Géomorphologie, Olivone, Suisse, 3-5.9.2009. Université de Lausanne, Institut de Géographie, Géovisions, 36, pp. 211-224.
- Marcer M., Serrano C., Brenning A., Bodin A., Goetz J. & Schoeneich P. 2019. Evaluating the destabilization susceptibility of active rock glaciers in the French Alps. The Cryosphere, 13: 142-155.
- Mari S., Scapozza C., Delaloye R. & Lambiel C. 2012. Il permafrost nelle Alpi Ticinesi (2006-2011). Rapporto No. 1 del Gruppo Permafrost Ticino. Bollettino della Società ticinese di Scienze naturali, 100: 135-139.
- MeteoSvizzera 2020. Bollettino del clima dell'anno 2019. Locarno-Monti, Ufficio federale di meteorologia e climatologia, 13 pp.
- Monnier S. & Kinnard C. 2016. Interrogating the time and processes of development of the Las Liebres rock glacier, central Chilean Andes, using a numerical flow model. Earth Surface Processes and Landforms, 41, 1884-1893.
- Moore P.L. 2014. Deformation of debris-ice mixtures. Reviews of Geophysics, 52: 435-467.
- Müller J., Vieli A. & Gärtner-Roer I. 2016. Rock glaciers on the run understanding rock glacier landform evolution and recent changes from numerical flow modelling. The Cryosphere, 10: 2865-2886.
- Nötzli J., Pellet C. & Staub B. (eds.) 2019. Permafrost in Switzerland 2014/2015 to 2017/2018. Glaciological Report Permafrost No. 16-19 of the Cryospheric Commission of the Swiss Academy of Sciences, 104 pp.

- PERMOS 2019. PERMOS Database. Swiss Permafrost Monitoring Network, Fribourg and Davos, Switzerland. http://dx.doi.org/10.13093/permos-2019-01
- Ravanel L., Magnin F. & Deline P. 2017. Impacts of the 2003 and 2015 summer heatwaves on permafrost-affected rockwalls in the Mont Blanc massif. Science of the Total Environment, 609: 132-143.
- Scapozza C. 2009. Contributo dei metodi termici alla prospezione del permafrost montano: esempi dal massiccio della Cima di Gana Bianca (Val Blenio, Svizzera). Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 97: 55-66.
- Scapozza C., Mari S., Antognini M., Lepori V. & Ambrosi C. 2014. Il permafrost nelle Alpi Ticinesi (2011/2012 e 2012/2013). Rapporto No. 2 del Gruppo Permafrost Ticino. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 102: 59-69
- Scapozza C., Baron L. & Lambiel C. 2015. Borehole logging in Alpine Periglacial Talus Slopes. Permafrost and Periglacial Processes, 26: 67-83.
- Scapozza C., Giaccone E., Mari S., Antognini M., Fratianni S. & Ambrosi C. 2016. Il permafrost nelle Alpi Ticinesi (2013/2014 e 2014/2015). Rapporto No. 3 del Gruppo Permafrost Ticino. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 104: 37-44.
- Scapozza C., Antognini M. & Ambrosi C. 2018. Il permafrost nelle Alpi Ticinesi (2015/2016 e 2016/2017). Rapporto No. 4 del Gruppo Permafrost Ticino. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 106: 13-22.
- Scapozza C., Deluigi N., Bulgheroni M., Pera S., Pozzoni M., Colombo L. & Lepori F. 2020. Assessing the impact of ground ice degradation on high mountain lake environments (Lago Nero catchment, Swiss Alps). Aquatic Sciences, 82: 5.
- Staub B. 2015. Key messages from observational mountain permafrost research. The Evolution of Mountain Permafrost in Switzerland (TEMPS), Final Symposium, 4-5.2.2015, Sion, Switzerland.
- Staub B., Marmy A., Hauch C., Hilbich C. & Delaloye R. 2015. Ground temperature variations in a talus slope influenced by permafrost: a comparison of field observations and model simulations. Geographica Helvetica, 70: 45-62.
- Vivero S. & Lambiel C. 2019. Monitoring the crisis of a rockglacier with repeated UAV surveys. Geographica Helvetica, 74: 59-69.
- Wirz V., Gruber S., Purves R.S., Beutel J., Gärtner-Roer I., Gubler S. & Vieli A. 2016a. Short-term velocity variations of three rock glaciers and their relationship with meteorological conditions. Earth Surface Dynamics, 4: 103-123.
- Wirz V., Beutel J., Delaloye R., Gsell T., Gruber S., Gärtner-Roer I., Hasler A., Kenner R., Limpach P., Müller J., Phillips M., Raetzo H., Scapozza C., Vieli A. & Weber S. 2016. Short-term variability of rock glacier surface velocities in the Swiss Alps revealed by continuous GPS. In: Günther F. & Morgenstern A. (eds.), XI. International Conference on Permafrost Book of Abstracts, 20-24.6.2016, Potsdam, Germany. Potsdam, Bibliothek Wissenschaftspark Albert Einstein, pp. 1064-1065.

Contributo alla conoscenza dei chirotteri dei boschi del comprensorio del progetto di Parco nazionale del Locarnese (Svizzera)

Marzia Mattei-Roesli¹, Luca Pagano¹, Nicola Zambelli² e Filippo Rampazzi²

¹ Maddalena & associati Sagl, Consulenze ambientali e perizie faunistiche, Via della Posta 26, 6672 Gordevio, Svizzera ² Museo cantonale di storia naturale, Viale Cattaneo 4, 6900 Lugano, Svizzera

marzia.mattei@ticino.com

Riassunto: Le conoscenze relative ai pipistrelli silvicoli sono spesso ancora scarse. Grazie alla tecnica della bioacustica i pipistrelli sono stati censiti in modo sistematico durante 120 notti di indagine distribuite su due anni di studio in 10 aree campione appartenenti a cinque tipologie forestali. In totale sono state registrate 27'137 sequenze di ultrasuoni appartenenti ad almeno 13 specie, quattro delle quali mai censite prima nel comparto di studio. Sia la diversità specifica sia l'attività di caccia tendono a diminuire con l'altitudine. Fanno eccezione i lariceti nei quali si è registrata un'attività di caccia molto elevata. In generale l'abetina/pecceta e la faggeta sembrano invece essere le più povere di specie. Le specie maggiormente diffuse sono state Pipistrellus pipistrellus, Hypsugo savii e Nyctalus leisleri. Pipistrellus pipistrellus è stata anche la specie più frequentemente contattata. Solo in cinque occasioni altre specie o sonotipi hanno raggiunto frequenze superiori al 5%, e questo unicamente nelle aree campione situate alle quote superiori.

Parole chiave: bioacustica, chirotteri, distribuzione, foreste, inventario, pipistrelli

Contribution to the knowledge of the bats of the woodlands of the project region for the Locarnese national parc (Switzerland)

Abstract: Our knowledge about forest bats is still poor. A systematic bioacoustic monitoring was conducted for 120 nights distributed over two years in 10 study areas located in five forest typologies. A total of 27'137 sequences of 13 species were recorded. Four of the observed species were new to the research area. Both specific diversity and hunting activity tend to decrease with elevation except for larch stands. In contrast, European spruce, silver fir and beech forests are generally species poor. *Pipistrellus pipistrellus, Hypsugo savii* and *Nyctalus leisleri* are the species with the largest distribution. *Pipistrellus pipistrellus* is also the most frequently observed. Only in five occasions did other species or sonotypes show frequencies above 5% and always in sampling areas located at higher altitudes.

Keywords: bioacoustics, Chiroptera, distribution, forest, inventory

INTRODUZIONE

I pipistrelli sono animali notturni, si spostano in volo ed emettono ultrasuoni che non rientrano nello spettro di frequenze percepite dall'orecchio umano. Tutte queste caratteristiche rendono inefficaci molte delle tecniche di studio comunemente applicate in biologia. Le conoscenze relative ai chirotteri sono quindi spesso ancora scarse. Questo vale in modo particolare per le specie legate al bosco. Considerando che almeno la metà delle 30 specie di pipistrelli presenti in Svizzera possono essere considerate forestali (Bohnenstengel et al., 2014), si tratta di una lacuna conoscitiva importante.

Negli ultimi anni, grazie a grandi progressi tecnici e scientifici, sono comparsi sul mercato vari modelli di apparecchi che permettono la registrazione automatica degli ultrasuoni emessi dai pipistrelli, come pure programmi informatici che rendono possibile un'analisi semi-automatica dei suoni registrati. Queste tecniche

permettono ora di raccogliere dati sui pipistrelli in ambienti prima difficilmente investigabili, come per esempio il bosco.

Nel 2016, nell'ambito dei lavori preparatori all'istituzione del Parco nazionale del Locarnese, il Museo cantonale di storia naturale ha avviato un programma di ricerca sulla biodiversità degli ambienti boschivi (Museo cantonale di storia naturale, 2017). Infatti il comprensorio nel quale era prevista l'istituzione del Parco nazionale del Locarnese è caratterizzato da complessi forestali estesi e, grazie alla presenza di un ampio gradiente altitudinale, molto diversificati. Dai boschi misti di fondovalle a carattere fresco-umido, ai querceti e castagneti termofili dell'orizzonte collinare, alle faggete e abetine montane, alle peccete subalpine, ai lariceti dell'orizzonte subalpino superiore, sono presenti gran parte delle tipologie forestali del Cantone Ticino. La maggior parte di questi boschi è stata sottratta da tempo al disboscamento e ad altri interventi selvicolturali e presenta quindi localmente stadi maturi

prossimi a una situazione naturale. Questo li rende particolarmente adatti per approfondire le conoscenze sui chirotteri silvicoli.

A seguito della chiusura del progetto di Parco nazionale del Locarnese, la cui istituzione è stata rifiutata in votazione popolare, il programma di ricerca ha dovuto essere concluso anzi tempo, per cui non è stato possibile raggiungere tutti gli obiettivi che ci si era prefissati. Il presente lavoro rimane quindi principalmente descrittivo. Esso ha però il pregio di fare luce sulla presenza e sulla distribuzione dei pipistrelli in una regione e in ambienti prima d'ora quasi inesplorati.

MATERIALI E METODI

Scelta delle aree campione

Lo studio è stato eseguito all'interno delle principali tipologie forestali delle Centovalli, della Valle Onsernone, di Arcegno e di Dunzio, il comprensorio previsto per l'istituzione del Parco nazionale del Locarnese, dalla zona collinare (ca. 300 m s.l.m.) alla zona subalpina superiore (ca. 1'900 m s.l.m.). Considerato che per i chirotteri la scelta dell'habitat di caccia dipende in larga misura dalla sua struttura (stratificazione ed età del bosco, presenza di legno morto in piedi e al suolo, presenza di radure, prossimità di corsi d'acqua ecc.) e solo secondariamente dalla composizione floristica della vegetazione, le principali tipologie forestali presenti sono state raggruppate in cinque categorie in base al gradiente altitudinale, senza ulteriori distinzioni in sottotipologie (Tab. 1).

Per ognuna di queste cinque tipologie forestali sono state individuate due aree campione all'interno delle quali è stato indagato il popolamento chirotterologico, per un totale di 10 aree campione. I rilievi sono stati eseguiti sull'arco di due anni tra il 2017 e il 2018 (Tab. 1 e Fig 1). Per maggiori dettagli sulle aree campione e sulle singole stazioni indagate si rimanda al rapporto originale (Mattei-Roesli, 2019a).

Raccolta dei dati sui chirotteri

I dati sui pipistrelli sono stati raccolti tramite registratori automatici di ultrasuoni a banda larga (batcorder, EcoObs GmbH Nürnberg e batlogger, Elekon AG Luzern). Questa metodologia, basata sulla registrazione delle emissioni ultrasonore dei pipistrelli, permette di raccogliere principalmente dati sugli individui in caccia o in transito. Essa consente quindi di stilare

liste faunistiche delle specie presenti in una determinata zona, come pure di raccogliere dati sull'intensità dell'attività di caccia e/o di transito. Nel caso del presente studio, visti gli ambienti indagati (aree boschive estese e non strutture lineari), i segnali registrati sono da riferirsi principalmente all'attività di foraggiamento e solo eccezionalmente al transito. La tecnica della bioacustica è invece poco adatta a valutare l'importanza di un bosco e dei suoi alberi quali rifugi per i pipistrelli. All'interno di ognuna delle 10 aree campione indagate sono stati posati tre registratori automatici di ultrasuoni. Ogni registratore è stato attivo durante quattro notti, due tra maggio e giugno e due tra luglio e agosto. Per ogni area campione sono così disponibili 12 notti di registrazione di ultrasuoni di pipistrelli per un totale di 120 notti di rilievo.

All'interno di ogni area campione i registratori sono stati posti nei seguenti tre macro-ambienti: zona aperta, ecotono e bosco, privilegiando le formazioni forestali più mature. Durante il primo periodo di registrazione (estate: maggio-giugno) sono stati indagati tutti e tre i macro-ambienti, mentre durante il secondo periodo di registrazione (autunno: luglio-agosto) lo schema di posa dei registratori è stato modificato in modo da aumentare lo sforzo di campionamento in bosco. Nel secondo periodo sono quindi state indagate due stazioni forestali e solo ancora una stazione in zona aperta o ecotono. Durante il primo anno di studio, una stazione in bosco e una all'esterno (zona aperta o ecotono) sono state indagate sia in estate sia in autunno (4 stazioni diverse indagate per ogni area campione, totale 20 stazioni). Poiché l'analisi intermedia dei dati non aveva mostrato grosse differenze tra il rilievo estivo e quello autunnale, ma aveva messo in luce grandi variazioni dovute alla scelta del punto preciso di rilievo, durante il secondo anno di indagine, lo schema di campionamento è stato leggermente modificato in modo da aumentare il numero di stazioni indagate: tutte le stazioni investigate in autunno sono quindi diverse da quelle campionate in primavera (6 stazioni diverse indagate per ogni area campione, totale 30 stazioni) (Tab. 2).

Analisi dei dati

Le registrazioni delle emissioni ultrasonore sono state analizzate e, con le limitazioni derivanti dal sistema adottato, identificate alla specie o al sonotipo (gruppo di specie con emissioni ultrasonore molto simili), tramite i programmi di analisi automatici Batscope 3.2.0 (Boesch & Obrist, 2013) e BatIdent (EcoObs GmbH

Tabella 1: Principali tipologie forestali indagate ed elenco delle aree campione. Tra parentesi è indicata la quota media dei punti di rilievo di ogni area campione.

Tipologia forestale	Area campione 2017	Area campione 2018
Boschi misti di latifoglie	Mosogno (614 m s.l.m.)	Dunzio (572 m s.l.m.)
Querceti e castagneti	Arcegno (397 m s.l.m.)	Costa (936 m s.l.m.)
Faggete	Rasa (959 m s.l.m.)	Comino (1'226 m s.l.m.)
Abetine/peccete	Vergeletto (1'153 m s.l.m.)	Palagnedra e Ruscada¹ (944 m s.l.m.)
Lariceti	Salei (1'796 m s.l.m.)	Ruscada (1'667 m s.l.m.)

¹ La tipologia forestale abetina/pecceta è stata suddivisa in due aree campione tra Palagnedra e Ruscada.

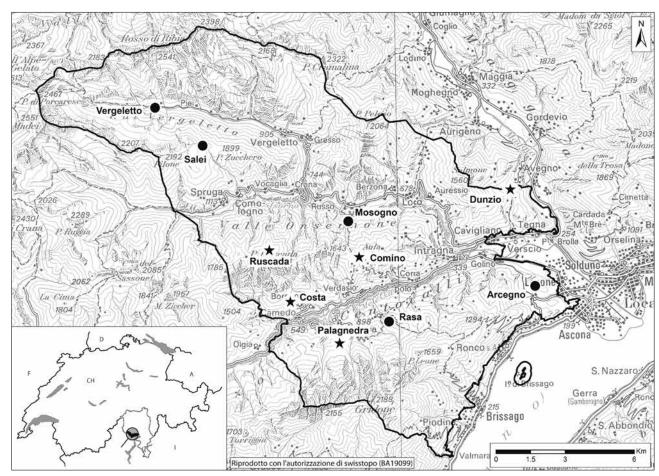


Figura 1: Ubicazione delle 10 aree campione investigate nel 2017 (punti) e nel 2018 (stelle). Il perimetro è quello del progetto di Parco nazionale del Locarnese. Riprodotto con l'autorizzazione di swisstopo (BA19099).

Tabella 2: Schema di campionamento per un'area campione. In totale sono state indagate 10 aree campione, 5 per ognuno dei due anni di studio.

Anno	Macroambienti	Periodo 1 (P1) maggio-giugno	Periodo 2 (P2) luglio-agosto	Totale
2017	zona aperta ecotono	1 stazione]	1 stazione uguale a P1	4 stazioni
	bosco	1 stazione	2 stazioni di cui una uguale a P1	
2018	zona aperta ecotono	1 stazione] 1 stazione]	1 stazione	6 stazioni
	bosco	1 stazione	2 stazioni	

Nürnberg) e in parte manualmente con Raven Pro 1.4 (Cornell Lab of Ornithology, Ithaca NY). Sono stati considerati i seguenti sonotipi: Myotis mystacinus/brandtii, Myotis myotis/blythii, Pipistrellus nathusii/kuhlii, Plecotus auritus/macrobullaris, Nyctalus sp./Eptesicus sp./Vespertilio sp.. L'identificazione e la validazione delle sequenze bioacustiche è stata eseguita secondo gli standard dello Swiss bat bioacoustic group SBBG (Bader et. al., 2018).

Quale indice per misurare l'attività dei chirotteri in un punto di ascolto è stato scelto il numero di sequenze registrate in una notte. Tale dato 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. Inoltre, il numero di sequenze registrato dai due modelli di apparecchi impiegati nel presente studio non è direttamente paragonabile poiché, essendo il microfono dei batlogger più sensibile di quello dei batcorder, il batlogger campiona un'area maggiore (J. Koblitz, comm. orale). Questo fatto non pregiudica però i risultati, in quanto lo schema di campionamento utilizzato è stato bilanciato rispetto al tipo di registratore impiegato (medesimo numero di batlogger e batcorder utilizzati in ogni area campione).

La frequenza di una determinata specie o sonotipo è stata calcolata dividendo il numero di sequenze di quella determinata specie o sonotipo per il numero totale di sequenze bioacustiche registrate. Poiché l'intensità (dB) e quindi la portata dei segnali varia da una specie di pipistrello all'altra, gli indici di frequenza di specie

o sonotipi diversi non possono semplicemente essere paragonati tra di loro ma devono essere corretti con un fattore che tiene conto della diversa probabilità di contatto (fattore di rilevabilità). Nel presente lavoro sono stati utilizzati i coefficienti proposti da Barataud (2012). Questi coefficienti tengono unicamente conto delle diverse intensità di emissione tra una specie e l'altra. Essi non considerano per contro differenze nel comportamento, che possono pure influire sulla probabilità di rilievo del dato acustico.

RISULTATI

In totale, durante le 120 notti di registrazione, sono state registrate 27'137 sequenze di ultrasuoni di pipistrelli (11'449 nel 2017 e 15'688 nel 2018) per un valore mediano di 75.5 sequenze a notte (n=120). Se consideriamo in modo separato i tre macro-ambienti, il valore mediano è di 78 sequenze a notte per le zone aperte, 55.5 per gli ecotoni e 69.5 per il bosco.

Le sequenze bioacustiche registrate appartenevano a 13 specie o sonotipi di pipistrelli. Si tratta di oltre la metà delle specie presenti nel Cantone Ticino. Tra queste vi sono anche quattro specie/sonotipi, *Myotis mystacinus/brandtii, Myotis nattereri, Pipistrellus nathusii e Tadarida teniotis*, mai segnalati prima all'interno del perimetro di studio (Tab. 3).

Per quanto concerne le varie tipologie forestali indagate sia per l'attività di caccia sia per la diversità specifica si nota una certa diminuzione del numero di sequenze e di specie in funzione del gradiente altitudinale. Fanno eccezione i lariceti che, pur essendo le aree situate alle altitudini maggiori, hanno mostrato un'attività di caccia e una diversità specifica molto elevate (Fig. 2 e 3). Pipistrellus pipistrellus, Hypsugo savii e Nyctalus leisleri sono le specie risultate maggiormente diffuse (Tab. 4). P. pipistrellus è stato rilevato in tutte le aree campione e in 48 stazioni su 50. Era assente unicamente da due stazioni forestali situate in un'abetina a Vergeletto, in una delle quali nelle due notti di indagine non è stata rilevata alcuna attività di chirotteri. H. savii è stato censito in nove aree campione su 10: era assente dall'area di Vergeletto. Inoltre non è stato rilevato nelle stazioni forestali di Arcegno (castagneti) e Rasa (faggete). N. leisleri è stata osservata con certezza in otto aree campione su 10. Non è stata rilevata nell'area campione di Costa (castagneti), mentre a Dunzio (boschi misti) non è stato possibile identificarla con sicurezza. Con l'eccezione dell'abetina a Ruscada (dove è stata registrata un'unica sequenza probabilmente emessa da un animale di passaggio sopra gli alberi) è stata osservata unicamente in zone aperte e boschi molto aperti o radure, tutti ambienti che offrono sufficiente spazio di volo a questa specie relativamente poco agile.

Un'altra specie solitamente molto comune, *Pipistrellus kuhlii*, è stata censita con certezza solo nelle cinque aree campione situate a quote inferiori e termicamente più favorevoli (Arcegno, Rasa, Dunzio, Costa e Comino) e unicamente nelle zone aperte.

P. pipistrellus non è stata solo la specie con la maggiore diffusione geografica, ma è quella di gran lunga più fre-

Tabella 3: Elenco delle specie di pipistrelli del Cantone Ticino. Per ogni specie o sonotipo è indicato se è stato osservato all'interno del perimetro di studio. Sono riportati sia i dati della presente indagine sia i dati pregressi (fonte banca-dati Centro protezione chirotteri Ticino).

Specie/sonotipi presenti in Ticino	Dati pregressi 1990-2010	Bio- acustica 2017	Bio- acustica 2018	
Rhinolophus ferrumequinum				
Myotis daubentonii	Х		Х	
Myotis capaccinii				
Myotis mystacinus/brandtii		Х	Х	
Myotis emarginatus				
Myotis nattereri		Х	Х	
Myotis bechsteinii				
Myotis myotis/blythii	Х	Х	Х	
Nyctalus noctula				
Nyctalus leisleri	Х	Х	Х	
Pipistrellus pipistrellus	Х	Х	Х	
Pipistrellus pygmaeus	Х	Х	Х	
Pipistrellus nathusii		Х	Х	
Pipistrellus kuhlii	Х	Х	Х	
Hypsugo savii	Х	Х	Х	
Eptesicus serotinus	Х	Х	Х	
Eptesicus nilssonii				
Plecotus auritus/macrobullaris	Х	Х	Х	
Vespertilio murinus				
Tadarida teniotis		Х	Х	
20 specie o sonotipi	9 specie o sonotipi	12 specie o sonotipi	13 specie o sonotipi	

quente. In effetti in tutte e cinque le tipologie forestali il genere *Pipistrellus* registra una frequenza specifica superiore all'80%, con *P. pipistrellus* che raggiunge sempre frequenze superiori al 93% (Tab. 5 e 6). Solo in cinque occasioni altre specie o sonotipi raggiungono frequenze maggiori al 5% e questo unicamente nelle aree campione situate alle quote superiori (faggete, abetine/peccete e lariceti). In dettaglio si tratta di *H. savii* che raggiunge frequenze discrete nelle zone aperte e lungo gli ecotoni delle faggete e dei lariceti, del sonotipo includente *Nyctalus sp./Eptesicus sp./Vespertilio sp.* ben presente sia nelle zone aperte sia nelle formazioni forestali in faggeta e del genere *Myotis* particolarmente frequente nelle zone aperte e lungo gli ecotoni delle abetine/peccete.

Tra le specie più rare è da segnalare la buona presenza di *M. nattereri*, una specie prioritaria di protezione a livello nazionale (UFAM, 2019), censita nella metà delle aree campione soprattutto nei boschi e lungo gli ecotoni. Anche il sonotipo *Plecotus auritus/macrobullaris*, le cui specie sono iscritte in Lista Rossa come minacciate o fortemente minacciate e considerate prioritarie di protezione a livello nazionale (Bohnenstengel et al., 2014; UFAM, 2019), è stato osservato nella metà delle aree campione: lungo l'ecotono di un bosco misto a Dunzio, nei castagneti di Costa, in una zona aperta

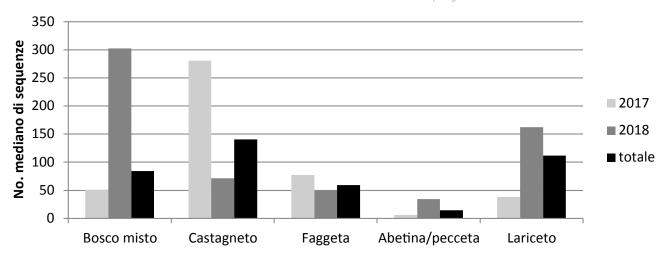


Figura 2: Numero mediano di sequenze bioacustiche registrate all'interno delle cinque tipologie forestali indagate nei due anni di studio (n = 12 notti di indagine per tipologia forestale per anno, totale 24 notti per tipologia). Sono considerati i dati di tutte le stazioni.

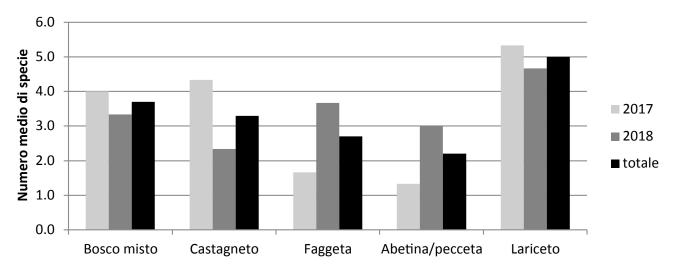


Figura 3: Numero medio di specie osservate in ognuna delle cinque tipologie forestali indagate. Il numero di specie rappresentate corrisponde a un numero minimo, in quanto a volte non è stato possibile identificare i segnali registrati fino al livello di una singola specie, ma unicamente al livello di sonotipo. Sono considerati unicamente i dati delle stazioni in bosco (n = 3 stazioni di indagine per tipologia forestale per anno, totale 6 stazioni per tipologia).

Tabella 4: Elenco delle specie/sonotipi di pipistrelli osservati all'interno delle cinque tipologie forestali indagate. Sono indicati unicamente le specie/sonotipi identificati con certezza. Sono considerati i dati di tutte le stazioni.

	Bosco	misto	Casta	gneto	Fag	geta	Abetina/ pecceta		Lariceto		Nr. aree
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	
Myotis daubentonii						Х					1
Myotis mystacinus/brandtii			Х							Х	2
Myotis nattereri					Х	Х	Х	Х	Х		5
Myotis myotis/blythii		Х	Х			Х					3
Nyctalus leisleri	Х		Х		Х	Х	Х	Х	Х	Х	8
Pipistrellus pipistrellus	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	10
Pipistrellus pygmaeus	Х	Х	Х			Х			Х		5
Pipistrellus nathusii				Х					Х		2
Pipistrellus kuhlii		Х	Х	Х	Х	Х					5
Hypsugo savii	Х	Х	Х	Х	Х	Х		Х	Х	Х	9
Eptesicus serotinus		Х	Х			Х					3
Plecotus auritus/macrobullaris		Х		Х	Х				Х	Х	5
Tadarida teniotis		Х						Х	Х	Х	4

Tabella 5: Frequenza dei vari gruppi di specie all'interno delle cinque tipologie forestali. Sono indicati sia i valori percentuali (corretti per il fattore di rilevabilità) rispetto al numero totale di sequenze registrate (%) sia i numeri assoluti di sequenze registrate (n), considerando i dati cumulati di tutte le stazioni.

		Bosco misto	Castagneto	Faggeta	Abetina/pecceta	Lariceto
Pipistrellus sp.	%	97.4	96.2	81.9	81.1	86.6
	п	6'861	7'062	2'751	3'738	3'900
Hypsugo savii	%	0.4	1.6	6.7	0	6.2
	п	32	143	271	1	281
Nyctalus sp., Eptesicus sp., Vespertilio sp.	%	1.5	1.1	8.3	0.3	4.2
	п	188	189	889	37	193
Myotis sp.	%	0.3	0.9	2.2	18.6	2.4
	n	10	32	30	343	113
Plecotus sp.	%	0.1	0.1	0.7	0	0.1
	п	1	1	5	0	3
Tadarida teniotis	%	0	0	0	0	0.4
	n	2	2	0	2	17
Chiroptera indet.	%	0.3	0.1	0.2	0	0.1
	n	22	4	8	0	6

Tabella 6: Frequenza delle varie specie o sonotipi del genere *Pipistrellus* all'interno delle cinque tipologie forestali. Sono indicati i valori percentuali (corretti per il fattore di rilevabilità) delle sequenze registrate. Sono considerati i dati cumulati di tutte le stazioni.

	Bosco misto	Castagneto	Faggeta	Abetina/pecceta	Lariceto
Pipistrellus pipistrellus	99.1	93.5	97.5	99.7	98.1
Pipistrellus kuhlii	0	0.1	0.7	0	0
Pipistrellus nathusii	0	0	0	0	0.1
Pipistrellus nathusii/kuhlii	0	0.6	0.5	0.1	0.2
Pipistrellus pygmaeus	0.6	4.7	0.1	0	0
Pipistrellus sp.	0.2	1.1	1.2	0.3	1.6

a Rasa e in due lariceti a Salei e Ruscada. Pure interessante è l'osservazione di *Eptesicus serotinus*, iscritto in Lista Rossa come minacciato e considerato prioritario di protezione a livello nazionale e cantonale (Roesli & Moretti, 2003; Bohnenstengel et al., 2014; UFAM, 2019) in una zona aperta a Dunzio, in un castagneto ad Arcegno e in una faggeta a Comino.

Di altissimo interesse conservazionistico è poi la presenza sicura del sonotipo *Myotis myotis/blythii*, le cui specie sono inserite nella Lista Rossa rispettivamente come minacciate o minacciate di estinzione e considerate prioritarie di protezione a livello nazionale e cantonale (Roesli & Moretti, 2003; Bohnenstengel et al., 2014; UFAM, 2019) in tre stazioni (bosco misto a Dunzio, castagneto ad Arcegno, faggeta a Comino) e la sua probabile presenza in ulteriori due stazioni (zone aperte di Ruscada e Comino).

DISCUSSIONE

In generale occorre rimarcare che è difficile trarre conclusioni definitive sul popolamento chirotterologico delle varie tipologie forestali a partire da due sole aree campione per tipologia, anche perché vi sono delle notevoli variazioni da un'area campione all'altra e da una stazione all'altra. Infatti, uno dei risultati dello studio è quello di aver messo in luce la grande importanza di fattori di micro-scala, legati principalmente alla struttura del bosco, nel determinare se un'area è più o meno favorevole quale ambiente di foraggiamento per i chirotteri. Il presente lavoro è quindi da considerare come preliminare e andrebbe approfondito aumentando lo sforzo di indagine, come del resto previsto dal progetto iniziale che ha poi dovuto essere interrotto in seguito alla bocciatura del progetto di Parco nazionale del Locarnese in votazione popolare. Nonostante ciò sono comunque stati conseguiti alcuni primi risultati interessanti.

All'interno del perimetro di studio è stato possibile documentare oltre la metà delle specie di pipistrelli presenti nel Cantone Ticino, tra cui ben quattro specie o sonotipi, *M. mystacinus/brandtii, M. nattereri, P. nathusii* e *T. teniotis*, nuovi per l'area. Sono principalmente specie molto difficili da censire e/o rare. Per contro sette specie presenti nel Cantone Ticino non sono state rilevate. Nella maggior parte dei casi la loro mancata osservazione è facilmente spiegabile in quanto si tratta di specie assenti dal comparto di studio o legate ad ambienti non presenti all'interno del perimetro di studio

e di specie la cui presenza nel Cantone Ticino è sporadica o rara (Moretti et al., 2003). Solo l'assenza di *M. emarginatus*, potenzialmente presente nella zona e negli ambienti indagati, risulta attualmente inspiegabile.

Questa grande diversità specifica, assieme all'elevato numero di sequenze bioacustiche registrate, conferma l'importanza dei boschi maturi quali ambienti di foraggiamento per i pipistrelli. Infatti, all'interno delle formazioni forestali mature scelte in modo mirato quali stazioni di indagine in questo studio, l'attività di caccia raggiungeva valori simili se non superiori a quelli riscontrati nelle zone aperte e lungo gli ecotoni. Questo a differenza di quanto osservato in boschi più giovani, dove spesso l'attività è molto bassa (banca-dati Centro protezione chirotteri Ticino).

Per quanto riguarda le diverse tipologie forestali, nonostante la presenza di alcuni effetti derivanti dalla scelta puntuale della stazione di indagine, è stato possibile osservare un certo gradiente altitudinale con una diminuzione del numero di sequenze e specie nelle stazioni situate alle quote più elevate. Ciò con l'eccezione dei lariceti, che hanno confermato la loro attrattività, come osservato in altri studi simili nel Cantone Ticino (Mattei-Roesli, 2011, 2019b) e in Francia (Barataud et al., 2013).

Più povere sono invece risultate l'abetina/pecceta e la faggeta. La povertà di specie dei boschi di resinose con l'eccezione dei lariceti è stata osservata anche in altri studi sui pipistrelli. Un progetto bioacustico eseguito in varie tipologie forestali del Limousin francese ha per esempio mostrato che nei boschi di pino silvestre, abete bianco, abete rosso e douglasia, sia spontanei sia in piantagione, l'attività di caccia e la diversità specifica sono generalmente inferiori rispetto ai boschi di latifoglie (Barataud & Giosa, 2012). Un risultato simile è stato osservato anche nei boschi di pino nero in Austria (Biosphärenpark Wienerwald; Reiter et al., 2014). Benché generalmente poveri sia in termini di attività sia di specie, i boschi di resinose, assieme alle faggete situate alle quote più elevate, sono però spesso gli unici boschi in cui la dominanza di *P. pipistrellus* è meno marcata. Questo è stato osservato sia nel presente studio sia in Francia (Barataud & Giosa, 2012).

Per quanto riguarda le faggete, la scarsa diversità di specie osservata nella maggior parte delle stazioni contrasta con quanto solitamente riportato per questa tipologia forestale al Nord delle Alpi, ma rispecchia quanto osservato nel 2012 nelle faggete del Monte Generoso, risultate anche loro molto povere in termini di attività e di specie (Mattei-Roesli, 2012).

A livello specifico è possibile notare che nessuna delle tre specie maggiormente diffuse è minacciata (Bohnenstengel et al., 2014), ma *N. leisleri* è considerata prioritaria di protezione a livello cantonale e nazionale (Roesli & Moretti, 2003; UFAM, 2019).

Un'altra specie solitamente molto comune, *P. kuhlii*, ha invece potuto essere censita con certezza solo nella metà delle aree campione e unicamente nelle zone aperte. Anche in numerosi altri studi bioacustici eseguiti negli ultimi anni nel Cantone Ticino *P. kuhlii*, salvo rare e particolari eccezioni (boschi molto aperti caratterizzati da alberi ben spaziati tra loro), non è mai stato

censito all'interno delle foreste (Mattei-Roesli, 2017) e solo raramente è stato osservato sopra i 1'000 m s.l.m., sempre in zone molto ben esposte (banca-dati Centro protezione chirotteri Ticino).

Mentre *P. kuhlii* conferma quindi la sua termofilia, all'interno del perimetro di studio *M. nattereri* è stato rilevato solo sopra i 900 m s.l.m. Benché la specie sia presente anche in pianura, per esempio sul Piano di Magadino, in generale nel Cantone Ticino *M. nattereri* sembra però essere più abbondante a quote più elevate, tanto che il 60% delle segnalazioni è relativo ad animali osservati sopra i 900 metri di quota (banca-dati Centro protezione chirotteri Ticino).

Per quanto riguarda le specie più rare e particolari, merita particolare attenzione la presenza del sonotipo M. myotis/blythii, le cui specie sono tra le più rare del Cantone Ticino (Moretti et al., 2003), in ben tre stazioni forestali. In base all'ecologia delle due specie è possibile ipotizzare con buona certezza che si sia trattato di M. myotis, in quanto M. blythii è legato a zone prative estensive (Arlettaz, 1995; Güttinger, 1997). Tutte le stazioni forestali in cui è stato rilevato M. myotis presentano una struttura molto simile e assolutamente tipica per questa specie, che si ciba prevalentemente di grossi Carabidi catturati al suolo: alberi ben spaziati senza sottobosco e con un suolo completamente libero da vegetazione (Güttinger, 1997). Si tratta di una tipologia ambientale prioritaria per la protezione di questa specie rara e minacciata, alla quale in futuro nell'ambito di programmi di gestione forestale occorrerà prestare particolare attenzione.

RINGRAZIAMENTI

Siano grati a Annie Frey-Ehrenbold, Elias Bader, René Gerber, Martin Obrist e Cyril Schönbächler per il sostegno nell'identificazione dei segnali e la validazione delle sequenze più critiche. Grazie pure a Marco Moretti e Adriano Martinoli per la rilettura critica del testo. Infine desideriamo ringraziare il progetto Parco nazionale del Locarnese che ha finanziato il presente studio nel quadro del programma di ricerca sulla biodiversità forestale promosso dal Museo cantonale di storia naturale.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

Arlettaz R. 1995. Ecology of the sibling mouse-eared bats (*Myotis myotis* and *Myotis blythii*): zoogeography, niche, competition and foraging. Martigny, Horus publishers, 208 pp.

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. Beicht der Swiss Bat Bioacoustics Group SBBG, 19 pp.

Barataud M. 2012. Ecologie acoustique des chiroptères d'Europe. Biotope Editions.

Barataud M. & Giosa S. 2012. Biodiversité des chiropterères et gestions forestières en Limousin. Rapporto non pubblicato.

- Barataud M., Demontoux D., Favre P., Giosa S. & Grandadam J. 2013. Bioévaluations des peuplements de Melèzes 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.
- 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.
- Güttinger R. 1997. Jagdhabitate des Grossen Mausohrs (*Myotis myotis*) in der modernen Kulturlandschaft. BUWAL-Reihe Umwelt No. 288. Berna, UFAFP, 140 pp.
- Mattei-Roesli M. 2011. Approfondimento delle conoscenze sulla fauna chirotterologica in un comparto territoriale alpino (alta Val Lavizzara). Rapporto non pubblicato.
- Mattei-Roesli M. 2012. Approfondimento delle conoscenze sulla fauna chirotterologica nel comparto territoriale prioritario del Monte Generoso. Rapporto non pubblicato.
- Mattei-Roesli M. 2017. Nuovi contributi alla conoscenza della chirotterofauna del Cantone Ticino (Svizzera) grazie alla tecnica della bioacustica. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali 105: 107-109.
- Mattei-Roesli M. 2019a. Indagini preliminari sui pipistrelli del progetto del Parco nazionale del Locarnese nel quadro del programma di ricerca sulla biodiversità forestale. Museo cantonale di storia naturale, rapporto non pubblicato.

- Mattei-Roesli M. 2019b. I chirotteri quali indicatori biologici per misurare gli effetti di interventi di valorizzazione forestale in lariceti pascolati. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali 107: 61-66.
- Moretti M., Roesli M., Gamboni A.-S. & Maddalena T. 2003. I pipistrelli del Cantone Ticino. Memorie Vol. 6. Lugano, Società ticinese di scienze naturali e Museo cantonale di storia naturale.
- Museo cantonale di storia naturale 2017. Lo studio della biodiversità forestale del Progetto di Parco nazionale del Locarnese (PNL). Programma di ricerca preliminare sulla biodiversità delle principali formazioni forestali e degli ambienti ecotonali associati (2015-2020). Rapporto interno.
- Reiter G., Plank M. & Hüttmeir U. 2014. Fledermäuse in den Kernzonen und Wirtschaftswäldern des Biosphärenparks Wienerwald. Wissenschaftliche Mitteilungen Niederösterreichisches Landesmuseum 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.
- UFAM 2019. Liste der National Prioritären Arten und Lebensräume. In der Schweiz zu fördernde prioritäre Arten und Lebensräume. Umwelt-Vollzug Nr. 1709. Bern, Bundesamt für Umwelt, 99 pp.

Contributo alla conoscenza dei mammiferi terrestri dei boschi del comprensorio del progetto di Parco nazionale del Locarnese (Svizzera)

Tiziano Maddalena¹, Luca Pagano¹, Damiano Torriani¹, Mirko Zanini¹, Marzia Mattei-Roesli¹, Nicola Zambelli² e Filippo Rampazzi²

¹ Maddalena & associati Sagl, Consulenze ambientali e perizie faunistiche, Via della Posta 26, 6672 Gordevio, Svizzera ² Museo cantonale di storia naturale, Viale Cattaneo 4, 6900 Lugano, Svizzera

tmaddalena@ticino.com

Riassunto: La presenza di varie specie di mammiferi terrestri è stata monitorata durante due anni (2017 e 2018) in sei tipologie forestali (12 aree campione) di alcuni comparti forestali del Locarnese. Le quattro tecniche complementari di ricerca utilizzate (catture con trappole Longworth, tunnel per le tracce, trappole fotografiche e osservazioni dirette) hanno permesso di rilevare 28 specie di mammiferi terrestri sulle 39 potenzialmente presenti in questo vasto comparto fino ad ora quasi inesplorato. Uno dei risultati più significativi è la conferma della presenza della Martora (Martes martes) nel Cantone Ticino. Inoltre, sono state raccolte nuove informazioni sulle fluttuazioni estreme delle popolazioni di piccoli mammiferi e viene ipotizzata una loro correlazione con il fenomeno dell'abbondanza periodica dei frutti del faggio e/o dell'abete rosso (pasciona). Per quanto riguarda le varie tipologie forestali, i boschi di conifere situati alle quote più elevate sembrano essere particolarmente ricchi di specie, mentre le faggete, e per la ricchezza di specie di piccoli mammiferi anche i querco-castagneti, appaiono molto più poveri. In generale la presenza di microhabitat strutturati e umidi, come pure di corsi d'acqua, è particolarmente favorevole ai popolamenti di mammiferi terrestri.

Parole chiave: distribuzione, fluttuazioni, foreste, mustelidi, piccoli mammiferi, roditori, soricomorfi

Contribution to the knowledge of terrestrial mammals of the woodlands of the project region for the Locarnese national parc (Switzerland)

Abstract: The presence of terrestrial mammals was systematically monitored during two years (2017 and 2018) in six forest typologies (12 study sites) in the region of Locarno (Switzerland). Four complementary techniques were applied: captures by Longworth traps, footprint traps, trail cameras and direct observation, which allowed to detect 28 of the 39 terrestrial mammals potentially present in this mainly unexplored region. One of the most important results is the presence confirmation of pine marten (*Martes martes*) in Canton Ticino. Furthermore, new information on the extreme population fluctuations of small mammals could be gathered, and a correlation of these fluctuations with the periodic abundance of European spruce and/or beech fruits is hypothesised. Regarding forest typologies, coniferous forests situated at higher elevations appear to be particularly rich of mammal species, while beech forests appear to be much poorer, as also do chestnut-oak stands with respect to species richness of small mammals. Generally, the presence of structured and humid habitat patches as well as of streams is highly favourable for terrestrial mammals.

Keywords: distribution, fluctuations, forest, Rodentia, small mammals, Soricomorpha, weasels

INTRODUZIONE

Nel 2016 il Museo cantonale di storia naturale ha avviato un programma pluriennale di ricerca sulla biodiversità degli ambienti boschivi del Cantone Ticino (Museo cantonale di storia naturale, 2017). Quale comprensorio di indagine è stata scelta un'area del Locarnese che era stata proposta per l'istituzione del Parco nazionale del Locarnese. Si tratta di un territorio caratterizzato da complessi boschivi estesi e diversificati, grazie alla presenza di un rilievo molto variato che si estende dagli ambienti insubrici alle zone montane. Dai boschi misti di fondovalle a carattere fresco-umido, ai querceti e castagneti termofili dell'orizzonte collinare,

alle faggete e abetine montane, alle peccete subalpine, ai lariceti dell'orizzonte subalpino superiore sono presenti gran parte delle tipologie forestali del Cantone Ticino. Oltre l'80% delle 47 specie di mammiferi terrestri indigeni presenti nel Cantone Ticino è legata in maniera più o meno importante agli ambienti boschivi, dove trova possibilità di rifugio e/o di alimentazione. I fattori che determinano la presenza delle diverse specie in un particolare settore di bosco sono però molteplici e spesso ancora poco conosciuti. Queste lacune conoscitive hanno portato all'inserimento dei mammiferi terrestri nello studio.

A seguito della chiusura del progetto di Parco nazionale del Locarnese, la cui istituzione è stata rifiutata in

votazione popolare, il programma di ricerca ha dovuto essere concluso anzi tempo, per cui non è stato possibile raggiungere tutti gli obiettivi che ci si era prefissati. Il presente lavoro rimane quindi principalmente descrittivo. Esso ha però il pregio di aver permesso la realizzazione di un'indagine dei mammiferi terrestri basata su una metodologia standardizzata e riproducibile in un comprensorio molto ampio e fino ad ora praticamente inesplorato.

MATERIALI E METODI

Scelta delle aree campione

Lo studio si è concentrato sulle principali tipologie forestali delle Centovalli, della Valle Onsernone, di Arcegno e di Dunzio, dalla zona collinare (ca. 300 m

s.l.m.) alla zona subalpina superiore (ca. 1900 m s.l.m.) (Fig. 1).

I mammiferi terrestri selezionano l'habitat forestale principalmente sulla base di caratteristiche struttura-li (stratificazione ed età del bosco, presenza di legno morto, presenza di radure, prossimità di corsi d'acqua, ecc.) e sono influenzati solo in modo limitato dalla composizione floristica della vegetazione. Per tale ragione, le principali tipologie forestali presenti sono state raggruppate in sei categorie in base al gradiente altitudinale, senza ulteriori distinzioni in sotto-tipologie (Tab. 1). Ognuna di queste sei tipologie forestali è stata indagata in due diverse aree campione per un totale di 12 aree campione. I rilievi sono stati svolti sull'arco di due anni, tra il 2017 e il 2018. Per maggiori dettagli sulle aree campione e sulle singole stazioni indagate si rimanda al rapporto originale (Maddalena et al., 2019).

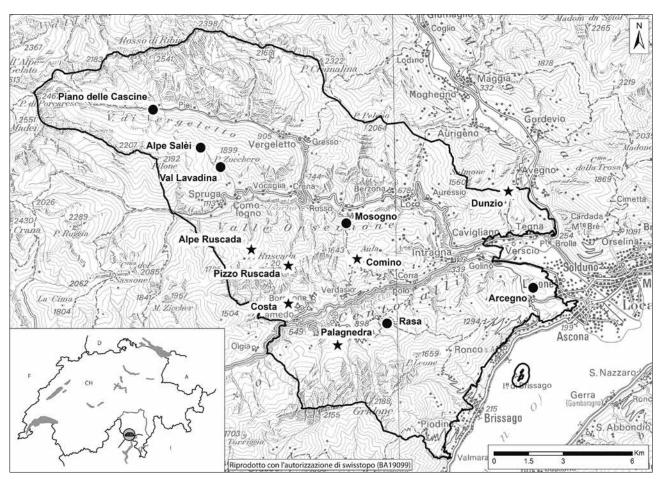


Figura 1: Ubicazione delle aree campione: i punti indicano le aree indagate nel 2017, le stelle quelle studiate nel 2018. Il perimetro è quello del progetto di Parco nazionale del Locarnese. Riprodotto con l'autorizzazione di swisstopo (BA19099).

Tabella 1: Principali tipologie forestali indagate ed elenco delle aree campione. Tra parentesi sono indicate la sigla dell'area campione e la quota media dei punti indagati.

Tipologia forestale	Area campione 2017	Area campione 2018
Boschi misti di latifoglie	Mosogno (MOS; 613 m s.l.m.)	Dunzio (DUN; 571 m s.l.m.)
Querco-castagneti	Arcegno (ARC; 382 m s.l.m.)	Costa (COS; 940 m s.l.m.)
Faggete	Rasa (RAS; 946 m s.l.m.)	Comino (COM; 1'210 m s.l.m.)
Abetine	Piano delle Cascine (Vergeletto) (CAS; 1'150 m s.l.m.)	Alpe Ruscada (ARU; 1'616 m s.l.m.)
Peccete	Val Lavadina (LAV; 1'683 m s.l.m.)	Palagnedra (PAL; 807 m s.l.m.)
Lariceti	Salei (SAL; 1'848 m s.l.m.)	Pizzo Ruscada (PRU; 1'715 m s.l.m.)

Metodi di indagine

Per il rilievo dei mammiferi terrestri non esiste un unico metodo di campionamento ugualmente efficace per tutte le specie, ma questo varia in funzione della dimensione, dell'ecologia e dell'etologia della specie che si desidera indagare. Nel presente lavoro sono quindi stati impiegati quattro metodi di indagine diversi, secondo la metodologia standard utilizzata in diversi progetti di ricerca svolti negli ultimi anni a livello cantonale e nazionale (per esempio InfoFauna & CSCF, in press).

Catture con trappole Longworth

Le trappole *Longworth* sono concepite per la cattura di piccoli mammiferi fino a un peso massimo di 100 g. Occasionalmente vengono pure catturati la Donnola (*Mustela nivalis*) e l'Ermellino (*Mustela erminea*). La denominazione di "piccolo mammifero" è un termine generico che si applica principalmente ai mammiferi terrestri di peso inferiore ai 5 kg (Bourlière & Spitz, 1975). Nel presente lavoro questa denominazione si riferisce unicamente ai soricomorfi e ai roditori di peso inferiore ai 100 g.

In ogni area campione sono state posate 100 trappole *Longworth* all'interno di quattro macro-ambienti secondo il seguente schema: 60 trappole in formazioni forestali, 30 trappole in zone aperte (prati, pascoli, torbiere, zone ruderali) e 10 trappole vicino a ruscelli e torrenti. Le singole trappole sono state posate in punti che in base alla nostra esperienza apparivano particolarmente favorevoli ai piccoli mammiferi.

Il protocollo di trappolaggio prevedeva due notti di *pre-baiting* (pre-innesco: le trappole vengono posate ma non sono innescate, per abituare gli animali alla loro presenza aumentando così il tasso di cattura) seguite da due notti di cattura. Durante questa fase le trappole venivano controllate regolarmente. A ogni controllo tutti gli animali catturati sono stati identificati alla specie (se possibile) e rilasciati. Alcuni individui appartenenti a specie particolarmente difficili da identificare sul campo tramite criteri morfologici esterni (per esempio genere *Apodemus*) sono stati identificati geneticamente tramite l'analisi di campioni di pelo (peli dorsali comprendenti il bulbo).

La cattura con trappole *Longworth* è un metodo semiquantitativo che permette di ottenere un elenco delle specie e dei tassi di cattura, definiti come la percentuale di animali catturati rispetto al numero di notti-trappola. Le notti-trappola vengono conteggiate moltiplicando il numero di trappole attive per il numero di notti di cattura.

Rilievi con tunnel per le tracce

I tunnel per le tracce (Marchesi et al., 2004) sono particolarmente adatti al rilievo delle seguenti specie o gruppi di specie: mustelidi (escluso il Tasso (*Meles meles*)), gliridi, Scoiattolo (*Sciurus vulgaris*) e Riccio (*Erinaceus europaeus*).

In ogni area campione sono stati utilizzati da 4 a 8 tunnel per le tracce, posati in parte al suolo e in parte tra gli arbusti a ca. 1 m di altezza. Per la posa sono stati scelti punti che in base alla nostra esperienza appariva-

no particolarmente favorevoli alla Donnola e all'Ermellino (muretti, ramaglie e altre strutture semi-naturali) come pure al Moscardino (*Muscardinus avellanarius*; sugli arbusti di nocciolo). I tunnel per le tracce sono stati attivi per 1-3 mesi e venivano controllati a intervalli di circa tre settimane.

Si tratta di un metodo qualitativo che permette di ottenere un elenco delle specie e il numero di contatti per specie, definito come il numero di tunnel con tracce di una determinata specie per controllo.

Rilievi con trappole fotografiche

Le trappole fotografiche sono particolarmente adatte all'osservazione dei mammiferi terrestri di media-grossa taglia. L'uso di attrattori o esche può facilitare l'osservazione delle specie più elusive.

Nel caso del presente studio una parte delle fototrappole è stata utilizzata in modo mirato per la ricerca della Martora (*Martes martes*), specie per la quale l'ultimo avvistamento certo e comprovato nel Cantone Ticino risale a oltre 20 anni fa (InfoFauna & CSCF, Simon Capt *comm. pers.*), ma la cui presenza è stata confermata ancora recentemente nel corso di uno studio effettuato in Italia nel vicino Parco Nazionale della Val Grande (Balestrieri et al., 2016).

In ogni area campione sono state posate da 4 a 8 trappole fotografiche impostate sulla modalità video (durata 20 secondi) e attive da 1-3 mesi. Anche se la loro ubicazione era mirata principalmente al rilevamento della Martora, esse sono comunque state posizionate in luoghi favorevoli ai mammiferi terrestri in generale, quali per esempio punti d'acqua, zone di passaggio ecc. Unicamente nell'area campione di Salei si è rinunciato alla posa di trappole fotografiche, in quanto si è preferito concentrarle tutte nella vicina area della Val Lavadina che appariva più favorevole alla Martora.

L'esigua densità di trappole utilizzate nelle aree campione non permette di trarre considerazioni di tipo quantitativo ma soltanto di ottenere l'elenco delle specie presenti.

Osservazioni puntuali

Ai dati raccolti con i metodi descritti in precedenza si sono aggiunte alcune osservazioni puntuali e non si-stematiche raccolte dagli operatori nel corso dei vari sopralluoghi, quali l'osservazione di tracce, il ritrovamento di animali morti e le informazioni fornite da gente del luogo.

RISULTATI

Complessivamente, grazie alla combinazione dei differenti metodi di campionamento impiegati, nelle 12 aree campione indagate sono state censite 28 diverse specie di mammiferi terrestri (6 soricomorfi, 10 roditori, 2 lagomorfi, 6 carnivori e 4 artiodattili) (Tab. 2).

L'area campione più ricca di specie è stata la pecceta della Val Lavadina (18 specie censite), mentre le due aree situate in faggeta (Rasa e Comino) e una delle due aree in bosco misto (Mosogno) sono risultate le più povere (10 specie censite).

Le specie più ubiquitarie sono state l'Arvicola rossastra (Myodes glareolus) e lo Scoiattolo, osservate in 11 aree campione su 12. Le specie più rare, osservate in un'unica area campione, sono risultate la Crocidura minore (Crocidura suaveolens), il Toporagno d'acqua (Neomys fodiens), il Toporagno nano (Sorex minutus), la Marmotta (Marmota marmota), la Lepre comune (Lepus europaeus), la Lepre variabile (Lepus timidus) e l'Ermellino.

Catture con trappole Longworth

In totale, durante i due anni di studio, sono state effettuate 2'400 notti-trappola. Esse hanno permesso di catturare 866 piccoli mammiferi appartenenti a 11 specie (4 soricomorfi e 7 roditori) (Tab. 3).

In generale il tasso di cattura aumenta con l'altitudine, quindi sono state effettuare meno catture alle quote più basse e un numero maggiore alle quote più elevate (Fig. 2).

Tabella 2: Specie di mammiferi terrestri osservate nei due anni di studio all'interno del perimetro di progetto (tutti i metodi), suddivise per tipologia forestale e per area campione (cfr. Tab 1). L'area di Salei è l'unica in cui non sono state utilizzate fototrappole. 1 = piccoli mammiferi, 2 = gliridi, 3 = mustelidi.

Tipologia forestale	Boschi misti		Querco- castagneti		Fag	gete	Abetine		Pec	cete	Lar	iceti	Nr. aree campione
Area campione	MOS	DUN	ARC	cos	RAS	COM	CAS	ARU	LAV	PAL	SAL	PRU	
Anno trappolaggio	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	
Soricomorfi													
Crocidura suaveolens ¹			Х										1
Neomys fodiens ¹												Х	1
Sorex alpinus ¹							Х	Х	Х			Х	4
Sorex antinorii ¹	Х						Х	Х	Х	Х	Х	Х	7
Sorex minutus ¹											Х		1
Talpa caeca ¹	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х		Х		Х		9
Roditori													
Apodemus flavicollis ¹	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х			Х	Х		9
Apodemus sylvaticus ¹			Х				Х	Х	Х		Х	Х	6
Chionomys nivalis ¹								Х	Х		Х	Х	4
Eliomys quercinus ^{1, 2}									Х			Х	2
Glis glis ^{1, 2}	Х	Х	Х	Х		Х	Х			Х			6
Marmota marmota											Х		1
Microtus subterraneus ¹									Х		Х		2
Muscardinus avellanarius ^{1, 2}				Х						Х			2
Myodes glareolus ¹	Х	Х	Х		Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	11
Sciurus vulgaris	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	11
Lagomorfi													
Lepus europaeus				Х									1
Lepus timidus									Х				1
Carnivori													
Martes foina ³	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х		Х	Х	Х	Х	10
Martes martes ³								Х	Х			Х	3
Meles meles ³	Х	Х	Х	Х	Х	Х		Х	Х	Х			8
Mustela erminea ³											Х		1
Mustela nivalis ³		Х			Х		Х		Х		Х		5
Vulpes vulpes	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х		Х	10
Artiodattili													
Capreolus capreolus		Х	Х	Х	Х	Х	Х		Х			Х	7
Cervus elaphus		Х		Х		Х		Х	Х	Х			6
Rupicapra rupicapra		Х		Х			Х	Х	Х	Х		Х	7
Sus scrofa	Х	Х	Х	Х	Х					Х			5
Numero specie / area	10	13	12	13	10	10	13	11	18	12	13	13	

Tabella 3: Numero di animali catturati con trappole *Longworth* nei due anni di studio all'interno del perimetro di studio suddivisi per tipologia forestale e per area campione (cfr. Tab. 1).

Tipologia forestale	Bosch	i misti		rco- igneti	Fag	gete	Abe	tine	Pec	cete	Lar	iceti	Totale catture per specie	Nr. aree per specie
Area campione	MOS	DUN	ARC	cos	RAS	СОМ	CAS	ARU	LAV	PAL	SAL	PRU		
Anno di indagine	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018		
Soricomorfi														
Crocidura suaveolens			2										2	1
Neomys fodiens												1	1	1
Sorex alpinus							2	2	2			2	8	4
Sorex antinorii	2						16	14	3	1	8	5	49	6
Roditori														
Apodemus flavicollis	41	17	27	1	51	3	39			1	2		182	9
Apodemus sylvaticus			14				4	1	3		2	1	25	6
Apodemus sp.			3					1					4	2
Chionomys nivalis								6	1		14	6	27	4
Eliomys quercinus									2				2	1
Glis glis		1				1							2	2
Microtus subterraneus									9		8		17	2
Myodes glareolus	97	6	2		54	2	107	17	105	6	106	45	547	11
Totale catture / area	140	24	48	1	105	6	168	41	125	8	140	60	866	
Numero specie / area	3	3	4	1	2	3	5	5	7	3	6	6		

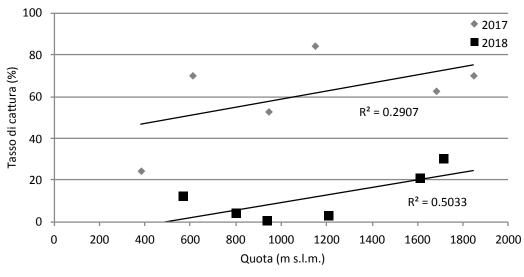


Figura 2:
Tasso di cattura
con le trappole
Longworth in funzione
della quota media
delle aree campione.
Considerata la forte
variazione del tasso
di cattura tra il 2017
e il 2018 i dati sono
rappresentati in modo
separato per i due anni
di studio.

Il numero maggiore di catture (n = 168, tasso di cattura 84%) è stato registrato nell'area campione di Piano delle Cascine nel 2017, il minimo (una sola cattura) a Costa nel 2018 (Tab. 3 e Fig. 3).

Si nota pure chiaramente una grande differenza nel tasso di cattura tra i due anni di studio. Mentre nel 2017 gli animali catturati sono stati 726 e il tasso di cattura complessivo è stato pari al 60%, nel 2018 gli animali catturati sono stati 140 e il tasso di cattura complessivo è stato del 12% (Tab. 3 e Fig. 2 e 3).

Oltre a mostrare inequivocabilmente la drastica diminuzione delle catture fra il 2017 e il 2018, la figura 3 rivela comunque una certa costanza nella ripartizione

delle catture nelle varie tipologie forestali indagate. I risultati indicano infatti che i tassi di cattura maggiori sono stati ottenuti in ambienti freschi (boschi misti di Mosogno e Dunzio) o di montagna con buona presenza di acqua (corsi d'acqua, sorgenti, laghetti, zone umide, muschio; Piano delle Cascine, Alpe Ruscada, Salei, Pizzo Ruscada), con strutture a blocchi come falde di detrito o relitti morenici dilavati e coperti da muschio o rododendro (Salei, Pizzo Ruscada, Alpe Ruscada) o con colluvioni al piede di versanti esposti a nord (Piano delle Cascine). Negli ambienti più termofili come i querco-castagneti di Arcegno e Costa le catture sono invece state decisamente inferiori o pressoché nulle (un

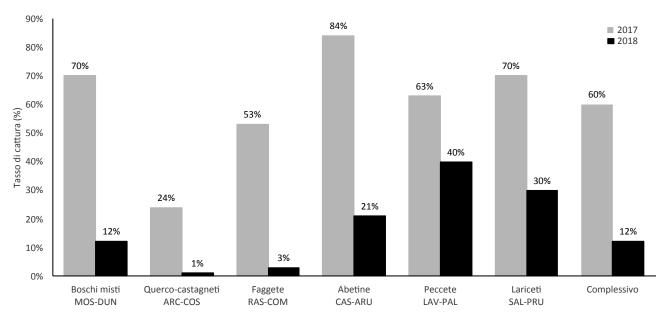


Figura 3: Tasso di cattura per tipologia forestale e complessivo suddiviso per anno di indagine.

Tabella 4: Numero di animali catturati per famiglia suddivisi per tipologia forestale e per area campione. Sono mostrati sia il numero assoluto di individui catturati (n) sia la percentuale rispetto al totale delle catture (%).

		Sor	icidi	Arvi	cole	Mι	ıridi	Gli	ridi
		n	%	n	%	n	%	n	%
Danahi misti	MOS	2	1.4	97	69.3	41	29.3	0	0
Boschi misti	DUN	0	0	6	25	17	70.8	1	4.2
Oueres sestementi	ARC	2	4.2	2	4.2	44	91.7	0	0
Querco-castagneti	cos	0	0	0	0	1	100	0	0
Farrata	RAS	0	0	54	51.4	51	48.6	0	0
Faggete	COM	0	0	2	33.3	3	50	n 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	16.7
Abatina	CAS	18	10.7	107	63.7	43	25.6	0	0
Abetine	ARU	16	39	23	56.1	2	4.9	0	0
Decede	LAV	5	4	115	92	3	2.4	2	1.6
Peccete	PAL	1	12.5	6	75	1	12.5	n 0 1 0 0 0 0 1 0 0 2 0 0 0	0
Lavianti	SAL	8	5.7	128	91.4	4	2.9	0	0
Lariceti	PRU	8	13.3	51	85	1	1.7	n 0 1 0 0 0 1 0 0 2 0 0 0 2 2	0
Totale	2017	35	4.8	503	69.5	186	25.7	2	0.3
	2018	25	17.9	88	63.8	25	18.1	2	1.4
	2017 + 2018	60	6.9	591	68.2	211	24.4	4	0.5

Tabella 5: Elenco delle specie di mammiferi censite con i tunnel per le tracce nei due anni di studio all'interno del perimetro di progetto diviso per tipologia forestale e per area campione. Per ogni specie e area campione è indicato il numero di contatti.

Tipologia forestale	Boschi misti		Querco- castagneti		Faggete		Abetine		Peccete		Lariceti		Nr. aree camp.
Area campione	MOS	DUN	ARC	COS	RAS	COM	CAS	ARU	LAV	PAL	SAL	PRU	
Anno di indagine	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	
Martes foina	12		8		4	1			1	2	1		7
Mustela nivalis					2		4		1		4		4
Mustela erminea											1		1
Glis glis	2	10	7	4		2	2			9			7
Muscardinus avellanarius										1			1
Sciurus vulgaris		1	1	1	2		7						5
Numero specie / area	2	2	3	2	3	2	3	0	2	3	3	0	

solo individuo di Topo selvatico collo giallo (*Apodemus flavicollis*) catturato a Costa). Pure relativamente povere sono risultate le faggete di Rasa e Comino (Fig. 3).

Le specie più abbondanti rilevate in entrambi gli anni di studio sono state l'Arvicola rossastra, il Topo selvatico collo giallo e il Toporagno del Vallese (*Sorex antinorii*) (Tab. 3). Il gran numero di catture osservato nel 2017 è da imputare soprattutto a una presenza eccezionale di Topi selvatici collo giallo e di Arvicole rossastre (Tab. 3).

Tutti i 27 individui di Arvicola delle nevi (*Chionomys nivalis*) osservati sono stati catturati in pietraie (Salei e Pizzo Ruscada) oppure accanto a corsi d'acqua con grossi massi nelle abetine a nord dell'Alpe Ruscada e della Val Lavadina (Tab. 3). Quest'ultima cattura, avvenuta in una forra a 1'520 m s.l.m, rappresenta l'osservazione a quote più basse della specie nell'ambito del presente studio. Pure degna di nota risulta la presenza del Toporagno alpino (*Sorex alpinus*), una specie poco frequente in Ticino, in ben quattro stazioni (Piano delle Cascine, Val Lavadina, Pizzo Ruscada e abetine a valle dell'Alpe Ruscada) (Tab. 3). Inoltre, spicca la cattura di un esemplare di Toporagno d'acqua presso il torrente in uscita dall'Alpe Ruscada (stazione PRU) (Tab. 3).

Se nelle aree campione situate alle quote più elevate hanno quindi potuto essere rilevate alcune specie di particolare interesse faunistico, nelle aree ubicate alle quote più basse sono stati catturati solo due esemplari di Crocidura minore in un piccolo muro a secco accanto a un torrente ad Arcegno (320 m s.l.m.) e alcuni Toporagni del Vallese a Palagnedra (882 m s.l.m., un esemplare) e a Mosogno (661 m s.l.m., due esemplari) (Tab. 3).

In generale sorprende poi la scarsità dei soricidi che, sui due anni di studio, rappresentano il 6.9% del totale di individui catturati (4.8% nel 2017 e 17.9% nel 2018) (Tab. 4).

Rilievi con tunnel per le tracce

In totale i 51 tunnel per le tracce posati per 1-3 mesi l'uno hanno permesso di rilevare sei specie di mammiferi, con una media di 2-3 specie per area campione. Con questo metodo le specie rilevate nel maggiore numero di aree campione sono state la Faina (*Martes foina*) e il Ghiro (*Glis glis*), quelle più rare il Moscardino e l'Ermellino (Tab. 5).

Rilievi con trappole fotografiche

Durante i due anni di studio sono state posate 55 trappole fotografiche che sono rimaste attive durante 2'341 notti (967 nel 2017 e 1'374 nel 2018) e hanno registrato 3'999 filmati (447 nel 2017 e 3'552 nel 2018), permettendo di rilevare 16 specie di mammiferi terrestri (Tab. 6), come pure numerose altre specie appartenenti ad altri gruppi tassonomici.

Le aree campione più ricche di mammiferi terrestri rilevati con questo metodo sono state il querco-castagneto di Costa e la pecceta della Val Lavadina. Il querco-castagneto di Arcegno, per contro, è stata l'area più povera di specie. A Costa è pure stata raccolta l'unica segnalazione di Lepre comune del biennio di ricerche. Paradossalmente si tratta dell'area in cui i rilievi con

trappole *Longworth* hanno dato i risultati più scarsi (un solo esemplare di Topo selvatico collo giallo in due notti di cattura).

Per quanto riguarda le tipologie forestali, la più ricca di specie rilevate con questo metodo è stata la pecceta. Con questo metodo le specie più comuni sono risultate essere la Volpe (*Vulpes vulpes*), presente in tutte le aree campione indagate, seguita dalla Faina, osservata ovunque ad eccezione dell'abetina dell'Alpe Ruscada, e dallo Scoiattolo, non rilevato solo ad Arcegno.

Le trappole fotografiche hanno poi permesso di censire anche alcune specie discrete come il Moscardino (un filmato a Palagnedra) e la Donnola (un filmato a Dunzio, unico dato per la specie nel 2018).

La nota più positiva del biennio di ricerche rimane comunque senz'altro la conferma della presenza della Martora in ben due regioni (tre aree campione): Val Lavadina, dove un esemplare è stato rilevato nel corso del 2017 (Maddalena et al., 2018) e un'area a nord-est dell'Alpe Ruscada dov'è stata filmata a più riprese nel 2018.

Osservazioni puntuali

Osservazioni dirette da parte degli autori e inchieste presso abitanti del luogo hanno permesso di raccogliere dati relativi a tre specie non censite con i metodi descritti nei capitoli precedenti. Si tratta delle osservazioni seguenti: ritrovamento di un Toporagno nano morto a Salei; costatazione della presenza della Talpa cieca (*Talpa caeca*) in quasi tutte le aree campione con l'eccezione della pecceta di Palagnedra e dell'abetina e del lariceto in zona Ruscada; osservazioni di Marmotta a Salei.

DISCUSSIONE

In totale, la presente indagine ha permesso di rilevare ben 28 specie di mammiferi terrestri (6 soricomorfi, 10 roditori, 2 lagomorfi, 6 carnivori e 4 artiodattili) sulle 39 potenzialmente presenti nel perimetro di studio in base alle nostre conoscenze personali (le specie di mammiferi terrestri indigene presenti nel Cantone Ticino sono attualmente 47).

Le specie maggiormente ubiquitarie sono state l'Arvicola rossastra e lo Scoiattolo osservati in ben 11 aree campione su 12. Le specie più rare, osservate in un'unica area campione, sono risultate essere la Crocidura minore (Arcegno), il Toporagno d'acqua (Pizzo Ruscada), il Toporagno nano (Salei), la Marmotta (Salei), la Lepre comune (Costa), la Lepre variabile (Val Lavadina) e l'Ermellino (Salei). Mentre per la Crocidura minore, il Toporagno d'acqua, il Toporagno nano e l'Ermellino i dati raccolti dovrebbero rispecchiare abbastanza fedelmente la loro effettiva diffusione e rarità, occorre considerare che, trattandosi di una ricerca volta principalmente a studiare i mammiferi terrestri delle varie tipologie forestali, sono state indagate solo poche stazioni favorevoli alla Marmotta, alla Lepre comune e alla Lepre variabile e quindi la loro presenza è verosimilmente stata sottostimata.

Per quanto riguarda l'abbondanza delle singole specie

Tabella 6: Elenco delle specie di mammiferi censite con le trappole fotografiche nei due anni di studio all'interno del perimetro di studio diviso per tipologia forestale e per area campione. A Salei non sono state posate trappole fotografiche.

Tipologia forestale	Boschi misti		Querco- castagneti		Faggete		Abetine		Peccete		Lariceti		Nr. aree camp.
Area campione	MOS	DUN	ARC	cos	RAS	COM	CAS	ARU	LAV	PAL	SAL	PRU	
Anno di indagine	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	
Roditori													
Apodemus sp.	Х	Х		Х		Х	Х			Х	-	Х	6
Eliomys quercinus									Х		-	Х	2
Glis glis				Х						Х	-		2
Muscardinus avellanarius										Х			1
Myodes glareolus									Х		-		1
Sciurus vulgaris	Х	Х		Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	-	Х	10
Rodentia sp.	Х	Х		Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	-	Х	10
Lagomorfi													
Lepus europaeus				Х							-		1
Lepus timidus									Х		-		1
Carnivori													
Martes foina	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х		Х	Х	-	Х	10
Martes martes								Х	Х		-	Х	3
Mustela nivalis		Х									-		1
Martes sp. o Mustela sp.		Х		Х			Х			Х	-		1
Meles meles	Х	Х	Х	Х	Х	Х		Х	Х	Х	-		9
Vulpes vulpes	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	-	Х	11
Artiodattili													
Capreolus capreolus		Х	Х	Х	Х	Х	Х		Х		-	Х	8
Cervus elaphus		Х		Х		Х		Х	Х	Х	-		6
Rupicapra rupicapra		Х		Х			Х	Х	Х	Х	-	Х	7
Sus scrofa	Х	Х	Х	Х	Х					Х	-		6
Numero specie / area	6	10	5	11	7	7	6	7	11	10	-	8	

è possibile fare una valutazione unicamente per i piccoli mammiferi campionati con le trappole *Longworth*, in quanto con le trappole fotografiche e con i tunnel per le tracce non è possibile una quantificazione delle osservazioni, poiché è impossibile distinguere un individuo rilevato più volte da più individui osservati una sola volta. In entrambi gli anni di studio le specie più abbondanti sono state l'Arvicola rossastra, il Topo selvatico collo giallo e il Toporagno del Vallese, specie relativamente ben diffuse e abbondanti in Svizzera.

Tra le specie potenzialmente presenti nel perimetro di studio, ma non osservate, vi sono il Riccio, la Crocidura ventre bianco (*Crocidura leucodon*), l'Arvicola di Fatio (*Microtus multiplex*) e l'Arvicola campestre (*Microtus arvalis*). Si tratta o di specie molto rare e presenti con densità molto basse o di specie con un areale marginale rispetto al perimetro indagato, per cui estremamente difficili da osservare.

Uno dei risultati più significativi del biennio di ricerche è senza dubbio la conferma della presenza della Martora in ben due delle località investigate. La prima è la Val Lavadina, dove un esemplare è stato rilevato nel corso del 2017 (Maddalena et al., 2018), e la seconda è l'area a nord-est rispetto all'Alpe Ruscada. In entrambi

i casi le Martore sono state censite poiché attratte dalle esche posizionate dinnanzi alle trappole fotografiche. Si tratta di osservazioni significative in quanto una conferma documentata della specie mancava per il Cantone Ticino dagli anni 1990 (InfoFauna & CSCF, Simon Capt comm. pers.).

Pure degna di nota è la buona presenza del Toporagno alpino nelle abetine e peccete fresche e umide (Piano delle Cascine, Val Lavadina e Alpe Ruscada) e in un lariceto del Pizzo Ruscada, in quanto generalmente nel Cantone Ticino si tratta di una specie piuttosto rara. Inoltre, spicca la cattura di un esemplare di Toporagno d'acqua presso un torrente sull'Alpe Ruscada. Anche l'osservazione della Donnola in ben cinque aree campione (Dunzio, Rasa, Piano delle Cascine, Val Lavadina e Salei) è notevole poiché, oltre ad essere una specie piuttosto rara, è anche difficile da rilevare.

I lariceti aperti, ben strutturati e ricchi di pietraie inclusi nell'area di progetto rivestono poi una particolare importanza per la conservazione dell'Arvicola delle nevi, specie della quale nell'ambito del presente studio hanno potuto essere osservate delle popolazioni abbondanti al margine meridionale del suo areale di distribuzione. Sarà interessante vedere se, con il riscal-

damento climatico in atto, tali popolazioni riusciranno a mantenersi anche in futuro.

Mentre soprattutto nelle aree campione situate alle quote più elevate si è potuto rilevare alcune specie di particolare interesse faunistico, nelle aree ubicate alle quote inferiori solo tre specie si sono rivelate di un certo interesse: la Crocidura minore in un piccolo muro a secco accanto a un torrente ad Arcegno (320 m s.l.m.; due esemplari); alcuni Toporagni del Vallese a Palagnedra (882 m s.l.m.; un esemplare) e a Mosogno (661 m s.l.m.; due esemplari); il Moscardino a Costa (830 m s.l.m.) e a Palagnedra (880 m s.l.m.).

Analizzando più in dettaglio la composizione specifica dei piccoli mammiferi sorprende la scarsità dei soricidi che, sui due anni di studio, rappresentano unicamente il 6.9 % del totale di individui catturati (4.8 % nel 2017 e 17.9% nel 2018). A titolo di paragone in sei anni di catture intensive in Mesolcina e in Val Calanca tra il 1995 e il 2000 la percentuale di catture di soricidi si attestava sul 40% e in Ticino tra il 2000 e il 2004 era del 18% (Maddalena et al., 2006; dati personali). Se nel 2017 questa bassa densità di soricidi è sicuramente almeno in parte una conseguenza dell'eccezionale abbondanza di roditori che ha "diluito" l'effettivo di soricidi catturati, resta da capire come mai in Ticino la densità di soricidi sia sistematicamente inferiore a quanto era stato osservato in Mesolcina e in Val Calanca. In particolare, potrebbe essere interessante capire se questa differenza è legata ai microhabitat in cui sono state posate le trappole oppure a un reale declino di questi piccoli mammiferi dal regime alimentare prevalentemente insettivoro, dovuto al calo di insetti che sembra delinearsi negli ultimi decenni (per esempio Hallmann et al., 2017).

I dati raccolti con la medesima metodologia e secondo il medesimo schema in due anni consecutivi hanno permesso di ottenere informazioni interessanti sulle fluttuazioni estreme delle popolazioni di piccoli mammiferi. Infatti, durante i trappolaggi con trappole Longworth eseguiti nel 2017 si è osservato un tasso di cattura del 60% con un picco di addirittura l'84% registrato nelle peccete di Piano delle Cascine. Questi valori sono nettamente superiori sia al tasso di cattura medio pari al 16% sia al picco massimo attorno al 40% di oltre 50 campagne di catture realizzate sempre con le medesime modalità tra il 1995 e il 2004 in Ticino, Mesolcina e in Val Calanca (Maddalena et al., 2006, dati personali). Inversamente nel 2018, con un tasso di cattura medio del 12%, i risultati dello studio si situano leggermente al di sotto del tasso di cattura medio generale osservato in Ticino, in Mesolcina e in Val Calanca (Maddalena et al., 2006; dati personali).

Il gran numero di individui catturati nel 2017 (ben 726 piccoli mammiferi) è da imputare soprattutto a un aumento eccezionale di due roditori, il Topo selvatico collo giallo e l'Arvicola rossastra. Anche in passato si era già assistito a pullulazioni analoghe in Ticino, in particolare negli anni 2005 e 2012, ma le catture effettuate in maniera meno intensiva avevano permesso di constatare unicamente un forte incremento del Topo selvatico collo giallo. I rilievi svolti in maniera standardizzata e in contemporanea su un'area molto estesa nel

corso del presente progetto, hanno invece permesso di verificare per la prima volta che l'aumento eccezionale dei roditori non concerne solo il Topo selvatico collo giallo ma anche e soprattutto l'Arvicola rossastra, che da sola rappresenta il 65% delle 726 catture effettuate nel 2017.

Inoltre, grazie ai rilievi eseguiti dall'Istituto di ricerca WSL a Cadenazzo (M. Conedera comm. pers.) e a livello nazionale (Kittl, 2016), possiamo ipotizzare per la prima volta nel Cantone Ticino (e a nostra conoscenza pure in Svizzera), una correlazione positiva tra l'aumento eccezionale degli effettivi di Topo selvatico collo giallo e Arvicola rossastra e l'abbondanza dei frutti del Faggio e/o dell'Abete rosso (pasciona) nell'anno immediatamente precedente. Una simile correlazione è già stata descritta in altre zone dell'Europa (per esempio in Italia e Scandinavia) grazie a studi basati sull'analisi regolare su più anni del contenuto di boli di rapaci (per esempio Mezzavilla, 2014), ma per la Svizzera mancavano fino ad ora dati attendibili e documentati sul fenomeno.

Per quanto concerne il popolamento di mammiferi terrestri nelle varie aree campione e in particolare nelle varie tipologie forestali è difficile trarre delle conclusioni a partire da due sole stagioni di campionamento, per di più con situazioni di abbondanza molto diverse, determinate dalla pullulazione dei roditori nel 2017 e dal crollo delle loro popolazioni l'anno successivo.

In generale l'area campione più ricca di specie è comunque stata la pecceta della Val Lavadina (18 specie censite), mentre le due aree situate in faggeta (Rasa e Comino) e una delle due aree in bosco misto (Mosogno) sono risultate le più povere (10 specie censite). A Salei è per contro stato osservato il più alto numero di specie esclusive di una sola area campione.

Le aree situate alle quote più basse, oltre a essersi rivelate particolarmente povere di specie, presentavano anche un tasso di cattura con le trappole *Longworth* tendenzialmente inferiore rispetto alle zone situate a quote più elevate. Una simile correlazione tra l'altitudine e il tasso di cattura con trappole *Longworth* era già stata osservata in studi analoghi eseguiti in altre zone del Cantone Ticino, come pure in Mesolcina e in Val Calanca (Maddalena et al., 2006).

Anche a livello di tipologie forestali è possibile intravvedere delle tendenze. Mentre i boschi di conifere situati alle quote più elevate sembrano essere particolarmente ricchi di specie, le faggete, e per i piccoli mammiferi anche i querco-castagneti, appaiono particolarmente poveri. Poiché le diverse tipologie forestali sono direttamente correlate con la quota, è però difficile distinguere l'effetto altitudinale da quello stazionale. Occorre inoltre rimarcare che gran parte dei boschi campionati era ancora sfruttata fin verso la metà del secolo scorso. I rilievi sono quindi stati eseguiti in ambienti relativamente giovani e in piena evoluzione.

A livello di singole stazioni il presente studio ha permesso di confermare l'importanza della presenza di microhabitat strutturati e umidi all'interno delle varie tipologie forestali, come pure quella dei corsi d'acqua. I dati del 2018 hanno inoltre mostrato che le stazioni con zone umide e fresche, anche di piccole dimensioni,

possono presentare un numero elevato di piccoli mammiferi pure in anni caratterizzati da densità di piccoli mammiferi generalmente basse. Per esempio le stazioni di Dunzio e quelle della regione del Ruscada sono le sole dove anche nel 2018 sono stati registrati discreti tassi di cattura. Per la conservazione dei piccoli mmamiferi in bosco queste zone sembrano rivestire quindi una particolare importanza.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il progetto Parco nazionale del Locarnese che ha finanziato il presente studio nel quadro del programma di ricerca sulla biodiversità forestale promosso dal Museo cantonale di storia naturale come pure Marco Moretti e Adriano Martinoli per la rilettura critica del testo.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

- Balestrieri A., Mosini A. & Saino N. 2016. Distribuzione ed ecologia di martora e faina nel Parco Nazionale della Val Grande. Rapporto interno, 47 p.
- Bourlière F. & Spitz F. 1975. Les critères d'âge chez les mammifères. In: Lamotte M. & Bourlière F. (eds.). Problèmes d'écologie: la démographie des populations de vertébrés. Paris, Masson, pp. 53-75.
- Hallmann C.A., Sorg M., Jongejans E., Siepel H., Hofland N., Schwan H., Stenmans W., Müller A., Sumser H., Hörren T., Gouson D. & Kroon de H. 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. PLoS ONE 12 (10): e0185809.

- InfoFauna & CSCF in press. Lista rossa mammiferi terrestri. Specie minacciate in Svizzera.
- Kittl B. 2016. Une année à faînes exceptionnelle. Communiqués de presse de l'Institut fédéral de recherches WSL du 9.8.2016. www.wsl.ch.
- Marchesi P., Maddalena T., Blant M. & Holzgang O. 2004. Situation des petits carnivores en Suisse et bases pour un programme de monitoring national. Rapport final Faune Concept, par le bureau Drosera SA. Sion, Berna, UFAM & SGW/SSBF.
- Maddalena T., Mattei-Roesli M. & Müller J.P. 2006. Contributo alla conoscenza dei piccoli Mammiferi (Insettivori e Roditori) delle valli Mesolcina e Calanca (Cantone dei Grigioni, Svizzera). Bollettino della Società ticinese di scienze naturali 94: 49-60.
- Maddalena T., Pagano L., Mattei-Roesli M., Torriani T. & Zanini M. 2018. Confermata dopo quasi 30 anni la presenza della Martora *Martes martes* (L. 1758) nel Cantone Ticino (Svizzera). Bollettino della Società ticinese di scienze naturali 106: 107-109.
- Maddalena T., Pagano L., Zanini M., Torriani T. & Mattei-Roesli M. 2019. Studio sulla biodiversità forestale del progetto di Parco nazionale del Locarnese. Museo cantonale di storia naturale, Lugano. Rapporto non pubblicato.
- Mezzavilla F. 2014. Il faggio e la fauna. Indagini ecologiche nella Riserva Naturale Biogenetica Campo di mezzo – Pian Parrocchia Foresta del Cansiglio. Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali. Corpo forestale dello Stato, 117 pp.
- Museo cantonale di storia naturale 2017. Lo studio della biodiversità forestale del Progetto di Parco nazionale del Locarnese (PNL). Programma di ricerca preliminare sulla biodiversità delle principali formazioni forestali e degli ambienti ecotonali associati (2015-2020). Rapporto interno.

Monitoraggio del ciclo biologico del gufo reale *Bubo bubo* con metodi bioacustici in una zona di difficile accesso del Cantone Ticino (Svizzera)

Filippo Rampazzi

Museo cantonale di storia naturale, Viale Carlo Cattaneo 4, CP 5487, 6901 Lugano, Svizzera

filippo.rampazzi@ti.ch

Riassunto: In Svizzera il gufo reale *Bubo bubo* è una specie minacciata, ma la stima degli effettivi resta problematica a causa delle sue abitudini di vita e della topografia dei luoghi di nidificazione. I moderni metodi bioacustici possono in tal senso aiutare nella ricerca e nel monitoraggio della specie, soprattutto là dove un'osservazione diretta non è possibile. L'articolo illustra i risultati del monitoraggio di una coppia di gufo reale mediante l'impiego di registratori automatici in un'area di difficile accesso (gole del fiume Isorno, Ticino, Svizzera), dove il sito di nidificazione preciso rimane tuttora sconosciuto. I risultati provano l'efficacia dei metodi bioacustici passivi nel monitorare i diversi momenti del ciclo di vita della specie, dalla fase precedente la deposizione delle uova fino alla dispersione dei giovani, attraverso la sola analisi delle vocalizzazioni.

Parole chiave: Gufo reale, Bubo bubo, nidificazione, giovani, comportamento vocale, metodi bioacustici passivi

Monitoring of the biological cycle of eagle owl *Bubo bubo* by passive bioacoustic methods in an area of difficult access of the Canton Ticino (Switzerland)

Abstract: In Switzerland the eagle owl *Bubo bubo* is a threatened species, but the estimation of the population size is problematic due to the bird's lifestyle habits and the topography of the nesting areas. Modern bioacoustic methods can therefore help in searching and monitoring the species, especially where direct observation is not possible. This paper presents the results of the monitoring of an eagle owl's pair with automatic sound recorders in an area that is difficult to access (gorge of the Isorno river, Canton Ticino, Switzerland), where the precise nesting site still remains unknown. Results show that passiv acoustic methods are very useful for monitoring the different moments of the life cycle of eagle owl, from the pre-laying period to the dispersal of juveniles, by the only analysis of its vocalizations.

Keywords: Eagle owl, Bubo bubo, nesting, juveniles, vocal behaviour, passive bioacoustic methods

INTRODUZIONE

Il gufo reale *Bubo bubo* è una specie distribuita in gran parte della regione eurasiatica dalla Penisola iberica alla Russia orientale con 13 sottospecie attualmente riconosciute (Cramp 1985; Del Hoyo et al. 1999; Penteriani & Delgado 2019). In Svizzera è presente la sottospecie nominale diffusa nelle Alpi, nell'arco giurassiano e in parte dell'Altipiano con 200-230 coppie nidificanti. I siti di nidificazione si trovano principalmente su pareti rocciose dalle basse quote fino al piano alpino (nidificazione più elevata a 2200 m, Cantone dei Grigioni, GR), anche se la maggior parte è confinata al di sotto dei 1000 m di altitudine (Knaus et al. 2018). La consistenza numerica della popolazione e la sua evoluzione variano in modo significativo da una regione all'altra: mentre nel Giura e sull'Altipiano si registra un evidente aumento, nelle Alpi la situazione è più articolata e meno chiara, con aree che presentano solidi effettivi (Engadina GR, Valle del Reno) accanto ad altre dove la specie sembra in regresso, come in alcune aree del Cantone dei Grigioni e del Cantone Ticino (Jenny 2011; Lardelli & Zbinden 2017; Knaus et al. 2018). Le diverse dinamiche delle popolazioni in Svizzera dipendono in buona parte dalla differente pressione d'immigrazione di esemplari provenienti dalle nazioni confinanti, nelle quali la specie è in aumento (Francia, Germania). Come mostrato da (Schaub et al. 2010) il tasso d'immigrazione è infatti in grado di compensare l'alta mortalità causata dalle infrastrutture di origine antropica, come i tralicci della corrente elettrica (elettrocuzione) e le vie di traffico (collisione con treni e automezzi). La situazione è particolarmente critica nelle Alpi, dove sui fondivalle si registra la maggiore concentrazione di coppie nidificanti, ma anche quella di elettrodotti, cavi aerei e vie di traffico. Ciò potrebbe spiegare il diverso tasso di mortalità tra le zone pianeggianti e collinari del Paese (arco giurassiano, Altipiano) rispetto alle regioni situate nelle Alpi.

Nel Cantone Ticino la specie sembra in costante calo da molti anni. Dal confronto di tre censimenti effettuati nei periodi 1987-1989, 2009-2011 e 2013-2016 emer-

ge infatti una flessione delle coppie nidificanti del 36% tra il primo e il secondo periodo e addirittura del 55% tra il primo e il terzo periodo (Mosimann-Kampe et al. 1998; Lardelli & Zbinden 2017). Oltre all'elevato tasso di mortalità causato da infrastrutture di origine antropica, nel Cantone Ticino il regresso potrebbe essere imputabile anche all'imboschimento delle zone rocciose e all'ampliamento delle zone edificate, che sui fondivalle riducono in modo significativo i siti idonei alla nidificazione e i territori di caccia. In Svizzera il gufo reale è inscritto nella Lista Rossa come specie fortemente minacciata (EN, endangered; Keller et al. 2010). L'esatta valutazione della popolazione nidificante è tuttavia resa problematica da vari fattori, come il comportamento discreto della specie durante il periodo riproduttivo, l'incostanza nell'occupazione dei siti di nidificazione e le difficoltà di localizzazione delle aree riproduttive situate spesso in zone impervie difficilmente accessibili. Questi fattori limitano fortemente la possibilità di osservazione diretta della specie, che può essere meglio rilevata attraverso metodi bioacustici. Le emissioni vocali del maschio possono infatti essere udite fino a 1-1.5 km di distanza, secondo alcuni autori addirittura fino a 4 km in condizioni eccezionali (Glutz von Blotzheim & Bauer 1980), anche se ciò dipende fortemente dalle condizioni ambientali (vento, pioggia, rumori causati dal traffico ecc.), dalla topografia del luogo e dalla posizione dell'ascoltatore rispetto alla fonte sonora. Occorre inoltre tenere presente che la propensione al canto può variare da individuo a individuo e risultare debole o discontinua anche durante il periodo riproduttivo a causa di vari fattori quali la stabilità della coppia, la presenza o meno di rivali e la densità della popolazione (Mebs & Scherzinger 2008; Penteriani & Delgado 2019). Più sessioni di ascolto sono quindi necessarie per comprovare o escludere la presenza della specie in un dato luogo e periodo, ciò che rende particolarmente vantaggioso l'impiego di registratori di suoni automatici su periodi di tempo prolungati. Attraverso questo metodo il presente studio si prefigge di monitorare il ciclo biologico della specie in un'area impervia e di difficile accesso del Cantone Ticino, dove il sito di nidificazione non è noto né può essere individuato con l'osservazione diretta sul terreno a causa della topografia del luogo. Per motivi di protezione della specie il presente contributo non rivela l'ubicazione precisa dei punti nei quali sono state eseguite le registrazioni sonore.

MATERIALI E METODI

Area di studio

L'area di studio è situata lungo le gole del fiume Isorno in un tratto che si estende per circa 2 km in direzione nord-sud tra le località di Intragna e di Auressio (Cantone Ticino, Svizzera). Le gole si sviluppano in altezza dai circa 300 m del letto del fiume ai circa 500-600 m del loro margine superiore, delimitato sul fianco sinistro della valle dalla strada cantonale e sul fianco destro da piccoli nuclei di case. Lo sviluppo delle gole è tortuoso con larghezze talvolta inferiori a 90-100 m

(a circa 400 m di quota). Le estese pareti rocciose che caratterizzano la zona, in alcuni tratti precipitano a picco per oltre 120 m, in altri discendono a balze lungo gli erti pendii cosparsi qua e là di alberi e cespugli. Un esteso bosco di latifoglie dominato dal castagno Castanea sativa sovrasta tutta la zona circostante. L'area è molto impervia e di difficile accesso, tale da ridurre fortemente le possibilità di spostamento. Inoltre la visuale è spesso ostacolata dalla fitta vegetazione boschiva, nonché dalla tormentata morfologia del luogo segnata da speroni rocciosi, rientranze e avvallamenti. I punti di osservazione propizi per l'individuazione di potenziali siti di nidificazione sono dunque molto scarsi, per cui l'ascolto delle emissioni vocali risulta in pratica essere l'unico mezzo in grado di rivelare la presenza della specie.

Registrazione dei suoni

Per la registrazione dei suoni sono stati impiegati apparecchi del tipo Song Meter SM4 di Wildlife Acoustics Inc., programmati per registrare quotidianamente da un'ora prima del tramonto a un'ora dopo l'alba (durante la fase iniziale dell'indagine, nei periodi 1.1-8.1.2019 e 9.2-17.2.2019, soltanto tra il tramonto e l'alba). Le registrazioni sono state eseguite in modalità stereofonica preamplificata (gain 16 dB, preamplificazione 26 dB) e con un filtro a 220 Hz (high-pass filter) per attenuare il rumore di fondo nelle frequenze più basse. La digitalizzazione del suono è avvenuta con una frequenza di campionamento di 24 kHz a 16 bit e una suddivisione della traccia sonora in file WAV non compressi di un'ora ciascuno su schede di memoria SanDisk da 64 e 128 GB. Lo studio si è svolto in due fasi distinte: una fase preliminare per l'individuazione della specie (non oggetto della presente pubblicazione) e una seconda fase di monitoraggio della zona di nidificazione. La fase preliminare si è svolta all'inizio del periodo invernale (1.12.2018-10.1.2019) in un'area molto più estesa (circa 10 km²) attraverso l'impiego simultaneo di più registratori. La seconda fase è proseguita da metà gennaio alla fine di novembre (11.1-28.11.2019) in una zona delle gole dell'Isorno ritenuta prossima al sito di nidificazione. Tra l'11 gennaio e il 16 febbraio 2019 sono stati impiegati, talvolta in modo simultaneo, due registratori posizionati in punti diversi delle gole poco distanti l'uno dall'altro allo scopo di individuare il migliore punto di ascolto (massima probabilità di captare i suoni della specie con il minimo rumore di fondo). A partire dal 22 febbraio 2019 soltanto un registratore è rimasto in funzione per il resto dell'anno. Le schede di memoria sono state sostituite con cadenza da settimanale a mensile secondo la durata della notte nei vari periodi dell'anno e la capienza dei supporti di registrazione (per un totale di 25 uscite di controllo). Le sequenze sonore sono state in seguito salvate in modo centralizzato presso il Museo cantonale di storia naturale a Lugano.

Analisi dei suoni

L'analisi delle registrazioni è avvenuta con il programma Kaleidoscope Pro 5 di Wildlife Acoustics Inc., che permette di raggruppare i suoni in modo automatiz-

zato in funzione del loro grado di somiglianza (cluster analysis). In tal modo è stato possibile individuare agevolmente i diversi tipi di vocalizzazione attraverso l'esame visivo dei sonogrammi prodotti, per poi contrassegnarli con codici univoci. Ogni sequenza sonora è stata analizzata almeno tre volte con parametri specifici per il tipo di vocalizzazione ricercato: un'analisi è stata eseguita sui suoni di più bassa frequenza (220-800 Hz, canto del maschio e della femmina), una seconda su quelli che presentano un'ampia estensione tonale (400-8'000 Hz, vari versi e richiami degli adulti) e una terza su quelli che possono presentare un'estensione relativamente ampia delle frequenze, ma confinate in una fascia intermedia (1'000-4'600 Hz, richiamo dei giovani). Per l'interpretazione dei risultati si è dapprima proceduto all'eliminazione di talune vocalizzazioni presenti in doppio a causa dell'acquisizione stereofonica dei suoni. Le sequenze prodotte dall'analisi con Kaleidoscope Pro sono state depositate presso il Museo cantonale di storia naturale, mentre quelle illustrate nel presente articolo sono state anche trasmesse al sito xeno-canto.org, così da potere essere liberamente fruibili a titolo di compendio del presente articolo (le registrazioni sono contrassegnate da un codice numerico con iniziali "XC").

RISULTATI

Caratterizzazione delle emissioni vocali

Tra il 1° gennaio e il 28 novembre 2019 sono stati archiviati complessivamente 4'406 files audio in formato WAV non compresso (circa 1.1 TB) pari a 3'604 ore di registrazione (in media circa 15 ore al giorno, con un

massimo di circa 17 ore in inverno e un minimo di circa 10 ore e 15 minuti in estate). L'analisi delle registrazioni sonore ha permesso di individuare 19'359 singole vocalizzazioni, che sono state suddivise per tipologia come illustrato nei paragrafi sottostanti. Dal profilo quantitativo la maggior parte delle vocalizzazioni è risultata costituita dai richiami dei giovani (76.6%), seguiti dal canto del maschio (13.0%), dal verso della femmina (10.2%) e dal canto della femmina (0.2%). Il rimanente 0.1% è formato dai versi di allarme di entrambi i sessi, dai versi di accoppiamento della femmina e da quelli di eccitazione del maschio precedenti l'accoppiamento.

1) Canto degli adulti (Fig. 1 e Fig. 2a-b). Il canto degli adulti è una vocalizzazione formata da due note di diversa tonalità e intensità (ù-hu) ed è facilmente distinguibile tra maschio e femmina per frequenza e struttura. Nel maschio la prima nota, quella fondamentale, ha una frequenza più bassa rispetto a quella della femmina e il canto presenta un'estensione tonale maggiore tra la prima e la seconda nota. Se udito in lontananza, il tipico suono bitonale può sembrare monotonale, poiché la seconda nota, più bassa e debole, può svanire nel rumore di fondo. Nel caso specifico la nota fondamentale del canto del maschio si è sempre situata al di sotto di 400-450 Hz, mentre quella della femmina sempre al di sopra di 400 Hz. Nel canto del maschio si è potuto osservare che, accanto alle tipiche vocalizzazioni bitonali, ne possono talvolta comparire anche di monotonali, soprattutto nei momenti di maggiore eccitazione come nei duetti con la femmina. Nel canto della femmina compaiono invece più tipi di vocalizzazioni, che possono essere modulate in modo diverso secondo

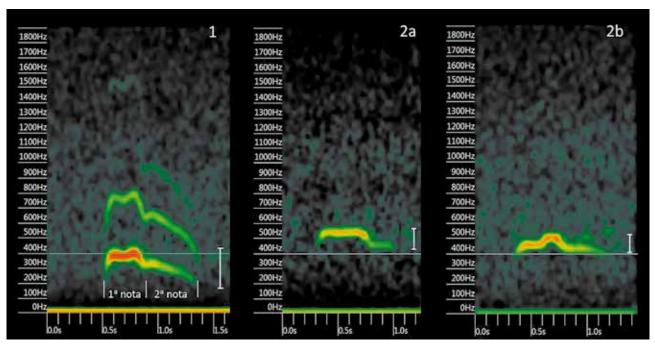


Figure 1 e 2a-b: Il canto del maschio e della femmina è formato da due note di diversa frequenza. 1) Nel maschio la frequenza della nota fondamentale si situa sempre al di sotto di 400-450 Hz. In suoni di forte intensità è possibile individuare fino a due armonici superiori che raggiungono circa 1'600 Hz (XC521237). 2a-b) Nella femmina la nota fondamentale si situa sempre al di sopra di 400 Hz e, rispetto al maschio, la differenza delle frequenze tra la prima e la seconda nota è minore (v. indicatore). A differenza del maschio, nel caso specifico la femmina ha inoltre mostrato di disporre di più varianti nelle note del canto (v. anche Fig. 3) (XC523516 e XC523518).

- le circostanze. I vari tipi di vocalizzazione possono formare sia sequenze omogenee (serie di suoni dello stesso tipo) sia sequenze eterogenee (serie miste con suoni di diverso tipo) (Fig. 3).
- 2) Verso specifico della femmina (Fig. 4a-d). Questa vocalizzazione può estendersi oltre i 10'000 Hz ed è costituita da una nota aspra e vagamente nasale con sonorità difficilmente riproducibili (kweck, chrià, chwet). È molto frequente durante la fase nuziale in risposta al canto del maschio (soliciting calls), ma viene spesso

utilizzata anche quale mezzo di contatto con i giovani dopo l'involo. Soprattutto se debole e lontana, può ricordare il verso raspante della ghiandaia *Garrulus glandarius* oppure quello più secco dell'airone cenerino *Ardea cinerea*. In questo caso il timbro è più gracchiante (*grack*) e starebbe a indicare piuttosto un suono di irritazione, allerta o allarme che, in questo caso, può essere emesso anche dal maschio.

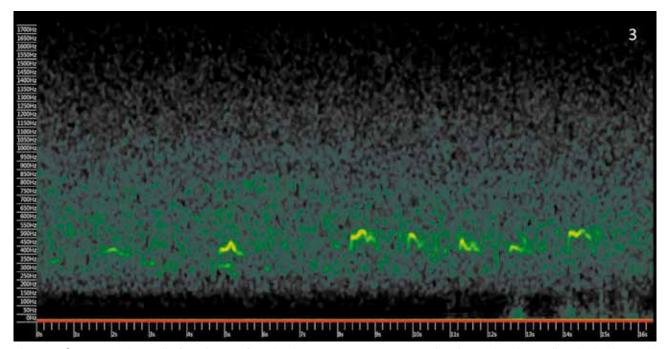


Figura 3: Canto modulato della femmina. La femmina ha mostrato una certa capacità di modulare le vocalizzazioni del proprio canto, con la possibilità di produrre sia sequenze omogenee formate dallo stesso tipo di vocalizzazione sia sequenze miste composte da vocalizzazioni diverse, come nel presente sonogramma (XC523519).

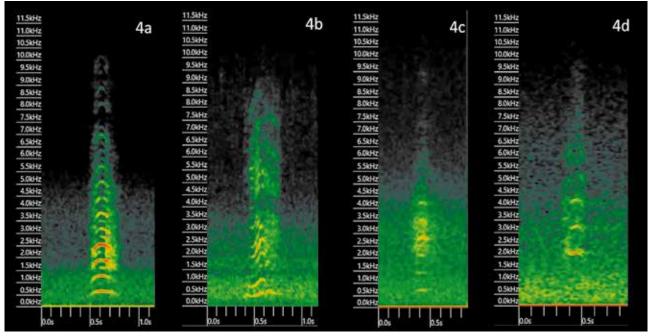


Figura 4a-d: Verso specifico della femmina. Il verso è emesso dalla sola femmina e presenta intensità e sonorità diverse in relazione alle circostanze. Può essere emesso singolarmente con funzione di contatto o di allerta per esempio nei confronti di giovani involati oppure in serie ripetitive anche di lunga durata come nei duetti con il maschio prima dell'accoppiamento (4a: XC524176; 4b: XC524179).

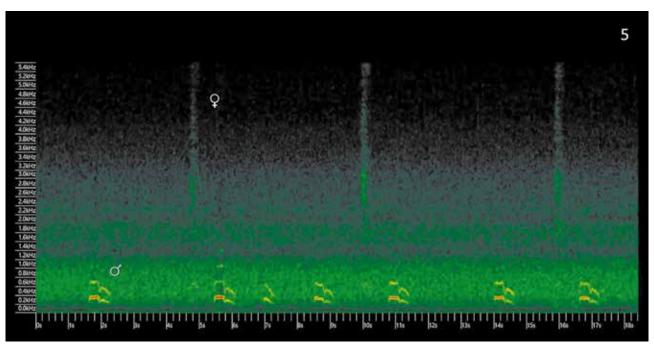


Figura 5: Duetto tra maschio e femmina. Duetto composto dal canto del maschio (più forte e vicino) e dal verso specifico della femmina (più debole e lontano, in cui le frequenze più basse sono offuscate dal rumore di fondo). Notare come le tipiche vocalizzazioni bitonali del maschio possono essere inframezzate da singole vocalizzazioni monotonali (nel sonogramma a circa 7 s): ciò si verifica soprattutto nei momenti di maggiore eccitazione, quando anche la distanza tra le singole vocalizzazioni si abbrevia (XC524163).

- 3) Verso "di allarme". Il cosiddetto verso "di allarme" è una sorta di abbaio nasale (uà-uà-uà...) descritto talvolta anche come "risata satanica" ("devil's cackles") che può ricordare vagamente i versi di un germano reale Anas platyrhynchos o alcune vocalizzazioni della volpe Vulpes vulpes (abbai, latrati). Nel maschio la tonalità è più bassa e presenta un maggior numero di armonici. In realtà si tratta di un suono che indica piuttosto irrequietezza e viene impiegato in diverse circostanze sia per allertare i giovani in presenza di un potenziale pericolo sia quale verso di eccitazione durante la fase nuziale (Penteriani & Delgado 2019). Nel corso del presente studio questa vocalizzazione, solitamente abbastanza comune, è stata captata soltanto in due occasioni, sempre in lontananza e in modo troppo poco distinto da riuscire a produrre tracce apprezzabili nei sonogrammi.
- 4) Verso di eccitazione del maschio e verso di accoppiamento della femmina (Fig. 6). Durante il duetto della coppia che precede la copula, il maschio può emettere vocalizzazioni di bassa frequenza in rapida successione, che indicano uno stato di forte eccitazione e che ricordano vagamente i versi di uno "scimpanzé" (gùgugùgu-gùgu..., ùhu-ùhu-ùhu...). Essendo generalmente di bassa intensità, sono percepibili soltanto a distanza ravvicinata e il più delle volte si perdono nelle basse frequenze del rumore di fondo. Un suono molto simile, ma più rallentato e ritmato, è utilizzato dal maschio per indicare alla femmina un potenziale sito di nidificazione (nest showing call) e dalla femmina quando stimola i nidiacei a prendere il cibo (questa vocalizzazione non ha tuttavia potuto essere rilevata dall'indagine). Durante l'accoppiamento la femmina emette a sua volta una serie di vocalizzazioni modulate di frequenza medio-alta (wihii-wihii-wihii...) e di

- intensità sufficiente da essere percepite anche a una certa distanza. Il verso di accoppiamento della femmina è di particolare importanza nel monitoraggio dell'attività riproduttiva e nel corso dell'indagine ha potuto essere rilevato con certezza almeno in sette occasioni.
- 5) Richiamo dei giovani (Fig. 7a-e). Il richiamo dei giovani è simile al suono prodotto da un tessuto strappato (chzscht) e inizia a svilupparsi nei nidiacei a partire dalle due settimane di vita. Fino a circa 40 giorni di età questa vocalizzazione è udibile soltanto da molto vicino, mentre si sviluppa in intensità ed estensione tonale soprattutto a partire dai 70 giorni (10 settimane) (Penteriani et al. 2005; Penteriani & Delgado 2019), quando può essere udito a diverse centinaia di metri di distanza, secondo Scherzinger (1974) addirittura fino a 1 km. Il richiamo non ha soltanto una funzione di richiesta di cibo nei confronti degli adulti (begging calls), ma anche di contatto tra i giovani della stessa covata, che dopo l'involo si allontanano progressivamente l'uno dall'altro. Se udito in lontananza, all'alba e al tramonto può ancora essere confuso con quello raspante della ghiandaia Garrulus glandarius, mentre di notte con i richiami dei giovani dell'allocco Strix aluco nei primi stadi di sviluppo. I richiami dei giovani gufi reali sono stati rilevati quasi ininterrottamente per ben due mesi e mezzo, ciò che ha permesso di seguirne l'evoluzione tra fine luglio e metà ottobre, ossia tra circa 90 e 180 giorni di età (13-26 settimane). Nei sonogrammi non è tuttavia mai stato possibile trovare richiami di più esemplari contemporaneamente, per cui si presume che solo un giovane della covata sia giunto effettivamente all'involo oppure, assai meno probabilmente, che la covata sia stata di un solo uovo.

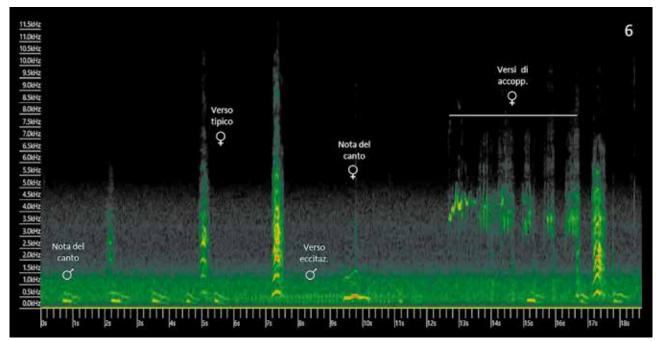


Figura 6: Sequenza di accoppiamento. Durante la fase di accoppiamento è possibile individuare alcune vocalizzazioni particolari, come il verso di eccitazione del maschio che precede la copula e quello della femmina durante la copula. Nel sonogramma si può riconoscere in sequenza le emissioni vocali seguenti: canto del maschio e verso della femmina alternati in duetto asincrono (fino a circa 6 s); rapida serie di versi di eccitazione del maschio (circa 6-11.8 s), inframmezzati da un forte verso della femmina (7.2-7.6 s) e da un'unica vocalizzazione del canto della femmina (9.4-10.2 s); versi di accoppiamento della femmina ripetuti più volte (12.6-16.6 s), inframmezzati dal canto del maschio (15.2-15.4 s); canto del maschio e della femmina nuovamente in duetto (da 16.6 s in poi) (XC524166).

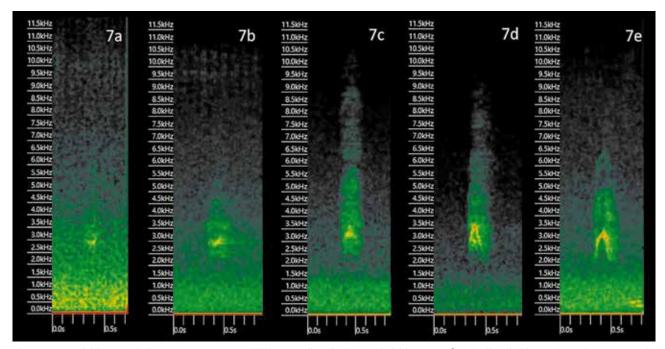


Figura 7a-e: Richiamo del giovane. I sonogrammi illustrano l'evoluzione del richiamo tra fine luglio e inizio ottobre: a) 24.7.2019, b) 6.8.2019, c) 18.8.2019 (XC524191), d) 15.9.2019, e) 7.10.2019 (XC524192).

Monitoraggio del ciclo biologico

Il grafico della Fig. 8 fornisce il quadro complessivo della distribuzione temporale delle 19'359 vocalizzazioni rilevate tra inizio gennaio e fine novembre 2019. Dall'esame della tipologia delle vocalizzazioni e del loro sviluppo temporale è stato possibile suddividere l'anno in diversi periodi corrispondenti ad altrettante fasi del ciclo biologico della specie.

Fase territoriale pre-nuziale

Nel periodo 1.1-8.2.2019 le vocalizzazioni sono state dominate dal canto del maschio, quando ancora molto scarsa era la risposta della femmina, che si è manifestata con il canto solo in poche occasioni (del tutto assente invece il verso specifico della femmina). Per il maschio è stata la fase di canto più intensa, che in più occasioni si è protratto per gran parte della notte con interruzioni solo di breve durata. In alcune notti sono state registrate serie di trenta minuti con oltre 100 vocalizzazioni emesse quasi di continuo con pause di 9-39 secondi (media 14 secondi) tra una vocalizzazione e l'altra (p.es. 24.1.2019 dalle 00:55 alle 01:25, 107 vocalizzazioni). Il canto della femmina si è per contro concentrato nell'ora successiva al tramonto e nelle due ore precedenti l'alba con vocalizzazioni singole o con serie di breve durata. In questa fase, che precede il corteggiamento vero e proprio e che prende generalmente avvio nel precedente mese di dicembre (fase pre-nuziale), il canto del maschio ha una funzione marcatamente territoriale, rivolta quindi non solo alla partner ma anche a possibili rivali (Penteriani 2002).

Fase nuziale

A partire dal 9 febbraio 2019 si assiste a un apprezzabile incremento del canto della femmina, così come alla comparsa e alla successiva forte impennata dei richiami della stessa, assenti nel periodo precedente. Secondo (Leibundgut 1973) i richiami della femmina si fanno più frequenti circa due settimane prima dell'inizio della deposizione. Al contempo il canto del maschio si concentra maggiormente nelle ore crepuscolari, con numerose vocalizzazioni emesse anche un'ora prima del tramonto (o forse prima ancora). E questa la fase in cui compaiono i duetti tra maschio e femmina, seguiti in molte occasioni dall'accoppiamento. Nella maggior parte dei casi i duetti sono composti dal canto del maschio e dal verso specifico della femmina, mentre il canto della femmina è risultato molto più raro anche in queste circostanze. Durante le fasi di maggiore eccitazione il canto del maschio si fa più serrato con pause anche solo di 1-3 secondi tra una vocalizzazione e l'altra. L'accoppiamento può avere luogo a ogni ora della notte dal crepuscolo all'alba, generalmente 1-3 volte per notte (Glutz von Blotzheim & Bauer 1980). Secondo Leibundgut (1973) un secondo accoppiamento avviene spesso dopo il primo a distanza di 25-30 minuti. Secondo vari autori (Frey 1969, Leibundgut 1973, H. Haller in litt. in Glutz von Blotzheim & Bauer 1980) durante il periodo riproduttivo il primo accoppiamento avviene al più presto 5 settimane prima della deposizione del primo uovo, mentre l'ultimo accoppiamento con la deposizione dell'ultimo uovo. Nel presente studio il primo accoppiamento è stato rilevato il 10 febbraio, mentre l'ultimo il 20 marzo 2019. Il periodo intercorso tra il primo e l'ultimo accoppiamento è stato di 39 giorni, ossia poco più di 5 settimane. Sebbene nel presente caso non sia possibile sapere se la covata sia stata di uno o più uova, la deposizione dell'ultimo (o unico) uovo deve in ogni caso avere avuto luogo poco dopo l'ultimo accoppiamento, molto probabilmente il 20 marzo 2019.

Fase della cova e schiusa delle uova

Dopo la presunta data di deposizione la femmina ha cessato ogni tipo di vocalizzazione (per lo meno quelle udibili dal punto di ascolto). Il maschio ha invece continuato a cantare, seppur meno intensamente, ancora per una decina di giorni fino al 30 marzo 2019, soprattutto nelle ore a cavallo del tramonto. Il gufo reale depone in genere 2-3 uova, occasionalmente 1-4, eccezionalmente 5-6 a distanza di 2-4 giorni l'una dall'altra (Glutz von Blotzheim & Bauer 1980; Mebs & Scherzinger 2008). In Svizzera la covata più numerosa oggi nota è stata di cinque uova (Jenny & Strimer 2011). La femmina inizia a covare dopo la deposizione del primo uovo e l'incubazione dura mediamente 34-36 giorni, secondo alcuni autori 31-37 giorni in funzione della temperatura (Glutz von Blotzheim & Bauer 1980; Cramp 1985; Maumary et al. 2007; Mebs & Scherzinger 2008; Penteriani & Delgado 2019). Nel presente caso, non conoscendo né il numero di uova deposte né l'inizio della deposizione del primo uovo, non è possibile determinare la durata della cova. Si può però ragionevolmente ritenere che la schiusa dell'ultimo (o unico) uovo deposto abbia avuto luogo nel periodo 20.4-26.4.2019 (data intermedia presunta: 23.4.2019), dopo 31-37 giorni dalla data di deposizione (20.3.2019).

Fase della permanenza al nido dei nidiacei

Nessun tipo di vocalizzazione ha più potuto essere rilevato tra il 31 marzo e il 15 giugno 2019 per ben 77 giorni consecutivi (circa due mesi e mezzo). Il lungo lasso di tempo privo di segnali coincide grosso modo con il periodo della cova, con quello di permanenza al nido dei nidiacei e con le prime fasi del loro allontanamento dal luogo di nascita. I nidiacei possono allontanarsi dal nido già all'età di circa 30 giorni (4-5 settimane), ossia ben prima di essere in grado di volare. Studi mirati hanno per esempio mostrato che giovani ancora incapaci di volare possono allontanarsi fino a 270 m dal nido per poi farvi ritorno dopo due giorni e avere girovagato a piedi per ben 725 m (Görner 2016). La durata di permanenza al nido dipende tuttavia molto dalla topografia del luogo, poiché i nidi posti su pareti verticali non permettono ai giovani di allontanarsi prima di essere in grado per lo meno di planare, cioè al più presto a circa 60 giorni di età (circa 8-9 settimane) (Cramp 1985; Mebs & Scherzinger 2008; Penteriani & Delgado 2019). L'assenza totale di segnali in questo periodo è dunque con ogni probabilità dovuta al fatto che il registratore si trovava in una posizione sfavorevole oppure troppo distante dal nido da poter rilevare le flebili vocalizzazioni dei giovani o quelle più soffuse della femmina al nido (p.es vocalizzazioni emesse nei

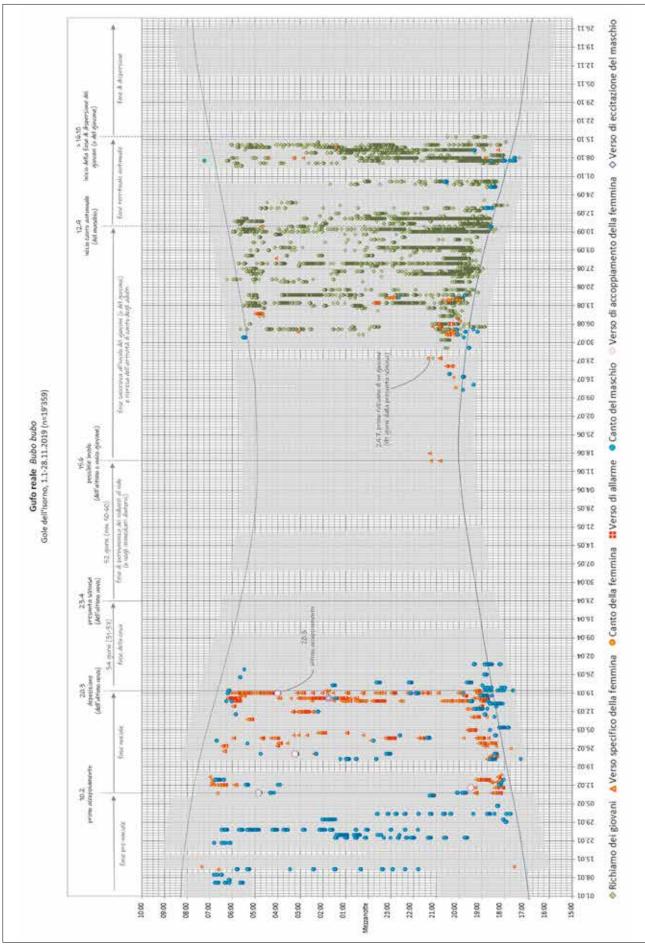


Figura 8: Distribuzione temporale delle diverse vocalizzazioni di gufo reale (n = 19'359) rilevate tra inizio gennaio e fine novembre 2019. Linee tratteggiate: andamento annuale dell'alba e del tramonto. Area evidenziata in grigio: durata effettiva delle registrazioni (da un'ora prima a un'ora dopo il tramonto, eccetto nei periodi 1-8.1 e 9-17.2.2019).

momenti di trasferimento del cibo tra maschio e femmina, rispettivamente tra quest'ultima e i nidiacei).

Fase dell'involo dei giovani

Il 15 giugno e il 18 giugno 2019 sono stati nuovamente captati alcuni versi della femmina un'ora circa dopo il tramonto. Il numero esiguo di queste vocalizzazioni non permette però di trarre conclusioni sul loro significato, ma è ipotizzabile che possa essersi trattato di segnali di allerta o di richiamo rivolti a giovani (o al giovane) allontanatisi dal nido (la data del 15.6.2019 corrisponde a un'età stimata di 52 giorni dalla presunta schiusa). I giovani sono infatti in grado di svolazzare fino a 1-2 m di distanza dopo circa 50 giorni (7-8 settimane), ma solo dopo circa 60 giorni raggiungono in volo in modo mirato un luogo vicino, mentre volano attivamente dopo 70 giorni (10 settimane) (Glutz von Blotzheim & Bauer 1980). A causa della probabile posizione sfavorevole del punto di ascolto, anche in questa occasione non è stato possibile captare i segnali nelle prime fasi dell'involo, quando i giovani restano ancora vicino al luogo di nascita. I primi richiami risalgono infatti soltanto al 24 luglio 2019 a un'età stimata di 91 giorni, quando i giovani sono in grado di volare attivamente e possono ampliare il proprio raggio di azione, avvicinandosi così maggiormente anche al punto di registrazione.

Dal 5 agosto 2019 in poi (103 giorni dalla presunta schiusa) le vocalizzazioni, fino ad allora circoscritte alle prime ore dopo il tramonto, si sono fatte vieppiù numerose, intense e distribuite su tutto l'arco della notte (in alcuni casi anche un'ora prima del tramonto e tre quarti d'ora dopo l'alba). Tra le molte migliaia di vocalizzazioni analizzate non è tuttavia mai stato possibile individuare i richiami di due o più esemplari contemporaneamente all'interno di una stessa serie: ciò induce a pensare che solo un esemplare abbia realmente raggiunto l'involo oppure che, eccezionalmente, la covata sia stata di un solo uovo.

Sorprende tuttavia constatare la totale assenza di segnali da parte degli adulti fino al 12 luglio 2019, quando è ripresa in modo repentino l'attività canora da parte di entrambi i sessi con numerose vocalizzazioni (canto del maschio e della femmina, richiamo della femmina, versi di allarme), specialmente tra un'ora prima e un'ora dopo il tramonto. Questa fase di attività canora da parte degli adulti è concomitante con quella in cui si intensificano i richiami dei giovani, che a metà luglio sono ormai in grado di volare attivamente (età stimata il 12 luglio 2019: 79 giorni).

Fase territoriale autunnale

Dopo una pausa di circa tre settimane dall'ultima vocalizzazione (17.8.2019), l'attività canora del maschio è ripresa nuovamente in modo piuttosto intenso tra metà settembre e metà ottobre (12.9-11.10.2019), principalmente nelle ore a cavallo del tramonto e nelle prime ore della sera. Il canto della femmina non ha invece mai potuto essere rilevato. La femmina ha invece continuato a manifestarsi anche durante le ore notturne con i suoi tipici versi, più in risposta ai richiami del giovane che non al canto del maschio. Quest'ultimo periodo coincide con una nuova fase di difesa del territorio da parte del maschio e con il rinsaldo dei vincoli di coppia (Mebs & Scherzinger 2008).

Fase della dispersione dei giovani

Gli abbondantissimi richiami notturni del giovane sono proseguiti per oltre due mesi e mezzo dalla fine di luglio al 17 ottobre 2019, data in cui purtroppo le registrazioni si sono interrotte a causa dello scaricamento precoce delle batterie. Nessun segnale né degli adulti né del giovane è stato captato in seguito, nonostante le registrazioni siano nuovamente riprese dal 28 ottobre al 28 novembre (con una nuova interruzione nel periodo 31.10-11.11.2019). L'inizio della fase di dispersione, che segna l'abbandono definitivo del luogo natale da parte del giovane, deve essere quindi avvenuta tra il 17 ottobre e il 28 ottobre 2019 a un'età stimata di circa 170-180 giorni (circa 24-26 settimane).

DISCUSSIONE

Registrazioni

Sebbene la qualità delle registrazioni sia risultata generalmente soddisfacente, il rumore di fondo causato dal fragore delle acque del fiume nelle gole, più o meno forte secondo le stagioni e le precipitazioni, ha talvolta causato un parziale mascheramento dei suoni più deboli e di quelli confinati nelle frequenze più basse (in particolare il canto del maschio e quello della femmina). La particolare topografia delle gole ha inoltre prodotto l'eco in alcune sequenze sonore, ciò che ha reso più difficile la successiva fase di analisi. Un inconveniente di rilievo è stato in più occasioni lo scaricamento troppo rapido delle batterie che ha causato l'interruzione delle registrazioni in ben otto occasioni, causando la perdita di informazioni preziose in alcuni periodi dell'anno. La velocità di scaricamento delle batterie non è infatti prevedibile con precisione, in quanto dipende da un gran numero di fattori quali la temperatura, il tipo e la qualità delle batterie, il tipo di schede di memoria impiegate, la frequenza di campionamento, i tempi di latenza tra una registrazione e l'altra e altro ancora.

Analisi e interpretazione dei dati

L'analisi dei suoni con Kaleidoscope Pro ha permesso di rilevare in modo automatizzato la quasi totalità delle vocalizzazioni presenti nelle registrazioni grazie all'inserimento di parametri specifici per ognuna di esse. Obiettivo prioritario dell'analisi non era infatti soltanto quello di massimizzare il rilevamento dei suoni effettivamente ricercati (target), ma al contempo anche di minimizzare il numero dei suoni da escludere (non-target). Ciò ha comportato un grande investimento iniziale di tempo per l'individuazione dei parametri migliori da impiegare nelle analisi con Kaleidoscope Pro, attraverso test specifici per ognuna delle vocalizzazioni ricercate.

Affinché il software sia in grado d'individuare le varie vocalizzazioni è indispensabile che il segnale possa essere distinto dal rumore di fondo, ciò che non è sempre stato possibile a causa dell'acustica particolare delle

gole. Nell'interpretazione dei risultati occorre dunque tenere presente che suoni deboli, molto lontani o emessi da posizioni sfavorevoli rispetto al punto di ascolto possono essere passati inosservati, sebbene la specie possa comunque essere stata presente. Talvolta si può intuire ciò anche dall'esame della distribuzione delle vocalizzazioni, come per esempio l'apparente assenza del canto del maschio (troppo lontano dal punto di ascolto) in presenza del canto o dei versi d'incitazione della femmina (soliciting calls), che in quel momento si trovava più vicina al punto di registrazione. In alcuni casi la traccia del canto del maschio lasciata nei sonogrammi da vocalizzazioni molto lontane è però risultata ancora visivamente riconoscibile, sebbene non fosse più percettibile all'ascolto (nemmeno in cuffia dopo aver filtrato i suoni). Questi suoni estremamente deboli non sono infatti rilevabili dall'analisi di Kaleidoscope Pro, ma possono comunque venire individuati con un accurato esame visivo dei sonogrammi prodotti. Questa ulteriore possibilità rende le registrazioni sonore un mezzo particolarmente potente per l'individuazione della specie anche laddove l'orecchio umano non è più in grado di percepirne il suono.

Vocalizzazioni

Lo studio ha prodotto un numero molto elevato di sequenze sonore, che hanno permesso non solo di caratterizzare le principali emissioni vocali della specie, ma anche il loro grado di variabilità. I richiami dei giovani (o del giovane), seppure rilevati soltanto tra fine luglio e metà ottobre, hanno costituito ben i tre quarti di tutte le vocalizzazioni, mentre il quarto rimanente è rappresentato quasi interamente dal canto del maschio e dal verso specifico della femmina. L'insieme delle vocalizzazioni restanti (canto della femmina, versi di allarme, versi di accoppiamento di entrambi i sessi) sono infatti da considerare ininfluenti dal profilo quantitativo, poiché complessivamente non hanno superato lo 0.3% del totale. Percentuali analoghe sono riportate in studi recenti per quanto concerne le emissioni vocali dei soli adulti (Mollet 2019).

Il canto del maschio (400-450 Hz) ha mostrato una frequenza elevata rispetto alla media degli altri maschi di questa specie (360-430 Hz in 27 esemplari, media 384 Hz (Glutz von Blotzheim & Bauer 1980). Il canto della femmina ha per contro mostrato una certa variabilità delle emissioni vocali con modulazione delle note. Queste vocalizzazioni sono comunque rimaste costanti nell'arco di tutto l'anno sia nel maschio sia nella femmina. Come mostrato da alcuni autori (Lengange 2005), le vocalizzazioni resterebbero costanti anche nel corso degli anni, permettendo così di monitorare i singoli individui sul lungo periodo.

I versi tipici della femmina, emessi soprattutto durante il periodo nuziale e nuovamente dopo l'involo dei giovani, hanno mostrato un gran numero di sfumature sonore che meriterebbero uno studio più approfondito riguardo a variabilità e significato. Insolitamente rari sono stati i versi di allarme di entrambi i sessi, rilevati in pochissime occasioni e da troppo lontano per produrre tracce apprezzabili nei sonogrammi. Ottime sequenze sonore sono invece state ottenute durante le

fasi di accoppiamento: ciò ha permesso di mettere in evidenza le vocalizzazioni più rare tipiche del maschio e della femmina prima e durante la copula, di particolare rilievo ai fini del monitoraggio della nidificazione. I duetti caratteristici della fase nuziale (di quella che precede l'accoppiamento in particolare) si sono mostrati composti soprattutto dal canto del maschio e dal verso proprio della femmina, mentre il canto della femmina si è rivelato molto più raro. Purtroppo non è stato possibile individuare le prime vocalizzazioni dei nidiacei né seguire l'intero sviluppo del richiamo del giovane dopo l'involo fino all'abbandono del luogo natale (a causa dell'interruzione inaspettata delle registrazioni). Non è neppure stato possibile individuare un secondo tipo di richiamo, in cui la tipica vocalizzazione monotonale del giovane è sostituita (o accompagnata) da una seconda vocalizzazione simile ma bitonale, che già si avvicina al canto degli adulti. Come rilevato da Scherzinger (1974) in esemplari in cattività, questa vocalizzazione bitonale può manifestarsi a partire dalla 7. settimana di vita. Secondo (Heinroth & Heinroth 1924-1931) il tipico canto bitonale degli adulti sarebbe emesso dai giovani al più presto soltanto a partire dal quinto mese, mentre Desfayes & Géroudet (1949) menzionano un suono simile al canto dell'adulto in giovani di 129 giorni di età (circa quattro mesi e mezzo).

Monitoraggio del ciclo biologico

La possibilità di seguire le vocalizzazioni in modo continuo sull'arco di circa un anno ha permesso di monitorare con un buon grado di precisione le diverse fasi del ciclo biologico della specie, sebbene la posizione esatta del sito di nidificazione non fosse nota (né lo sia nel momento di redazione del presente articolo). Come detto, il punto di ascolto si è rivelato non idoneo per riuscire a rilevare anche le vocalizzazioni più deboli dei nidiacei nelle prime fasi di vita, così come quelle della femmina durante la cova e il successivo periodo di accudimento dei nidiacei. Per contro le varie vocalizzazioni emesse durante le fasi di accoppiamento, di cui alcune anche molto vicine al punto di ascolto, hanno documentato nel dettaglio l'intero periodo nuziale e permesso di individuare la data di deposizione dell'ultimo (o unico) uovo, alla quale ha fatto seguito la brusca interruzione dell'attività canora da parte della femmina. Ciò ha permesso di stimare, seppure con una certa approssimazione, le date relative alla cova e alla permanenza al nido dei nidiacei, rispettivamente quella dell'involo. Complessivamente la distribuzione temporale delle vocalizzazioni primaverili precedenti la deposizione è stata simile a quanto riportato da altri autori (Piechocki & März 1985; Penteriani 2002; Delgado & Penteriani 2007), con un picco da parte del maschio nella fase pre-nuziale seguita da un forte incremento delle emissioni sonore da parte della femmina, per buona parte in duetto con il maschio, durante il periodo dell'accoppiamento vero e proprio.

I tipici richiami giovanili sono però apparsi soltanto alla fine del mese di luglio, poco dopo la ripresa dell'attività canora da parte degli adulti di entrambi i sessi. I richiami si sono fatti molto intensi e numerosi a partire dall'inizio di agosto a un'età stimata di circa 100-110

giorni. Ciò corrisponde in modo sorprendente a quanto riportato da altri autori, che indicano in circa 110 giorni l'età a partire dalla quale queste vocalizzazioni si fanno più numerose e uniformemente distribuite sull'arco della notte, diventando così un utile mezzo per individuare i siti di nidificazione occupati (Penteriani & Delgado 2019). Come detto in precedenza, in base all'analisi dei richiami è però molto probabile che solo un esemplare sia sopravvissuto fino all'involo, ciò che del resto riflette il successo riproduttivo della specie in Svizzera stimato in 1-2 (media 1.32) giovani involati per coppia (Maumary et al. 2007).

Un secondo picco nelle emissioni vocali soprattutto da parte del maschio è stato registrato tra metà settembre e metà ottobre in corrispondenza alla ripresa della fase territoriale autunnale. Un'imprevista interruzione delle registrazioni a metà ottobre non ha purtroppo più permesso di seguire l'evoluzione delle vocalizzazioni fino alla fine del mese, impedendo quindi di conoscere la durata complessiva dell'attività di canto degli adulti in autunno, così come il momento della scomparsa del giovane dal luogo natale.

La totale assenza di vocalizzazioni da parte degli adulti da metà ottobre a fine novembre corrisponde probabilmente a un periodo di inattività prima della ripresa della nuova fase territoriale. Non si può tuttavia escludere che la coppia abbia temporaneamente abbandonato l'area delle gole per raggiungere altri luoghi in grado di offrire maggiori opportunità di alimentazione. L'abbandono temporaneo del territorio di nidificazione tra novembre e gennaio, da parte di una specie per altro molto fedele ai luoghi di riproduzione, è infatti già stato documentato da altri autori (März 1940).

La scomparsa del giovane dal luogo di nascita ha invece certamente avuto luogo tra la metà e la fine del mese di ottobre all'età di circa 170-180 giorni (circa 24-26 settimane). Questi risultati concordano con quanto indicato in studi recenti in Vallese e nelle regioni confinanti, che hanno investigato la fase di dispersione mediante metodi convenzionali e satellitari di radiotelemetria (Aebischer et al. 2010). Sulla base di 41 giovani presi in esame, la fase di dispersione ha preso avvio tra metà agosto e la seconda decade di novembre (mediana: 30 settembre) a un'età compresa tra 144 e 203 giorni (mediana: 161 giorni, 23 settimane). L'indagine ha mostrato che i giovani sono in grado di coprire distanze considerevoli tra il luogo natale e il primo luogo di permanenza dopo la fase di dispersione (in media 102 km, al massimo di 230 km), valicando spesso anche alte creste fino a 3'000 m di altitudine.

CONCLUSIONI

Le considerazioni che emergono dal presente studio indicano chiaramente come l'impiego di metodi bioacustici passivi possa essere di grande aiuto nel monitoraggio del ciclo biologico e del successo riproduttivo di questa e altre specie difficilmente osservabili in natura. I più moderni strumenti di registrazione automatizzata dei suoni e i nuovi programmi di analisi aprono nuove prospettive sull'impiego dei metodi bioacustici nello

studio del linguaggio e del comportamento vocale di molte specie, così come nel monitoraggio delle popolazioni con metodi affidabili e standardizzati. L'approccio bioacustico diventa addirittura indispensabile nei luoghi più impervi e inaccessibili oppure là dove, per motivi diversi, l'osservazione diretta non è in alcun modo possibile. Questo è certamente anche l'aspetto più sorprendente del presente studio: riuscire a descrivere l'intero ciclo biologico di una coppia di gufi reali, senza averli mai visti una sola volta!

RINGRAZIAMENTI

L'autore ringrazia Luca Pagano per la collaborazione nella localizzazione e nel monitoraggio della specie durante la prima fase dello studio, che ha richiesto frequenti visite sul terreno per reperire i migliori punti di ascolto e controllare i registratori. Ringrazia anche Chiara Pradella per il prezioso aiuto nella ricerca della bibliografia, Nicola Zambelli e Bärbel Koch per la rilettura critica del testo, così come Brigitte Marazzi per la revisione dell'abstract in inglese.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

Aebischer A., Nyffeler P. & Arlettaz R. 2010. Wide-rande dispersal in juvenile Eagle Owls (*Bubo bubo*) across the European Alps calls for transnational conservation programmes. Journal of Ornithology, 151: 1-9.

Cramp S. 1985. Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa. The birds of the Western Palearctic. Volume IV. Terns to Woodpeckers. Oxford, New York, Oxford University Press, 960 pp.

Del Hoyo J., Elliot A. & Sargatal J. 1999. Handbook of the birds of the world. Vol. 5. Barn-owls to Hummingbirds. Barcelona, Lynx Editions, 759 pp.

Delgado M. M. & Penteriani V. 2007. Vocal behaviour and neighbour spatial arrangement during vocal displays in eagle owls (*Bubo bubo*). Journal of Zoology, 271: 3-10.

Desfayes M. & Géroudet P. 1949. Notes sur le Grand-Duc. Nos Oiseaux, 20: 49-60.

Frey P. 1969. Beobactungen zur Brut- und Ernährungsbiologie des Uhus im Oberengadin. Unveröff. Diplomarbeit am Zool. Inst. Univ. Zürich. Typoskript, 156 pp. In: Glutz von Blotzheim U. N. & Bauer K. M. 1980. Handbuch der Vögel Mitteleuropas. Band 9: Columbiformes - Piciformes. Wiesbaden, Akademische Verlagsgesellschaft, 1148 pp.

Glutz von Blotzheim U. N. & Bauer K. M. 1980. Handbuch der Vögel Mitteleuropas. Band 9: Columbiformes - Piciformes. Wiesbaden, Akademische Verlagsgesellschaft, 1148 pp.

Görner M. 2016. Zur Oekologie des Uhus (*Bubo bubo*) in Thüringen - Eine Langzeitstudie. Acta ornithoecologica, 8(3-4): 149-320.

Heinroth O. & Heinroth M. 1924-1931. Die Vögel Mitteleuropas, Bd. 2. Berlin, Nachdruck 1967. In: Piechocki R. & März R. 1985. Der Uhu. Wittenberg Lutherstadt, Die Neue Brehm-Bücherei, 5. überarbeitete Auflage.

Jenny D. 2011. Bestandsentwicklung und Bruterfolg des Uhus *Bubo Bubo* im Engadin. Der Ornithologische Bobachter, 108(3): 233-250.

- Jenny D. & Strimer R. 2011. Brut des Uhus *Bubo bubo* mit fünf Eiern und später vier flüggen Jungvögeln im Engadin. Der Ornithologische Beobachter, 108(2): 117-121.
- Keller V., Gerber A., Schmid H., Volet B. & Zbinden N. 2010. Rote Liste Brutvögel. Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern, und schweizerisce Vogelwarte, Sempach. Umwelt-Vollzug Nr. 1019, 53 S.
- Knaus P., Antoniazza S.W., Guélat J., Kéry M., Strebel N. & Sattler T. 2018. Atlante degli uccelli nidificanti in Svizzera 2013-2016. Distribuzione ed evoluzione degli effettivi degli uccelli in Svizzera e nel Liechtenstein. Sempach, Stazione ornitologica svizzera, 64 pp.
- Lardelli R. & Zbinden N. 2017. Il Gufo reale *Bubo bubo* in Ticino: confronto fra tre censimenti (1987-1989, 2009-2011, 2013-2016). Ficedula, 51: 25-31.
- Leibundgut H. 1973. Studien über das Verhalten des Uhus in der Gefangenschaft. Zeitschrift für Jagdwissenschaft: 122-131. In: Piechocki R. & März R. 1985. Der Uhu. Wittenberg Lutherstadt, Die Neue Brehm-Bücherei, 5. überarbeitete Auflage.
- Lengange T. 2005. Stimmanalyse beim Uhu Bubo bubo eine Möglichkeit zur Individualerkennung. Ornithologischer Anzeiger, 44: 91-97.
- Magnus R. 2015. Undiscovered Owls. Poole, Dorset, UK, Undiscovered owls: A sound approach guide. The Sound Approach, Dorset, United Kingdom.
- März R. 1940. Querschnitt durch eine mehrjährige Nahrungskontrolle einiger Uhupaare. Beiträge zur Fortpflanzungsbiologie der Vögel, 16: 125-222.

- Maumary L., Vallotton L. & Knaus P. 2007. Les oiseaux de Suisse. Station ornithologique suisse, Sempach et Nos Oiseaux, Montmollin, 848 pp.
- Mebs T. & Scherzinger W. 2008. Die Eulen Europas. Biologie, Kennzeichen, Bestände. Stuttgart, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG, 398 pp.
- Mollet P. 2019. Ueber die Rufaktivität eines Uhupaares zur Balzeit. Der Ornithologische Beobachter, 116(1): 41-46.
- Mosimann-Kampe P., Haller H. & Arlettaz R. 1998. Verbreitung und Bestand des Uhus *Bubo bubo* in der Schweiz. Der Ornithologische Beobachter, 95: 143-151.
- Penteriani V. 2002. Variaton in the function of Eagle Owl vocal behaviour: territorial defence and intra-pair communication? Ethology, Ecology & Evoltion, 14: 275-281.
- Penteriani V. & Delgado M. M. 2019. The Eagle owl. London, T & AD Poyser, 384 pp.
- Penteriani V., Delgado M.M., Maggio C., Aradis A., & Sergio F. 2005. Development of chicks and predispersal behaviour of young in the Eagle Owl *Bubo bubo*. Ibis, 147: 155-168.
- Piechocki R. & März R. 1985. Der Uhu. Wittenberg Lutherstadt, Die Neue Brehm-Bücherei, 5. überarbeitete Auflage.
- Schaub M., Aebischer A., Gimenez O., Berger S. & Arlettaz R. 2010. Massive immigration balances high anthropogenic mortality in a stable eagle owl population: Lessons for conservation. Biological conservation, 143(8): 1911-1918.
- Scherzinger W. 1974. Die Jugendentwicklung des Uhus (*Bubo bubo*) mit Vergleichen zu der von Schneeule (*Nyctea scandiaca*) und Sumpfohreule (*Asio flammeus*). Bonner zoologische Beiträge, 25(1-3): 123-147.

PARTE III

Notizie

Bilancio meteorologico dell'anno 2019

Marco Gaia^{1*}, Elena Altoni¹ e Luca Panziera¹

¹ MeteoSvizzera, Centro regionale sud, 6600 Locarno Monti, Svizzera

* marco.gaia@meteosvizzera.ch

Il 2019: caldo, con tanto sole e precipitazioni attorno alla norma

Se l'anno 2018 è stato considerato come un anno eccezionale rispetto alle attuali norme climatologiche, ma che potrebbe essere il prototipo dell'anno che verrà, il 2019 è ritornato su un binario di "normalità". A conferma però che l'anno "normale" esiste solo nelle statistiche, anche il 2019 ha avuto le sue particolarità e i suoi fenomeni meteorologici "fuori norma", riferiti però - a differenza del 2018 - a periodi più brevi. Nel 2019 le precipitazioni sono state generalmente comprese a Sud delle Alpi e nei Grigioni fra il 100% e il 130%, altrove fra l'80% e poco più del 100% della norma 1981-2010. La durata complessiva del soleggiamento nel 2019 è stata compresa fra il 100% e il 120% della norma 1981-2010, con le regioni meno soleggiate situate lungo la catena principale delle Alpi. Particolarmente soleggiato è risultato l'Altopiano: a Ginevra e Basilea l'anno 2019 è stato uno dei cinque più soleggiati dall'inizio delle misure, che per questa grandezza è avvenuto più di 100 anni fa. La temperatura annuale media del 2019 è stata su scala nazionale superiore alla norma 1981-2010 di 1.1 °C. Tutte le regioni svizzere hanno fatto segnare uno scarto positivo e il 2019 è così risultato il quinto anno più caldo dall'inizio delle misurazioni nel 1864. Dieci dei dodici mesi dell'anno sono risultati più caldi della norma 1981-2010. Anche questo costante superamento dei valori normali è diventato in questi anni "normale". Per la stazione di Lugano, con 13.9 °C di media annuale, si è eguagliato il valore del 2018, al primo posto della graduatoria degli anni più caldi. Pure per Locarno si è eguagliato il primato, con 13.8 °C, fatto segnare nel 2018 e nel 2015.

Inverno 2018/2019: caldo e favonico al sud delle alpi

L'inverno 2018/2019 è stato nelle zone a bassa quota del versante sudalpino il secondo più caldo dall'inizio delle misurazioni nel 1864. La temperatura media è stata fra dicembre e febbraio di 2 °C superiore al valore normale 1981-2010. In particolare i mesi di gennaio e febbraio sono stati molto miti: a Lugano si è registrato,

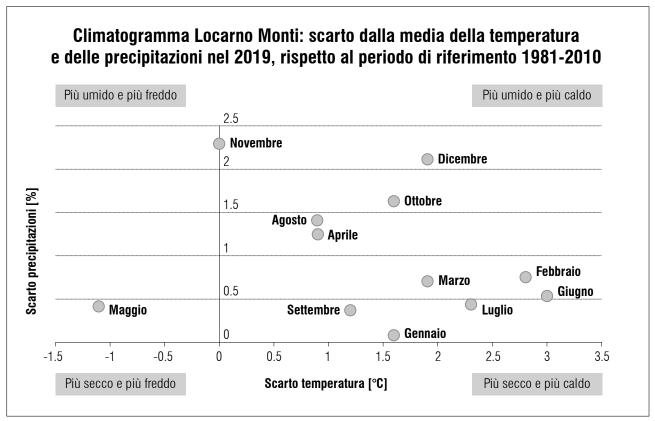


Figura 1: Climatogramma di Locarno-Monti per il 2019, con la posizione di ogni mese dell'anno in base allo scarto della temperatura e delle precipitazioni rispetto alla norma (media del periodo 1981-2010). Solo novembre è stato nella norma, maggio è stato più freddo della norma, tutti gli altri mesi sono stati più caldi.

con quasi 2 °C sopra la norma, il quarto mese di gennaio più mite della serie di misura; mentre a Locarno-Monti, con quasi 3 °C sopra la norma, il terzo mese di febbraio più mite.

Il riscaldamento invernale dell'inverno 2018/2019 è da ricondurre, fra l'altro, a frequenti situazioni favoniche, con vento da nord fino a basse quote. Ad esempio nel mese di gennaio 2019 a Lugano sono state registrate 186 ore con favonio (nuovo primato), mentre il valore mediano del periodo 1993-2014 per tale mese è poco inferiore a 50. È interessante sottolineare come per questa stazione anche il mese statisticamente più favonico, cioè marzo, presenti un valore mediano di circa 90 ore. Le ore di favonio nell'Alto Ticino sono state addirittura di più, 243 a Piotta e 283 ad Acquarossa-Comprovasco. Queste situazioni hanno avuto un impatto anche sulle precipitazioni, che sono risultate molto scarse. In alcune regione del versante sudalpino si è registrato durante l'inverno solo il 30-40% delle precipitazioni normali.

Un ultimo colpo di coda dell'inverno in montagna

Tra il 3 e il 4 aprile forti correnti da sud hanno sospinto masse d'aria molto umide verso il versante sudalpino, dove si sono verificate precipitazioni abbondanti. A seguito dell'intensità delle precipitazioni il limite delle nevicate si è spinto temporaneamente fino a basse quote tra la Valle Maggia e le Centovalli, interessando a tratti anche le zone di fondovalle. Al di sopra dei 1600 metri circa sono caduti più di 100 cm di neve, con punte fin verso 150 cm tra l'Alta Valle Maggia, la Val Bedretto

e la Leventina. Il giorno 3 aprile a Bosco-Gurin (1486 m) sono stati misurati 78 cm di neve fresca caduti in 24 ore, il secondo valore più elevato per il mese di aprile per questa località, la cui serie storica è iniziata nel 1961. Il totale sulle due giornate del 3 e 4 aprile è stato invece di 115 cm, il terzo valore più elevato per il mese di aprile

Intensi temporali a inizio estate

Diverse linee temporalesche hanno attraversato il Ticino fra il 9 e il 12 giugno, portando precipitazioni di rilievo. Merita una citazione il passaggio temporalesco avvenuto nella notte tra il 9 e il 10 giugno con estesi temporali tra la media Valle Maggia, l'alta Verzasca, la media Leventina e l'alta Valle di Blenio, dove sono caduti 70-100 mm di pioggia in circa 6 ore. Le intense precipitazioni, cadute fino ad alta quota sotto forma liquida (il limite delle nevicate era attorno a 3400 metri) e accompagnate dall'acqua di fusione della neve ancora ben presente in montagna, hanno causato piene importanti nei fiumi, come ad esempio la Maggia che ha toccato i 1650 metri cubi al secondo.

Un'estate con due ondate di caldo

L'estate 2019 è risultata essere in Svizzera la terza estate più calda dal 1864, con uno scarto positivo di 2.3 °C rispetto alla norma 1981-2010. Due sono state le ondate di caldo: una nell'ultima decade di giugno e una nell'ultima decade di luglio. L'apice della prima ondata di caldo è stato raggiunto il 26 e 27 giugno, quando in pianura le temperature medie giornaliere sono salite al di sopra dei valori tipici per la stagione di circa 7-9 °C

Tabella 1: Specchietto riassuntivo dei valori mensili dei principali elementi meteorologici rilevati a Locarno Monti nel 2019, 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 2019 con quelli degli anni prima del 2013, va considerato dunque il cambiamento della norma di riferimento.

	Dati climatologici per il 2019 a Locarno Monti																							
Mese			Temp	eratura			Umi	dità re	lativa		Precipi	tazioni		Numeri di giorni con								Sole		
	di °C	a °C	ပ						,		dalla	mm		oni	*	۲	⊲	Ш	· <u>=</u>	<u>=</u>	"ii		sibile	29
	Media gradi	Differenza dalla norma	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	Nebbia	Giorni chiari	Giorni oscuri	Nuvolosità in	Totale ore	% del possibile	Differenza dalla norma
1	5.0	1.6	17.2	6	-2.4	23	48	9	25	5	7%	2	27	5	0	0	0	0	12	4	39	167	74	124
II	7.5	2.8	21.4	22	-0.4	1	52	9	12	44	74%	36	1	3	6	0	0	1	15	5	31	196.8	80	132
III	10.7	1.9	22.6	16	2.3	12	45	8	26	67	70%	24	7	5	0	0	0	1	12	2	33	264.1	79	135
IV	12.7	0.9	24.3	21	4.2	4	60	18	30	230	124%	69	3	10	0	1	1	3	0	11	69	162.1	44	88
V	14.7	-1.1	25.3	21	5.8	7	59	16	14	90	41%	17	8	10	0	2	0	3	4	10	60	225.7	55	117
VI	22.4	3.0	34.9	28	14.0	13	63	23	16	105	53%	31	9	12	0	6	0	0	7	6	44	271.9	67	119
VII	24.2	2.3	35.5	25	13.6	15	61	18	13	78	44%	36	14	8	0	4	0	0	6	2	43	277.6	67	107
VIII	22.1	0.9	31.0	1	15.1	13	70	28	14	294	140%	103	12	14	0	8	0	0	5	8	55	226.4	58	93
IX	18.4	1.2	28.3	1	10.3	6	70	30	9	88	37%	65	5	9	0	1	0	0	4	7	56	194.4	56	100
X	14.2	1.6	24.0	2	8.1	10	78	18	3	308	162%	105	20	13	0	1	0	7	8	10	57	150.1	51	99
XI	7.4	0.0	15.9	4	0.9	15	84	17	13	370	228%	53	23	19	0	0	0	10	2	15	74	59.3	26	50
XII	6.00	1.9	15.9	25	-0.3	13	72	11	10	189	210%	63	20	9	1	0	0	5	8	7	48	121.8	58	103
Anno	13.8	1.4	35.5	25-VII	-2.4	23-I	63	8	26-III	1868	98%	105	20-X	117	7	23	1	30	83	87	51	2317	60	106

in pianura e fino a 12-14 °C in montagna. Per esempio, il 27 giugno a Cimetta sono stati raggiunti 29.7 °C, il valore più elevato dall'inizio delle misure avvenuto nel 1982, e a Piotta 35.4 °C, il valore più elevato dal 1979. Con una media delle temperature massime di 32.6 °C, inoltre, per Locarno-Monti si è trattato del sesto periodo di 7 giorni più caldo dall'inizio delle misurazioni avvenuto nel 1935. Anche durante la seconda ondata di caldo si sono superati in numerose stazioni di misura i 35 °C. Per il Sud delle Alpi particolarmente calde sono risultate essere le notti: complice la presenza di foschia e nuvolosità, per molte stazioni sono state tra le 5 più calde mai misurate. Esse hanno fatto segnare nuovi primati per Lugano e Locarno Monti con, rispettivamente, 25.0 °C e 25.2 °C di temperatura minima. Superando in questo modo di alcuni gradi il primato precedente stabilito... poche settimane prima. Infatti già la notte del 28 giugno 2020 era stata particolarmente calda con 24.7 °C a Lugano e 24.3 °C a Locarno.

Ripetute precipitazioni autunnali al Sud delle Alpi

Alla fine di luglio 2019 i quantitativi di precipitazioni erano largamente deficitari sul versante sudalpino. Ma un mese di agosto abbastanza umido e – soprattutto – l'ultimo trimestre dell'anno hanno riportato gli accumuli attorno ai valori normali. La somma complessiva sui tre mesi autunnali ha portato precipitazioni che sul versante sudalpino sono state circa il 150% dei valori normali.

Una prima perturbazione è transitata il 15 ottobre: le precipitazioni sono state abbondanti ma non eccezionali: il valore più elevato è stato misurato dal pluviometro di Mosogno, con 117.9 mm caduti in 24 ore, seguito da Robiei con 103.2 mm. Nel resto del Ticino sono caduti da 70 a 90 mm di pioggia. Il passaggio del fronte freddo ha provocato raffiche di vento che sono risultate particolarmente forti nel Locarnese. L'intensità della raffica più forte misurata in 1 secondo a Locarno Monti è stata di 96.8 km/h, il sesto valore più elevato della statistica, con un periodo di ritorno di 8-15 anni.

Una seconda fase perturbata si è verificata poco dopo metà del mese di ottobre con accumuli che localmente hanno superato in 4 giorni i 400 mm. I 368.9 mm misurati tra il 19 e il 21 ottobre a Robiei costituiscono la somma di precipitazione su 3 giorni più elevata dall'inizio delle misure avvenuto nel 1991. Durante quasi tutto l'evento la neve è caduta solamente al di sopra dei 2800-3000 metri e, di conseguenza, i fiumi si sono ingrossati in modo considerevole. Tra il 21 e il 22 ottobre, ad esempio, la Maggia ha sfiorato i 1200 metri cubi al secondo e il Lago Maggiore è salito in tre giorni di quasi due metri, sfiorando i 195 m s.l.m. tra il 22 e il 23 ottobre (dati dell'Ufficio federale dell'ambiente).

Novembre grigio con nevicate abbondanti

In novembre una lunga serie di perturbazioni atlantiche ha convogliato ripetutamente verso il pendio sudalpino aria umida e a tratti mite. Le precipitazioni sono state abbondanti su tutto il Ticino, dove è piovuto da 2 a 3 volte rispetto alla media 1981-2010 e localmente anche di più. In quota i quantitativi di neve sono risultati eccezionali. Ad esempio a Bosco Gurin dove con 248 cm è stato registrato il nuovo record per quanto riguarda la somma della neve fresca giornaliera per il mese di novembre dal 1961. A causa della frequente presenza di nuvolosità, su gran parte del versante sudalpino la durata del soleggiamento è stata inferiore al 50% della norma e per la stazione di Locarno-Monti si è trattato del secondo mese di novembre, il quarto in assoluto, meno soleggiato dall'inizio delle misure nel 1959.

* * *

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 2019 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.

Conferma della presenza in Svizzera di *Neagolius schlumbergeri consobrinus* (Daniel, 1900) (Coleoptera, Scarabaeidae, Aphodiinae)

Stefano Ziani¹ e Ettore Bariffi²

¹ GeoL@b APS, Via Laderchi, 3, 48018 Faenza (RA), Italia ² Via Cantonale, 3, 6959 Piandera, Svizzera

bariffi.ettore@gmail.com

Riassunto: Il coleottero Aphodiinae *Neagolius schlumbergeri consobrimus è confermato per il territorio svizzero* in seguito al ritrovamento di alcuni esemplari in due cantoni della Svizzera, precisamente il Cantone dei Grigioni e il Cantone Ticino. L'Austria e la sotto regione italiana dell'Alto Adige sono, per contro, escluse dalla geonemia conosciuta della specie.

Parole chiave: scarabeidi, aphodiini, faunistica, Cantone dei Grigioni, Cantone Ticino

Confirmation of the presence of *Neagolius schlumbergeri consobrinus* (Daniel, 1900) (Coleoptera, Scarabaeidae, Aphodiinae) in Switzerland

Abstract: The beetle Aphodiinae *Neagolius schlumbergeri consobrinus* is confirmed to be present in Switzerland based on the sampling of some specimens in two Swiss cantons, namely the Canton of Grisons and the Canton of Ticino. On the other hand, Austria and the Italian subregion of South Tyrol are so far excluded from the known geonemy of the species.

Keywords: scarabeids, aphodians, faunistic, Canton of Grisons, Canton of Ticino

INTRODUZIONE

Neagolius schlumbergeri è una specie politipica diffusa nell'Europa sud-occidentale. Secondo la corrente letteratura (Dellacasa et al. 2016) è suddivisa in quattro sottospecie: N. schlumbergeri schlumbergeri (Seidlitz, 1888), dei Pirenei centrali francesi, Pirenei spagnoli ed Andorra, N. s. temperei (Hoffmann, 1938), del Massiccio Centrale, Pirenei orientali francesi e Cantabria, N. s. consobrinus (Daniel, 1900), delle Alpi e Prealpi Bergamasche, Prealpi Venete, Alpi Apuane e dell'Austria (ma per quest'ultima nazione vedi la sezione "Discussione", sotto), e infine N. s. samniticus (Daniel, 1902), degli Appennini italiani centro-meridionali. Nessuna sottospecie è nota con certezza della Svizzera, e non ci sono segnalazioni a riguardo né in Allenspach (1970) né in Dellacasa et al. (2016).

Cosanday et al. (2017) riportano i dati di un esemplare di *Neagolius schlumbergeri s.l.*, etichettato semplicemente "Wallis" (Canton Vallese) e conservato presso il Museo di storia naturale di Neuchâtel, aggiungendo che il cartellino di località risulta essere troppo incompleto per qualsiasi considerazione di natura faunistica, e che la presenza di *N. schlumbergeri*, e in particolare della sottospecie *consobrinus* (Daniel, 1900) in Svizzera, pur se ipotizzabile, è ancora ampiamente da confermare.

Tale conferma è arrivata con il ritrovamento qui riportato di alcuni esemplari di *Neagolius schlumbergeri consobrinus*, raccolti in due cantoni svizzeri: Cantone Ticino e Cantone dei Grigioni.

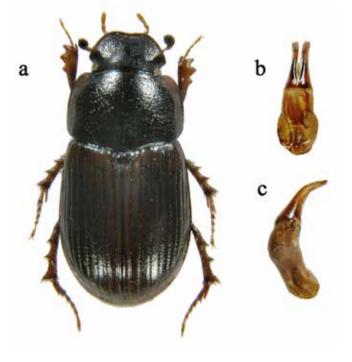


Figura 1: Neagolius schlumbergeri consobrinus (Daniel, 1900) [CH-Cantone Ticino, passo del Lucomagno]. a) habitus (5.5 mm). b) edeago (1.3 mm), visione dorsale. c) edeago, visione laterale (foto: G. Fiumi).

La sistematica dei taxa trattati e la loro nomenclatura seguono Dellacasa et al. (2016). Tutti gli esemplari citati sono conservati nelle collezioni degli autori.



Figura 2:
Piano dei Canali Passo del Lucomagno
(Cantone Ticino),
giugno 2014,
una delle due località
svizzere di rinvenimento
di Neagolius schlumbergeri
consobrinus (Daniel,
1900) (foto: E. Bariffi).

RISULTATI E DISCUSSIONE

Neagolius schlumbergeri ssp. consobrinus (Daniel, 1900) Materiale esaminato. Svizzera: Cantone Ticino, Passo del Lucomagno, prateria alpina Piano dei Canali, 46°33'46.08"N 8°48'02.88"E, 2131 m, 6.6.2014, E. Bariffi leg. 5 &&; Cantone dei Grigioni, Passo San Bernardino, 46°29'45.24"N 9°10'14.16"E, 2066 m, 6.2015, E. Bariffi leg. 6 &&. Una immagine della specie è riportata in figura 1.

Distribuzione. Italia: Alpi Bergamasche, Prealpi Lombarde e Prealpi Venete, Alpi Apuane (Mariani 1980). Confermata qui per la Svizzera.

Osservazioni ecologiche. Gli esemplari svizzeri di Neagolius schlumbergeri consobrinus sono stati raccolti sotto sassi oppure mentre vagavano su macchie di neve, come di solito accade con quasi tutte le specie appartenenti al genere Neagolius. A Piano dei Canali (Fig. 2), presso il Passo del Lucomagno, erano sintopici con un'altra specie di Aphodiinae, Agolius abdominalis abdominalis (Bonelli, 1812).

Fino a prova contraria, Austria e Alto Adige devono essere cancellate dalla distribuzione controllata di Neagolius schlumbergeri consobrinus. «Teriolis meridionalis» (Sud Tirolo), la località tipica del taxon (Daniel 1900), è attualmente inteso come Alto Adige ma ai tempi della descrizione originale comprendeva anche, a sud, parte della Lombardia, del Veneto e del Trentino. Questo è implicitamente confermato da Daniel (1902) che nel ridescrivere consobrinus dapprima afferma: "Patria: Teriolis meridionalis", poi segnala il taxon del "Südtirol, bisher nur in den lessinischen Alpen (Col Santo, Cima Posta) [...] und in den südlichen Dolomiten (Rolle-Pass) aufgefunden" (Sud Tirolo, fino ad ora raccolto solo nelle Alpi Lessine (Col Santo, Cima Posta) [...] e nelle Dolomiti meridionali (Passo Rolle)). Tutte e tre queste località si trovano nella provincia di Trento, nella sotto regione del Trentino.

Tutte le successive segnalazioni per il Tirolo (Austria) e

per il Sud Tirolo (attualmente inteso come Alto Adige, Italia), sono probabilmente dovute ad una incompleta trascrizione e/o ad una errata interpretazione della località tipica.

La sottospecie è qui confermata per la Svizzera.

RINGRAZIAMENTI

Grazie mille a Giulio Cuccodoro e Guido Sabatinelli (Muséum d'Histoire Naturelle, Genève, Svizzera) per i loro consigli sulla pubblicazione di questa nota, a Marco Dellacasa (Museo di Storia Naturale, Università di Pisa, Calci, Italia) che ha letto e corretto la prima bozza del lavoro, e a Gabriele Fiumi (Forlì) autore delle foto dell'habitus e dell'edeago.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

Allenspach V. 1970. Insecta Helvetica. Catalogus. 2. Coleoptera Scarabaeidae, Lucanidae. Imprimerie La Concorde, Lausanne, 186 pp.

Cosandey V., Chittaro Y. & Sanchez A. 2017. Liste commentée des Scarabaeoidea (Coleoptera) de Suisse. Alpine Entomology 1: 57-90.

Daniel J. 1902. Das *Aphodius*-Subgenus *Agolius* Muls. Münchner koleopterologische Zeitschrift 1: 73-95.

Daniel K. 1900. Vorläufige Diagnosen. Societas Entomologica 18: 139-140.

Dellacasa M., Dellacasa G., Kral D. & Bezděk A. 2016. Family Scarabaeidae, subfamily Aphodiinae, tribe Aphodiini. In:
Löbl I, Löbl D (Eds) Catalogue of Palaearctic Coleoptera.
Volume 3. Scarabaeoidea – Scirtoidea – Dascilloidea – Buprestoidea – Byrrhoidea. Revised and updated edition. Brill, Leiden-Boston, 98-155.

Mariani G. 1980. Gli Aphodius italiani del sottogenere Agolius Muls. (Coleoptera Aphodiidae). Memorie della Società entomologica italiana 58 [1979]: 41-94.

Note floristiche ticinesi 2020: ritrovamento di tre neofite nuove per la Svizzera e di due nuove per il Cantone Ticino

Sofia Mangili¹, Nicola Schoenenberger², Paolo Selldorf³, Ivan Sasu⁴, Candida Haritz⁴, Antonella Borsari⁵, Brigitte Marazzi⁶ e David Frey⁷

Museo cantonale di storia naturale, Viale C. Cattaneo 4, 6900 Lugano, Svizzera
 INNOVABRIDGE Foundation, Contrada al Lago 19, 6987 Caslano, Svizzera
 Via Campagna 19, 6926 Montagnola, Svizzera
 Consultati SA, via Bicentenario 3, 6807 Taverne, Svizzera
 Via Simen 45A, 6648 Minusio, Svizzera

 6 Info Flora c/o Museo cantonale di storia naturale, Viale C. Cattaneo 4, 6900 Lugano, Svizzera 7 Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio WSL, Zürcherstr. 111, 8903 Birmensdorf, Svizzera

sofia.mangili@ti.ch

Riassunto: Sono presentate cinque specie vegetali esotiche (neofite) che crescono spontaneamente in natura, rilevate tra il 2015 e il 2019 in ambienti antropici e naturali di bassa altitudine del Cantone Ticino. I taxa Salpichroa origanifolia (Solanaceae), Salvinia molesta (Salviniaceae) e Soliva sessilis (Asteraceae) sono stati osservati per la prima volta in Svizzera, mentre Celastrus orbiculatus (Celastraceae) e Veronica cymbalaria (Plantaginaceae) sono nuovi per il Cantone Ticino. Per ognuno sono discussi le possibili vie d'introduzione, il grado di naturalizzazione e il potenziale invasivo. Celastrus orbiculatus e Salvinia molesta mostrano un potenziale invasivo elevato, per questo motivo si è provveduto a rimuovere gli individui presenti nell'ambiente. Per entrambe sarebbe auspicabile adottare delle misure preventive per evitare future introduzioni. Salpichroa origanifolia ha un potenziale invasivo incerto per il Cantone Ticino, a causa della carenza di dati. Il potenziale invasivo per Soliva sessilis è da considerare moderato. La diffusione nella regione di entrambe dovrebbe essere osservata con particolare attenzione. Veronica cymbalaria non è invece considerata dannosa.

Parole chiave: neofite, neofite avventizie, neofite naturalizzate, neofite invasive, rilevamento precoce, Salvinia adnata Desv

Floristic notes from the Canton Ticino 2020: three alien plant species new to Switzerland and two to Canton Ticino

Abstract: This study presents five spontaneously growing alien plant species (neophytes) discovered in 2015-2019 in low-altitude anthropogenic and natural habitats of Canton Ticino, Switzerland. Three taxa (Salpichroa origanifolia, Solanaceae; Salvinia molesta, Salviniaceae; and Soliva sessilis, Asteraceae) are new to Switzerland. Two taxa (Celastrus orbiculatus, Celastraceae, and Veronica cymbalaria, Plantaginaceae) are new to the Canton Ticino. The introduction mode, naturalisation status and invasion potential are discussed for each species. Celastrus orbiculatus and Salvinia molesta have a high invasion potential and, therefore, discovered individuals were already removed. Preventive measures are recommended for both species to avoid future introductions. Salpichroa origanifolia has an unclear invasive potential due to data deficiency. Invasion potential was evaluated to be moderate for Soliva sessilis. Both species should be monitored. Veronica cymbalaria is not expected to cause damages.

Keywords: adventive species, early detection, invasive species, naturalisation, neophytes, Salvinia adnata Desv

INTRODUZIONE

Il riconoscimento tempestivo di specie potenzialmente dannose permette la rapida implementazione di misure adeguate da parte degli enti preposti, con conseguente riduzione dei futuri potenziali impatti socioeconomici ed ecologici e dei costi a essi associati (rilevamento precoce; Schoenenberger 2015). Lo scopo di queste note floristiche è di aggiornare le conoscenze concernenti la composizione della flora vascolare esotica spontaneizzata del Cantone Ticino, presentando cinque specie nuove per la regione (Celastrus orbiculatus, Salpichroa origanifolia, Salvinia molesta, Soliva sessilis e Veronica

cymbalaria), e di fornire una prima valutazione del loro potenziale invasivo. Per ogni specie presentiamo una descrizione morfologica e del luogo di ritrovamento e discutiamo le possibili vie d'introduzione, il grado di naturalizzazione e il potenziale invasivo. Queste note floristiche fanno seguito a una serie di articoli aventi lo stesso obiettivo e pubblicati negli scorsi anni (Schoenenberger et al. 2011; Frey et al. 2015; Mangili et al. 2016, 2018).

MATERIALI E METODI

I ritrovamenti sono avvenuti casualmente grazie all'abitudine degli autori di osservare la flora con attenzione. I taxa sono stati identificati consultando le opere di riferimento per la Svizzera (Eggenberg et al. 2018; Lauber et al. 2018) e le flore dei paesi d'origine (eFloras 2008; Pignatti 2018). La nomenclatura e i sinonimi seguono, in ordine d'importanza, la Check List 2017 (Juillerat et al. 2017) e World Flora Online (WFO 2020). Le dimensioni delle popolazioni sono state stimate utilizzando i codici di abbondanza dell'applicazione FlorApp v. 1.4 (unità di conteggio = individui; Info Flora, 2016-2017). Per ogni nuova neofita sono stati raccolti, essiccati e depositati dei campioni nell'erbario del Museo cantonale di storia naturale a Lugano (codice Index Herbariorum: LUG). Per ogni taxon sono elencate le seguenti informazioni: genere, specie, famiglia, nome comune italiano, sinonimi, comune e toponimo, data del ritrovamento, numero di individui (ind.) e/o copertura in percentuale della superficie totale valutata (indicata tra parentesi), coordinate svizzere della stazione, altitudine e numero dei campioni depositati in erbario. Seguono una breve descrizione botanica della specie, la distribuzione geografica (areale d'origine e d'introduzione) e l'ecologia. Sono inoltre discusse le possibili vie d'introduzione, il grado di naturalizzazione (secondo i criteri di Schoenenberger et al. 2014) e il potenziale invasivo nel Cantone Ticino (nullo, moderato, elevato o incerto), in base alla letteratura scientifica e le osservazioni sul campo. La definizione di specie esotiche invasive segue BAFU (2016) e implica un impatto sulla diversità biologica, i servizi ecosistemici, l'economia e/o sulla salute umana.

I dati floristici per il territorio svizzero riguardanti le cinque specie trattate in quest'articolo sono stati richiesti alla banca dati di Info Flora (2019). Per accertare la diffusione di *S. molesta* nel Mendrisiotto, nel settembre del 2018 sono stati visitati tutti gli 87 stagni su suolo pubblico conosciuti nella regione. Inoltre, per illustrare i caratteri morfologici diagnostici di *S. molesta* sono state eseguite delle microfotografie con il microscopio digitale Olympus SZX12 presso il Museo cantonale di storia naturale a Lugano.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Sono presentate le osservazioni di cinque specie vegetali esotiche che crescono spontaneamente, rilevate tra il 2015 e il 2019 in ambienti antropici e naturali di bassa altitudine nel Cantone Ticino. Salpichroa origanifolia (Solanaceae), Salvinia molesta (Salviniaceae) e Soliva sessilis (Asteraceae) sono neofite nuove per la Svizzera, mentre Celastrus orbiculatus (Celastraceae) e Veronica cymbalaria (Plantaginaceae), già rilevate in altre località elvetiche, sono state osservate per la prima volta nel Cantone Ticino.

Celastrus orbiculatus Thunb., Celastraceae, celastro

Celastrus articulatus Thunberg, C. jeholensis Nakai, C. oblongifolius Hayata, C. tartarinowii Ruprecht.

Orselina, presso un giardino privato; 6.2015; 1-5 ind.; E 2'704'555, N 1'114'927 ± 200 m; 468 m; LUG 20113-15. Croglio, in un bosco alluvionale lungo il fiume Tresa; 3.8.2017; 1 ind.; E 2'708'585, N 1'093'278; 266 m (Fig. 1a e 1b).

Celastrus orbiculatus è una liana decidua vigorosa, con fusti lunghi oltre 40 m (Ma & Levine 2016). Le foglie sono alterne, lunghe fino a 13 cm e a forma molto variabile, da oblunga a rotonda. Le pagine fogliari sono concolori, la superiore è glabra e lucida (Huxley et al. 1992). Si distingue da altre specie coltivate del genere Celastrus per la forma e le dimensioni delle infiorescenze e dei frutti (Huxley et al. 1992; Leicht-Young et al. 2007). Le inflorescenze sono cime lunghe 1-2(-3) cm e collocate nelle ascelle fogliari. I frutti sono capsule lucide, con diametro di (5)8-10 mm, gialle a maturazione (Fig. 1b). Le capsule hanno tre loculi, ciascuno contenente uno o due semi racchiusi in un arillo rosso e carnoso. A maturazione, i frutti si aprono rivelando gli arilli, che, grazie alla loro colorazione, attraggono gli uccelli fruttivori (Hou 1955). Questa specie fiorisce tra maggio e giugno e la maggior parte degli individui è dioica (Huxley et al. 1992).

Originario dell'Asia orientale, è una delle specie di Celastrus più diffuse in Cina, dove cresce in foreste miste, margini di boschi e cespuglieti su pendii erbosi tra i 400 e i 2'200 m (Zhang & Funston 2008). È stato introdotto nella seconda metà del 19esimo secolo in Europa e negli Stati Uniti (Del Tredici 2014). Coltivata come pianta rampicante ornamentale e resistente al gelo (tollera temperature inferiori a -20°C), ha valore decorativo per il colore degli arilli e delle foglie in autunno (Huxley et al. 1992; Cullen et al. 2011). Per assicurare la fruttificazione sono coltivate anche varietà ermafrodite (Huxley et al. 1992). Secondo Beringen et al. (2017) in Europa è coltivato raramente. Non l'abbiamo trovato in vendita nei cataloghi dei maggiori vivaisti della Svizzera, ma è disponibile da rivenditori online. Negli Stati Uniti è stato impiegato lungo le autostrade per combattere l'erosione del suolo (Steward et al. 2003). Si naturalizza mediante il deposito di materiale vegetale di scarto oppure per dispersione dei semi da parte degli uccelli (Beringen et al. 2017).

Celastrus orbiculatus è naturalizzato in Nuova Zelanda (Williams & Timmins 2003) e nelle regioni occidentali del Nord America, dov'è ampiamente diffuso e colonizza ambienti antropici e/o perturbati, come boschi nei primi stadi della successione, terreni abbandonati e margini stradali (Steward et al. 2003). In Europa è presente puntualmente in zone periurbane e cresce soprattutto in piccole popolazioni isolate o come singoli individui (Beringen et al. 2017). In Italia non sono conosciute stazioni nelle quali la specie cresce spontaneamente (Galasso et al. 2018). A livello svizzero sono note solo quattro stazioni (Info Flora 2019; escluse le località presentate in questo articolo); due di esse riguardano piante coltivate, le altre due individui spontaneizzati osservati in zone periurbane. Nel Cantone

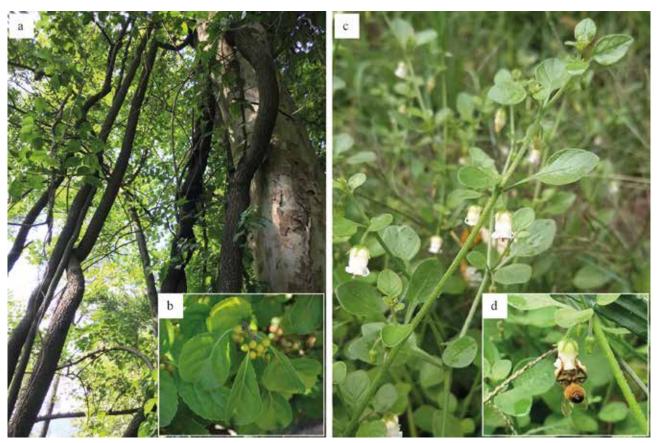


Figura 1: a) L'esemplare di *Celastrus orbiculatus* trovato nella foresta alluvionale del fiume Tresa. b) Diversamente da *Euonymus*, un genere indigeno della Svizzera appartenente alla famiglia delle Celastraceae, le specie del genere *Celastrus* hanno foglie alterne. c) *Salpichroa origanifolia* a Minusio. d) *Salpichroa origanifolia* in fiore e visitata da un'ape domestica.

Ticino, la specie è stata trovata in due località: nel comune di Orselina, nel 2015, alcuni individui sono stati rinvenuti nei pressi di giardini privati e, nel 2017, è stato trovato un individuo vigoroso che cresceva su un platano nel bosco alluvionale del fiume Tresa (Fig. 1a). La presenza nell'ambiente della specie può essere considerata casuale in Svizzera.

Celastrus orbiculatus è una specie altamente competitiva: grazie alla sua crescita veloce riesce ad ombreggiare la vegetazione autoctona, cambiandone la composizione floristica (Beringen et al. 2017). È inoltre in grado di produrre polloni radicali; questa caratteristica gli permette di avere un'importante crescita e propagazione vegetativa (Del Tredici 2014; Beringen et al. 2017). Questa specie è considerata invasiva o potenzialmente invasiva in diverse nazioni a causa del suo impatto negativo sulla biodiversità, del potenziale di dispersione elevato e della capacità di colonizzare ambienti pregiati, come le foreste alluvionali (Beringen et al. 2017; CABI 2019). A causa dell'elevato potenziale invasivo, l'individuo lungo il fiume Tresa è stato rimosso su mandato dell'Ufficio della natura e del paesaggio a titolo precauzionale. È auspicabile l'eradicazione di qualsiasi futuro individuo spontaneizzato e la rinuncia della vendita in Svizzera.

Salpichroa origanifolia (Lam.) Baill., Solanaceae, salpicroa

Atropa origanifolia (Lam.) Desf., A. rhomboidea Gillies & Hook., Jaborosa montevidensis Casar., Perizoma rhomboidea (Gillies & Hook.) Small, Physalis origanifolia Lam., Salpichroa rhomboidea (Gillies & Hook.) Miers.

Minusio, pendio erboso tra la strada cantonale e il lago, lungo un sentiero pedonale; 28.8.2019; >250 ind., 50% (100 m²); E 2'707'977, N 1'115'161 \pm 10 m; 193.4 m; LUG 20470-73 (Fig. 1c e 1d).

Salpichroa origanifolia è una pianta perenne legnosa alla base (camefita fruticosa), con fusti prostrati-ascendenti o rampicanti, lunghi fino a 3 m. Nella forma rampicante sarmentosa per crescere si appoggia su altre piante o supporti (Parsons & Cuthbertson 2001). Le foglie sono ovali-spatolate con picciolo lungo 5-12 mm e lamina 1-2 cm. I fiori sono isolati e penduli, con corolla campanulata bianca larga 4 mm e lunga 7-9 mm. Il frutto è una bacca ovoide-allungata, dapprima verde e poi bruna (Pignatti 2018). Fiorisce da luglio a settembre e i fiori sono visitati da api (Fig. 1d). Trattandosi di una specie auto-incompatibile, gli impollinatori sono indispensabili per la riproduzione sessuale (Galetto 1999; Landolt et al. 2010). La specie, nel suo areale d'introduzione, si disperde grazie agli animali (in particolare uccelli, roditori e formiche; Parsons & Cuthbertson 2001), per endocoria. Cresce in ambienti ruderali, spesso antropici, come bordi stradali, muri, siepi, alvei fluviali e incolti, prediligendo la mezz'ombra (Viegi et al. 2003; Landolt et al. 2010; Pignatti 2018). È in grado di sopportare lunghi periodi di siccità ma le parti aeree della pianta muoiono con il gelo (Parsons & Cuthbertson 2001).

Originaria delle zone temperate dell'America del Sud, questa specie è presente in Africa, America del Nord, Australia ed Europa (Weber 2017). È segnalata in Croazia, Francia (dov'è naturalizzata già dalla prima metà del 20esimo secolo; De Cugnac 1931), Gran Bretagna, Irlanda, Italia, Portogallo e Spagna (CABI 2019); la presenza in queste nazioni suggerisce una distribuzione mediterraneo-atlantica. In Italia è presente in numerose regioni, tra le quali il Piemonte, con osservazioni per il Lago Maggiore (Pignatti 2018). La prima stazione svizzera di S. origanifolia è stata osservata a Minusio, dove cresce, accompagnata da Sporobolus indicus (L.) R. Br. (neofita in espansione nel Cantone Ticino), su un pendio erboso tra la strada cantonale e il Lago Maggiore, lungo un sentiero pedonale. Copre una superficie di ca. 100 m² e costituisce quasi il 50% della vegetazione totale osservata.

La via d'introduzione non è nota. La specie è coltivata per le sue proprietà ornamentali e mellifere, ma è introdotta in natura anche accidentalmente come contaminante (rizoma o seme) di materiale vivaistico o del suolo (Symon 1981; Brandes 2018). Data l'estensione della popolazione di Minusio si può ipotizzare che *S. origanifolia* sia presente già da alcuni anni e sia in grado di mantenersi localmente ma, trattandosi dell'unica popolazione nota, è valutata come avventizia nel Cantone Ticino.

Salpichroa origanifolia è considerata invasiva in alcune regioni dell'Australia meridionale (Parsons & Cuthbertson 2001) e potenzialmente invasiva in California (Cal-IPC 2016) e nelle Canarie (Spagna, dove ne è stata vietata l'introduzione deliberata nell'ambiente; EPPO 2014). In Italia le è assegnato lo status d'invasiva, inteso come neofita in grado di diffondersi senza l'intervento umano anche lontano dai siti d'introduzione originari grazie all'abbondante produzione di semi (Lazzeri 2013-2014; Galasso et al. 2018). Galetto (1999) riporta tuttavia un successo riproduttivo da basso a moderato. Parsons & Cuthbertson (2001) la considerano problematica soprattutto nelle aree urbane e riportano che, una volta insediata, può soffocare il resto della vegetazione presente. È una specie difficile da eradicare a causa del suo apparato radicale esteso (Symon 1981) e all'elevata capacità rigenerativa dei rizomi (Abdessatar 2009). Nelle principali banche dati delle specie esotiche invasive (EPPO, GISD e CABI) non sono riportati impatti (accertati o potenziali) sull'ambiente, sulla salute e/o sull'economia e in letteratura sono disponibili solo poche informazioni relative alla sua invasività. Il potenziale invasivo di S. origanifolia per il Cantone Ticino è incerto a causa della carenza di dati. Tuttavia, considerata la capacità di dispersione elevata, un'ulteriore diffusione di S. origanifolia, in particolare nelle aree urbane e periurbane, è possibile. La segnalazione di nuovi ritrovamenti di questa specie è dunque particolarmente importante.

Salvinia molesta D.S. Mitch., Salviniaceae, erba pesce gigante

Salvinia adnata Desv., S. auriculata auct., S. radula Baker, S. rotundifolia Willd.

Nota: il sinonimo *S. adnata* è attualmente utilizzato in alcune nazioni e check list (p.es. in Italia; Galasso et al. 2018). *Salvinia molesta* è una delle quattro specie appartenenti al complesso di *S. auriculata*. Le altre tre specie, morfologicamente molto simili, sono *S. auriculata* Aubl., *S. biloba* Raddi e *S. herzogii* de la Sota.

Chiasso, stagno in parco cittadino; 2.9.2018; >250 ind., 70% (100 m²); E 2'723'863, N 1'077'401 \pm 4 m; 231 m; LUG 20409. Coldrerio, stagno nel Parco del Paü; 5.11.2018; >250 ind.; E 2'720'234, N 1'079'324 ± 4 m; 344 m; LUG 20394. Novazzano, Valle della Motta, stagno del biotopo Cava d'argilla; 30.7.2018; <5% (26 m²); E 2'720'822.1, N 1'078'236.8 ± 4 m; 265 m. Novazzano, Valle della Motta, stagno del biotopo Cava d'argilla; 30.7.2018; >250 ind., ~80% (50 m²); E 2'720'835, N $1'078'224 \pm 4$ m; 231.8 m; LUG 20379. Novazzano, Valle della Motta, stagno del biotopo Cava d'argilla; 30.7.2018; <5% (65 m²); E 2'720'864.2, N $1'078'190.8 \pm 4$ m; 263.2 m. Novazzano, stagno del biotopo Torrazza; <5% (57 m²); E 2'720'821.2, N $1'077'698.6 \pm 4 \text{ m}$; 254.1 m. Novazzano, stagno del biotopo Torrazza; ~30% (37 m²); E 2'720'835.1, N $1'077'726.6 \pm 4$ m; 254.7 m. Novazzano, stagno del biotopo Torrazza; <1% (6 m²); E 2'720'836.5, N $1'077'733.6 \pm 4 \text{ m}$; 255 m. Breggia, Lattecaldo, nello stagno di fitodepurazione del Vivaio forestale cantonale; 18.9.2019; >250 ind., 100% (451 m²); E 2'723'653, N 1'080'077 \pm 4 m; 608.5 m (Fig. 2c, 2b e 2c).

Salvinia molesta è una felce acquatica liberamente flottante (pleustofita), a fusto orizzontale e poco ramificato. Le fronde sono verticillate a tre e dimorfe: due aeree e galleggianti, la terza sommersa, divisa in lacinie filiformi e rizomorfa. Le fronde galleggianti sono verdi, fotosintetiche, intere, da ellittiche-ovali a rotonde, lunghe 0.7-3 cm e larghe 1.5-3(-6) cm, con pagina superiore fittamente ricoperta da tricomi brevi inseriti su papille. Gli sporocarpi sono raggruppati nella parte centrale della foglia sommersa (Marchetti 2004; Lin et al. 2013). La specie può variare molto morfologicamente a dipendenza dell'età, della disponibilità di spazio e/o di nutrienti (EPPO 2017b). Gli individui che crescono a bassa densità sono caratterizzati da foglie piccole e appiattite o leggermente ripiegate (Fig. 2c) e possono essere confusi con la specie eurasiatica Salvinia natans (L.) All. Si differenziano per la presenza, sulla pagina superiore delle fronde galleggianti, di papille sormontate da quattro tricomi saldati all'apice, a formare come una frusta da cucina (Fig. 2a, presso S. natans i tricomi non sono saldati; Marchetti 2004; Lin et al. 2013; EPPO 2017b). Salvinia molesta è un ibrido pentaploide sterile, originatosi da specie parentali non determinate con certezza. Di conseguenza si riproduce e si diffonde esclusivamente per via vegetativa, mediante frammentazione dei fusti (Oliver 1993; CABI 2019). Nelle regioni tropicali è pianta perenne, altrove è annuale, ma presenta comunque una crescita rapida e importante durante il periodo vegetativo estivo (GISD 2020). Cresce in acque dolci e stagnanti o a scorrimento lento, come pozzi

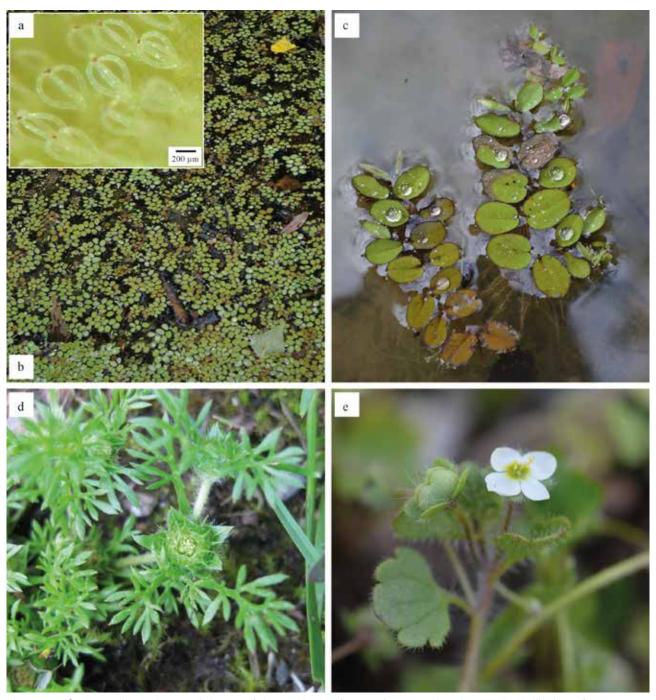


Figura 2: a) Carattere diagnostico per distinguere *Salvinia molesta* da *S. natans*: i quattro tricomi sono saldati all'apice, a formare come una frusta da cucina (presso *S. natans* i tricomi non sono saldati). b) Stagno a Novazzano invaso da *S. molesta*. c) *Salvinia molesta*. d) *Soliva sessilis* ad Agno. e) *Veronica cymbalaria* a Lugano. Sono visibili tre tratti diagnostici per distinguerla da *V. hederifolia*: la corolla bianca, la presenza di peli ghiandolari e la capsula pelosa.

carsici, fossi, stagni, laghi, bacini artificiali, rive di corsi d'acqua e di canali (CABI 2019). In condizioni favorevoli può raddoppiare la biomassa in poco più di una settimana e formare uno strato sulla superficie dell'acqua composto da due o più individui sovrapposti, fino ad uno spessore di 1 m (McFarland et al. 2004; Buccomino et al. 2010). La crescita ottimale avviene in acque eutrofiche con una temperatura situata tra 20 e 30°C (Oliver 1993). È sensibile al gelo, ma può sopravvivere se si trova sotto la superficie dell'acqua e il corpo d'acqua non ghiaccia completamente (Owens et al. 2004). Muore velocemente per essiccamento ma individui posti in un substrato umido e coperti da materiale vegetale possono sopravvivere per diversi mesi (Oliver 1993).

Originaria del sud-est del Brasile, *S. molesta* è ormai presente in tutti i continenti (CABI 2019). In Europa è stata segnalata in numerose nazioni, ma non sembra in grado di naturalizzarsi, benché alcune popolazioni siano state rimosse (EPPO 2017a; CABI 2019). In Italia la specie è stata trovata a Roma, Pisa e Cagliari (EPPO 2017a; Pignatti 2018). In Svizzera è stata osservata per la prima volta in alcuni stagni del Mendrisiotto. Alcuni campioni d'erbario conservati al Museo cantonale di storia naturale attestano la presenza di questa specie a Novazzano e Coldrerio già nelle estati del 2009 e del 2015. A fine estate 2018, dopo aver osservato numerosi individui di *S. molesta* in almeno due località (Novazzano e Chiasso, Fig. 2b), sono stati visitati tutti gli 87 sta-

gni su suolo pubblico del Mendrisiotto. In totale è stata rilevata in nove stagni (10%). Nella vasca di fitodepurazione del Vivaio forestale cantonale a Lattecaldo, nel 2019, i primi individui sono stati osservati in luglio e a settembre la specie aveva creato uno strato spesso circa 4 cm (F. Bonavia, comunicazione personale).

La principale via d'introduzione è il commercio come pianta ornamentale per acquari o stagni e per la fitodepurazione, ma può anche essere involontariamente trasportata come contaminante di merci, barche o equipaggiamenti per attività di svago. Una volta immessa nell'ambiente, la pianta può diffondersi localmente sfruttando le correnti acquatiche, le inondazioni e il trasporto mediato da animali (McFarland et al. 2004; CABI 2019). In Svizzera S. molesta è venduta da alcuni grandi rivenditori. La presenza nel Cantone Ticino è probabilmente dovuta a introduzioni deliberate multiple, le autorità cantonali hanno infatti accertato almeno un'introduzione volontaria. Poiché questa specie in altri due siti era accompagnata da Pistia stratiotes L. - un'altra pianta ornamentale tipicamente utilizzata in acquari e stagni - è probabile che anche in queste località la presenza sia dovuta ad immissioni nell'ambiente. Schoenenberger et al. (2014) valutano come casuale il grado di naturalizzazione di questa specie nel Cantone Ticino, ciononostante, al momento può essere considerata come avventizia.

Salvinia molesta, per gli importanti impatti ambientali e socioeconomici, è considerata invasiva in Asia, in Australia, in Europa, nel Nord America e in vari Stati africani (CABI 2019) ed è annoverata tra le cento peggiori specie alloctone invasive del mondo (GISD 2020). Si tratta di una specie altamente competitiva (Oliver 1993): può ricoprire la superficie dell'acqua con strati anche spessi, togliendo la luce alle piante sommerse e, più in generale, modificando le condizioni ambientali, con un impatto negativo su flora e fauna acquatiche (McFarland et al. 2004; EPPO 2017a; CABI 2019). Può inoltre causare importanti danni sociali ed economici, favorendo per esempio la proliferazione di zanzare che possono trasmettere malattie e impedendo il trasporto via acqua e l'accesso a essa, con un'influenza negativa sulle attività umane (Oliver 1993; EPPO 2017a; CABI 2019). In Nuova Zelanda ne è stata vietata la commercializzazione (EPPO 2017a), mentre negli Stati Uniti è elencata nella Federal Noxious Weed List, che ne proibisce la sua importazione così come il trasporto tra Stati (McFarland et al. 2004). Benché non siano ancora noti impatti economici o ecologici rilevanti in Europa (EPPO 2017a), dal 2019 la specie è stata inserita - dato il suo potenziale invasivo nell'area mediterranea - nell'elenco delle specie esotiche invasive di rilevanza unionale (Union list). Le specie iscritte in questa lista sono soggette a restrizioni di vario titolo (p.es. relative all'importazione, alla coltivazione e alla vendita; EPPO 2019). Dato l'elevato potenziale invasivo di S. molesta, a titolo precauzionale e per evitare una sua possibile ulteriore diffusione, nell'autunno 2018 le autorità competenti hanno provveduto a rimuovere meccanicamente tutti gli individui presenti negli specchi d'acqua del Mendrisiotto. Nell'estate 2019 le località sono state nuovamente controllate e, dove ancora presente, la specie è stata rimossa.

Soliva sessilis Ruiz & Pav., Asteracee, gippulina sessile

Soliva alata (Spreng.) DC, S. daucifolia Nutt., S. pterosperma (Juss.) Less., Cotula sessilis (Ruiz & Pav.) Stace. Agno, lido, in un prato calpestato dai bagnanti; 5.5.2018; 500-1000 ind., 30% (100 m²); E 2'713'183, N $1'094'469 \pm 25 \text{ m}$; 271 m.; LUG 20487. Melano, in un campeggio a bordo lago; 12.4.2020; 251-500 ind., 25% (75 m^2) ; E 719430, N 87000 ± 25 m; 272 m (Fig. 2d). Soliva sessilis è una pianta annuale formante una rosetta basale (terofita rosulata) a crescita lenta invernale, alta o larga 2-5(-25) cm e con fusti villosi prostrati o ascendenti, talvolta radicanti ai nodi. Le foglie sono pennatosette a divisioni laciniate, moderatamente pelose e lunghe fino a 2(-3) cm, alterne lungo il fusto. I capolini pauciflori (5-8 fiori pistillati esterni e 4-8 fiori staminati nel disco) sono sessili, racchiusi da 7-8 brattee e collocati nell'ascella delle foglie (Fig. 2d). A maturazione l'infiorescenza si divarica e disperde gli acheni, lunghi circa 2.5 mm, generalmente alati e provvisti di una spina compatta all'estremità, derivante dalla solidificazione dello stilo (Watson 2006; Pignatti 2018). In condizioni siccitose, S. sessilis arresta la crescita formando un unico capolino, mentre in condizioni favorevoli la crescita è continua con la progressiva formazione di steli secondari e nuovi capolini. A fine primavera, quando il suolo prosciuga, la crescita cessa e la pianta appassisce lasciando gli acheni appuntiti in posizione verticale per favorirne la dispersione attraverso gli ani-

Originaria del Sud America, *S. sessilis* è naturalizzata in Africa, America del Nord, Asia, Europa e Oceania. È considerata invasiva in Australia, in Canada, in Nuova Zelanda e negli Stati Uniti. In Europa è naturalizzata in Francia, Italia, Norvegia, Portogallo, Regno Unito e Spagna, specie nelle aree costiere (CABI 2019). In Italia è naturalizzata nel Lazio, in Piemonte e nel Trentino Alto Adige (Acta Plantarum 2007; Antonietti & Dellavedova 2014), mentre la sua presenza è considerata casuale – intesa come formante popolazioni effimere che dipendono da ripetute introduzioni per la loro persistenza – in Toscana (Verloove et al. 2007) e nel Veneto (Celesti-Grapow et al. 2010).

mali o l'essere umano (CABI 2019).

Poco competitiva, S. sessilis occupa zone prative disturbate con presenza di suolo nudo come pascoli, tappeti erbosi in zone urbanizzate e scogliere costiere, in aree soleggiate o parzialmente in ombra. Le dimensioni ridotte le permettono di sfuggire facilmente alle lame del tosaerba. Colonizza suoli temporaneamente fradici e sopravvive a temperature fino a -10 °C (CABI 2019). La stazione di Agno si trova all'interno di un'area piuttosto vasta, adibita a lido in riva al lago, falciata regolarmente e soggetta a calpestio intenso. La specie è presente a chiazze discontinue più o meno grandi e copre, complessivamente, circa un centinaio di metri quadrati. Il suolo è da umido a fradicio d'inverno e prosciuga progressivamente durante l'estate. Cresce con altre neofite, in particolare Hydrocotyle sibthorpioides Lam. e Mazus pumilus (Burm. f.) Steenis, all'archeofita Aphanes australis Rydb. e alla specie indigena Mentha pulegium L., fortemente minacciata (Bornand et al. 2016). La popolazione rilevata a Melano si trova

in una situazione analoga, in un campeggio a bordo lago.

A lunga distanza, S. sessilis è dispersa principalmente attraverso lo spostamento di materiale da campeggio ed escursionismo, poiché i semi si agganciano facilmente al tessuto di scarpe, borse, asciugamani, tende, zaini o altro (Polster 2007). È ipotizzabile che la presenza nella zona turistica dei campeggi di Agno e Melano sia da ricondurre a questa via di introduzione. Anche in Toscana è ipotizzata l'importazione passiva nei campeggi litoranei (Arrigoni & Viegi 2011). A breve distanza, i semi si diffondono tramite gli animali domestici (p.es. i cani) e le suole delle scarpe (Polster 2007). Un anno dopo il ritrovamento in Ticino, nel 2019, S. sessilis è stata trovata anche in due stazioni pioniere all'interno di un campeggio a Losanna (Info Flora 2019), fatto che confermerebbe l'ipotesi della diffusione con materiale da campeggio.

Le stazioni ticinesi di *S. sessilis*, vista l'estensione relativamente ampia delle popolazioni, possono essere considerate di origine avventizia e in procinto di naturalizzazione. Ad Agno è stata inoltre rilevata anche nell'anno seguente la prima osservazione (2018).

Alle invasioni di *S. sessilis* sono attribuiti danni dovuti alla sostituzione della vegetazione indigena negli ecosistemi di scogliera costiera nel Nord America e un pregiudizio alla fruizione di zone balneari dovuta ai semi pungenti (impatto a livello sociale; CABI 2019). Il potenziale invasivo in Ticino è da considerarsi moderato, limitato ai campeggi, lidi e tappeti erbosi. Il suo potenziale invasivo nei pascoli necessita invece di un ulteriore approfondimento.

Veronica cymbalaria Bodard, Plantaginaceae, veronica a foglie di cimbalaria

Cochlidiosperma cymbalaria (Bodard) Opiz, Pocilla cymbalaria (Bodard) Fourr.

Lugano, terreno ruderale sulla corona di un muro lungo il sentiero di Gandria; 22.3.2019; 26-50 ind., < 1% (500 m²); E 2'719'890.5, E 1'095'616.3 \pm 6 m; 279.3 m; LUG 20482-84 (Fig. 2e).

Veronica cymbalaria è una pianta erbacea annuale (terofita) alta 5-40 cm, a pelosità più o meno fitta, con peli semplici allungati, talvolta mescolati a peli ghiandolari. Le foglie sono arrotondate, con 5-9(-11) lobi profondi. La corolla, di colore bianco, ha un diametro di 6-12 mm. I lobi del calice sono interi e attenuati alla base. Il frutto è una capsula ricoperta da peli semplici e, a volte, ghiandolari, lunghi 1.5-2.3 mm, ed è posto su peduncoli fruttiferi lunghi 15-30 mm. Lo stilo è lungo 1-2 mm. Si tratta di una specie abbastanza polimorfa, in particolare per l'aspetto delle foglie e l'indumento (Lauber et al. 2018; Pignatti 2018). È simile alla specie indigena Veronica hederifolia L., dalla quale si differenzia per la presenza di peli ghiandolari, per i lobi del calice attenuati alla base, per la corolla di colore bianco e di diametro leggermente maggiore e per la capsula pelosa (presso V. hederifolia i peli ghiandolari sono assenti, i lobi del calice sono largamente triangolari e cordati alla base, la corolla è blu-violacea e la capsula è glabra; Fig. 2e; Lauber et al. 2018; Eggenberg et al. 2018). Fiorisce da gennaio a maggio.

Cresce, limitata ai piani planiziale e collinare, su rocce e muri e in orti, vigne, giardini e ruderi con apporto di nitrati (Pignatti 2018).

È una specie a distribuzione eurimediterranea (i.e. area della vite), ed è presente in quasi tutto il territorio italiano (dubbia per il Piemonte; Pignatti 2018). È naturalizzata in Belgio, nei Paesi Bassi (Hoste et al. 2016), in Giappone (Mito & Uesugi 2004) e, puntualmente, nel Nord America (USDA 2019). Le prime segnalazioni per la Svizzera risalgono alla fine degli anni Novanta e da allora è stata osservata nei cantoni Vaud, Ginevra, Turgovia e, nel 2019, in Ticino. In base ai dati Info Flora (2019), in Svizzera la specie cresce principalmente sulle massicciate di pietrisco della ferrovia. Nel Cantone Ticino è stata rilevata per la prima volta a Lugano, sopra la corona di un muro posto all'inizio del sentiero di Gandria, in una superficie ruderale, accompagnata dalle specie indigene Arabis turrita L., Galium aparine L., Geranium rotundifolium L., Lamium purpureum L., Parietaria sp., V. hederifolia e Vicia sepium L. e alla neofita invasiva Artemisia verlotiorum Lamotte. La via d'introduzione è ignota. Attualmente in Ticino V. cymbalaria è da considerare come specie avventizia, ma una sua espansione è probabile. In letteratura non sono state trovate informazioni su una potenziale invasività della specie (CABI 2019; GISD 2020). A nostro parere l'impatto è irrilevante e non è dunque da considerare dannosa.

RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo Monique Vilpert di Info Flora per gli estratti dalla banca dati nazionale; Adrian Möhl per la conferma della determinazione di *S. molesta*; Francesco Bonavia, Guido Maspoli, Emiliano Medici e Bärbel Koch per segnalazioni e campioni di *S. molesta*; Francesca Palli per la segnalazione e i campioni di *C. orbiculatus* di Orselina; Neria Römer del Museo cantonale di storia naturale di Lugano per l'utilizzo del microscopio digitale Leica SZX12 e Guido Maspoli per l'attenta revisione del manoscritto.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

Abdessatar O. & Skiri-Harzalla F.S. 2009. Distribution du système souterrain et régénération végétative (à partir des fragments de rhizome) de *Salpichroa origanifolia* (Lamarck) Baillon / Thellung (Solanaceae). Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 39: 194-200.

Acta Plantarum. 2007. *Cotula sessilis* (Ruiz & Pav.) Stace - Scheda IPFI, Acta Plantarum. http://www.actaplantarum.org (ultima consultazione: 15.1.2020).

Antonietti A. & Dellavedova R. 2014. *Soliva sessilis*. Rivista piemontese di Storia naturale, 35: 377-412.

Arrigoni P.V. & Viegi L. 2011. La flora vascolare esotica spontaneizzata della Toscana. Regione Toscana, 216 pp.

BAFU (2016) Strategia della Svizzera per le specie esotiche invasive. http://www.bafu.admin.ch/specie-esotiche (ultima consultazione: 24.3.2020)

Beringen R., van Duinen G.A., Hoop L.D., De Hullu P.C., Matthews J., Odé B., van Valkenburg J.L.C.H., van der Velde

- G. & Leuven, R.S.E.W. 2017. Risk assessment of the alien Staff-vine (*Celastrus orbiculatus*). Department of Environmental Science, Faculty of Science, Institute for Water and Wetland Research, Radboud University, 70 pp.
- Bornand C., Gygax A., Juillerat P., Jutzi M., Möhl A., Rometsch S., Sager L., Santiago H. & Eggenberg S. 2016. Lista Rossa Piante vascolari. Specie minacciate in Svizzera. Ufficio federale dell'ambiente, Berna e Info Flora, Ginevra. Pratica ambientale n. 1621, 178 pp.
- Brandes D. 2018. *Salpichroa origanifolia* as a weed of container plants in Fuerteventura? Braunschweiger Geobotanische Arbeiten, 12: 15-20.
- Buccomino G., Buonfiglio V. & Vinci M. 2010. Salvinia molesta D.S. Mitch.: considerazioni sulle misure di controllo e gestione della specie aliena invasiva nel pozzo del Merro (Sant'Angelo Romano Roma). Annali Museo Civico Rovereto, 26: 359-372.
- CABI 2019. Invasive Species Compendium. Datasheets on Celastrus orbiculatus, Salvinia molesta, Salpichroa origanifolia, Soliva sessilis and Veronica cymbalaria. https://www.cabi.org/isc (ultima consulatzione: 22.1.2020).
- Cal-IPC, California Invasive Plant Council. 2016. Salpichroa origanifolia Risk Assessment. https://www.cal-ipc.org/plants/risk/ salpichroa-origanifolia-risk (ultima consultazione 24.1.2020).
- Celesti-Grapow L., Pretto F., Carli E. & Blasi C. 2010. Flora vascolare alloctona e invasiva delle regioni d'Italia. Roma, Casa Editrice Università La Sapienza, 208 pp.
- Cullen J., Knees S.G. & Cubey H.S. 2011. The European Garden Flora, IV Aquifoliaceae to Hydrophyllaceae. Cambridge, Cambridge University Press, p. 28.
- De Cugnac A. 1931. Une adventice nouvelle ou encore peu connue en France: *Salpichroa rhomboidea* Miers, à la Baule (Loire-Inférieure). Bulletin de la Société Botanique de France, 78: 504-508.
- Del Tredici P. 2014. Untangling the twisted tale of oriental bittersweet. Arnoldia 71: 2-18.
- eFloras. 2008. Published on the Internet http://www.efloras.org Missouri Botanical Garden, St. Louis, MO & Harvard University Herbaria, Cambridge, MA (ultima consultazione: 10.1.2020).
- Eggenberg S., Bornand C., Juillerat P., Jutzi M., Möhl A., Nyffeler R. & Santiago H. 2018. Flora Helvetica – Guide d'excursions. 1ère édition. Berna, Haupt Verlag, 813 pp.
- EPPO European and Mediterranean Plant Protection Organization. 2014. List of alien species determined to be potentially invasive in the Spanish regulation. EPPO Reporting Service no. 10, Num. article: 2014/201. Disponibile su: https://gd.eppo.int/reporting/article-3294 (ultima consultazione: 16.1.2020).
- EPPO European and Mediterranean Plant Protection Organization. 2017a. Pest Risk Analysis Salvinia molesta. EPPO, Paris. Disponibile su https://www.eppo.int/index (ultima consultazione: 10.1.2020).
- EPPO European and Mediterranean Plant Protection Organization. 2017b. Data sheets on pests recommendation for regulation. *Salvinia molesta* D.S. Mitch. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 0(0): 1-6.
- EPPO European and Mediterranean Plant Protection Organization. 2019. List of Invasive Alien Species of Union concern. Disponibile su: https://ec.europa.eu/environment/nature/invasivealien/list/index_en.htm (ultima consultazione: 10.1.2020).

- Frey D., Selldorf P., Persico A., Breunig T. & Schoenenberger N. 2015. Origine, introduzione e grado di naturalizzazione di nove nuove specie vegetali per la Svizzera. Bollettino della Società Ticinese di Scienze Naturali, 103: 19-28.
- Galasso G., Conti F., Peruzzi L., Ardenghi N.M.G., Banfi E., Celesti-Grapow L., Albano A., Alessandrini A., Bacchetta G., Ballelli S., Bandini Mazzanti M., Barberis G., Bernardo L., Blasi C., Bouvet D., Bovio M., Cecchi L., Del Guacchio E., Domina G., Fascetti S., Gallo L., Gubellini L., Guiggi A., Iamonico D., Iberite M., Jiménez-Mejías P., Lattanzi E., Marchetti D., Martinetto E., Masin R.R., Medagli P., Passalacqua N.G., Peccenini S., Pennesi R., Pierini B., Podda L., Poldini L., Prosser F., Raimondo F.M., Roma-Marzio F., Rosati L., Santangelo A., Scoppola A., Scortegagna S., Selvaggi A., Selvi F., Soldano A., Stinca A., Wagensommer R.P., Wilhalm T. & Bartolucci F. 2018. An updated checklist of the vascular flora alien to Italy. Plant Biosystems 152: 556-592.
- Galetto L. 1999. Biología reproductiva de Salpichroa origanifolia (Solanaceae). Urtziana, 27: 211-224.
- GISD Global Invasive Species Database. 2020. http://www.iucngisd.org/gisd/100_worst.php (ultima consultazione: 10.1.2020).
- Hoste I., Barendse R., de Zwart A & van der Sluis H. 2016. De eerste vondsten van de Zuid-Europese soort *Veronica cymbala-ria* in Nederland en België. Dumortiera 108: 8-12
- Hou D. 1955. A revision of the genus Celastrus. Annals of the Missouri Botanical Garden 42: 215-302.
- Huxley A.J., Griffiths M. & Levy M. 1992. The new Royal Horticultural Society Dictionary of Gardening. London, Volume 1. London, Macmillan Press, 815 pp.
- Info Flora, Centro nazionale di dati e informazioni sulla flora svizzera. 2016-2017. FlorApp, versione 1.4.
- Info Flora, Centro nazionale di dati e informazioni sulla flora svizzera. 2019. Estrazione dati Info Flora 9.9.2019 (*Celastrus orbiculatus, Salpichroa origanifolia, Salvinia molesta, Soliva sessilis* e *Veronica cymbalaria*).
- Juillerat P., Bäumler B., Bornand C., Gygax A., Jutzi M., Möhl A., Nyffeler R., Sager L., Santiago H. & Eggenberg S. 2017: Checklist 2017 der Gefässpflanzenflora der Schweiz / de la flore vasculaire de la Suisse / della flora vascolare della Svizzera, 380 pp.
- Landolt E., Bäumler B., Ehrhardt A., Hegg O., Klötzli F., Lämmler W., Nobis M., Rudmann-Mauer K., Schweingruber F.H., Theurillat J.-P., Urmi E, Vust M. & Wohlgemuth T. 2010. Flora indicativa. Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen. Berna, Haupt Verlag, 378 pp.
- Lauber K., Wagner G. & Gygax A. 2018. Flora Helvetica. 5a edizione. Berna, Haupt Verlag, 1686 pp.
- Lazzeri V. 2013-2014. Note floristiche tosco-sarde III: novità per le regioni Toscana e Sardegna. Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno, 25: 67-77.
- Leicht-Young S.A., Pavlovic N.B., Grundel R. & Frohnapple K.J. 2007. Distinguishing native (*Celastrus scandens* L.) and invasive (*C. orbiculatus* Thunb.) bittersweet species using morphological characteristics. Journal of the Torrey Botanical Society 134: 441-450.
- Lin Y., Lei S., Funston M. & Gilbert M.G. 2013. Salviniaceae. In: Zhengyi W., Raven P.H. & Deyuan H. (eds.) 1994-2013. Flora of China. 25 vols. Beijing: Science Press. Vol. 2-3, p. 125.

- Ma J. & Levin G.A. 2016. Celastrus. In: Flora of North America Editorial Committee, eds. 1993+. Flora of North America North of Mexico. 19+ vols. New York and Oxford. Vol. 12, p. 120.
- Mangili S., Schoenenberger N. & Frey D. 2016. Ritrovamento di tre specie vegetali nuove per la Svizzera e di un taxon raro considerato regionalmente scomparso. Bollettino della Società Ticinese di Scienze Naturali, 104: 29-36.
- Mangili S., Schoenenberger N., Marazzi B., Selldorf P. & Frey D. 2018. Note floristiche ticinesi 2018: specie vegetali esotiche spontanee nuove per la Svizzera e per il Cantone Ticino. Bollettino della Società Ticinese di Scienze Naturali, 106: 35-42.
- Marchetti D. 2004. Le pteridofite d'Italia. Annali Museo Civico Rovereto, 19: 71-231.
- McFarland D.G., Nelson L.S., Grodowitz M.J., Smart R.M. & Owens C.S. 2004. *Salvinia molesta* D.S. Mitchell (giant salvinia) in the United States: a review of species ecology and approaches to management. Aquatic Plant Control Research Program. Washington DC, U.S. Army Corps of Engineers, 33 pp.
- Mito T. & Uesugi T. 2004. Invasive Alien Species in Japan: The Status Quo and the New Regulation for Prevention of their Adverse Effects. Global Environmental Research 8(2): 171-191.
- Oliver J.D. 1993. A review of the biology of giant Salvinia (*Salvinia molesta* Mitchell). Journal of Aquatic Plant Management 31: 227-231.
- Owens C.S., Smart R.M. & Stewart R.M. 2004. Low temperature limits of giant Salvinia. Journal of Aquatic Plant Management 42: 91-94.
- Parsons W.T. & Cuthbertson E.G. 2001. Noxious weeds of Australia. 2nd ed. Collingwood, CSIRO Publishing, 698 pp.
- Pignatti S. 2018. Flora d'Italia. Volume Terzo. Milano, Edagricole Edizioni Agricole di New Business Media, 1287 pp.
- Polster D.F. 2007. Eradicating carpet burweed (Soliva sessilis Ruiz & Pavón) in Canada. In: Clements D.R., Darbyshire S.J. (eds.), Invasive plants: inventories, strategies and action. Symposium held in Victoria, Canada, in November 2006 Sainte-Anne-de Bellevue, Canada: Canadian Weed Science Society, pp. 71-81.
- Schoenenberger N., Bellosi B., Medici E., Gobbin T. & Giorgetti Franscini P. 2011. Osservazioni floristiche in ambienti antropici disturbati in Ticino: specie nuove per la Svizzera. Bollettino della Società Ticinese di Scienze Naturali, 99: 63-68.
- Schoenenberger N., Röthlisberger J. & Carraro G. 2014. La flora esotica del Cantone Ticino (Svizzera). Bollettino della Società Ticinese di Scienze Naturali, 102: 13-30.
- Schoenenberger N. 2015. Piante alloctone invasive, rilevamento precoce risposta immediata. Berna, Commissione federale per la sicurezza biologica CFSB, 38 pp.
- Steward A.M., Clemants S.E. & Moore G. 2003. The concurrent decline of the native *Celastrus scandens* and spread of the non-native *Celastrus orbiculatus* in the New York City metropolitan area. Journal of the Torrey Botanical Society, 130: 143-146.
- Symon D.E. 1981. The Solanaceous Genera, Browallia, Capsicum, Cestrum, Cyphomandra, Hyoscyamus, Lycopersicon, Nierembergia, Physalis, Petunia, Salpichroa and Withania, naturalised in Australia. Journal of the Adelaide Botanic Gardens 3: 133-166.
- USDA, NRCS. 2019. The PLANTS Database (www.plants. usda.gov). National Plant Team, Greensboro, NC 27401-490 USA (ultima consultazione: 24.1.2020).

- Verloove F., Banfi E. & Galasso 2007. Soliva sessilis Ruiz & Pav. (Asteraceae) (= Soliva pterosperma (Juss.) Less. = Gymnostyles pterosperma Juss.). Informatore Botanico Italiano, 39: 401-435
- Viegi L., Vangelisti R., D'Eugenio M.L., Rizzo A.M. & Brilli-Cattarini A. 2003. Contributo alla conoscenza della flora esotica d'Italia: le specie presenti nelle Marche. Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie B, 110: 97-162.
- Watson L.E. 2006. Soliva. In: Flora of North America Editorial Committee, eds. 1993+. Flora of North America North of Mexico. 19+ vols. New York and Oxford. Vol. 19, p. 545.
- Weber E. 2017. Invasive Plant Species of the World. A Reference Guide to Environmental Weeds. 2nd Edition, Wallingford, Oxfordshire, CABI, 596 pp.
- WFO. 2020. World Flora Online. Published on the Internet; http://www.worldfloraonline.org (ultima consultazione: 16.1.2020).
- Williams P.A. & Timmins S.M. 2003. Climbing spindle berry (*Celastrus orbiculatus* Thunb.) biology, ecology, and impacts in New Zealand. Wellington, New Zealand, Department of Conservation, 28 pp.
- Zhang Z. & Funston M. 2008. *Celastrus orbiculatus*. In: Zhengyi W., Raven P.H. & Deyuan H. (eds.) 1994-2013. Flora of China. 25 vols. Beijing: Science Press. Vol. 11, p. 466.

Fioriture di *Planktothrix rubescens* (Cyanophyceae) nel Lago di Lugano

Camilla Capelli

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

camilla.capelli@supsi.ch

Riassunto: Nel Lago di Lugano le fioriture algali di colore rosso-bruno, prodotte dal cianobatterio *Planktothrix rubescens*, erano frequenti in passato, quando il lago verteva su condizioni di eutrofia. Tuttavia, nel 2019 lo sviluppo di questa specie è stato particolarmente abbondante, e a fine dicembre sono tornate a manifestarsi delle estese fioriture superficiali, nonostante il Lago di Lugano abbia parzialmente raggiunto gli obiettivi di risanamento. Per comprendere il fenomeno e i fattori ambientali coinvolti è stata analizzata la distribuzione spaziale di *P. rubescens* nel 2019. I risultati dimostrano come questa specie si sia sviluppata maggiormente nel periodo di massima stratificazione negli strati metalimnetici e a ridosso della zona eufotica, trovando le condizioni di luce e nutrienti ottimali per la sua crescita. La comparsa delle fioriture è stata determinata dagli eventi che precedono la circolazione invernale del lago, quando il progressivo raffreddamento degli strati superficiali ha spinto lo strato mescolato in profondità, permettendo ai cianobatteri di raggiungere la superficie. Considerata l'abilità di *P. rubescens* di produrre cianotossine, che possono ostacolare lo sfruttamento delle risorse idriche, il monitoraggio continuo di questa specie e uno studio approfondito sui fattori ambientali determinanti per la sua crescita risultano fondamentali per una gestione efficace del lago.

Parole chiave: cianobatteri, cianotossine, eutrofizzazione, fioriture algali, fitoplancton

Algal blooms in Lake Lugano

Abstract: In Lake Lugano, reddish-brown colored algal blooms, produced by the cyanobacteria *Planktothrix rubescens*, were frequent in the past, when the lake was eutrophic. However, in 2019, the development of this species was impressive and surface algal blooms appeared at the end of December, even though Lake Lugano has been partly restored. Here, the spatial distribution of *P. rubescens* during the 2019 was analyzed to gain understanding of the factors involved. The results show that this species reached the highest abundance during the period of maximum stratification, in the metalimnion and just below the euphotic zone, where favorable light and nutrient conditions supported its growth. Algal blooms were determined by the events preceded the winter circulation, when the expansion of the mixed layer, due to the increasing of surface waters cooling, carried cyanobacteria up to the surface. Given the ability of *P. rubescens* to produce cyanotoxins, further monitoring of this species and research into the environmental factors promoting its growth are necessary for an effective management of the lake.

Keywords: algal blooms, cyanobacteria, cyanotoxins, eutrophication, phytoplankton

INTRODUZIONE

Gli ecosistemi acquatici sono tra i più sensibili ai cambiamenti di origine antropica, come eutrofizzazione ed innalzamento delle temperature. In questo contesto i cianobatteri sono favoriti rispetto al resto del fitoplancton grazie alle loro caratteristiche eco-fisiologiche di adattamento. Il loro eccessivo sviluppo può dare origine a delle fioriture superficiali che creano delle condizioni ambientali sfavorevoli per il resto del fitoplancton, sottraendo nutrienti e riducendo la luminosità sulla colonna d'acqua. Inoltre possono provocare disagi allo sfruttamento idrico delle acque lacustri, a causa della produzione di sostanze maleodoranti (Bowmer et al. 1992) e tossine (Codd et al. 2005). Nel Lago di Lugano le fioriture di colore rosso-bruno prodotte dalla specie filamentosa *Planktothrix rubescens*, che deve il suo carat-

teristico colore ad un pigmento fotosintetico (ficoeritrina), sono state osservate in diverse occasioni ed erano frequenti intorno agli anni '60 durante la fase di eutrofizzazione (Polli & Simona 1992). Questa specie, tipica dei laghi peri-alpini profondi mesotrofi (Reynolds et al. 2002), è stata monitorata nel Lago di Lugano a partire dai primi anni '80, nel contesto delle ricerche promosse dalla Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (CIPAIS). Nel 2019 lo sviluppo di P. rubescens è stato particolarmente abbondante, e da fine dicembre si sono manifestate delle estese fioriture superficiali in entrambi i bacini, nonostante lo stato trofico del lago sia stato parzialmente risanato. In questo lavoro è stato analizzato il fenomeno e le sue possibili cause, interpretando la distribuzione verticale di P. rubescens nel corso del 2019 in funzione dei principali fattori ambientali che ne determinano lo sviluppo.

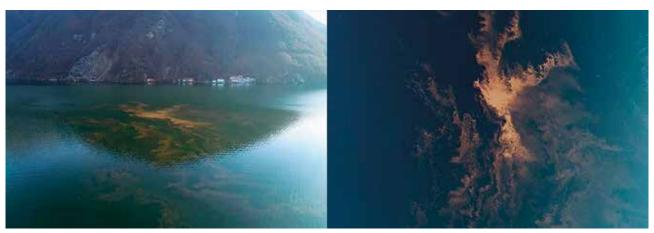


Figura 1: Foto aeree con drone della fioritura algale osservata il 7.1.2020 nel bacino nord del Lago di Lugano, tra Castagnola e Caprino (estensione della fioritura ca. 100 m).

MATERIALI E METODI

Il Lago di Lugano è un lago profondo a sud delle alpi diviso in due bacini principali, nord e sud, da un ponte-diga costruito su una morena glaciale. I dati sono stati raccolti in due stazioni monitorate nell'ambito delle ricerche della CIPAIS, in prossimità dei punti più profondi del bacino nord, a Gandria (285 m), e del bacino sud, a Melide (85 m). Durante la seconda metà del secolo scorso il Lago di Lugano ha subito un forte processo di eutrofizzazione, culminato negli anni '70-'80, che ha portato il bacino nord all'eutrofia e il bacino sud all'ipertrofia. Grazie alle opere di risanamento attuate, il carico esterno di fosforo è diminuito e il bacino nord ha raggiunto condizioni di mesotrofia e il bacino sud di eutrofia (Lepori and Roberts 2017; Lepori et al. 2018).

I dati presentati sono stati raccolti da gennaio a dicembre 2019 due volte al mese. Oltre al campionamento del plancton è stato effettuato un profilo di ficocianina, un pigmento fotosintetico caratteristico dei cianobatteri, con un fluorimetro Trilux (Chelsea Technologies Group). I profili di ficocianina nello strato 0-40 m, ottenuti tramite misura dell'emissione di fluorescenza della clorofilla dopo eccitazione a 610 nm, sono stati integrati su un anno e rappresentati mediante una contour map con il software SURFER® v.9 (Golden Software, Inc.). La ficocianina (espressa in µg L⁻¹ di clorofilla-a) è stata usata come indice della biomassa di P. rubescens, assumendo che abbia rappresentato più del 75% dei cianobatteri in entrambe le stazioni nel corso del 2019. Questa assunzione è avvalorata dai conteggi del fitoplancton (dati non mostrati) salvo per i mesi di luglio, a Gandria, e maggio-giugno, a Melide.

Nelle stesse stazioni sono stati misurati dei profili di temperatura e luce, con sonda multiparametrica Ocean Seven 316s CTD (Idronaut), da cui sono stati calcolati la profondità eufotica (Zeu 1% penetrazione della luce) ed il metalimnio, lo strato di transizione tra lo strato rimescolato di superficie e lo strato profondo (R, rLa-keAnalyzer; Winslow et al. 2015).

Il monitoraggio delle fioriture algali è stato integrato da riprese aeree con drone Phantom 4 DJI per valutarne l'estensione. In occasione della fioritura osservata nel bacino sud è stato raccolto un campione superficiale e i cianobatteri sono stati identificati a livello di specie e quantificati al microscopio invertito secondo il metodo Utermöhl (Utermöhl 1958).

RISULTATI E DISCUSSIONE

Alla fine del mese di dicembre nel 2019 hanno iniziato a manifestarsi delle lievi fioriture algali superficiali di colore rosso-bruno nel bacino nord, che hanno assunto un'evidente portata ad inizio gennaio 2020. Un'ampia fioritura è stata osservata il 7.1.2020 a centro lago, tra Castagnola e Caprino (Fig. 1). La sua presenza è perdurata per giorni e un'altra fioritura di simile portata è stata osservata il 21.1.2020 nel bacino sud, tra Melide e Bissone (Fig. 2). L'analisi a microscopio del campio-



Figura 2: Fioritura algale osservata il 21.1.2020 nel bacino sud del Lago di Lugano, tra Melide e Bissone.

ne raccolto da quest'ultima ha confermato come fosse prodotta dal cianobatterio *P. rubescens* (Fig. 3) e la sua densità è risultata di ca. 135'500 cellule mL⁻¹.

La colorazione delle acque superficiali di un colore rosso-bruno è un fenomeno ben conosciuto nel Lago di Lugano. P. rubescens, volgarmente nota come "alga rossa", fu trovata nel plancton per la prima volta nel novembre 1945 nel golfo di Lugano (Jaag 1964). La prima fioritura è stata segnalata già nel 1949, ma solo dal 1954, sfruttando la maggiore disponibilità di nutrienti, questa specie si è stabilizzata con densità consistenti, sviluppandosi soprattutto nei mesi primaverili ed autunnali (Jaag & Märki 1968). La sua dominanza è rimasta costante fino ai primi anni '80, una fase in cui complessivamente i cianobatteri costituivano in media il 95% del fitoplancton, per poi calare drasticamente con l'attuazione delle opere di risanamento (Polli & Simona 1992). Seppur con densità inferiori rispetto al passato, la dominanza di P. rubescens è stata osservata anche recentemente, nonostante il ritorno alla mesotrofia (bacino nord). Prediligendo condizioni di mesoeutrofia, P. rubescens è infatti in grado di svilupparsi anche durante il processo di oligotrofizzazione (Ernst et al. 2009). Tuttavia nel lago di Lugano l'estensione spaziale e temporale delle fioriture verificatesi tra fine 2019 e inizio 2020 è stata inconsueta.

La distribuzione spazio-temporale della ficocianina nel 2019 mostra come, in entrambi i bacini, lo sviluppo di P. rubescens sia iniziato nel periodo di stratificazione e culminato al termine dell'estate (Fig. 4). Questa specie ha proliferato negli strati prossimi al metalimnio e appena al di sotto della zona eufotica (10-20 m), in cui le condizioni di temperatura (9.9-13.9°C) e di luminosità (3.5-26.4 µmol s⁻¹) sono state ideali per la sua crescita. In questa specie la fotosintesi avviene fino a valori di intensità luminosa di 3-4 µmol s⁻¹ (Walsby & Schanz 2002), pertanto lo strato a ridosso della zona eufotica presenta ancora condizioni ottimali. Inoltre nel metalimnio la competizione con il resto del fitoplancton è inferiore e può sfruttare la maggiore disponibilità di nutrienti rispetto agli strati più superficiali (Dokulil & Teubner 2012). Nel recupero dall'eutrofizzazione, pertanto P. rubescens potrebbe essere favorita da una mag-

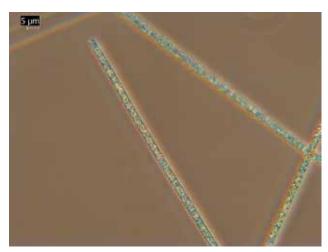


Figura 3: Il cianobatterio *Planktothrix rubescens* al microscopio ottico

giore trasparenza per riduzione del fitoplancton eucariotico (Jaquet et al. 2005).

In autunno, con il graduale raffreddamento degli strati superficiali, diminuisce la differenza di temperatura e di densità rispetto agli strati sottostanti e lo strato rimescolato si espande sempre più in profondità. Con l'erosione del metalimnio la popolazione di P. rubescens è stata ridistribuita sulla colonna d'acqua, e in seguito, grazie alla sua capacità di regolare il galleggiamento in funzione dell'intensità luminosa (Walsby & Schanz 2002), ha raggiunto la superficie. Questa migrazione verticale è osservabile nelle immagini catturate dal drone (Fig. 1), che ha permesso di cogliere le dinamiche della popolazione anche al di sotto della superficie durante le fasi di consolidamento della fioritura. Oliver et al. (2012) hanno osservato che la galleggiabilità dipende inoltre dalla disponibilità di nutrienti. Durante precipitazioni intense, può aumentare l'apporto di nutrienti al lago tramite il dilavamento del terreno e l'attivazione degli sfioratori di piena, che riversano reflui non depurati. Le abbondanti precipitazioni verificatesi nel periodo tardo-autunnale (Lugano, MeteoSvizzera) potrebbero aver fornito i nutrienti necessari per sostenere lo sviluppo di P. rubescens negli strati più superficiali favorendo la formazione delle fioriture. Questo

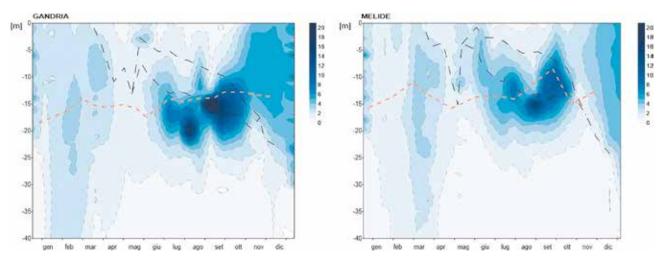


Figura 4: Distribuzione spaziale della ficocianina determinata con Trilux (clorofilla-a eq, μg L⁻¹), metalimnio (area compresa tra le linee nere) e profondità eufotica (linea arancione) nei primi 40 m del Lago di Lugano, nelle stazioni di Gandria e Melide da gennaio a dicembre 2019.

è particolarmente evidente nella stazione di Melide (Fig. 4), dove l'andamento della ficocianina suggerisce che, dopo un calo in novembre, il rifornimento di nutrienti associato a una maggiore disponibilità di luce negli strati superficiali abbia permesso un'ulteriore crescita di *P. rubescens* nel mese di dicembre.

In superficie i cianobatteri vanno incontro a un graduale processo di degradazione per l'esposizione diretta alla radiazione solare. Questo fenomeno porta al consumo di ossigeno disciolto e a un potenziale rilascio di cianotossine. P. rubescens è in grado di produrre microcistine (epatotossine), che oltre provocare insufficienza epatica nell'uomo a concentrazioni elevate, possono causare danni anche a basse dosi con un effetto cronico da accumulo (Wood et al. 2006). Queste tossine possono indurre effetti avversi anche nei pesci e nello zooplancton (Sotton et al. 2014). Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità, la potenziale produzione di cianotossine impone un'adeguata valutazione del rischio per le acque soggette a fioriture di cianobatteri (Bartram, & Chorus 1999). La densità di P. rubescens misurata in occasione della fioritura nel bacino sud è al di sopra dei limiti per la balneazione imposti dalla direttiva europea 2006/7/EC nelle aree litorali o interessate da sport acquatici (>100'000 cellule mL⁻¹). La formazione di fioriture nei mesi invernali non rappresenta un rischio per la popolazione, poiché al di fuori del periodo di balneazione, tuttavia pone potenziali problemi a livello ecologico e per l'approvvigionamento di acqua potabile. Vista la mancanza di studi sulla tossicità di P. rubescens nel Lago di Lugano e il crescente uso delle acque del lago a scopo potabile e ricreativo, è necessaria una corretta comprensione del fenomeno.

La presenza di condizioni fisiche ottimali per la crescita di *P. rubescens* e l'apparente mancanza di eventi eccezionali che potrebbero averne indotto un eccessivo sviluppo suggeriscono che il fenomeno delle fioriture algali nel periodo tardo autunnale-invernale potrebbe ripresentarsi in futuro. Studi più approfonditi su un arco temporale maggiore potranno chiarire i fattori chiave nello sviluppo di questa specie, permettendo di ottimizzare i piani di risanamento. Inoltre, le tecnologie innovative, come i sistemi aerei a pilotaggio remoto che offrono una migliore risoluzione spaziale, potranno essere affiancate alle attuali misure di gestione per prevenire e mitigare gli effetti delle fioriture algali.

RINGRAZIAMENTI

Un ringraziamento alle persone che hanno contribuito alle ricerche della CIPAIS, in particolare a Fabio Lepori, Diego Copetti e Filippo Schenker per la rilettura critica del testo.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

Bartram J. & Chorus I. 1999. Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. E & FN Spon, published on behalf of the World Health Organization, New York.

- Bowmer K.H., Padovan A., Oliver R.L., Korth W. & Ganf G.G. 1992. Physiology of geosmin production by *Anabaena circinalis* isolated from the Murrumbidgee River, Australia. Water Science and Technology, 25: 259-67.
- Codd G.A., Morrison L.F. & Metcalf J.S. 2005. Cyanobacterial toxins: risk management for health protection. Toxicology and applied pharmacology, 203(3): 264-272.
- Dokulil M.T. & Teubner K. 2012. Deep living *Planktothrix rubes*cens modulated by environmental constraints and climate forcing. Hydrobiologia, 698: 29-46.
- Ernst B., Hoeger S.J., O'Brien E. & Dietrich D.R., 2009. Abundance and toxicity of *Planktothrix rubescens* in the pre-alpine Lake Ammersee, Germany. Harmful Algae 8: 329-342.
- Jaag O. 1964. Planktologische Untersuchungen am Luganersee. EAWAG/Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere. EAWAG-Auftr. 3500.
- Jaag O. & Märki E. 1968. Recent developments and present-day situation in relation to the Lago di Lugano and its tributaries. In: Eutrophication in large lakes and impoundments. OECD, Uppsala Symposium; May 1968.
- Jaquet S.J., Briand F., Leboulanger C., Avois-Jacquet C., Oberhaus L., Tassin B., Vinçon-Leite B., Paolini G., Druart J.C., Anneville O. & Humbert J.F. 2005. The proliferation of the toxic cyanobacterium *Planktothrix rubescens* following restoration of the largest natural French lake (Lac du Bourget). Harmful Algae, 4: 651-72.
- 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.
- Oliver R.L., Hamilton D.P., Brookes J.D. & Ganf G.G. 2012. Physiology, blooms and prediction of planktonic cyanobacteria. In: Ecology of cyanobacteria II. Springer, Dordrecht, pp. 155-194.
- Polli B. & Simona M. 1992. Qualitative and quantitative aspects of the evolution of the planktonic populations in Lake Lugano. Aquatic sciences, 54(3-4): 303-320.
- Reynolds C.S., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L. & Melo S. 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. Journal of Plankton Research, 24: 417-428.
- Sotton B., Guillard J., Anneville O., Maréchal M., Savichtcheva O. & Domaizon I. 2014. Trophic transfer of microcystins through the lake pelagic food web: evidence for the role of zooplankton as a vector in fish contamination. Science of Total Environment, 466-467: 152-163.
- Utermöhl H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik: Mit 1 Tabelle und 15 Abbildungen im Text und auf 1 Tafel. Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Mitteilungen, 9: 1-38.
- Walsby A.E. & Schanz F., 2002. Light-dependent growth rate determines changes in the population of *Planktothrix rubescens* over the annual cycle in Lake Zurich, Switzerland. New Phytologist, 154: 671-687.
- Winslow L., Read J., Woolway R., Brentrup J., Leach T. & Zwart J. 2015. rLakeAnalyzer: Package for the analysis of lake physics. R package version, 1(6).
- Wood R. 2016. Acute animal and human poisonings from cyanotoxin exposure—a review of the literature. Environment international, 91: 276-282.

Breve storia dello zooplancton da crostacei della zona pelagica del Lago di Lugano

Fabio Lepori*

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

*fabio.lepori@supsi.ch

Riassunto: La storia della comunità dello zooplancton da crostacei della zona pelagica del Lago di Lugano (Svizzera e Italia) tra fine Ottocento e il presente è stata ricostruita in base a un'analisi della letteratura. La ricostruzione mette in luce una storia dinamica, caratterizzata dall'apparente scomparsa di numerose specie durante la prima metà del Novecento e dal successivo arrivo di specie alloctone. Inquinamento, risanamento e specie alloctone stanno portando alla formazione di nuove comunità (novel communities) potenzialmente diverse per struttura e funzionamento da quelle originarie.

Parole chiave: laghi svizzeri, plancton, specie alloctone

Brief history of the crustacean zooplankton of the pelagic zone of Lake Lugano

Abstract: The history of the community of crustacean zooplankton of the pelagic zone of Lake Lugano (Switzerland and Italy) was reconstructed based on a literature review. Pollution, restoration and non-native species are leading to the emergence of novel communities, which may differ in structure and function from native ones.

Keywords: non-native species, plankton, Swiss lakes

INTRODUZIONE

La lunga storia di indagini sulla fauna dei laghi prealpini (Polli & Simona 1992) offre opportunità di studiare gli effetti di pressioni ambientali quali l'inquinamento e l'arrivo di specie alloctone. Tuttavia, la valutazione è resa difficoltosa da incongruenze nella classificazione e nella denominazione delle specie. In questa notizia viene ricostruita la storia della comunità dello zooplancton da crostacei della zona pelagica del Lago di Lugano sulla base di una sintesi della letteratura e dell'armonizzazione dei nomi scientifici usati nel tempo.

MATERIALI E METODI

Il Lago di Lugano è uno dei maggiori laghi profondi sud-alpini. È stato colpito dal fenomeno dell'eutrofizzazione, che dopo aver manifestato primi sintomi negli anni '20-'30 (Monti 1929) portò all'eutrofia (bacino nord) o all'ipertrofia (bacino sud) negli anni '70-'80. Da allora, un programma di risanamento ha riportato il bacino nord alla mesotrofia e il bacino sud all'eutrofia (Lepori et al. 2018). Altri cambiamenti ambientali riguardano l'ittiofauna, tra cui si evidenziano l'introduzione del coregone (nel 1897; Borroni & Grimaldi 1978) e la scomparsa dell'alborella (negli anni '90; Polli 2004). Le informazioni sullo zooplancton trovate in letteratura coprono il periodo che si estende dalla fine dell'Ottocento ai giorni nostri. Nella sintesi (Tab. 1) la nomenclatura è stata aggiornata adeguando-

la a Błędzki & Rybak (2016), facendo uso di sinonimie proposte in letteratura o desunte da altre informazioni (Tabelle 2 e 3). Dall'analisi sono state escluse le specie litorali *Acroperus harpae* e *Alona* sp., per le quali mancano informazioni recenti. Specie non rilevate nel lago per anni o decenni vengono definite 'scomparse' invece di 'localmente estinte' perché non se ne esclude la sopravvivenza in aree non campionate o in banche di uova dormienti.

RISULTATI E DISCUSSIONE

In base alla tabella 1, tra i cladoceri Diaphanosoma brachyurum ha fatto parte della fauna del lago dall'inizio dell'Ottocento al presente, mentre Sida crystallina è scomparsa nel Novecento, come in vicini laghi italiani (Margaritora 1983). La storia delle bosmine (genere Bosmina) è complessa e riguarda almeno tre specie. B. longirostris, autoctona e regionalmente diffusa (Margaritora 1983), è stata rilevata dalle prime indagini nell'Ottocento fino al presente. Una seconda specie, oggi nota come B. (Eubosmina) longispina, anch'essa autoctona nei laghi marginali alpini (Margaritora 1983), è stata presente almeno fino alle indagini di Burckhardt (1900), che la identificò come B. coregoni var. ceresiana. Negli ultimi decenni B. longispina è apparentemente scomparsa, mentre almeno dal 2002 (Tab. 2) è presente B. (Eubosmina) longicornis. Questa specie, originaria dell'Europa centrale e settentrionale (Błędzki & Rybak 2016) è in espansione (Manca et al. 2005) e ha probabilmente co-

Tabella 1: Specie di zooplancton da crostacei identificate nel Lago di Lugano.

Specie	AA. VV.¹ in Burckhardt 1900	Burckhardt 1900²	Fehlmann 1912³	Burckhardt 1914	Monti 1929 ⁵	Einse 1947 ⁶	Baldi et al. 1949 ⁷	EAWAG 19648	EURATOM 1972- 1974 ⁹	Ravera & Parise 1978 ^{10, 11}	CIPAIS 1983-2013 ¹²	Scascighini 200213	CIPAIS 2014-2019 ⁶
Diaphanosoma brachyurum	•	•		•	•		•	•	•		•	•	•
Sida crystallina	•	•		•	•					•			
Bosmina (Bosmina) longirostris	•	•		•	•						•		•
Bosmina (Eubosmina) longicornis												•	•
Bosmina (Eubosmina) longispina	•	•		•	•								
Bosmina (Eubosmina) sp.							•	•	•		•		
Bosmina spp.										•			
Chydorus sphaericus								•	•	•			
Ceriodaphnia pulchella				•	•								
Daphnia cucullata								•			•		
Daphnia longispina s.l.	•	•		•	•		•	•	•	•	•	•	•
Daphnia obtusa									•				
Daphnia pulicaria		•		•	•								
Bythotrephes longimanus	•				•		•				•		•
Leptodora kindtii	•	•		•	•		•	•		•	•	•	•
Eudiaptomus gracilis											•	•	•
Eudiaptomus padanus	• ?				•								
Heterocope saliens	•				•								
Mixodiaptomus laciniatus		•		•	•		•						
Cyclops abyssorum		•		•	•	•	•	•	•			•	•
Cyclops strenuus								•					•
Cyclops vicinus											•		•
Cyclops spp. ¹⁵											•		
Megacyclops gigas									•		•		•
Megacyclops viridis			•										
Mesocyclops leuckarti		•		•	•		•				•	•	•
Thermocyclops crassus									•		•		•

¹ Pavesi, Asper e Imhof (in Burckhardt 1900).

² Burckhardt G. 1900. Faunistische und systematische Studien über das Zooplankton der Grosseren Seen der Schweiz und ihrer Grenzgebiete. Revue Suisse de Zoologie, 7: 353-715

³ In: Pirocchi L. 1943. Un Ciclopoide di profondità del Lago di Como. Italian Journal of Zoology, 14: 33-48.

⁴ Burckhardt G. 1914. Notizen über das Zooplankton südlicher Alpenrandseen. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, 6 (S4 supplement): 1–30.

⁵ Monti R. 1929. Limnologia comparata dei laghi insubrici. Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie, 5: 462-497.

⁶ In: Einsle, U. 1969. Untersuchungen zur Systematik der italienischen *Cyclops* populationen. Rivista di idrobiologia, 7: 118-134.

⁷ Baldi E., Pirocchi L. & Tonolli V. 1949. Relazione preliminare sulle ricerche idrobiologiche condotte sul Lago di Lugano (1946-1947). Ispettorato federale svizzero per la pesca.

⁸ EAWAG 1964. Untersuchungen am Luganersee. Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere.

⁹ EURATOM 1973,1974. Studio sull'eutrofizzazione del Lago di Lugano. Commissione delle Comunità Europee, C.C.R., Ispra.

¹⁰ Ravera, O. & Parise, G. 1978. Eutrophication of Lake Lugano 'read' by means of planktonic remains in the sediment. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, 40: 40-50.

¹¹ Studio paleolimnologico su 20 cm di sedimenti, periodo che si estende dal 1948-1960 (secondo la stazione) e il 1973.

¹² AA.W. 1983-2013. Ricerche sull'evoluzione del Lago di Lugano. Aspetti limnologici. Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere, Torino.

¹³ Scascighini V. 2002. Vertikalverteilung und Dynamik des Crustaceen – Zooplanktons im Nordbecken des Luganersees. Tesi di Diploma, Università di Basilea.

¹⁴ IST-SUPSI. 2014-2019. Ricerche sull'evoluzione del Lago di Lugano. Aspetti limnologici. Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere,

¹⁵ Comprende le specie *C. abyssorum*, *C. strenuus* e forse *C. vicinus* (non identificato prima del 2013).

lonizzato il lago nel corso del Novecento, sostituendo B. longispina. Chydorus sphaericus apparve transitoriamente nel lago attorno agli anni '60 e '70, favorito dal crescente grado di trofia delle acque (Manca et al. 2007). Le dafnie (generi Ceriodaphnia e Daphnia) sono state rappresentate da almeno cinque specie. Tra fine Ottocento e inizio Novecento vennero identificate Daphnia longispina s.l., D. pulicaria e Ceriodaphnia pulchella. Dopo Monti (1929), D. pulicaria e C. pulchella non sono più state trovate, mentre D. longispina s.l. è stata rinvenuta in tutte le indagini successive. D. cucullata e D. obtusa, due specie tipiche di acque meso- ed eutrofiche (Margaritora 1983), apparvero a partire dagli anni '60-'70, ma la loro presenza fu circoscritta a non più di 1-3 decenni. Nel 2016 indagini genetiche hanno confermato che nel complesso D. longispina s.l. erano presenti D. longispina, D. galeata e ibridi tra queste specie (Dr. Slawek Cerbin, Università Adam Mickiewicz, Poznań, Polonia, comunicazione personale).

Tra i cladoceri predatori, *Leptodora kindtii* fa parte della fauna autoctona ed è stata rinvenuta in quasi tutte le indagini. L'altro predatore, *Bythotrephes longimanus*, anch'esso autoctono, fu trovato ripetutamente dai naturalisti Pavesi, Forel e Calloni nell'Ottocento (Monti 1929). Tuttavia, Monti (1929) lo trovò solo nello sto-

maco dei coregoni e lo ritenne un'"estrema rarità". Analogamente, Baldi et al. (1949), che lo raccolsero solo nei bacini di Gandria e Capolago, lo considerarono molto raro. In seguito, B. longimanus non fu più ritrovato per oltre mezzo secolo, prima di riapparire nel 2013 (IST-SUPSI 2014). Da allora, B. longimanus è tornato ad essere regolarmente presente in entrambi i bacini del lago. Poiché questa specie predilige acque oligotrofe, la sua recente riapparizione (e la simile riapparizione in altri laghi) va probabilmente attribuita al risanamento dello stato trofico (Błędzki & Rybak 2016). Tra i copepodi, fino all'inizio del Novecento, i calanoidi erano rappresentati da Mixodiaptomus laciniatus, Heterocope saliens e una terza specie, originariamente identificata come Diaptomus graciloides o Eudiaptomus vulgaris. Quest'ultima si riferisce probabilmente alla specie endemica oggi nota come Eudiaptomus padanus (Tab. 2). Dopo le indagini di Baldi et al. (1949), i calanoidi scomparvero dal lago per diversi decenni, poiché sfavoriti dal crescente grado di trofia (Ravera 1980). Riapparvero nel 1988-1989 con una nuova specie, Eudiaptomus gracilis, originaria del nord delle Alpi e tollerante un ampio intervallo di stati trofici (Błędzki & Rybak 2016). E. gracilis rimane tuttora l'unico calanoide presente nel

Tabella 2: Sinonimie proposte per uniformare i nomi delle specie (riportate solo dove il nome scientifico e/o l'autore differiscono da quello odierno). Bibliografia come in Tab. 1 salvo dove notato.

Specie	Sinonimi (Autore/i)	Osservazioni
Diaphanosoma brachyurum (Liévin, 1848)	Daphnella brachyura L. (Pavesi in Burckhardt 1900) Diaphanosoma brachiurum Liév. (Burckhardt 1900) Diaphanosoma brachiurum (CIPAIS 1983-2013, Scascighini 2002)	
Sida crystallina (O.F. Müller, 1776)	Sida limnetica n. sp. (Burckhardt 1900) Sida limnetica Burckhardt (Monti 1929) Sida cristallina (Ravera & Parise 1978)	Sida limnetica è la forma pelagica di S. crystallina secondo Margaritora (1983).
Bosmina (Eubosmina) longicornis (Schödler, 1866)	Eubosmina coregoni (Scascighini 2002)	La foto (p. 24) di <i>E. coregoni</i> in Scascighini (2002) mostra una femmina con pseudomucrone orientato verso il basso, che identifica <i>B. longicornis</i> .
Bosmina (Eubosmina) longispina (Leydig, 1860)	Bosmina coregoni Baird. var. loc. (Burckhardt 1900) Bosmina coregoni var. ceresiana Burckh. (Monti 1929)	Un'illustrazione di Burckhardt (1900; T7, Fig. 8) mostra che la <i>Bosmina coregoni</i> var. <i>ceresiana</i> trovata nel Lago di Lugano da quest'autore corrisponde alla specie mucronata oggi nota come <i>B. longispina</i> .
Chydorus sphaericus (O.F. Müller, 1776)	Chydoridae (EAWAG 1964)	Non essendo nota la presenza di altri Chydoridae nel lago, si assume che Chydoridae corrisponda a <i>C. sphaericus</i> .
Daphnia longispina s.l., definita come il complesso di specie D. gruppo longispina secondo Petrusek et al. (2006)¹, comprendente D. longispina (0.F. Müller, 1776), D. galeata Sars, 1863, altre spp. e ibridi.	Daphnia hyalina e D. galeata (Pavesi in Burckhardt 1900) D. galeata (Asper in Burckhardt 1900) D. hyalina Leyd. formæ div. (Burckhardt 1900) D. hyalina forme div. Leydig (Monti 1929) D. longispina (Leyd.) (Baldi et al. 1949) D. longispina 0.F. Müller (EAWAG); D. hyalina Leydig (Ravera & Parise 1978) D. hyalina (CIPAIS 1983-2013, Scascighini 2002) D. longispina-galeata (CIPAIS 2014-2018)	Le forme raggruppate in passato sotto <i>D. hyalina</i> o <i>D. longispina</i> hanno probabilmente incluso <i>D. longispina</i> e <i>D. galeata</i> (Steiner e Woltereck in Monti 1929). Tuttavia, specie e ibridi entro il gruppo <i>longispina</i> non possono sempre essere distinti su base morfologica. Si propone il 'gruppo' <i>longispina</i> (<i>D. longispina</i> s. <i>l.</i>) come denominatore comune a tutte le osservazioni.

Specie	Sinonimi (Autore/i)	Osservazioni
Daphnia pulicaria Forbes, 1893	Daphnia pulex var. pulicarioides (Burckhardt 1900) Daphnia pulex var. pulicaroides Burckhardt (Monti 1929)	
Leptodora kindtii (Focke, 1844)	Leptodora hyalina Lilljeb. (Pavesi in Burckhardt 1900) Lepotodora hyalina Lillj. (Burckhardt 1900) Leptodora hyalina Liévin (Monti 1929)	
Eudiaptomus padanus (Burckhardt, 1900)	D. gracilis (Asper in Burckhardt 1900) Diaptomus gracilis Sars (Monti 1929)	Baldi et al. (1949) trovarono nel materiale di R. Monti (1925, "fra Cima e Osteno") "una forma di <i>Eud. vulgaris</i> , appartenente allo stesso ciclo di forme che popola tutti gli altri laghi marginali sudalpini". Poiché negli altri laghi marginali subalpini era (è ancora) presente <i>E. padanus</i> , è verosimile che anche la 'forma' trovata nel Lago di Lugano sia assimilabile a questa specie.
Mixodiaptomus laciniatus (Lilljeborg, 1889)	Diaptomus laciniatus Lillj (Monti 1929)	
Cyclops abyssorum (sensu latu) G.O. Sars, 1863	Cyclops strenuus Fisch. (Burckhardt 1900) Cyclops strenuus Fischer (Monti 1929) Cyclops strenuus (Fisch.) (Baldi et al. 1949) Cyclops abyssorum prealpinus (EURATOM 1972- 1974) C. abyssorum prealpinus (Kiefer 1929) (EAWAG 1964) Cyclops abyssorum (part) (Scascighini 2002)	Prima della revisione del genere <i>Cyclops</i> di Kozminski (in Thiébaud 1953)², <i>C. strenuus</i> comprendeva specie in seguito considerate separate, quali <i>C. strenuus</i> e <i>C. abyssorum</i> . Tuttavia, secondo Einsle (1996), <i>C. abyssorum</i> era l'unico <i>Cyclops</i> presente nei grandi laghi perialpini prima dell'eutrofizzazione. Inoltre, Einsle (1969) riporta che "Ein typischer <i>Cyclops abyssorum prealpinus</i> lebt auch im Luganer See" (il campione porta la data del 30/7/47). Si propone che le specie indentificate come <i>C. strenuus</i> prima della metà del Novecento siano da attribuire a <i>C. abyssorum</i> . Una foto in Scascighini (2002, p 23) mostra una femmina di <i>C. abyssorum</i> , ma è probabile che altri <i>Cyclops</i> fossero classificati sotto lo stesso nome.
Cyclops strenuus Fischer, 1851	Cyclops strenuus landei (Kozminski 1933) (EAWAG 1964)	Presente con la sottospecie (dubbia) <i>C. strenuus landei</i> Koźmiński, 1933.
Megacyclops gigas (Claus, 1857)	Megacyclops gigas (EURATOM 1972-1974, CIPAIS 1983-2013)	
Megacyclops viridis (Jurine, 1820)	Megacyclops viridis Jurine f. Clausi (Pirocchi 1943)	
Mesocyclops leuckarti (Claus, 1857)	Cyclops leuckarti Claus (Burkhardt 1900) Cyclops leuckarti Sars (Monti 1929)	Secondo EURATOM 1972-1974 la specie identificata come <i>Mesocyclops leuckarti</i> da Baldi et al. (1949) sarebbe invece <i>Thermocyclops crassus</i> . Tuttavia, <i>M. leuckarti</i> era stato indipendentemente trovato da Monti (1929) e Burckhardt (1900). Inoltre, <i>M. leuckarti</i> non è mai stato messo in sinonimia con <i>T. crassus</i> .
Thermocyclops crassus (Fisher, 1853)	Thermocyclops hyalinus (EURATOM 1972-1974)	

¹ Petrusek, A., Bastiansen, F., Schwenk, K. (2005): European Daphnia Species (EDS) - Taxonomic and genetic keys. [Build 2006-01-12 beta]. CD-ROM, distributed by the authors. Department of Ecology and Evolution, J.W. Goethe-University, Frankfurt am Main, Germany & Department of Ecology, Charles University, Prague, Czechia.

² Thiebaud, M. (1953) Les espèces du groupe strenuus constatées en Suisse. Revue suisse de Zoologie, 60: 285-299.

I copepodi ciclopoidi sono rappresentati da sette specie, di cui solo due erano presenti dall'inizio delle indagini. Cyclops abyssorum fu identificato per la prima volta da Einsle nel 1947 (Einsle 1969), ma individui precedentemente identificati come Cyclops strenuus sono quasi certamente da attribuire a questa specie (Tab. 2). L'altro ciclopoide autoctono, trovato già da Burckhard (1900), è Mesocyclops leuckarti. A queste specie si sono aggiunte nel tempo C. strenuus sensu stricto (prima segnalazione: EAWAG 1964, Tab. 1), Thermocyclops crassus (prima segnalazione: EURATOM 1972-1974, Tab. 1), e Cyclops vicinus, trovato solo nel periodo 2013-2015. Cyclops vicinus è una specie alloctona che si è diffusa nel bacino del Po nella seconda metà del Novecento, ma colonizza principalmente laghetti eutrofi (Origgi et al. 1978). La sua presenza temporanea nella zona pelagica del lago fa presumere un fenomeno di dispersione a cui non ha fatto seguito una vera e propria colonizzazione. Infine, le due specie di Megacyclops osservate nel lago (M. viridis in passato, M. gigas dagli anni '70) pongono un altro enigma. M. viridis è autoctono e presente nei laghi di Como (Pirocchi 1943) e Maggiore (Stella 1964). Nel Lago di Lugano potrebbe essersi verificato un avvicendamento tra M. viridis e M. gigas, quest'ultimo diffuso al nord delle Alpi (Pirocchi 1943). Tuttavia, poiché le due specie sono spesso confuse (Einsle 1996), la presenza

originaria di *M. viridis* nel lago, benché probabile, non può essere accertata solo su base bibliografica.

In conclusione, la sintesi mette in luce una storia dinamica, caratterizzata dalla scomparsa di numerose specie durante la prima metà del Novecento (S. crystallina, D. pulicaria, B. longispina, H. saliens, M. laciniatus, E. padanus e B. longimanus, quest'ultimo poi riapparso recentemente). Poiché molte di queste specie prediligono acque oligotrofiche, la loro scomparsa si spiega in parte con la crescente eutrofizzazione del lago (Ravera 1980). Stupisce tuttavia che queste scomparse siano avvenute quando l'eutrofizzazione era in uno stadio iniziale, il che suggerisce che la comunità zooplanctonica di riferimento fosse molto sensibile (cioè suscettibile di profonde modifiche ai primi cenni di eutrofizzazione), oppure che alle scomparse abbiano contribuito altre cause, tra cui l'introduzione dei coregoni, che potrebbe aver influito soprattutto sulle specie di maggiori dimensioni (p. es. B. longimanus; Monti 1929). Al contempo, dalla fine dell'Ottocento il lago è stato colonizzato da numerose specie alloctone, di cui quattro (E. gracilis, C. strenuus, T. crassus e B. longicornis), in grado di tollerare elevata trofia, sono tuttora presenti. La ricostruzione illustra l'impatto di inquinamento (eutrofizzazione), risanamento e fauna alloctona sulla biodiversità nativa. Fatta esclusione per gli avvicendamenti tra B. longispi-

Tabella 3: Specie dubbie. Bibliografia come in Tab. 1.

Specie	Autore/i	Commenti
Bosmina coregoni Baird Bosmina coregoni var. amethystina Brehm Bosmina coregoni Baird Bosmina coregoni Baird Eubosmina coregoni	Monti 1929 Monti 1929 Baldi et al. 1949 EAWAG 1964 CIPAIS 1983-2013	Le bosmine identificate come <i>B. coregoni</i> da diversi autori potrebbero riferirsi a <i>B. longispina</i> (sinonimo di <i>B. coregoni</i> var. <i>ceresiana</i>), <i>B. longicornis</i> (considerata come sottospecie di <i>B. coregoni</i> in passato), o <i>B. coregoni</i> . Senza verifica del materiale non è possibile proporre sinonimie. Monti (1929) distingue tre diverse 'varietà' di <i>B. coregoni</i> , da cui si potrebbe desumere l'esistenza di entità tassonomiche diverse.
Daphnia cristata	Pavesi in Burckhardt 1900	Nonostante esista <i>Daphnia cristata</i> Sars, 1861, mancano osservazioni indipendenti nella regione.
Daphnia kahlbergensis	Pavesi in Burckhardt 1900	Potrebbe trattarsi di <i>Daphnia cucullata</i> (sinonimo di <i>Daphnia kahlbergensis</i> Daday, 1888), ma mancano conferme da altre indagini tra fine Ottocento e inizio Novecento.
Daphnia pulex De Geer	Monti 1929	Mancano altre osservazioni. Potrebbe essere una specie litorale non più rinvenuta per mancanza di indagini in quest'ambiente.
Diaptomus gracilis Sars	Pavesi in Burckhardt 1900	Secondo la letteratura sinonimo di <i>E. gracilis</i> , che però non era presente nel lago o nella regione nell'Ottocento e va quindi escluso. Probabilmente si tratta di un diaptomide identificato incorrettamente. Secondo Burckhardt (1900) potrebbe essersi trattato di <i>D. graciloides</i> (oggi <i>Eudiaptomus padanus</i>).
Diaptomus castor Jurine	Pavesi in Burckhardt 1900	D. castor esiste ma non in regione. Potrebbe essersi trattato di M. laciniatus.
Cyclops abyssorum	CIPAIS 1983-2013	Probabilmente da intendere come <i>Cyclops</i> spp., compresi <i>C. abyssorum</i> , <i>C. strenuus</i> e forse <i>C. vicinus</i> .
Cyclops bohater	CIPAIS 1983-2013	Mancano conferme o altre osservazioni di <i>C. bohater</i> nella regione.
Cyclops brevicornis Lubb.	Pavesi in Burckhardt 1900	La specie non è stata ritrovata in letteratura. Una specie che porta lo stesso epiteto e autore, <i>Parapontella brevicornis</i> Lubbock, è un calanoide. Secondo Pirocchi (1943) si tratterebbe probabilmente di <i>C. strenuus</i> (ora <i>C. abyssorum</i>).
Cyclops serrulatus Fisch.	Pavesi in Burckhardt 1900	Un altro copepode probabilmente identificato incorrettamente. Esiste <i>Eucyclops serrulatus</i> Fischer, ma non nella regione.

na e B. longicornis e tra M. viridis e M. gigas, l'arrivo di fauna alloctona è avvenuto successivamente rispetto all'estinzione della fauna autoctona e quindi non ne ha direttamente causato l'eliminazione. Tuttavia, le specie alloctone potrebbero ostacolare il ritorno di specie originarie nonostante il miglioramento della qualità delle acque e portare alla formazione di nuove comunità ('no-analogue/novel communities') caratterizzate da struttura e funzionamento senza precedenti storici.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio la Dr.ssa C. Capelli e la Dr.ssa B. Leoni per la revisione del manoscritto e gli utili suggerimenti.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

- Baldi E., Pirocchi L. & Tonolli V. 1949. Relazione preliminare sulle ricerche idrobiologiche condotte sul Lago di Lugano (1946-1947). Ispettorato federale svizzero per la pesca.
- Bledzki L.A. & Rybak J.I. 2016. Freshwater Crustacean Zooplankton of Europe: Cladocera & Copepoda (Calanoida, Cyclopoida). Key to species identification, with notes on ecology, distribution, methods and introduction to data analysis. Springer International Publishing.
- Borroni I. & Grimaldi E. 1978. Fattori e tendenze di modificazione dell'ittiofauna italiana d'acqua dolce. Italian Journal of Zoology, 45: 63-73.
- Burckhardt G. 1900. Faunistische und systematische Studien über das Zooplankton der Grosseren Seen der Schweiz und ihrer Grenzgebiete. Revue Suisse de Zoologie, 7: 353-715.
- Einsle U. 1969. Untersuchungen zur Systematik der italienischen Cyclops populationen. Rivista di Idrobiologia, 7: 118-134.
- Einsle U. 1996. Copepoda: Cyclopoida genera Cyclops, Megacyclops, Acanthocyclops. Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world. Vol. 10. Amsterdam, the Netherlands, SPB Academic Publishing.

- Istituto scienze della Terra (IST-SUPSI) 2014. Ricerche sull'evoluzione del Lago di Lugano. Aspetti limnologici. Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere, Torino.
- 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.
- Margaritora F.G. 1983. Cladoceri (Crustacea: Cladocera). Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane. Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- Manca M., Margaritora F.G. & de Bernardi R. 2005. Comunità a cladoceri di laghi del Bacino del Po: risultati ottenuti nell'ambito del Progetto Europeo Long distance dispersal of Aquatic KEy Species (LAKES). Biologia Ambientale, 19: 17-24.
- Manca M., Torretta B., Comoli P., Amsinck S.L. & Jeppesen E. 2007. Major changes in trophic dynamics in large, deep subalpine Lake Maggiore from 1940s to 2002: a high resolution comparative palaeo-neolimnological study. Freshwater Biology, 52: 2256-2269.
- Monti R. 1929. Limnologia comparata dei laghi insubrici. Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie, 5: 462-497.
- Origgi L., de Bernardi R. & Giussani G.F. 1978. Alcune osservazioni sulla comparsa di *Cvclops vicinus* Uljanin (Crustacea Copepoda) e sulla sua ecologia in alcuni laghi dell'Italia settentrionale. Memorie dell'Istituto italiano di idrobiologia, 36: 309-319.
- Pirocchi L. 1943. Un Ciclopoide di profondità del Lago di Como. Italian Journal of Zoology, 14: 33-48.
- Polli B. 2004. La scomparsa dal Ceresio. http://www.cispp.org/pdf/alborella.pdf (ultima consultazione: 28.2.2020)
- Polli B. & Simona M. 1992. Qualitative and quantitative aspects of the evolution of the planktonic populations in Lake Lugano. Aquatic Science, 54: 303-320.
- Ravera O. 1980. Effects of eutrophication on zooplankton. In: S.H. Jenkins (ed), Eutrophication of Deep Lakes, Pergamon press, pp. 141-159.
- Stella S. 1964. Megacyclops viridis Jurine, abyssal form in Lago Maggiore. Memorie dell'Istituto italiano di idrobiologia, 17: 57-79.

Ritrovamento di un tronco di quercia subfossile (5755-5640 cal BP) nel quadro della rivitalizzazione del fiume Ticino in Riviera: cronaca e prime annotazioni

Sandro Peduzzi^{1*}, Tiziano Putelli², Patrik Krebs³ e Cristian Scapozza⁴

¹ Ufficio dei corsi d'acqua, Dipartimento del territorio, 6500 Bellinzona, Svizzera
 ² Ufficio caccia e pesca, Dipartimento del territorio, 6500 Bellinzona, Svizzera
 ³ Istituto federale di ricerca WSL, 6593 Cadenazzo, Svizzera
 ⁴ Istituto scienze della Terra, Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI), Campus Trevano, 6952 Canobbio, Svizzera

*sandro.peduzzi@ti.ch

Riassunto: Sono riportate le analisi e le osservazioni effettuate su di un tronco di quercia subfossile ritrovato a Cresciano lungo il fiume Ticino nel 2016. Il tronco è riemerso dai depositi alluvionali grazie alla riattivazione della dinamica fluviale nell'ambito dei lavori di rivitalizzazione del fiume Ticino in Riviera. La datazione al radiocarbonio del legno ha fornito un'età compresa all'89% fra 5755 e 5640 cal BP, vale a dire fra il 3805 e il 3690 a.C. ed è stato identificato come appartenente a una farnia (*Quercus robur*) con un'età compresa tra 225 e 250 anni. Il tronco è dritto e colonnare con una lunghezza di 14 metri e una circonferenza che supera i 200 cm nella parte basale e si mantiene oltre i 170 cm lungo gran parte del fusto. Il ritrovamento è stato contestualizzato nella dinamica sedimentaria del comparto e messo in relazione con la possibile copertura vegetale del comparto durante la crescita dell'albero, nel Medio-Olocene. Nell'ambito della politica di rinaturazione delle acque naturali, la specie, le dimensioni, la datazione e l'età sono da considerare simboliche. Dal 2020 il piede del tronco è esposto all'entrata della sede del Dipartimento del territorio mentre la porzione superiore del fusto è in attesa di essere valorizzata presso il Museo cantonale di storia naturale di Lugano.

Parole chiave: Farnia (Quercus robur), dinamica sedimentaria, depositi alluvionali, neolitico ceramico medio

Finding of a subfossil oak trunk (5755-5640 cal BP) in the framework of the restoration of the Ticino river in Riviera: chronicle and first notes

Abstract: This article reports the analyses and observations made on a subfossil oak trunk, found in Cresciano along the Ticino River in 2016. The trunk is re-emerged from the alluvial deposits thanks to the reactivation of the fluvial dynamics in the context of the Ticino River restoration in Riviera. The radiocarbon dating of the wood has provided an age comprised between 5755 and 5640 cal BP (to 89%), that is between 3805 and 3690 BC, and has been identified as belonging to a pedunculate oak (*Quercus robur*) with an age between 225 and 250 years. The trunk is of remarkable dimensions: straight and columnar, 14 metres long, with a circumference exceeding 200 cm in the basal part and 170 cm along most of the stem. The discovery has been here contextualized in the sedimentary dynamics of the area and linked to the possible plant cover of the sector during the growth of the tree, in the Mid-Holocene. In the context of the policy of natural waters restoration, the species, size, dating and age have to be considered symbolic. Since 2020 the tree stump is exposed at the entrance of the Department of the territory while the upper portion of the stem is waiting to be valorized at the Museo cantonale di storia naturale of Lugano.

Keywords: Pedunculate oak (Quercus robur), sedimentary dynamics, alluvial deposits, mid pottery neolithic

INTRODUZIONE

Da oltre 15 anni il Cantone Ticino è impegnato attivamente nella promozione e nel finanziamento di interventi di rivitalizzazione di corsi d'acqua e rive lacustri. La legge cantonale a sostegno di questi interventi è del 2005 (Legge sul finanziamento della rinaturazione dei corsi d'acqua e delle rive lacustri). In aggiunta le modifiche della LPAc e relativa Ordinanza del 2011 hanno impresso un'accelerazione importante alle rivitalizzazioni,

non solo in Ticino ma in tutta la Svizzera, rendendole un obbligo per i cantoni e assicurando cospicui aiuti finanziari (Peduzzi & Filippini 2012). Nel Cantone Ticino gli esempi sono numerosi e ben ripartiti sul territorio, basti citare due progetti faro: nel Sopraceneri il Delta vivo alla foce del Ticino nella riserva delle Bolle di Magadino del 2009 (Peduzzi et al. 2009; Rossi-Pedruzzi et al. 2012) e, nel Sottoceneri, la riqualificazione della tratta finale del Cassarate e della sua foce nel Ceresio a Lugano del 2014 (Filippini et al. 2014). Per il comparto

della Riviera sono in corso valutazioni importanti tramite un Master Plan Rivitalizzazioni che avrà lo scopo di armonizzare tra loro le misure di risanamento delle acque che includono le rivitalizzazioni, il risanamento dei deflussi discontinui e del trasporto solido ed il ripristino della libera migrazione ittica.

Lo scopo primario delle rivitalizzazioni consiste nel riattivare i processi fluvio-morfologici, di erosione e deposito dei corsi d'acqua, andati parzialmente persi negli ultimi 150 anni a causa delle correzioni e arginature. A margine dei lavori di rivitalizzazione del fiume Ticino in Riviera è stato rinvenuto un tronco subfossile del genere Quercus. Il tronco è stato liberato dall'erosione spondale innescata dopo la realizzazione dei banchi di Moleno e Cresciano nell'ambito della rivitalizzazione promossa dal Dipartimento del territorio. Questi banchi sono stati realizzati tra il 2013 (Moleno) e il 2015 (Cresciano), impiegando il materiale inerte (in totale circa 57 mila metri cubi) proveniente dal deposito della frana del Valegión a monte di Preonzo, con un duplice scopo. Da un lato si proponeva di ripetere le barre alternate presenti in alveo nella tratta poco più a monte e assenti in questo tratto a causa della riduzione della larghezza della sezione idraulica, con l'intento di diversificare le strutture ecomorfologiche nel letto del fiume e ottenere maggiori variazioni della profondità e della velocità delle acque. D'altro lato questi due depositi artificiali, realizzati in modo da essere erodibili durante gli eventi estremi, potranno in futuro contribuire a colmare l'importante deficit di trasporto solido riscontrato in Riviera per il fiume Ticino.

Le importanti dimensioni, l'ottimo stato di conservazione, la specie, l'età e il contesto del ritrovamento meritano di essere qui di seguito descritti e discussi per almeno tre ragioni.

In primo luogo, la posizione del ritrovamento a ridosso del fiume Ticino è a soli 415 metri da un tronco subfossile abbastanza simile ma più recente emerso durante lo scavo delle pozze antincendio di Moleno (Krebs et al. 2015). Questo conferma l'interesse del comparto per la raccolta d'indicazioni che aiutano a ritracciare la dinamica sedimentaria in Riviera e lo sviluppo ed evoluzione di tutta la pianura alluvionale del Ticino nell'Olocene (Scapozza 2019).

In secondo luogo, il ritrovamento aggiunge un tassello alla comprensione della diffusione della quercia nel tempo e fornisce un indizio supplementare per la comprensione della composizione della vegetazione negli ambienti golenali dei fondivalle alpini durante l'Olocene (Tinner et al. 2005; Hofstetter et al. 2006; Krebs et al. 2015; Morales-Molino et al. 2015; Carlevaro et al. 2017).

Il terzo motivo d'interesse è costituito dallo spunto che ci offre il ritrovamento, dovuto al ripristino di una dinamica fluviale più vicina a uno stato naturale, per proporre delle considerazioni sulla portata ecologica dei lavori di rivitalizzazione, in riferimento alla loro dimensione spaziale e temporale. Lo stesso spunto che ci permette di proporre alcune considerazioni sulla politica di recupero dei corsi d'acqua, di recente intrapresa, e sul suo significato in relazione all'occupazione umana del territorio.

MATERIALI E METODI

Descrizione del ritrovamento

Durante un sopralluogo di verifica del comportamento del fiume e dei processi erosivi innescati dalla presenza del banco di Moleno, svoltosi il 17 giugno 2016, un grosso tronco dall'aspetto anomalo è stato osservato da Tiziano Putelli in sponda sinistra, proprio in corrispondenza del nuovo fronte erosivo (Figg. 1 e 2). Sono riportate di seguito le sue prime impressioni dopo il ritrovamento di questo tronco molto particolare (Dipartimento del territorio 2017; Radiotelevisione svizzera 2017): a prima vista si vedeva che non era una pianta caduta da poco. Un po' d'intuito e un pizzico di fortuna mi hanno indotto a pensare che potesse essere una pianta molto vecchia, magari risalente alla Buzza di Biasca verificatasi attorno al 1500. Nei giorni a seguire, dopo il coinvolgimento dell'Ufficio dei corsi d'acqua, il tronco è stato segnalato all'Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio (WSL) e all'Istituto scienze della Terra della SUPSI che hanno proceduto con i rilievi illustrati di seguito.

Contesto sedimentologico

Il tronco è stato ritrovato all'incirca 100 m a valle del banco di ciottoli artificiale di Cresciano in sponda sinistra, di fronte al banco di ciottoli artificiale di Moleno in sponda destra, alla base della scarpata di erosione fluviale posta fra il letto (246 m slm) e l'argine (254 m slm) del fiume Ticino. Grazie a misurazioni effettuate sul posto con l'ausilio di un distanziometro laser (Leica DISTO D810) è stato possibile calcolare le seguenti coordinate geografiche (CH1903+ / LV95): latitudine 1'126'172, longitudine 2'720'236, altitudine 249.5 metri (WGS84 46.2762° Nord, 8.9986° Est). Queste si riferiscono al centroide del tronco come si presentava il 20 giugno 2016 con la base rivolta a sud e immersa nell'acqua del fiume, mentre la parte superiore stava adagiata sulla riva ciottolosa, con uno spostamento minimo rispetto al contesto sedimentario originale.

La stratigrafia del terrazzo fluviale presentava, sotto la copertura pedologica (suolo), ca. 2 m di sabbia media a laminazione orizzontale tendente a incrociata concava (Sh-St), con sporadici blocchi arrotondati (3%). Segue poi una ghiaia massiva a supporto di clasti (Gm) a stratificazione planare grossolana con clasti imbricati, composta da piccoli blocchi ($D_{\rm max}=25\text{-}30$ cm) e ciottoli, di forma allungata e leggermente appiattiti, molto arrotondati, in matrice ghiaiosa-sabbiosa da grossolana a media, di colore beige chiaro. Il tronco si trovava in quest'ultima unità, ed è stato liberato dall'erosione regressiva della sponda (Fig. 2).

Analisi del legno

In data 23 giugno 2016 operando con la motosega due collaboratori del WSL hanno tagliato la parte superiore del tronco che giaceva libera dall'acqua ricavando 3 sezioni trasversali complete alle seguenti distanze dalla sommità: 225, 235 e 460 cm. Queste sezioni sono quindi state deposte in un locale scuro, asciutto e ventilato per ottenere una buona essiccazione. Una parte dei legni essiccati è stata levigata onde mettere





Figura 1: (A) Il banco di Moleno e il fiume Ticino il 4 luglio 2016, 3 settimane dopo il ritrovamento, ripresi da un drone orientato verso nord (verso monte) e con il Matro come sfondo. Nel cerchio rosso è ben visibile il tronco ancora adagiato sulla sponda orografica sinistra del fiume Ticino (foto: Tiziano Putelli). (B) Il tronco fotografato dalla sponda sinistra; la presenza umana ce ne fa percepire le importanti dimensioni, ben 14 metri di lunghezza (foto: Laura Bernasconi, Sezione protezione aria acqua e suolo).

Figura 2: Posizione del tronco subfossile (A) al momento del ritrovamento (giugno 2016) riportata sull'immagine aerea ortorettificata (ortofoto) del 2015. Si noti il banco di ciottoli artificiale di Moleno in sponda destra (B) ultimato nel 2014 e il conseguente effetto di erosione regressiva sulla sponda opposta. Le frecce tratteggiate in colore blu scuro evidenziano il tratto di bosco ripario travolto e trascinato via dalle acque, mentre la linea punteggiata (C) indica il margine di erosione del terrazzo fluviale nel 2017.

in risalto gli anelli di accrescimento. Realizzando tagli precisi con sega a nastro, si è quindi provveduto ad estrarre diversi blocchetti utilizzabili per la datazione e l'analisi anatomica del legno. Alcuni pezzi scelti sono stati ammorbiditi tramite immersione prolungata in acqua tiepida e infine sezionati con un microtomo per ottenere sezioni sottili rappresentative dei tre piani anatomici fondamentali (trasversale, radiale e tangenziale). Sia i campioni levigati che le sezioni sottili montate su vetrino sono quindi stati osservati al microscopio con diversi ingrandimenti e illuminazioni (diascopica ed episcopica).

Datazioni al radiocarbonio

La datazione mediante spettrometria di un frammento di legno del peso di 18 grammi, estratto dalla parte più esterna della seconda sezione, 235 cm dalla sommità del tronco e 2-5 cm sotto la sua superficie, è stata eseguita dal laboratorio DirectAMS di Bothell (WA), negli Stati Uniti d'America (codice della datazione: D-AMS-020482). Oltre a questa datazione, il quadro cronologico è fornito dalla compilazione di altre sei datazioni al radiocarbonio realizzate sul territorio della Riviera e nelle regioni circostanti (Tab. 1), in particolare grazie ai ritrovamenti di legni in sondaggi o saggi compiuti a Biasca-Boscone (Lodetti et al. 2005), Biasca-Mondascia (Scapozza et al. 2012) e Moleno-Boscone (Krebs et al. 2015). Per tutte le datazioni presentate, le età convenzionali sono riportate in anni radiocarbonio prima del presente (${}^{14}C$ BP, dove BP = Before Present), con il presente fissato per convenzione al 1950 conformemente a quanto raccomandato da Miailler & Lefèvre (2013). La calibrazione delle età radiocarbonio è stata eseguita con il software OxCal 4.3 messo a disposizione dall'Oxford Radiocarbon Accelerator Unit (Bronk Ramsey 2001; 2020), secondo la curva di calibrazione IntCal13 (Reimer et al. 2013), e con un intervallo di confidenza di 2σ (95.4% di probabilità). Conformemente alla raccomandazione proposta da Nomade (2017), le età calibrate sono espresse in anni calendari prima del presente (cal BP) o in millenni calendari prima del presente (ka cal BP).

RISULTATI

Analisi del legno

Partendo dal pedale il tronco subfossile ha un aspetto dritto e colonnare con dimensioni davvero ragguardevoli: 14 metri di lunghezza senz'alcuna biforcazione evidente e con una circonferenza che supera i 200 cm nella parte basale e si mantiene oltre i 170 cm lungo gran parte del fusto. Osservando le sezioni del tronco si notano diverse porzioni che hanno subito un'importante abrasione superficiale con degli incavi profondi anche più di 10 cm. In ragione di quest'usura mancano sovente i ranghi più esterni degli anelli di accrescimento (anche 50 anni e oltre) e diventa così difficoltoso stabilire con esattezza l'età dell'albero che stimiamo compresa tra 225 e 250 anni. Abbiamo contato un massimo di 220 anni a livello del pedale e 189 anni nelle sezioni superiori. Sebbene durante il sopralluogo alcune parti del tronco sembravano coperte da lembi o resti di corteccia, in laboratorio non si è riscontrata alcuna traccia di floema o periderma sulle sezioni levigate ma solo un cambio di colore, durezza e integrità del legno verso l'esterno. Ipotizziamo quindi che quelle parti sporgenti profondamente fessurate e screpolate siano in realtà dei residui di alburno che è più soggetto al marciume e può subire una grande contrazione durante il disseccamento (Schweingruber & Börner 2018).

Tabella 1: Risultato della datazione D-AMS-020482 e compilazione delle sei altre datazioni al radiocarbonio che consentono la ricostruzione dei tassi di riempimento alluvionale della Riviera e del Bellinzonese. Fonte: (1) Questo lavoro; (2) Krebs et al. (2015); (3) Scapozza et al. (2017); (4) Lodetti et al. (2005); (5) Scapozza et al. (2015); Krebs & Antognini (2012); (7) Museo cantonale di storia naturale di Lugano (comunicazione personale di M. Antognini).

Codice laboratorio	Località	Coord_X [km]	Coord_Y [km]	Altitudine [m slm]	Età conv. [¹⁴C BP]	Età calibrata [cal BP]	Fonte
D-AMS-020482	Cresciano, Boscone	2720.236	1126.172	249.5	4983 ± 27	5860-5825 (6.1%) 5755-5640 (89.0%) 5625-5620 (0.3%)	(1)
Beta-354392	Moleno, Boscone	2719.870	1126.370	245.5	3810 ± 30	4350-4330 (1.2%) 4300-4090 (94.3%)	(2)
Beta-441294	Giubiasco, Monde dei Quadretti	2718.735	1114.830	213.4	8240 ± 40	9400-9345 (6.3%) 9325-9080 (87.0%) 9055-9030 (2.1%)	(3)
UZ-4916/ETH-26986	Biasca, Boscone	2717.700	1133.770	282.0	3655 ± 55	4150-4115 (4.1%) 4100-3840 (91.3%)	(4)
UZ-5199/ETH-30382	Biasca, Mondascia	2718.221	1133.266	279.5	12'370 ± 85	14'900-14'085	(5)
UZ-5958/ETH-42562	Giubiasco, Baragge	2719.800	1114.650	218.5	9355 ± 40	10'695-10'490 (93.3%) 10'455-10'435 (2.1%)	(6)
UZ-6044/ETH-46215	Bellinzona, Via alla Cervia	2722.331	1116.595	231.0	11'530 ± 40	13'455-13'280	(7)

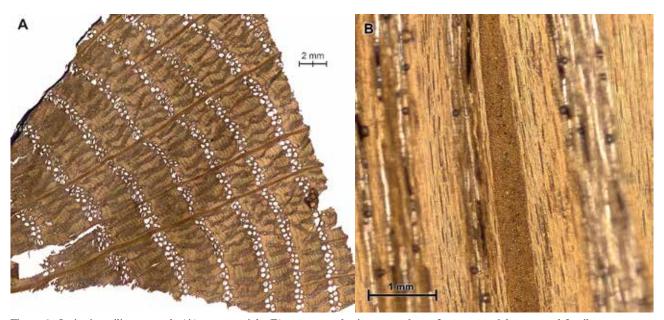


Figura 3: Sezioni sottili trasversale (A) e tangenziale (B) ottenute col microtomo da un frammento del tronco subfossile.

L'osservazione al microscopio delle sezioni sottili trasversali (Fig. 3A) rivela la presenza di grandi vasi primaticci di forma perlopiù ovale con diametro del lume anche superiore a 400 micron, sempre concentrati all'inizio del legno primaverile, giustapposti e ordinati a formare due-tre (quattro) file parallele al limite dell'anello. In sezione trasversale e tangenziale si vede una moltitudine di esili raggi monoseriati intercalati da raggi pluriseriati larghi anche oltre mezzo millimetro (Figg. 3A e 3B). Da soli questi aspetti anatomici consentono un'assegnazione certa del reperto vegetale al genere *Quercus* e più in particolare all'insieme delle querce caducifoglie.

Datazione al radiocarbonio

La datazione D-AMS-020482 ha fornito un'età convenzionale di 4983 \pm 27 14 C BP. La calibrazione ha fornito un intervallo di età non continuo suddiviso in tre parti fra l'età massima di 5860 cal BP e l'età minima di 5620 cal BP (Tab. 1). Considerando le percentuali di probabilità dell'intervallo di confidenza, possiamo considerare un'età del campione compresa all'89% fra 5755 e 5640 cal BP, vale a dire fra il 3805 e il 3690 a.C., corrispondente al Neolitico ceramico medio nella cronologia delle fasi regionali del Neolitico in Svizzera. L'età mediana (50% di probabilità) è di 5700 cal BP, corrispondente al 3750 a.C.

DISCUSSIONE

Identificazione dell'essenza

Considerando le querce autoctone dell'area padana e sudalpina, in base all'osservazione microscopica del legno subfossile restano in lista quattro specie con probabilità decrescente, vale a dire farnia (*Quercus robur*), rovere (*Quercus petraea*), cerro (*Quercus cerris*) e roverella (*Quercus pubescens*). Quest'ultima va scartata in quanto specie perlopiù calcicola con fusto poco slanciato, precocemente ramificato e raramente dritto. Il cerro dal canto suo appare oggi relegato a quote piuttosto eleva-

te (700-1200 metri) sui versanti collinari del Sottoceneri in stazioni relativamente calde e secche (Ceschi 2006, p. 251), lontano quindi dai boschi golenali delle valli superiori (Fig. 4 A, C e D). Alcuni studi descrivono caratteristiche microscopiche che dovrebbero permettere la distinzione tra farnia e rovere (Feuillat et al. 1997), ma a nostro modo di vedere tali approcci non offrono sufficienti garanzie in ragione soprattutto della possibile ibridazione spontanea tra le due specie nonché della grande variabilità anatomica intraspecifica osservabile tra campioni di tessuto xilematico prelevati da parti diverse dello stesso albero o da esemplari appartenenti a distinte classi di età o cresciuti in condizioni opposte (Ducci 2007). Piuttosto conviene concentrarsi sulla diversa ecologia delle due specie indiziate, e rimarcare la vocazione della farnia ad occupare gli ambienti golenali grazie al suo notevole adattamento ai terreni alluvionali umidi con periodici ristagni idrici (Haneca et al. 2009). Infatti in epoca preistorica e protostorica la farnia era specie dominante nelle foreste che ricoprivano la Pianura Padana (Mercuri et al. 2015; Cremaschi et al. 2016), era sovente impiegata per produrre paleria negli insediamenti palafitticoli (ad esempio sul Lago di Varese secondo Grassi & Mangani 2014) e come combustibile per le cremazioni nelle necropoli (così a Golasecca presso Sesto Calende stando a Rottoli 2016). La diffusione della specie negli ambienti planiziali padani ai piedi delle Alpi sin dalla fine del Tardoglaciale è confermata dai ritrovamenti di resti fossili di foglie di farnia e la simultanea crescita della presenza di polline di quercia (Quercus robur-type) nei sedimenti del Lago Piccolo di Avigliana (Finsinger et al. 2006). La farnia manterrà quindi il ruolo di albero guida nelle zone di fondovalle per gran parte dell'Olocene, prima di ritrarsi progressivamente a fronte dello sviluppo delle civiltà umane con le grandi opere di bonifica, disboscamento ed espansione agricola soprattutto a partire dall'epoca romana, sebbene ancora nel Medioevo i tronchi di farnia fossero frequentemente utilizzati ad esempio per la fabbricazione di piroghe monossili (Martinelli & Cherkinsky 2009).









Figura 4: **A**: Esemplari di quercia di circa 20 metri d'altezza sul Monte Barro – Torricella Taverne/Sigirino il 12 maggio 2017 a circa 620 m s.l.m. Sul Monte Barro troviamo tutte e quattro le specie di quercia presenti in Ticino. Considerate le dimensioni, gli esemplari raffigurati potrebbero essere sia *Q. robur* sia *Q. petreae*, inoltre da considerare che secondo Carraro & Schütz (1990) sul nostro territorio le due specie possono formare degli ibridi. L'età degli alberi, considerate le dimensioni e i terreni superficiali, è stimabile tra 150 e 200 anni (foto e informazioni: G. Moretti, Sezione forestale). **B**: La parte inferiore del tronco subfossile, con ancora un accenno alla parte radicale, esposta a Bellinzona all'entrata dello stabile amministrativo 3 del Dipartimento del territorio (foto: T. Putelli). **C** e **D**: Esemplari di farnia (*Quercus robur*) lungo il canale di bonifica principale tra Quartino e il fiume Ticino nella zona dell'Isola del Trodo. Grossi esemplari di quercia sono rarissimi in Ticino in particolare la farnia che, presente soprattutto nei boschi di fondovalle, è sottoposta a concorrenza con specie invasive come la robinia e la diminuzione di habitat in seguito a dissodamenti (Ceschi 2006). Tuttavia, qua e là, le farnie continuano a popolare le sponde del Ticino e sono ancora osservabili sul Piano e presso le Bolle di Magadino (foto: P. Krebs).

Raffronto con i dati palinologici

In passato le zone golenali e i conoidi detritici delle vallate sudalpine erano per loro natura ambienti molto dinamici soggetti a frequenti eventi erosivi dove ben difficilmente potevano formarsi depositi continui e indisturbati di sedimenti fini con importante componente organica. Non sorprende quindi constatare l'assenza totale di siti palinologici nelle zone di fondovalle delle valli ticinesi. Per ricostruire l'evoluzione della vegetazione nelle zone golenali ticinesi dopo il ritiro dei ghiacciai ci si deve dunque affidare a dati palinologici riferiti principalmente ad ambienti collinari, montani o subalpini, che sono solo indirettamente connessi alle vicende degli ambienti planiziali tramite il trasporto eolico dei pollini. In Valle Riviera abbiamo a disposizione unicamente il sito montano di Guer posto su un terrazzo glaciale sopra Claro (Morales-Molino et al. 2015). Le querce sono ben presenti già verso 7000 cal BP ma con percentuali piuttosto modeste (~8%). Si nota poi un aumento verso 5000 cal BP e un apice attorno al 23% verso 3400 cal BP seguito da lungo declino fino ai giorni nostri interrotto solo da una breve ripresa in epoca tardoantica. Fra i siti palinologici collinari più prossimi alle zone di fondovalle menzioniamo la palude del Balladrum presso Arcegno che mostra una presenza pollinica evidente delle querce caducifoglie già sul finire del Tardoglaciale, con un aumento soprattutto a partire da 7000 cal BP, un massimo (~20%) fra 3500 e 1800 cal BP e una notevole diminuzione a partire dal Medioevo (Hofstetter et al. 2006). In base a questi confronti si comprende bene l'importanza dello studio dei macrofossili come quello di Cresciano. In questo senso il ritrovamento di un tronco subfossile può costituire un indizio concreto e preciso della presenza di una determinata specie arborea in un determinato tempo e luogo.

Dinamica sedimentaria

La compilazione delle datazioni nei depositi fluviali (Tab. 1) ha permesso di determinare un modello etàprofondità del riempimento del fondovalle da parte dei depositi fluviali del Ticino (Fig. 5), quantificabile come segue:

$$a = -17.0 \cdot h^2 + 1084.4 \cdot h - 1867.3 \tag{1}$$

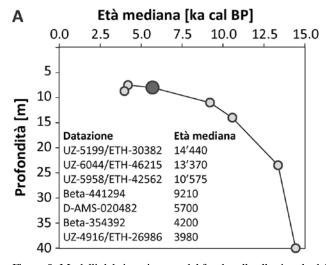
dove: a = età in anni; h = profondità in metri.

La correlazione può essere considerata molto forte, poiché il coefficiente di correlazione (r) è pari a 0.97, corrispondente a un coefficiente di determinazione (R²) di 0.95, dove quindi il modello adottato spiega i dati misurati con una probabilità del 95%.

Il modello età-profondità ottenuto è simile a quanto già sviluppato da Scapozza (2016) e Scapozza et al. (2017) sulla base dei dati concernenti l'insieme della valle del Ticino. Dai modelli ottenuti sia nell'insieme della valle del Ticino, sia limitatamente alla Riviera e al Bellinzonese, si può desumere come il tasso di sedimentazione sia andato diminuendo nel tempo fra il Bølling (2.77 m/ka verso 14.4 ka cal BP) e l'inizio dell'Olocene (1.32 m/ka verso 10.6 ka cal BP), per raggiungere il valore minimo di 1.19 m/ka all'inizio del Massimo Termico dell'Olocene (MTO) nel Groenlandiano (verso 9.2 ka cal BP). Il tasso di sedimentazione presenta poi un aumento significativo, dopo la fine del MTO, nella seconda metà del Nordgrippiano e all'inizio del Meghalayano (da 1.40 m/ ka verso 5.7 ka cal BP fino a 2.19 m/ka verso 4.0 ka cal BP). Anche l'evoluzione temporale della sedimentazione fluviale in Riviera dopo l'Ultima grande glaciazione è quindi perfettamente in linea con l'andamento morfoclimatico generale legato alla crisi paraglaciale che ha caratterizzato l'inizio della deglaciazione, alla successiva diminuzione in concomitanza con il MTO e al nuovo aumento dei tassi di sedimentazione in relazione alla maggiore variabilità climatica della seconda metà dell'Olocene (per maggiori dettagli, vedi Scapozza 2016, 2019).

Inquadramento ecologico e storico delle rivitalizzazioni

Il ritrovamento di un reperto vegetale di così antica origine nello spazio fluviale ci fornisce lo spunto per una riflessione sulla dimensione temporale, spesso tra-



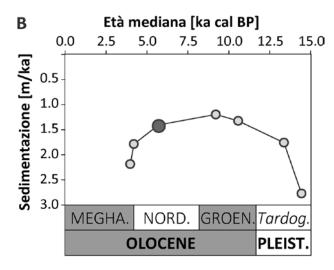


Figura 5: Modelli del riempimento del fondovalle alluvionale della Riviera. A: Modello età-profondità basato sulle datazioni presentate nella Tabella 1. B: Evoluzione del tasso di sedimentazione fluviale medio e quadro cronostratigrafico di riferimento: Groen. = Groenlandiano; Megha. = Meghalayano; Nord. = Nordgrippiano; Pleist. = Pleistocene; Tardogl. = Tardoglaciale (informale). Il cerchio più grande e scuro rappresenta la datazione del tronco di quercia oggetto di questo lavoro.

scurata, di un intervento di rivitalizzazione di un corso d'acqua.

Il principale scopo di una misura di rivitalizzazione risiede nel ripristino di una dinamica fluviale più vicina ad uno stato naturale (Fink et al. 2017; Scheidegger et al. 2012). Le rivitalizzazioni che avranno più successo in termini di recupero ecologico devono pertanto favorire e riattivare i processi propri a un corso d'acqua naturale e agli ecosistemi a esso associati (Rey & Gosselin 2014; Werth et al. 2012). Siamo confrontati con dinamiche ecologiche e geomorfologiche complesse dai tempi medio-lunghi (da decenni a secoli); queste scale temporali andrebbero considerate nella progettazione di misure di rivitalizzazione e nella verifica del raggiungimento degli obiettivi di un intervento (Mitsch & Jørgensen 2004; Willis & Birks 2006).

În questa prospettiva il tempo durante il quale la dinamica fluviale può agire è un fattore decisivo, così come lo è lo spazio a disposizione del fiume. Gli effetti di una rivitalizzazione saranno osservabili appieno solo dopo decenni o addirittura secoli, sono tempi lunghi a scala umana ma sono necessari per il recupero completo delle funzioni dell'ecosistema – pianura alluvionale. Ad esempio la possibilità di ripristinare la tipica successione vegetale di una golena, dagli ambienti pionieri fino a una foresta alluvionale a legno duro, richiede sia tempo a sufficienza sia uno spazio adeguato.

Malgrado alcuni effetti positivi siano già osservabili dopo alcuni anni (Woosley et al. 2005), saranno i tempi medio-lunghi delle dinamiche ecologiche e dei processi geomorfologici che decreteranno il successo di una rivitalizzazione e che permetteranno anche alle future generazioni di verificarne l'efficacia.

Considerazioni conclusive

Da inizio 2020 un'importante porzione del tronco inferiore, con ancora un accenno alla parte radicale, è esposta all'entrata del nuovo stabile Amministrativo 3 a Bellinzona (Fig. 4 B) in cui ha sede il Dipartimento del territorio (DT), mentre l'altra metà è depositata presso il Museo cantonale di storia naturale di Lugano (MCSN), dove potrà essere valorizzata a fini scientifici, didattici ed espositivi. L'unicità del reperto ha inoltre spinto il DT e la Cancelleria dello Stato del Cantone Ticino a realizzare con questo legno alcune penne quale prestigioso omaggio per le Autorità in visita o per le delegazioni del Consiglio di Stato invitate all'estero. Le dimensioni (14 metri), lo stato di conservazione, l'età e la specie del tronco possono essere considerate particolarmente significative e simboliche per il cammino intrapreso nel recupero dei corsi d'acqua e dei loro ambienti naturali.

Sulla quercia Mario Rigoni-Stern (1991, pp. 61-67) annotava: per le loro qualità e per la loro maestà le querce erano venerate dagli uomini sin dai primordi della civiltà: erano l'"Albero", e le loro foreste più belle consacrate alle divinità e per questo intangibili (...) persino i soldati di Cesare avevano il timore di affrontarne il taglio (...). Le querce furono anche le prime chiese perché sotto di esse si radunava il popolo per porgere preghiere alle divinità, ma anche per far diete e assemblee, ad apprendere la sapienza dagli anziani (...) e dalle querce con un falcetto d'oro, i sacerdoti Druidi recidevano il vischio (...).

Quel vischio che ancora oggi si usa donare agli amici all'inizio dell'anno, e viene appeso sull'architrave della porta di casa come propiziatorio.

Le circostanze del ritrovamento ci permettono di interpretare questo tronco, venuto alla luce grazie alla ritrovata dinamica fluviale del Ticino, come un monito che ci arriva dalla metà dell'Olocene, dove alcune parti dei nostri fondivalle potevano ancora considerarsi indisturbate dall'attività umana. Nella nostra era, già ribattezzata informalmente Antropocene a causa degli impatti dell'uomo sugli equilibri naturali del pianeta, il ritrovamento della quercia subfossile può quindi indicarci la via da seguire, nel solco del recupero degli ecosistemi acquatici compromessi.

Attraverso il tronco esposto all'entrata della sede del DT ci auguriamo che le *qualità* attribuite alla quercia, sin dai primordi della civiltà, possano favorire il lavoro dei collaboratori e dei frequentatori dell'edificio anche nella contemporaneità. Essi sono quotidianamente impegnati nella salvaguardia e nel recupero degli ambienti naturali del nostro territorio.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano l'Ufficio della tecnica forestale, del vivaio e delle foreste demaniali della Sezione forestale del Cantone Ticino per le azioni di recupero e pulizia del tronco. Per l'interesse dimostrato e i lavori che hanno svolto sul tronco sono da ringraziare Roland David capo della Sezione forestale del cantone Ticino, la Federlegno di Rivera, l'azienda forestale Germano Farina di Monteggio, la segheria Lombardi di Biasca, Matthias Bachofen dell'Atelier del legno di Lamone e il signor Rolf Hürzeler di Piazzogna. Per le foto inserite nelle figure 1 e 5 si ringraziano Giorgio Moretti e Laura Bernasconi. Un ringraziamento anche a Franco Fibbioli per le operazioni di taglio del reperto ai fini della datazione e a Marco Antognini, del Museo cantonale di storia naturale di Lugano, per aver messo a disposizione il risultato della datazione al radiocarbonio di Via alla Cervia a Bellinzona.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

Bronk Ramsey C. 2001. Development of the Radiocarbon Program OxCal. Radiocarbon, 43(2A): 355-363.

Bronk Ramsey C. 2020. OxCal 4.3 Manual. Radiocarbon Accelerator Unit, Oxford, URL: http://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal-help/hlp_contents.html (ultima consultazione: 10.3.2020).

Carlevaro E., Colombaroli D., Conedera M., Krebs P., Morales-Molino C., Scapozza C., Tinner W. & Vescovi E. 2017. Claro e il suo territorio. Archeologia Svizzera, 40(1): 24-29.

Carraro G. & Schütz J.-P. 1990. Importanza ecologica delle querce autoctone e prospettive selvicolturali nell'Insubria. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 141(4): 265-294.

Ceschi I. 2006. Il bosco del Cantone Ticino, Armando Dadò editore, Bellinzona, pp. 407.

Cremaschi M., Mercuri A.M., Torri P., Florenzano A., Pizzi C., Marchesini M. & Zerboni A. 2016. Climate change versus land management in the Po Plain (Northern Italy) during

- the Bronze Age: New insights from the VP/VG sequence of the Terramara Santa Rosa di Poviglio. Quaternary Science Reviews, 136: 153-172.
- Dipartimento del territorio 2017. La storia di un tronco millenario. Forestaviva, 66: 12-13.
- Ducci F. 2007. Le risorse genetiche della farnia della Val Padana. Tutela e gestione. Arezzo, Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, 143 pp.
- Filippini L., Ambroise S. & Peduzzi S. 2014. Flood protection and river restoration in the urban catchment basin of Cassarate river: An opportunity to restore public areas along an urban watercourse running through the city of Lugano. In: Schleiss A.J., Speerli J. & Pfamatter R. (eds), Swiss Competences in River Engineering and Restoration. London, Taylor & Francis Group, pp. 99-107.
- Fink S., Döring M., Franca M.J., Martín Sanz E., Nadyeina O., Robinson Ch., Schleiss A. & Scheidegger Ch. 2017. Dinamica e biodiversità nelle golene, in Dinamica dei sedimenti e degli habitat, Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), Berna. Scheda 5.
- Finsinger W., Lane C.S., Van den Brand G.J., Wagner-Cremer F., Blockley S.P.E. & Lotter A.F. 2011. The Lateglacial Quercus expansion in the southern European Alps: rapid vegetation response to a late Allerød climate warming? Journal of Quaternary Science, 26: 694-702.
- Grassi B. & Mangani C. 2014. Storie sommerse. Ricerche alla palafitta di Bodio Centrale a 150 anni dalla scoperta. Milano, Soprintendenza per i beni archeologici della Lombardia, 204 pp.
- Haneca K., Čufar K. & Beeckman H. 2009. Oaks, tree-rings and wooden cultural heritage: a review of the main characteristics and applications of oak dendrochronology in Europe. Journal of Archaeological Science, 36: 1-11.
- Hofstetter S., Tinner W., Valsecchi V., Carraro G. & Conedera M. 2006. Lateglacial and Holocene vegetation history in the Insubrian Southern Alps – New indications from a smallscale site. Vegetation History and Archaeobotany, 15, pp. 87-98.
- Krebs P. & Antognini M. 2012. Rinvenimento a Giubiasco di un tronco di pino silvestre risalente all'inizio dell'Olocene. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 100: 53-63.
- Krebs P., Biondina D., Bonardi M. & Bertogliati M. 2015. Rinvenimento a Moleno nella Svizzera sudalpina di un tronco di quercia vecchio di oltre quattro millenni. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 103: 53-56.
- Legge sul finanziamento della rinaturazione dei corsi d'acqua e delle rive lacustri del 10 ottobre 2005 (723.200).
- Lodetti F., Hohl A. & Antognini M. 2005. Nota breve sul rinvenimento di frammenti di legno in due sondaggi geotecnici presso Biasca e Riazzino. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 93: 91-95.
- Martinelli N. & Cherkinsky A. 2009. Absolute dating of monoxylous boats from northern Italy. Radiocarbon, 51: 413-421.
- Mercuri A.M., Montecchi M.C., Pellacani G., Florenzano A., Rattighieri E. & Cardarelli A. 2015. Environment, human impact and the role of trees on the Po plain during the Middle and Recent Bronze Age: Pollen evidence from the local influence of the *terramare* of Baggiovara and Casinalbo. Review of Palaeobotany and Palynology, 218: 231-249.
- Mitsch J.W. & Jørgensen S.E. 2004. Ecological engineering and ecosystem restoration. Chichester, Wiley, 401 pp.

- 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(3): 482-494.
- Peduzzi S., Patocchi N., Foglia M. & Filippini L. 2009. Gestione integrata e riqualificazione fluviale nel cantone Ticino: interventi sul fiume Ticino da Bellinzona alla foce nel Lago Maggiore. Riqualificazione Fluviale, 2: 140-147.
- Peduzzi S. & Filippini L. 2012. Planification de la revitalisation des cours d'eau à l'échelon cantonal, entre les visions de la Confédération et celles des Cantons. Bulletin de l'ARPEA, 251: 40-44.
- Radiotelevisione svizzera 2017. Un tronco di 5700 anni. Il Quotidiano, edizione del 09.04.2017.
- Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G.,
 Bronk Ramsey C., Buck C.E., Cheng H., Edwards R.L.,
 Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Haflidason H., Hajdas I., Hatté C., Heaton T.J., Hoffmann D.L., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., Manning S.W., Niu M., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M.,
 Southon J.R., Staff R.A., Turney C.S. & van der Plicht J.
 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves, 0-50.000 years cal BP. Radiocarbon, 55(4): 1869-1887.
- Rey F. & F. Gosselin. 2014. L'ingénierie écologique: des actions per et/ou pour le vivant, intégrées dans un projet d'ingénierie. In: Rey F., Gosselin F & Doré A. (eds), Ingénierie écologique. Versailles Cedex, éditions Quae, pp. 7-13.
- Rigoni-Stern M. 1991. Arboreto salvatico. Torino, Einaudi, Ed. 1996, 106 pp.
- Rossi-Pedruzzi A., Franscini A., Beffa P., Greco G., Lardelli R., Pierallini R., Filippini L., Peduzzi S., Foglia M. & Patocchi N. 2012. Riserva naturale Bolle di Magadino: rinaturazione della foce del Ticino e controllo della sua evoluzione. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 100: 65-78.
- Rottoli M. 2016. La terra di rogo: i carboni della pira e le offerte alimentari. In: Grassi B. & Mangani C. (eds), Nel bosco degli antenati. La necropoli del Monsorino di Golasecca (scavi 1985-86). Sesto Fiorentino (FI), All'Insegna del Giglio, pp. 151-153.
- Scapozza C. 2016. Evidence of paraglacial and paraperiglacial crisis in Alpine sediment transfer since the Last Glaciation (Ticino, Switzerland). Quaternaire, 27(2): 139-155.
- Scapozza, C. 2019. Esempi di corrispondenze della suddivisione formale della Serie/Epoca dell'Olocene nella Svizzera italiana. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 107: 83-88.
- Scapozza C., Antognini M., Oppizzi P. & Patocchi N. 2012. Stratigrafia, morfodinamica, paleoambienti della piana fluviodeltizia 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. & Czerski D. 2017. Nuove datazioni per la storia dell'evoluzione olocenica degli ambienti fluviali del Piano di Magadino (Cantone Ticino, Svizzera). Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 105: 83-88.
- Scheidegger C., Werth S., Gostner W., Schleiss A. & Peter A. 2012. Rivitalizzazioni: promozione della dinamica. In: Schede tematiche sulla sistemazione e l'ecologia dei corsi d'acqua. Ufficio federale dell'ambiente, Berna. Scheda 1.

- Schweingruber F.H. & Börner A. 2018. The plant stem: A microscopic aspect. Berlin/Heidelberg, Springer, 207 pp.
- Tinner W., Conedera M., Ammann B. & Lotter A. F. 2005. Fire ecology north and south of the Alps since the last ice age. The Holocene, 15(8), pp. 1214-1226.
- Werth S., Alp M., Karpati T., Gostner W., Scheidegger C. & Peter A. 2012. Biodiversità nei corsi d'acqua. In: Schede tematiche sulla sistemazione e l'ecologia dei corsi d'acqua. Ufficio federale dell'ambiente, Berna. Scheda 2.
- Willis K.J. & Birks H.J.B. 2006. What is natural? The need for a long-term perspective in biodiversity conservation. Science, 314: 1261-1266.
- Woolsey S., Weber C., Gonser T., Hoehn E., Hostmann M., Junker B., Roulier C., Schweizer S., Tiegs S., Tockner K. & Peter A. 2005. Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fliessgewässerrevitalisierungen. Online: www.rivermanagement. ch/erfolgskontr/docs/erfolgskontrolle.pdf.

PARTE IV Contributi speciali

Intossicazioni da *Veratrum album* L. Attualità e storia di due piante da non confondere: genziana e veratro

Raffaele Peduzzi¹ e Antonella Borsari²

¹ Membro onorario STSN - Fondazione Centro Biologia Alpina Piora, Via Mirasole 22a, 6500 Bellinzona, Svizzera
² Via Rinaldo Simen 45a, 6648 Minusio, Svizzera

raffaele.peduzzi@cadagno.ch

Riassunto: In occasione di un corso di formazione continua in Piora, dedicato alle proprietà medicinali della flora alpina, abbiamo ribadito le proprietà digestive della genziana (*Gentiana lutea L., G. purpurea L.*) e la confusione purtroppo ancora attuale con la specie *Veratrum album L.*, pianta tossica a prima vista d'aspetto molto simile. In questo contesto abbiamo ritenuto utile inserire delle schede botaniche di riconoscimento delle due specie che possono aiutare a non più confonderle. Le proprietà citotossiche del veratro hanno costituito inoltre un apprezzato spunto didattico e di approfondimento. Con questo articolo è stata nostra intenzione presentare mediante dati pregressi gli effetti e i sintomi da avvelenamento da veratro e mettere in evidenza i principi attivi che sono oggetto di ricerche attuali nell'ambito oncologico.

Parole chiave: alcaloidi, confusioni botaniche, intossicazione, Gentiana sp., Veratrum album L.

Intoxication with Veratrum album L. Relevance and history of two plants not to confound: Gentiana and Veratrum

Abstract: During a continuous training course in Piora, dedicated to the medicinal properties of the alpine flora, we emphasised the digestive properties of the gentian (*Gentiana lutea* L., *G. punctata* L., *G. purpurea* L.) and the unfortunately still current confusion with the species *Veratrum album* L., a toxic plant with a very similar appearance at first sight. In this context we consider it useful to insert some botanical cards of recognition of *Gentiana lutea* L. and *Veratrum album* L. to avoid confusion between the two species. The cytotoxic properties of the veratro also constituted an appreciated educational and in-depth study object. With this article it was our intention to present the effects and symptoms of veratro poisoning by means of previous data and to highlight the active ingredients that are the subject of current research in the oncological field.

Keywords: alkaloid, botanical confusion, intoxication, Gentiana sp., Veratrum album L.

INTRODUZIONE

Viviamo un periodo in cui si può constatare un'accresciuta sensibilità e interesse per la botanica e la biologia vegetale in generale. Ottime pubblicazioni che evidenziano l'importanza del mondo vegetale con scritti e iconografie di primordine, sono state recentemente date alle stampe. Fra queste possiamo menzionare quelle di (Jeanson & Fauve 2019; Mancuso 2017; Mancuso 2019).

La conoscenza di questa letteratura scientifica-divulgativa non è però sempre correlata con applicazioni pratiche in natura per il riconoscimento dei vegetali e sovente si osserva un uso incorretto di essenze a seguito di una limitata esperienza sul campo. Un esempio interessante è quello dell'utilizzo della genziana (*Gentiana lutea, G. punctata, G. purpurea*) e dei possibili rischi di confusione con il veratro (*Veratrum album*).

Ancora oggi la radice di genziana costituisce l'ingrediente principale per molti digestivi, amari, liquori stomacali o aperitivi. Una possibile causa di "incidente" è quella riferita alla raccolta di radici e rizomi di veratro al posto di quelli di genziana. È importante segnalare



Figura 1: Le due piante giustapposte. A sinistra *Veratrum album* L., a destra foglie di *Gentiana punctata* L. (foto: R. Peduzzi).

che il veratro è una specie tossica presente nei pascoli montani e alpini, che allo stato iniziale o in quello finale del suo sviluppo vegetativo, può apparire a prima vista morfologicamente molto simile alla genziana (Fig. 1). In un precedente articolo apparso sulla rivista «Biologi italiani», avevamo riportato l'episodio dell'intossica-

zione di quattro pazienti finiti nel reparto cure intense dopo aver bevuto, come "digestivo", una grappa contenente la radice di veratro confusa con la radice di genziana (Peduzzi & Cerny 2006).

Considerata la ripetizione quasi "regolare" di casi di intossicazione da veratro, abbiamo ritenuto opportuno parlare di alcuni aspetti botanici, tossicologici e delle circostanze che possono generare confusioni con conseguenze molto serie. Lo spunto è nato a seguito della preparazione di una giornata di formazione continua organizzata in Piora per i collaboratori del Centro Biologia Alpina. Il corso dedicato alla botanica medica e alle piante con proprietà farmaceutiche è stato animato da Antonella Borsari, fitoterapista e botanica di campo.

VERATRO E GENZIANA: CONSEGUENZE CON LA CONFUSIONE E USI DELLE DUE PIANTE

Casi d'intossicazione da veratro repertoriati negli ultimi 20 anni

Secondo il Centro svizzero di tossicologia (Tox Info Suisse di Zurigo) dal 1997 ad oggi si sono verificati 25 casi documentati di intossicazioni da V. album di cui alcuni con gravi conseguenze. L'interesse riscontrato negli ultimi anni per la raccolta di piante spontanee associato ad una scarsa conoscenza botanica, ha probabilmente favorito l'aumento di questi casi. A conferma di queste affermazioni risultano particolarmente interessanti due articoli che riportano casi di intossicazione con l'insorgenza di sintomi specifici. Nel primo si informa di 11 bambini (8-12 anni) che prepararono, durante un campus in natura, un tè con erba fresca contenente foglie di veratro scambiate erroneamente per foglie di genziana (Rauber-Lüthy et al. 2010). Dal profilo medico i sintomi riscontrati nei giovani sono stati: 82% sintomi gastrointestinali e 27% bradicardia.

Nel secondo articolo si riportano due casi di intossicazione accidentale a seguito di confusione fra *Veratrum parviflorum* Michaux e *Allium tricoccum* Ait. con sintomatologia prevalentemente a livello gastrointestinale (Anwar et al. 2018).

Nel recente libro "Piante utili del Ticino e della regione alpina e prealpina" di Thomas Schwitter (2019), l'autore sottolinea l'importanza nel saper riconoscere le differenze fra i due generi (*Veratrum* e *Gentiana*) anche durante l'autunno o alla fine dell'inverno quando è il periodo di raccolta delle radici di genziana e non sono più presenti le tipiche infiorescenze che li distinguono (Fig. 2 e Fig. 3). Nelle radici e nei rizomi di veratro si trovano infatti la maggior quantità dei principi tossici della pianta e anche solo 1-2 grammi di radice possono risultare fatali per un adulto (Schwitter 2019).

Tossicologia e considerazioni storiche

Numerosi studi su pazienti che hanno manifestato sintomi da intossicazione hanno reso possibile l'identificazione dei principi attivi più tossici del veratro, fra i quali vale la pena menzionare diversi tipi di alcaloidi raggruppati come protoveratrine (ProA, ProB), veratridina, cevadina, jervina (Grobosch et al. 2008).



Figura 2: Infiorescenza di Veratrum album (foto: R. Peduzzi).



Figura 3: Infiorescenza di Gentiana lutea (foto: A. Borsari).

Secondo il Centro tossicologico di Zurigo gli alcaloidi di *Veratrum album* possono provocare vomito, diarrea, parestesie, oltre a disturbi al sistema cardiovascolare e all'apparato respiratorio. L'azione di questi principi attivi (soprattutto veratrina, protoveratrina e gemerina) è ritenuta inoltre responsabile della tossicità sull'apparato renale, sulla muscolatura liscia, sul sistema nervoso e sui centri per la regolazione termica del corpo (Peduzzi & Cerny 2006). Altri autori hanno messo in evidenza il potere teratogeno degli alcaloidi steroidei del genere *Veratrum* isolati da *V. parviflorum* (Anwar et al. 2018). I sintomi sopraccitati si possono in effetti ritrovare anche in alcune documentazioni storiche. Un esempio interessante è un articolo del 1915 in cui vennero de-

scritti 12 casi di avvelenamento da veratro e la loro sintomatologia:

"Bruciore alla bocca, alla gola, allo stomaco; secrezione salivare aumentata; vomito, scariche liquide; angoscia, cefalea, vertigine, senso di grande debolezza; senso di formicolio e prurito alla pelle; poi diminuzione della sensibilità, midriasi, talora anche perdita della vista. Polso debole, irregolare, respirazione difficile con accenni di soffocazione; in ultimo anestesia completa della pelle, perdita della parola, convulsioni e collasso". Con l'aggiunta di una riflessione che mantiene ancora la sua attualità "Le dodici persone avvelenate erano o alpinisti o semplici escursionisti, abituati a vivere nelle città, ignari di botanica; ma che presumettero di conoscere la genziana" (Mattirolo 1915).

Dallo stesso articolo riprendiamo la narrazione in prima persona del Dottor X, laureato in chimica, dell'esperienza da avvelenamento dopo aver ingerito per sbaglio dei rizomi di veratro durante una gita in montagna: "...da quel momento ebbero principio le tre ore più dolorose che io ebbi mai a soffrire! M'assalirono crampi violentissimi: ogni sforzo per rigettare, mi riesciva oltremodo doloroso e pressoché vano, non uscendomi dalla bocca altro che schiuma densa e filante... E fu il senso di oppressione alla regione epigastrica unito al tormento di non poter avere sufficiente aria che mi fece maggiormente soffrire. Parevami che una mano gigantesca mi stringesse come in una morsa su due punti; sull'epigastrio e sulla trachea... il polso era appena sensibile con 35 battiti al minuto, la pupilla midriatica. Dopo circa tre ore durante le quali continuò la sintomatologia che ho descritto, mi addormentai di un sonno tranquillo. Svegliatomi mi trovai quasi del tutto rimesso e colla ferma risoluzione di non mangiar mai più radici di piante che io non conoscessi perfettamente" (Mattirolo 1915).

Usi passati e futuri del veratro

Il veratro fu impiegato in passato come polvere starnutatoria ed emetica; in tintura come antipiretico nella pneumonite e nel reumatismo acuto; in pomata come antinevralgico (Mattirolo 1915).

Attualmente, presso la facoltà di medicina dell'Università di Ginevra si starebbe sviluppando un programma di ricerca in oncologia basato sulla capacità citotossica specifica della veratridina per le cellule tumorali. Le proprietà citotossiche degli alcaloidi del veratro sono conosciute e sono state riprese recentemente nella letteratura scientifica. L'attività terapeutica di questi principi attivi risulta particolarmente interessante per l'effetto sinergico che possono avere in una terapia adiuvante alla chemioterapia standard a base di 5-fluorouracile in alcuni pazienti con carcinoma al colon (Abdullah et al. 2015).

Descrizioni botaniche: similitudini e differenze tra *Veratrum* e *Gentiana*

Vale la pena sottolineare che i due generi *Veratrum* e *Gentiana* appartengono a due classi tassonomiche differenti: il genere *Veratrum* è una monocotiledone caratterizzata da foglie con nervature parallele e radici tutte simili e fascicolate, mentre il genere *Gentiana* appartiene alla classe delle angiosperme dicotiledoni, le cui foglie presentano nervature ramificate e le radici sono formate da una grande radice a fittone e altre piccole laterali (www.acta plantarum).



Figura 4: Rizoma di Veratrum album L. (foto: R. Peduzzi).



Figura 5: Rizoma e radici di Gentiana lutea L. (foto: R. Peduzzi).

Riferendoci nello specifico alle differenze fra V. album e G. lutea possiamo costatare che entrambe le specie presentano dei fusti sotterranei chiamati rizomi situati in concomitanza dell'apparato radicale. Il rizoma del veratro è breve, grosso (nei vecchi esemplari può raggiungere uno spessore di 3 cm), di colore scuro esternamente e biancastro all'interno (Fig. 4). La genziana presenta invece, nella parte superiore, un rizoma di color bruno e internamente giallo, mentre nella parte inferiore un numero limitato di radici secondarie (Fig. 5). Fra le caratteristiche più significative per il riconoscimento delle due specie, oltre al tipo di infiorescenza differente per colore e forma (Fig. 2 e Fig. 3) si segnala la presenza di foglie alterne, scabre al tatto e dal colore verde-grigiastro nel V. album e foglie opposte, con nervature gialle e prominenti sulla pagina inferiore della foglia di color verde-glauco nella G. lutea (Mattirolo 2015; Lauber et al. 2012).

Visto i ripetuti casi di intossicazione osservati nell'arco degli ultimi decenni, consideriamo importante chiarire ogni possibile dubbio fra le due specie più frequentemente confuse e proponiamo di seguito le rispettive schede botaniche tratte da Info Flora (Bornand et al. 2016).

Veratrum album L. Famiglia: Melanthiaceae

Taxa inferiori:

Veratrum album ssp lobelianum Veratrum album ssp album

Altezza: 60-150 cm.

Pianta pubescente nella parte apicale.

Foglie: <u>alterne</u>, inserite a spirale quelle inferiori ampiamente ovate con guaina, lembo inferiore pubescente, ripiegate longitudinalmente, lunghe 10-20 cm, le superiori lanceolate. Guaine imbricate e decorrenti

Fiori: grappoli eretti che formano una pannocchia. <u>Tepali 6 bianchi o verdastri</u>, lunghezza 10-20 mm, generalmente fusi alla base. Pedicelli lunghi 1-3 mm. Stami 6. Stili 3.

Frutto: capsula ovale-acuta a 3 carpelli, semi compressi e alati.

Periodo di fioritura: luglio

Ambiente: prati e pascoli, megaforbieti, piano montano-alpino.

www.infoflora.ch

Gentiana lutea L. Famiglia: Gentianaceae

Taxa inferiori:

Gentiana lutea L. subsp. lutea Gentiana lutea subsp. vardjanii Wraber

Altezza: 50-120 cm.

Stelo: semplice, cilindrico, vuoto

Foglie: <u>opposte</u>, larghe e lanceolate, glauchescenti. Larghe da 5-15 cm, sessili a 5-7 nervature convergenti molto marcate fino all'apice.

Fiori: raggruppati per 3-10 all'ascella delle foglie superiori. Pedicello lungo circa 1 cm. <u>Corolla gialla</u> divisa in 5-6 lobi saldati solo alla base, strettamente lanceolati e aperti a stella, lunghi 2-3 cm. Calice membranoso a (2-) 6 denti.

Frutto: capsula bivalvolare contenente molti semi.

Periodo di fioritura: giugno-agosto

Ambiente: Pascoli di montagna e prati pingui, <u>calcicola</u>, piano (collinare)-montano-subalpino.

www.infoflora.ch

Note sull'utilizzazione della genziana

In Alta Leventina esisteva in passato una buona conoscenza delle piante medicinali. Ad esempio la radice di genziana (in dialetto "zanzena") fatta essiccare, era presente praticamente in tutte le case. Prima dell'uso veniva messa a macerare nell'acqua e serviva come medicina sia per l'uomo che per gli animali domestici in caso di difficoltà digestive; oppure come aperitivo. Per queste preparazioni veniva consigliata: per la preparazione di grappa alla genziana, la raccolta viene fatta in primavera quando i principi amaricanti sono più concentrati, mentre per la preparazione del distillato, la raccolta viene effettuata tra l'estate e l'autunno (agosto), quando il contenuto di zuccheri è più elevato in modo da facilitare la fermentazione alcolica.

Malgrado il limitato tenore zuccherino, dalla radice si può ottenere una fermentazione alcolica ed in seguito per distillazione produrre un'acquavite di genziana. Sulla base della raccolta della radice di genziana, la Regia Federale degli alcool all'inizio del ventesimo secolo rilasciò a due famiglie di Airolo (Basilio Peduzzi e Giacomo Fontana) il permesso di distillare delle specialità. A dimostrazione dell'importanza di questo uso tradizionale, durante gli anni della prima guerra mondiale ('14-'18) all'Università di Ginevra vi è l'assegnazione di un tema di tesi: "Le Gentiana lutea L. et sa fermentation". L'autore H. Guyot (1917) è un farmacista che effettua il lavoro di ricerca presso l'Istituto di botanica per ottenere il dottorato in scienze naturali. L'obiettivo della tesi era quello di "préciser les conditions de fermentations" ed effettuare uno studio fitochimico della radice. Nel testo l'autore presenta una cartografia della "distribuzione geografica in Europa dove avveniva la produzione di acquavite facendo fermentare direttamente la radice". Quindi non esamina la produzione di un alcolato (inserimento di un pezzo di radice in un distillato), ma l'impiego dello zucchero contenuto nella radice come base per la fermentazione (Fig. 6).

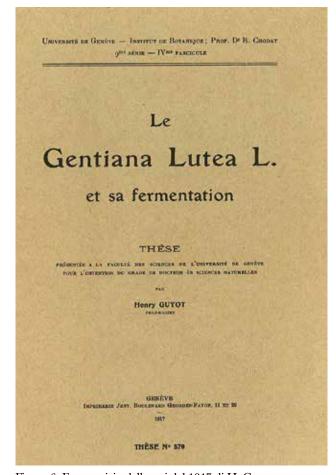


Figura 6: Frontespizio della tesi del 1917 di H. Guyot presentata all'Università di Ginevra.

CONCLUSIONI

In questo articolo abbiamo voluto presentare due specie botaniche che purtroppo ancora oggi vengono confuse con frequenza e a volte con gravi conseguenze. Ribadiamo una volta di più l'importanza della raccolta spontanea solo di specie conosciute e non minacciate, secondo le leggi in vigore ancorate nella Lista Rossa delle Piante vascolari (Bornand et al. 2016). L'accresciuta sensibilità e l'interesse per la botanica devono andare di pari passo con una corrispondente conoscenza pratica per il riconoscimento delle specie in natura. Facciamo tesoro del consiglio di J.J. Rousseau che già nel 1771 esortava: «Sortez, marchez, sentez et herborisez» (*Lettres sur la botanique*, Rousseau 2018).

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

- Abdullah A., Sane S., Branick K.A., Freeling J.L., Wang H., Zhang D. & Rezvani K. 2015. A plant alkaloid, veratridine, potentiates cancer chemosensitivity by UBXN2A-dependent inhibition of an oncoprotein, mortalin-2. Oncotarget, 6: 23561-23581.
- Anwar M., Turner M., Farrell N., Zomlefer W.B., McDougal O.M. & Morgan B.W. 2018. Hikers poisoned *Veratrum* steroidal alkaloid toxicity following ingestion of foraged *Veratrum parviflorum*. Clinical Toxicology (Phila), 56 (9): 841-845.
- Bornand C., Gygax A., Juillerat P., Jutzi M., Möhl A., Rometsch S., Sager L., Santiago H. & Eggenberg S. 2016. Lista Rossa Piante vascolari. Specie minacciate in Svizzera. Ufficio federale dell'ambiente, Berna e Info Flora, Ginevra. Pratica ambientale 1621: 178 pp.

- Grobosch T., Binscheck T., Martens F. & Lampe D. 2008. Accidental Intoxication with *Veratrum album*. Journal of Analytical Toxicology, 32: 768-773.
- Guyot H. 1917. Le *Gentiana lutea* L. et sa fermentation. Thèse n. 579, Université Genève, 43 pp.
- Jeanson C. & Fauve C. 2019. Botaniste. Ed. Bernard Grasset, Paris, 221 pp.
- Lauber K., Wagner G. & Gygax A. 2012. Flora Helvetica, Ed. Haupt Bern, 1262 pp.
- Mancuso S. 2017. Plant revolution. Le piante hanno già inventato il nostro futuro. Ed. Giunti, Firenze-Milano, 262 pp.
- Mancuso S. 2019. La nazione delle piante. Un nuovo patto per la terra. Ed. GEDI Gruppo Editoriale, Roma, 139 pp.
- Mattirolo O. 1915. Sopra 12 avvelenamenti per *Vertrum album lim.* Avvenuti per scambio con *Gentiana lutea lim.* Ed. Reale accademia delle scienze di Torino, 19 pp.
- Peduzzi R. & Cerny A. 2006. Casi d'intossicazione da *Veratrum album* con alcune considerazioni botaniche e farmacologiche. Biologi Italiani, l: 10-14.
- Rauber-Lüthy C., Halbsguth U., Kupferschmidt H., König N., Mégevand C., Zihlmann K. & Ceschi A. 2010. Low-dose exposure to *Veratrum album* in children causes mild effects – case series. Clinical Toxicology, 48: 234-237.
- Rousseau J.J. 2018. Lettres sur la botanique (scritte dal 1771 al 1773). Ripubblicazione da Gallimard nella collection Folio, Paris, 98 pp.
- Schwitter T. 2019. Piante utili in Ticino e nell'Italia alpina e prealpina. Ed. Salvioni, Bellinzona, 140-141.

Bilancio quinquennale dell'attività svolta presso il Centro Biologia Alpina di Piora

Raffaele Peduzzi

Membro onorario STSN - Fondazione Centro Biologia Alpina Piora, Via Mirasole 22a, 6500 Bellinzona, Svizzera

raffaele.peduzzi@cadagno.ch

Riassunto: Il contributo ripercorre l'iter di istituzione del Centro di biologia alpina (CBA) a partire dal 1989 e l'istituzione della Fondazione nel 1994. Lo Stato del Canton Ticino, in collaborazione con le università di Ginevra de di Zurigo, ha istituito il CBA allo scopo di incentivare le attività didattico-scientifiche di livello universitario. La Fondazione del CBA è responsabile della gestione del Centro e della coordinazione delle attività. Nel quinquennio considerato (2015-2019) l'attività universitaria rappresenta il 57%. Oltre alle università fondatrici di Zurigo e Ginevra e al Laboratorio di microbiologia applicata della SUPSI quali principali attori frequentano il Centro le università di Basilea, Berna, Neuchâtel e Losanna così come i due politecnici Zurigo e Losanna. A livello internazionale sono da segnalare le partecipazioni a corsi e a ricerche delle università di Torino, Tirana, Bremen, Odense e Copenaghen così come le università della Georgia (USA) e l'Australian National University a Canberra. Il Lago di Cadagno presenta una stratificazione permanente; costituisce un modello per lo studio dei cicli biogeochimici. Le indagini sono incentrate sul filtro biologico del chemoclinio che ritiene composti tossici compreso l'idrogeno solforato. Le specie batteriche anaerobiche chiave sono ad es. *Chromatium e Thiocystis*. Con il progetto della Casa della sostenibilità, che prevede la realizzazione ad Airolo di un'antenna dedicata alla sostenibilità nello spazio alpino, segnaliamo il rinnovato interesse dell'USI per il CBA. La Casa prevede la messa in rete degli enti che svolgono un'attività scientifica in Alta Leventina.

Parole chiave: Centro Biologia Alpina, bilancio quinquennale (2015-2019), lago Cadagno, meromittico, sostenibilità

Five-year report (2015-2019) of the activity carried out at the Alpine Biology Centre of Piora

Abstract: The contribution covers the establishment of the Alpine Biology Centre (CBA) since 1989 and the establishment of the Foundation in 1994. The CBA has been set up by the State of Canton Ticino, in cooperation with the universities of Geneva and Zurich, in order to promote scientific and educational activities at a university level. The CBA Foundation is responsible both managing the Centre and coordinating its activities. In the five years considered (2015-2019) university activity represents 57%. In addition to the founding universities of Zurich and Geneva and the Laboratory of applied microbiology of SUPSI as main actors, the universities of Basel, Bern, Neuchâtel and Lausanne, as well as the two polytechnics Zurich and Lausanne, attend the Centre. Internationally, research and courses are held at the Centre from the universities of Turin, Tirana, Bremen, Odense and Copenhagen as well as from the universities of Georgia (USA) and the Australian National University in Canberra. A permanently stratified freshwater ecosystem, the meromictic lake Cadagno, located nearby represent a model for the study of biogeochemical cycles in freshwater habitats. Main interests are focusing on the biological filter, developing in the chemocline and retaining toxic compounds such as sulfide, which is mainly composed by anaerobic phototrophic sulfur bacteria key genera such as Chromatium and Thiocystis. With the project of the House of Sustainability, which plans to establish in Airolo an Antenna dedicated to sustainability in the Alpine space, we report the renewed interest of USI for the CBA. The House will provide a network for the organizations carrying out scientific activities in Alta Leventina.

Keywords: Alpine Biology Centre, five years report (2015-2019), lake Cadagno, meromictic, sustainability

PREMESSA

Il 15 dicembre 1989 il Gran Consiglio ticinese con un Decreto legislativo decideva l'istituzione del Centro Biologia Alpina di Piora (CBA). La partecipazione dell'Università di Ginevra e dell'Università di Zurigo a questa realizzazione è stata essenziale per ancorare al Centro il necessario livello accademico come contemplato dal Messaggio d'istituzione. La Confederazione, tramite il Dipartimento federale dell'interno, assicurava una consistente quota parte finanziaria alla ristrutturazione di due edifici (barc), la cui origine risale al Cinquecento, messi a disposizione della Corporazione dei

boggesi di Piora. Il 4 luglio 1994 veniva istituita la Fondazione CBA con la partecipazione delle due università menzionate e del Cantone Ticino, con lo scopo di "promuovere l'insegnamento a livello universitario, la ricerca scientifica, e la divulgazione" (Rogito n. 1616, inserto D, Avv. Gabriele Gendotti, notaio, Faido, 4.7.1994). Va inoltre sottolineato che la Società ticinese di scienze naturali (STSN), nell'iter dell'istituzione ha avuto un ruolo importante, infatti secondo il suo statuto (art. 1) raggiunge lo scopo di promuovere e divulgare le scienze naturali espressamente "sostenendo le attività del Museo cantonale di storia naturale e del Centro di biologia alpina di Piora".

L'Università della Svizzera italiana (USI), avviata nel 1996, è entrata nella Fondazione con l'intimazione del 9 aprile 1999 da parte del Dipartimento cantonale delle istituzioni e relativa decisione del Consiglio costituente dell'USI del 23 aprile 1999.

In questi anni il Centro è stato frequentato da corsi e ricercatori di oltre 20 Università svizzere ed estere e in questa nota proponiamo la sintesi dell'utenza nell'ultimo quinquennio (2015-2019). Bilancio che viene effettuato a 30 anni del Decreto legislativo d'istituzione, a 25 anni dalla costituzione della Fondazione, e a 40 anni dalla ripresa regolare dell'attività universitaria scientifico-didattica in Val Piora.

SINTESI DEGLI ISTITUTI CHE NEL QUINQUENNIO CONSIDERATO SVOLGONO ATTIVITÀ DI INSEGNAMENTO E RICERCA

Le Università svizzere di Ginevra, Zurigo e la Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI) organizzano regolarmente numerosi corsi ogni stagione; sono presenti anche le Università di Basilea, Berna, Neuchâtel e i Politecnici di Zurigo e Losanna, specialmente con l'EAWAG (Istituto federale per l'approvvigionamento la depurazione e la protezione delle acque). Mentre dall'estero troviamo in Piora le Università di Torino (I), Georgia (USA), Tirana (AL), Bremen (D), Canberra (Australia), Aarhus e Copenaghen (DK), Lussemburgo. Va rammentato che la settimana di corso in Piora presso il CBA equivale, sia per gli allievi che per gli insegnanti, a un credito universitario europeo di 3 ECTS.

Presenti anche i Licei di Lugano 2, Locarno, Bellinzona, Nyon, Wattwil; la Kantonsschule di Sargans e Frei's Schulen di Lucerna e la "Summer School" promossa dall'Accademia svizzera delle scienze.

CONTESTO QUANTITATIVO

Dall'apertura ufficiale del Centro e della costituzione della Fondazione CBA nel 1994, abbiamo registrato un totale di 53'123 presenze (considerate come giornate investite in quota) con una media annuale di 2'043 di presenze. Nel quinquennio considerato con un totale 11'787 presenze abbiamo registrato una media annua di 2'357 giornate investite in quota. Nella figura 1 sono riportate le percentuali delle varie attività svolte.

Eventi particolari, come l'apertura inaugurale di nuovi sentieri didattici, costituiscono un richiamo di partecipanti in visita al Centro.

TEMI DI RICERCA E DI INSEGNAMENTO

Dall'inizio dell'attività di ricerca in Piora il tema generale è stato dedicato, mediante un approccio molecolare, alla biologia dei batteri fotosintetici anaerobici legati al ciclo dello zolfo presenti nel Lago di Cadagno. In questo ambito d'indagine va segnalato il recente accoglimento di un nuovo programma del Fondo nazionale con partico-



Figura 1: Centro Biologia Alpina Piora, tipo di attività svolte nel periodo 2015-2019 (senza le visite). L'attività universitaria (corsi e ricercatori) rappresenta il 57%, globalmente l'insegnamento corrisponde al 75%.

lare interesse per la bioconvezione di origine microbica. Questo riconoscimento fa seguito a cinque progetti di ricerca effettuati presso il CBA con il sostegno del Fondo nazionale svizzero per la ricerca scientifica (FNS).

Nel 2019 ha avuto luogo la ripetizione di un carotaggio di 11 metri nei sedimenti profondi del Lago di Cadagno. Un tale campione ci permette di analizzare i sedimenti che si sono formati all'inizio della vita del lago e che potrebbero avere un'età di 10'500-12'000 anni. Questo prezioso materiale è analizzato da ricercatori svizzeri ed esteri, oltre al Laboratorio di microbiologia applicata della SUPSI: le Università di Berna, Losanna, Neuchâtel e Ginevra, il Politecnico di Zurigo e l'EAWAG assieme alla National University of Australia di Canberra. Di particolare interesse è la ricerca su questi sedimenti di "biomarkers" (specie di "firme biologiche evolutive") svolta dal gruppo australiano. Questa tecnica contribuisce a indagare l'evoluzione della vita sulla Terra.

Nelle descrizioni di nuove specie biologiche che vanno ad arricchire la distinta della biodiversità (AA.VV. 2012), va citato come esempio il micete *Rutstroemia alnobetuale* sp., articolo pubblicato sul sito www.ascomycete.org (Dougoud 2015).

Lo studio degli insetti effettuato dagli entomologi americani della Georgia Southern University ha portato ad annoverare delle sottospecie endemiche (Durden & Beati 2012).

Della scoperta dei macrofossili nella torbiera vicino al Lago di Cadagno, che datano di 4'700-4'800 anni, abbiamo già riferito in Martinetto et al. (2018).

Nel quadro del Festival della scienza "ricerca live" nel programma per festeggiare i 200 anni dell'Accademia svizzera delle scienze naturali, è stata organizzata una giornata su "I segreti della microbiologia alpina". Sulla stessa problematica si inserisce il progetto Agorà pure finanziato dal Fondo nazionale svizzero per la ricerca scientifica.

La Società svizzera di idrologia e limnologia (SGHL)

organizza regolarmente un corso per dottorandi provenienti da diverse Università. Va rammentato che presso il Centro di Piora, equiparato agli altri servizi dell'Università di Ginevra, esiste la possibilità di effettuare le "soutenances de thèse", e sette difese di tesi di dottorato sono state effettuate in quota.

ELABORAZIONE DI MATERIALE DIDATTICO E PERITALE

Pubblicazione di tre volumi della serie Documenta, ISSN 1424-4993 della Biblioteca nazionale.

- n. 5 Dai percorsi natura del settecento all'educazione ambientale odierna, 2016
- n. 6 Piora Lago di Cadagno Lago Ritom, Guida natura e ambiente, italiano-francese, 2018. Nel sito www. cadagno.ch è inserita la versione in tedesco-inglese.
- n. 7 Piora e San Gottardo, storia scientifica, ricerca, insegnamento, 2019

Il fascicolo "Alla scoperta di un mondo nascosto. Guida illustrata del percorso didattico sui microorganismi della Val Piora", è stato pubblicato nelle tre lingue. italiano, francese e tedesco, nel 2016. Il CBA è editore con BIOutils, SUPSI, Università di Ginevra e Fondo nazionale (Fig. 2).









Figura 2: Copertine degli ultimi volumi pubblicati durante in quinquennio.

Inoltre è stata approntata una perizia limnologica sul Lago Ritom "Analisi chimico-fisiche e stabilità della stratificazione del Lago Ritom" richiesta dal capo-progetto del cantiere FFS-AET (Ritom II) per la nuova centrale idroelettrica di Piotta.

Per l'elenco delle pubblicazioni effettuate su riviste scientifiche "peer review" con comitato di lettura, consultare il sito www.cadagno.ch.

Annualmente vengono effettuate interviste per riviste specializzate e servizi radio-televisivi che documentano le attività presso il Centro. Come pure diverse conferenze presentate quali sintesi sulle attività e le recenti particolarità di Piora. Per quanto riguarda la STSN già precedentemente, tramite il Bollettino, ho avuto modo di informare sull'evoluzione del CBA (Peduzzi 1993, 2003).

L'Università di Ginevra ha organizzato in Piora, tramite due collaboratori del CBA che hanno un mandato di "chargé de cours", un ritiro scientifico. Momento importante di riflessione con la partecipazione dei rappresentanti dei diversi settori della Facoltà delle scienze che frequentano il Centro di Piora ossia: il Dipartimento di biologia vegetale; l'Institut Forel, il Dipartimento scienze della Terra e il Dipartimento di scienze ambientali. Da sottolineare il recente soggiorno della SUPSI sulla "Divulgazione scientifica in Val Piora" allo scopo di trasporre graficamente con i linguaggi visivi più consoni i principali temi scientifici, con particolare attenzione

alla microbiologia alpina e al fenomeno della meromis-

DI COSA DISPONE L'INFRASTRUTTURA, ULTERIORI ACQUISIZIONI

si crenogenica presente nel Lago di Cadagno.

Durante il tempo di apertura stagionale, da metà giugno a metà ottobre, la Fondazione finanzia un collaboratore a tempo pieno, attivo in quota, per meglio inquadrare i fruitori del Centro e l'accompagnamento sui sentieri didattici e inoltre per facilitare la parte gestionale dell'attrezzatura tecnica mantenuta nello stato funzionale per l'utilizzo sia interno che esterno (lavoro limnologico sul lago).

In prossimità del Centro, a 2'000 metri di altitudine, è stata posata una stazione meteo, i cui parametri misurati sono temperatura, umidità relativa e precipitazioni. Dispone inoltre di una webcam focalizzata sul Lago Cadagno. Permette di ottenere dati di estrema importanza nel contesto delle ripercussioni biologiche create dai cambiamenti climatici in alta montagna.

Sono da sottolineare le nuove offerte espositive presso il Centro: una vetrina geologica contenente minerali e rocce della regione di Piora e del San Gottardo; inoltre, i pannelli espositivi elaborati dall'Ufficio federale di topografia swisstopo per la presentazione dell'Atlante geologico della Svizzera 1:25'000 (foglio 1252 Ambrì Piotta) e i poster inerenti Cadagno offerti dal Museo della pesca di Caslano dopo il loro utilizzo per un'esposizione dedicata a Piora.

Dal profilo botanico possiamo evidenziare l'arricchimento dei due erbari depositati presso il laboratorio del Centro.

CONCLUSIONI

Ripercorrendo l'utenza, le presenze menzionate, i temi delle indagini e dei corsi svolti, possiamo affermare che gli scopi prefissati dal Messaggio governativo concernente l'istituzione del CBA (redatto nel settembre 1989) sono stati raggiunti e anche confermati pienamente. In particolare:

- la concreta collaborazione tra il Canton Ticino e le Università svizzere;
- l'incremento di un'attività universitaria che già si svolgeva in Ticino;
- l'inserimento dell'insegnamento su temi legati all'ecologia ed altre problematiche ambientali nei curriculi scolastici ai diversi livelli;
- la possibilità di svolgere in loco analisi su materiali raccolti nella regione (eliminare il "mordi e fuggi", alfine di evitare che materiali raccolti in Val Piora vengano analizzati solamente altrove).

Per il primo punto siamo andati oltre le aspettative, in quanto va rammentato che l'inizio del discorso a livello federale inerente l'Università della svizzera italiana (USI) è avvenuto in Piora grazie alla presenza della Consigliera federale Ruth Dreifuss, direttrice del Dipartimento degli interni, in occasione dell'inaugurazione del Centro il 29 luglio 1994.

L'USI attualmente ha dimostrato un rinnovato interesse per il lavoro accademico svolto in Piora. Infatti ha l'intenzione di raggruppare in Alta Leventina le discipline inerenti le scienze alpine e gli aspetti della sostenibilità complessa del vivere in ambiente montano.

Nelle prospettive future si potrebbe incentivare la divulgazione scientifica mediante la creazione di un nuovo spazio multiuso scientifico-divulgativo, una sorta di "Visitor-center". Spazio posto alla confluenza dei sentieri didattici esistenti che completerebbe l'attività accademica con l'aspetto divulgativo e permetterebbe di implementare maggiormente l'esistente sinergia tra ricerca scientifica e attività dell'alpeggio promossa dalla Corporazione dei boggesi.

Questo interesse dell'USI avviene in un contesto favorevole in quanto vale la pena mettere in risalto gli enti che svolgono un'attività scientifica e tecnica in Alta Leventina nei settori di nostro interesse.

Oltre alle Università di Ginevra e Zurigo, membri costituenti della Fondazione CBA che hanno dato un determinante impulso all'attività accademica e tuttora hanno un ruolo trainante per le altre università, possiamo annoverare in quanto attivamente presenti:

- L'Università di Berna che da anni possiede un Laboratorio di fisica nella galleria autostradale del San Gottardo (ubicato tra il tunnel di scorrimento e il cunicolo di sicurezza);
- Il Politecnico di Zurigo con il Bedretto-Lab, creato nel 2019 a Ronco Bedretto all'entrata del tunnel di lavoro della Furka. Laboratorio sotterraneo per lo studio dell'energia geotermica.

Sullo stesso tema delle energie rinnovabili vanno menzionati: il cantiere per l'ottimizzazione dello sfruttamento idroelettrico del Lago Ritom e delle acque delle valli

vicine e la costruzione della nuova centrale a Piotta; inoltre l'inizio dei lavori per la posa delle pale eoliche sul Passo del San Gottardo.

Le indicazioni tecniche inerenti questi importanti lavori, compresi i loro obiettivi, possono costituire dei momenti didattici molto preziosi fruibili nel comprensorio ai piedi del San Gottardo.

Ad Airolo un primo passo è stato effettuato con l'apertura della mostra "No limits!", spazio espositivo aperto al pubblico che illustra le attività svolte presso il CBA. Recentemente l'USI preconizza l'utilizzo del palazzo della posta di Airolo (architetto Tami) per un'antenna dedicata alla sostenibilità. Questa realizzazione può costituire una piattaforma che permette di integrare l'illustrazione delle attività tecnico-scientifiche menzionate e contribuire così alla conoscenza della cultura scientifica fattivamente presente sul territorio dell'Alta Leventina. Una sorta di polo informativo per un turismo scientifico-culturale.

Ribadisco quanto ho affermato in occasione di un'intervista effettuata all'apertura della galleria di base Alp-Transit (AA.VV. 2016) citazione che è stata utilizzata al Museo dei trasporti di Lucerna:

"La montagna del San Gottardo deve ridiventare un luogo sul quale valga la pena di fermarsi, un'attrattiva interessante, un punto di riferimento per la scienza".

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

- AA.VV. 2012. Biodiversità della Val Piora Risultati e prospettive delle "Giornate della biodiversità". In: Rampazzi F., Tonolla M. & Peduzzi R. (eds.), Memorie della Società Ticinese di Scienze Naturali (STSN) Vol 11, Lugano, 280 pp.
- AA.VV. 2016. 57 persone storie. La galleria di base del San Gottardo: l'opera del secolo. Ed. AS Verlag, 158 pp.
- Dougoud R. 2015. *Rustroemia alnobetulae* sp. nov. (Helotiales, Rutstroemiaceae), une espèce nouvelle des aulnes verts. Ascomycete.org, 7 (6): 336-340.
- Durden Lance A. & Beati L. 2012. Lepidoptera recorded in the Val Piora (Canton Ticino, Switzerland). Summers 2009-2011. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 100: 121-125.
- Martinetto E., Peduzzi R., Ajassa R., Buffa G., Castellano S., Gianotti F., Vescovi E. & Tinner W. 2018. Scoperta di macrofossili vegetali (4.8-4.7 ka cal BP) al Lago Cadagno nell'ambito delle attività dei Naturalisti dell'Università di Torino in Val Piora (Canton Ticino, Svizzera). Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 106: 113-124.
- Peduzzi R. 1993. Il nuovo Centro di Biologia Alpina di Piora. Memoria della 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.

La collezione mineralogica di Carlo Taddei (1879-1969) al Politecnico federale di Zurigo (ETHZ)

Marco Antognini¹, Athos Simonetti² e Peter Brack³

- ¹ Museo cantonale di storia naturale, Viale Cattaneo 4, 6900 Lugano, Svizzera
- ² Società Mineralogica Ticinese, c/o Athos Simonetti, 6981 Bedigliora, Svizzera
- ³ Institut für Geochemie und Petrologie, ETHZ, Sonneggstrasse 5, 8092 Zürich, Svizzera

marco.antognini@ti.ch

Riassunto: Sono delineate le caratteristiche della collezione mineralogica donata da Carlo Taddei al Politecnico federale di Zurigo (ETH) nel 1935. La collezione è costituita da 500 campioni provenienti in prevalenza dal territorio del Cantone Ticino e raccolti dallo stesso Taddei. Egli era un mineralogista autodidatta, un provetto alpinista e un appassionato collezionista. Questa rilevante collezione è uno dei pochi esempi di collezione mineralogica allestita in Cantone Ticino da un singolo ricercatore nei primi decenni del ventesimo secolo.

Parole chiave: Cantone Ticino, Carlo Taddei, collezioni, mineralogia regionale

The Carlo Taddei (1879-1969) mineralogical collection at the Swiss Federal Institute of Technology (ETH) in Zurich

Abstract: The characteristics of the mineralogical collection donated by Carlo Taddei to the Swiss Federal Institute of Technology (ETH Zurich) in 1935 are outlined. The collection consists of 500 specimens coming mainly from the Canton Ticino area and collected by Taddei himself. He was a self-taught mineralogist, a skilled mountaineer as well as a fine collector. This significant collection is one of a very few examples of mineralogical collections assembled in Ticino Canton by a single researcher in the early decades of the 20th Century.

Keywords: Carlo Taddei, collections, regional mineralogy, Ticino Canton

INTRODUZIONE

Carlo Taddei è stato un esponente di spicco della mineralogia del Cantone Ticino. Uomo dalla forte personalità, è riuscito a integrare varie componenti quali un'instancabile attività esplorativa sul campo, il desiderio di comprendere i fenomeni naturali alla base della formazione dei cristalli, la mediazione scientifica e il collezionismo. Una figura a tutto tondo in grado di collaborare attivamente con i più noti professori universitari della sua epoca a livello internazionale. I campioni da lui raccolti sono confluiti e sono tuttora esposti in numerosi musei del mondo oltre che naturalmente al Museo cantonale di storia naturale (MCSN) a Lugano, dove sono custoditi quasi 2'000 suoi reperti. Una cospicua collezione è stata anche donata nel 1935 al Politecnico federale di Zurigo (ETHZ) e nel presente contributo ne saranno delineate le caratteristiche. La donazione di questa collezione può essere considerata come una prova tangibile del forte legame di Taddei con l'istituzione federale e i suoi professori, che spesso guidava sul terreno. Un legame sicuramente ben corrisposto e certificato dalle belle parole di Paul Niggli: "Grazie a lui il Politecnico Federale può oggi esporre una collezione speciale di minerali ticinesi: essi sono il frutto e il dono delle sue ricerche indefesse a favore della scienza e della patria" (prefazione di Taddei 1937).

CENNI BIOGRAFICI

Carlo Taddei nasce a Faido il 22 giugno 1879. La passione per i minerali si manifesta già ai tempi della scuola elementare, quando - per sua stessa ammissione - "marinavo la scuola per salire alla trincea in alto della Piumogna, ove si minava la roccia per i tubi, a cercare cristalli" (Lettera a Oscar Panzera, 1934, Archivio MCSN). Trova in seguito lavoro come falegname presso le Officine delle Ferrovie Federali Svizzere (FFS) a Bellinzona e la sua attività di ricerca di minerali viene svolta nel poco tempo libero a disposizione. La sua passione per la montagna lo porta a essere annoverato, nel 1919, fra i soci fondatori dell'Unione Ticinesi Operai Escursionisti (UTOE) di Bellizona (Marcacci 2019). Con energia ed entusiasmo esplora il territorio raggiungendo un livello di conoscenza del contesto mineralogico e geologico cantonale straordinario per un autodidatta (Toroni 1969; Simonetti 2003). Questa sua conoscenza approfondita del territorio gli permette di fungere da guida ai numerosi ricercatori universitari intenzionati a studiare le montagne del Ticino. Nel corso dei primi decenni del Novecento entra così in contatto con famosi esponenti della mineralogia europea: Ettore Artini, Johannes Koenigsberger, Tadeusz Wojino, ma soprattutto Paul Niggli e Robert Parker del Politecnico federale di Zurigo. Il suo nome compare a più riprese nelle più importanti opere di riferimento dedicate alla



Figura 1: I cassetti all'interno dei quali è depositata la collezione di Carlo Taddei negli archivi del Dipartimento di Scienze della Terra dell'ETH Zurigo.

mineralogia delle Alpi (Niggli et al. 1940; Parker 1954; Gramaccioli 1975).

Appassionato cercatore, collezionista ma anche divulgatore prolifico (Taddei 1927; Taddei 1928; Taddei 1930a; Taddei 1930b), nel 1934, su precisa richiesta dell'allora direttore Oscar Panzera, Carlo Taddei diventa il primo collaboratore del Museo cantonale di storia naturale a Lugano (Fossati 2003). Pochi anni dopo pubblica una monografia che rappresenta tuttora una pietra miliare per la mineralogia ticinese (Taddei 1937). La sua più che trentennale attività presso il Museo, che lui stesso riassume in un articolo del 1965 (Taddei 1965), garantirà a questa istituzione un forte incremento delle collezioni e la possibilità di conservare per le generazioni future i molti reperti acquisiti nell'impervio territorio cantonale.

LA COLLEZIONE

Il 18 maggio 1935 ha luogo a Zurigo la consegna della collezione alla presenza delle Autorità cantonali ticinesi e zurighesi, e del corpo insegnante dell'Istituto, tra i quali vi era anche il professore di letteratura italiana

Giuseppe Zoppi. Il compito di presentare al pubblico la collezione Taddei è affidato al professor Robert Parker (Zorzi 1970).

La collezione rappresenta un'importante raccolta regionale che conserva campioni di grande interesse scientifico e museologico e fornisce una panoramica del contesto mineralogico ticinese noto all'epoca. Essa consta di 500 campioni conservati attualmente in una trentina di cassetti negli archivi del Dipartimento di Scienze della Terra dell'ETH a Zurigo (Fig. 1). Una parte della collezione è stata esposta al pubblico al piano terreno dell'istituto fino al 1965, anno in cui sono iniziati importanti lavori di ristrutturazione dell'intero edificio conclusisi nel 1969. Trattandosi di campioni raccolti quasi 100 anni fa, essi vanno considerati in ottimo stato di conservazione.

I reperti provengono dalle principali aree di interesse mineralogico del Cantone Ticino ad eccezione di 28 minerali per i quali la località di raccolta si trova in cantoni limitrofi, ciò che conferma il carattere regionale della collezione (Tab. 1). Sorprende tuttavia la mancanza di esemplari dal San Gottardo e sono sottorappresentati i minerali dei marmi dolomitici del Campolungo. Solo in 25 casi sul totale di 500 pezzi numerati, le indicazioni di provenienza sono del tutto assenti.

Tabella 1: Località di provenienza dei campioni. * Inclusa la galleria dell'impianto idroelettrico.

Alpe Arena	Sasso Rosso (Airolo)
Alpe di Cava	Sonogno
Arogno	Sta. Domenica (GR)
Bellinzona	Traseggio (Faido)
Blinnenhorn (VS)	Tremorgio
Bocchetta di Formazzora	Tunnel Monte Ceneri
Bodio	Val Bavona
Campo Tencia	Val Bedretto
Campolungo	Val Cadlimo
Claro	Val Chironico
Faido	Val Cramosino
Fedòc (Faido)	Val Cristallina
Fuorcla Cristallina (GR)	Val d'Ambra
Galleria Prato SBB	Val di Campo (Blenio)
Gorduno	Val di Lodrino
Greina	Val Nedro
Grono (GR)	Val Piora
Lago Nero	Val Redorta
Landarenca (GR)	Val Scaradra
Monte Piottino*	Val Verzasca
Monti di Daro	Valle d'Arbedo
Motto d'Arbino	Valle del Sacro Monte
Olivone	Valle del Trodo
Pass Diesrut (GR)	Valle di Blenio
Passo di Cavanna	Valle di Peccia
Passo di Cristallina	Valle Leventina
Pizzo Forno	Valle Maggia
Pizzo Mezzogiorno	

I campioni sono rappresentativi di 46 specie mineralogiche differenti (Tab. 2). Le classi più diffuse sono quelle dei silicati e degli ossidi. Tra le specie numericamente più rappresentate c'è il quarzo (196), seguono adularia (74) e ankerite (45).

Tabella 2: Elenco delle specie mineralogiche presenti in collezione.

Actinolite Heulandite Albite Laumontite Anatasio Limonite Andalusite Magnetite Ankerite Muscovite Apatite Ortoclasio (v. Adularia) **Apofillite** Pirite Asbesto Pirrotite Azzurrite Prehnite Berillo Piromorfite **Biotite** Quarzo Calcite Rutilo Cianite Scapolite Clorite Scolecite Corindone Siderite Dolomite Staurolite **Ematite** Stilbite **Epidoto** Talco Galena Thulite Gesso Titanite Granato Tormalina Grossularia Vesuviana Grossularia (v. Essonite) Wollastonite

Ogni singolo campione è corredato da un'etichetta cartacea manoscritta e da uno o più numeri. Purtroppo manca un catalogo originale; esiste tuttavia una lista manoscritta allestita negli anni ottanta dall'allora conservatore delle collezioni del Politecnico Walter Oberholzer. L'etichetta riporta la paragenesi, la località in forma generica (ad esempio "Valle Leventina") e, talvolta, un ulteriore dettaglio sul giacimento (ad esempio "Loc. A"). In quest'ultimo caso la lettera maiuscola fa riferimento a una serie di giacimenti che sono riportati su una carta geografica del Ticino in scala 1:75'000 che si trova appesa al muro accanto alla collezione (Fig. 2). La medesima nomenclatura dei singoli giacimenti è utilizzata in Taddei (1937).

I campioni provenienti da gallerie riportano talvolta anche la progressiva dello scavo. I pezzi in passato esposti al pubblico (una cinquantina) hanno pure un'etichetta dattiloscritta (Fig. 3a).

Per ragioni a noi sconosciute vi sono due tipi diversi di numerazione dei campioni: una progressiva con i numeri trascritti direttamente sul reperto con un pennarello rosso, e una seconda costituita da autocollanti tondi di colore rosa attaccati al pezzo, che riportano un numero differente. Quest'ultimo sistema di numerazione è il medesimo adottato dal Taddei al Museo cantonale di storia naturale a Lugano, ma i singoli numeri non corrispondono a quelli presenti nel catalogo del Museo.

L'attività sul campo di Taddei ha contemplato in modo esaustivo i più noti contesti geologici di formazione dei minerali. Troviamo quindi ben rappresentati anche in questa collezione i minerali di fessura, i minerali metamorfici e quelli legati alle pegmatiti.

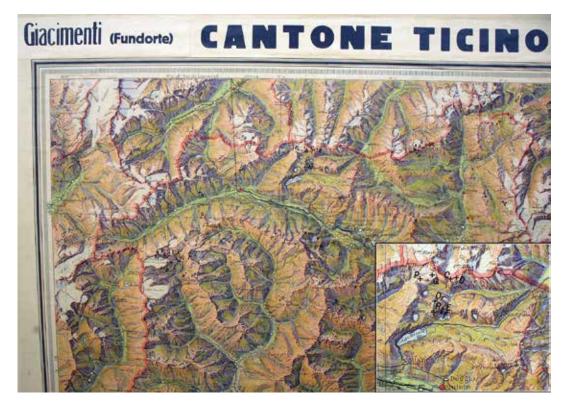


Figura 2:
Dettaglio della
carta geografica
del Ticino
in scala 1:75'000
sulla quale
sono indicati
i giacimenti
mineralogici.
Nel riquadro
un ingrandimento
della regione
di Piora.



Figura 3: a) Quarzo fumé (affumicato) dalla Val Scaradra. Reperto di 10 x 5 cm (#88). È pure illustrata la relativa etichetta utilizzata in passato per i pezzi esposti nelle vetrine dell'ETHZ. b) Ankerite selliforme su quarzo cloritizzato, galleria dell'impianto idroelettrico del Monte Piottino. Cristallo di 6 x 4 cm (#384). c) Prehnite geminata, Lago Bianco (Robièi). Reperto di 7 x 5 cm (#224). d) Cristallo di quarzo con terminazioni piramidali, Faido. Reperto di 5 x 3 cm (#517). e) Cianite dalla Val Chironico. Campione di 5 x 3 cm (#505). f) Muscovite nella pegmatite, Bellinzona. Reperto di 7 x 7 cm (#571).

Minerali di fessura

Si tratta della categoria più diffusa, nella quale spiccano per abbondanza i cristalli di quarzo, spesso fumé (Fig. 3a), e l'adularia. Piuttosto numerosi risultano essere anche i carbonati (ankerite, calcite, dolomite e siderite) e questo grazie all'assidua frequentazione dei cantieri di opere in sotterraneo da parte del Taddei, in special modo la galleria dell'impianto idroelettrico del Monte Piottino (1928-1930). In questo caso l'importanza dei ritrovamenti ha giustificato diverse pubblicazioni, a conferma dello stretto legame di collaborazione che Taddei ha saputo instaurare con gli accademici d'oltralpe (Parker 1930; Taddei 1930a; Gruetter 1931). La realizzazione di gallerie rappresenta un'ottima opportunità per il ritrovamento di specie minerali che in superficie sono più vulnerabili all'alterazione superficiale. Tra queste vi sono appunto quelle appartenenti al gruppo dei carbonati e a quello dei solfati, e non mancano quindi in collezione anche pregevoli esemplari di gesso. Un recente studio svolto su campioni provenienti dalla stessa galleria ha dimostrato come l'ankerite sia la specie più diffusa (Antognini & Meisser 2017). Per

questa specie, le etichette dei campioni catalogati riportano spesso l'indicazione generica di "Fe-Karbonat" o anche solo "Karbonat", ma verosimilmente si tratta di ankerite (Fig. 3b).

Interessante notare come ritroviamo in questa collezione alcuni pezzi descritti in Taddei (1937), come per esempio una bella prehnite geminata dal Lago Bianco a Robièi ("Veramente tipica però di questo giacimento è la presenza, dirò, simultanea, di 3 facies di prenite: la comune mammellonare, di cui ho un pezzo a due 'creste di gallo' incrociate", p. 133; Fig. 3c) o un quarzo da Faido ("In codesta drusa, si trovano dei quarzi di forma tutta speciale. Hanno il comune abito, ma il prisma finisce in un piano orizzontale di rottura, e, sopra questo, spuntano molte piccole piramidi esagonali", p. 81; Fig. 3d). La prehnite era il minerale di predilezione di Taddei, che la descrisse in Valle Mesolcina e Val Calanca (un esemplare proveniente dalla Cava Polti di Arvigo è stato disegnato da Stuker 2002), in Riviera, riva destra della bassa Valle Leventina, Val Bavona, Valle di Peccia, Valle Maggia e a Carasso. In Taddei (1937) ne presenta il 34° giacimento, mentre nel 1968 ammetterà di averne scoperti più di cento (Toroni 1969).

Curiosamente, la scapolite del Tremorgio, scoperta dallo stesso Taddei (Taddei 1930b) è in collezione con un solo esemplare. Ricordiamo che i campioni provenienti da questo giacimento sono ancora considerati i migliori nel contesto europeo (Goujou 2004).

Minerali metamorfici e delle pegmatiti

Ben noti nel contesto geologico cantonale e dunque presenti in collezione sono sicuramente la cianite (Fig. 3e) e la staurolite dal Pizzo Forno, l'andalusite da Landarenca (GR) e l'actinolite dalla Valle di Blenio.

Di particolare interesse per il Taddei la peculiare paragenesi connessa ai silicati calcici affioranti a Claro, dove si rinviene una delle rare occorrenze svizzere di wollastonite (Stalder et al. 1998), vesuvianite e grossularia nella varietà essonite. In quest'ultimo caso i cristalli pluricentimetrici sono molto estetici, con facce ben sviluppate e di colore rosso giacinto. Anche in questa occasione il lavoro di Taddei sul campo ha dato in seguito origine a importanti studi accademici (Trommsdorff 1968).

Nella medesima località (Claro) vi sono pure affioramenti di pegmatiti, particolari rocce di origine magmatica che possono ospitare minerali rari. Taddei ha dimostrato grande interesse per queste rocce (Taddei 1937; Taddei 1938; Taddei 1940). I giacimenti più noti, alla cui scoperta il Taddei ha contribuito notevolmente, si trovano lungo una fascia che dal bellinzonese si spinge fino a Brissago. Ben rappresentati in collezione troviamo berillo, granato e muscovite da Claro, tormalina dal Motto d'Arbino, muscovite dalla Valle d'Arbedo e da Bellinzona (Fig. 3f). Purtroppo la più recente e importante scoperta legata alle pegmatiti di Cresciano (la tapiolite), avvenuta nel 1938 (Casasopra 1938; Taddei 1938), non ha ovviamente potuto essere inserita nella donazione del 1935.

CONCLUSIONI

La collezione Carlo Taddei, custodita presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'ETH a Zurigo, attualmente non è esposta al pubblico. Essa rappresenta una preziosa testimonianza storico-scientifica a disposizione di studiosi e appassionati di minerali e un punto di riferimento per il collezionismo di minerali del Ticino nei primi decenni del ventesimo secolo.

RINGRAZIAMENTI

Gli Autori sono grati a Cristian Scapozza e ad Andreas Küng per le precisazioni sulla figura di Carlo Taddei e le osservazioni apportate al testo.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

Antognini M. & Meisser N. 2017. Ankerite, dolomite e siderite provenienti da diverse gallerie della Leventina (Alpi Centrali, Ticino). Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 105: 61-69.

- Casasopra S. 1938. La presenza della tapiolite nelle pegmatiti di Cresciano (Riviera), Ticino. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 18: 441-450.
- Fossati A. 2003. Investigatori della natura 1853-2003 I centocinquanta anni di Museo cantonale di Storia naturale. Locarno, Armando Dadò Editore, 442 pp.
- Goujou J.-C. 2004. Réflexions autour des scapolites et de ses meilleures occurrences dans le monde. Le Règne Minéral, 60: 5-19.
- Gramaccioli C.M. 1975. Minerali alpini e prealpini. Bergamo, Istituto Italiano Edizioni Atlas, 473 pp.
- Gruetter O. 1931. Ueber einige Ergebnisse der geologischen Untersuchung der Kraftwerkanlage Monte Piottino (Tessin). Eclogae geologicae Helvetiae, 24(1): 1-21.
- Marcacci M. (a cura di) 2019. Storie di montagna. 100 anni UTOE Bellinzona. Bellinzona, Salvioni Edizioni, 176 pp.
- Niggli P., Koenigsberger J. & Parker R.L. 1940. Die Mineralien der Schweizeralpen. Basel, Wepf & Co., Band I+II, 661 pp.
- Parker R.L. 1930. Bemerkungen über einige Mineralien des Piottinostollens (Tessin). Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 10: 363-366.
- Parker R.L. 1954. Die Mineralfunde der Schweizer Alpen. Basel, Wepf & Co., 311 pp.
- Simonetti A. 2003. Mineralogia, petrografia e geologia nel Bollettino della Società ticinese di Scienze naturali. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 91(1-2): 101-106.
- Stalder H.A., Wagner A., Graeser S. & Stuker P. 1998. Mineralienlexikon der Schweiz. Basel, Verlag Wepf & Co., 580 pp.
- Stuker P. 2002. Magie della natura. Sondrio, Tipografia Polaris, 119 pp.
- Taddei C. 1927. Note di mineralogia della Svizzera italiana. Bollettino della Società ticinese di Scienze naturali 22, 21-33.
- Taddei C. 1928. Note di mineralogia della Svizzera italiana. Bellinzona e dintorni. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 23: 23-35.
- Taddei C. 1930a. Galleria Monte Piottino Faido (Ticino). Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 10: 367-372.
- Taddei C. 1930b. Scapolite del Campolungo. Natura, 21: 217-
- Taddei C. 1937. Dalle Alpi Lepontine al Ceneri. Note di geomineralogia. Bellinzona, Istituto Editoriale Ticinese, 179 pp.
- Taddei C. 1938. Notizie mineralogiche ticinesi: berillo e prenite di Cresciano sul Sasso (Riviera). Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 18: 437-440.
- Taddei C. 1940. Pegmatiti della Svizzera Italiana e minerali in esse contenuti. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 20: 247-252.
- Taddei C. 1965. Nota sulle raccolte mineralogiche del Museo Cantonale di Storia Naturale. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 58: 53-59.
- Toroni A. 1969. Ricordo di Carlo Taddei, mineralogista. Il Nostro Paese, 21(74/75): 70-72.
- Trommsdorff V. 1968. Mineralreaktionen mit Wollastonit und Vesuvian in einem Kalksilikatfels der alpinen Disthenzone (Claro, Tessin). Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 48: 655-666.
- Zorzi A. 1970. Carlo Taddei (1879-1969). Da cristalliere a mineralogista e petrografo emerito. Almanacco ticinese, 130: 63-66.

Ricordo di Carlo Taddei a 50 anni dalla scomparsa

Athos Simonetti

Società Mineralogica Ticinese, c/o Athos Simonetti, 6981 Bedigliora, Svizzera

INTRODUZIONE

Ho conosciuto Carlo Taddei nel 1960, quando ho cominciato a frequentare il Liceo a Lugano.

Il signor Carlo Taddei veniva a Lugano ogni venerdì pomeriggio per fare ordine nelle collezioni del Museo cantonale di storia naturale. Il docente di scienze Oscar Panzera (già presidente della Società ticinese di scienze naturali fra il 1944 e il 1946), terminate le lezioni del pomeriggio, mi presentò al sig. Carlo Taddei. Camminando insieme al sig. Taddei verso la stazione FFS parlammo dei minerali del Pizzo Molare e della Val Calanca perché, durante l'estate, avevo avuto la possibilità di frequentare montagne della Valle Leventina e cave della Val Calanca. Ho potuto accompagnarlo molte volte alla stazione FFS, discutendo sempre di minerali, di paragenesi e anche di giacimenti di aragonite a Manno e ad Agno e di miniere nel Malcantone.

Negli anni di studio ho incontrato, in Ticino, nel palazzo degli studi di Lugano, Carlo Taddei (Fig. 1). Mi chiese di prendere contatto con la direzione del Politecnico federale di Zurigo per trasferire in Ticino una decina di pezzi della collezione Taddei, donata nel 1935 al Politecnico, pezzi a lui particolarmente cari. I pezzi erano: cristalli di essonite, diopside, vesuvianite e wollastonite del giacimento di Claro; pezzi di quarzo a scettro con rosette di ematite della zona del San Gottardo; due ametiste provenienti dal cantiere idroelettrico del Monte Piottino e altri pezzi.

A Zurigo preparai la lettera per la direzione del Politecnico; fui convocato due volte per dare ulteriori spiegazioni e infine ricevetti l'autorizzazione di portare i pezzi in Ticino.

Quando Carlo Taddei vide i suoi pezzi sul tavolo dell'ufficio di mineralogia del Museo cantonale di storia naturale ebbe un momento di silenzio e di intensa commozione.

IL CONTRIBUTO DI CARLO TADDEI ALLA CONOSCENZA DELLA MINERALOGIA TICINESE

Le Alpi ticinesi, e in particolare la zona del San Gottardo, costituiscono da secoli luoghi di estrazione di cristalli e di ricerca mineralogica. Numerosi naturalisti del passato – per esempio Ermenegildo Pini (1783), che scoprì e descrisse l'adularia e la tremolite e Horace-Bénédict de Saussure (1796), che pubblicò numerose osservazioni di carattere mineralogico e petrografico sulla zona di Airolo e del San Gottardo – fecero cono-



Figura 1: Carlo Taddei in un'immagine del 1938.

scere alla comunità scientifica alcuni aspetti della mineralogia ticinese. Nell'Ottocento il naturalista e cristallografo Luigi Lavizzari esplorò il Cantone Ticino e, dal 1861 al 1863, pubblicò i volumi delle "Escursioni nel cantone Ticino", un'opera singolare, ricca di informazioni di carattere geologico e mineralogico (Lavizzari 1863).

Carlo Taddei (socio onorario della Società ticinese di scienze naturali nel 1962) deve essere considerato il continuatore dell'attività esplorativa del Lavizzari e il primo mineralogista del nostro paese che sia riuscito a realizzare una trattazione sistematica delle specie mineralogiche esistenti nelle diverse zone del Ticino e a evidenziare le correlazioni fra abito dei cristalli e paragenesi da un lato e condizioni di formazione, natura

delle unità geologiche e delle tipologie petrografiche dall'altro.

Il Taddei, abile alpinista e mineralogista autodidatta, acquisì, grazie a numerose e accurate esplorazioni del territorio ticinese, una solida competenza nelle scienze della Terra e in particolare sulla mineralogia del Lepontino e del massiccio del San Gottardo.

La perseveranza e l'umiltà delle sue ricerche, condotte sul terreno per un'intera vita, con un impegno e una tenacia come mai nessun altro aveva fatto prima di lui, assumono la grandezza di un'irripetibile esperienza umana e producono risultati di valore scientifico grazie alla conoscenza concreta e vissuta del territorio, profondamente interiorizzata, a una costante ricerca del bello nella natura e nella scienza, alla lettura e allo studio di numerose pubblicazioni e alla frequentazione di numerosi docenti delle università e del politecnico.

Nel 1927 e nel 1928 Carlo Taddei pubblica sul Bollettino della Società ticinese di scienze naturali una documentatissima memoria sulla mineralogia del Sopraceneri e delle valli Calanca e Mesolcina (Taddei 1927, Taddei 1928; si veda anche Taddei 1937). Essa rappresenta per diverse ragioni un contributo fondamentale per la conoscenza della mineralogia ticinese. Innanzitutto il contributo del Taddei contiene un esaustivo elenco di tutte le paragenesi con i relativi minerali cristallizzati di fessura, include molte informazioni sui minerali delle pegmatiti e sui minerali costituenti rocce rintracciabili nel Lepontino e nella zona del massiccio del San Gottardo. Grazie a decenni di esplorazioni e alla diligenza del lavoro sul terreno l'autore riesce a scoprire e a evidenziare numerose correlazioni tra roccia madre e minerali di fessura. Egli compie numerose scoperte nelle zone di contatto fra rocce di natura chimica e fisica diverse. Le zone di contatto fra rocce cristalline da un lato e rocce metamorfiche di origine calcareo-dolomitica dall'altro - per esempio fra gneiss e dolomie saccaroidi - sono di frequente molto ricche di silicati di calcio e magnesio, di silicati e ossidi di alluminio, titanio, berillio, boro ecc. Il Taddei descrive i minerali che si sono progressivamente formati all'interno delle rocce a causa del metamorfismo regionale: granati, distene, staurolite, sillimanite, andalusite. La presenza di tali minerali nelle rocce viene utilizzata, da parecchi decenni, per caratterizzare e delimitare le aree di diverso grado metamorfico nello spazio compreso fra Bellinzona e le zone settentrionali del massiccio del San Gottardo. Nella zona di radice delle falde pennidiche esplora i filoni pegmatitici e scopre numerosi minerali rari e nuovi per il Ticino. Il Taddei descrive molti minerali rinvenuti in forme cristalline poco frequenti o rare, in varietà fino ai suoi tempi sconosciute per il nostro territorio: per esempio la scapolite, le piriti allungate e geminate a croce, i quarzi ametista, la prehnite azzurra, i granati essonite.

Il Taddei ha avuto il grande merito di avere individuato molte paragenesi specifiche per numerose aree delle nostre regioni, paragenesi distinguibili fra loro per i minerali che le caratterizzano e per l'abito di ogni specie mineralogica. Oltre alla scoperta di diverse zone mineralogiche con caratteristiche specifiche il Taddei riconosce l'esistenza di vaste aree mineralogiche, della



Figura 2: Frontespizio del libro di Carlo Taddei del 1937, dedicato alle note di geo-mineralogia raccolte dall'autore in un trentennio di ricerche assidue e metodiche svolte nelle Alpi ticinesi. L'immagine di copertina è stata realizzata dall'architetto Gastone Cambin (Lugano, 29.8.1913 – Lugano, 23.10.1991), conosciuto nella Svizzera italiana per la sua attività di pittore, incisore e illustratore e la cui firma è visibile sul lato destro dell'immagine. Il volume qui raffigurato è stato donato alla Biblioteca dell'Istituto scienze della Terra SUPSI dall'eminente geologo Secondo Casasopra (Torino, 1.9.1912 – Gentilino, 1.6.1992).

dimensione di centinaia di chilometri quadrati, connotate da caratteristiche comuni: per esempio l'area del quarzo cristallizzato con l'abito ticinese, la zona nella quale l'albite possiede l'abito periclino, le zone nelle quali si trova la prehnite cristallizzata in fessura, l'areale nel quale affiorano i minerali metalliferi in prossimità e all'interno del massiccio del San Gottardo.

Tali informazioni furono importanti per consentire al professor August Spicher di redigere, con la partecipazione della Commissione geologica svizzera, i fogli Geologia (4, 4a) e Geotettonica (5), con i relativi commenti, dell'Atlante della Svizzera (Imhof 1972), che tracciano una panoramica della cosiddetta "geotettonica pennidica". Grazie alle spiegazioni del prof. Spicher, che si estendono a tutto il territorio svizzero e alle zone limitrofe, è evidentemente possibile considerare le componenti geotettoniche del Sopraceneri e delle zone limitrofe e verificare i contenuti petrografici e, soprattutto, mineralogici, descritti da Carlo Taddei, in particolare in Taddei (1937: 128-155).

Il Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, con la pubblicazione delle note di Carlo Taddei, ha dato un contributo significativo agli studi riguardanti il Cantone Ticino, un contributo che completa le numerose ricerche elaborate nel secolo scorso dagli istituti universitari e dal Politecnico federale di Zurigo per conoscere in modo approfondito le strutture geologiche e petrografiche delle Alpi svizzere.

ALESSANDRITE E SCAPOLITE

Nella "collezione Borromeo" del Museo di Storia Naturale di Milano, il prof. Ettore Artini aveva notato un minerale verde su dolomite, senza determinazione, ma con l'indicazione dell'origine "Campolungo, Ticino". Nel riordinare quella collezione il prof. Artini prese l'impegno di determinarlo e lo classificò come alessandrite. L'ingegner Eugenio Bazzi, profondo conoscitore della mineralogia alpina, sollecitò più volte Carlo Taddei di cercare quest'alessandrite color smeraldo nella zona del Campolungo. Purtroppo, nonostante le molte e accurate ricerche, Taddei non riuscì a trovare la preziosa alessandrite, che è una varietà di crisoberillo, con formula chimica Al₂BeO₄.

La sfortuna di non aver trovato l'alessandrite non compromise gli intenti e l'energia di Carlo Taddei il quale, osservando attentamente le rocce che circondavano il lago Tremorgio, scoprì la scapolite, un minerale che cristallizza nel sistema tetragonale e, dal punto di vista chimico, è costituito di una miscela di meionite ($\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{CO}_3$) e di marialite ($\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_9\text{O}_{24}\text{Cl}$). Nella scapolite del Tremorgio prevale la meionite.

La scapolite del Tremorgio è leggermente colorata di giallo ed è molto trasparente. La paragenesi della scapolite comprende: calcite, clorite, biotite, quarzo, epidoto, pirite e rutilo (sottilissimi aghi aurei).

Carlo Taddei aveva faticato molto per estrarre le scapoliti dalla roccia. Pochi giorni dopo spedisce le bellissime scapoliti a Zurigo e riceve una lettera «che conservo come caro ricordo, scrittami dal prof. Niggli, allora Rettore del Politecnico Federale, la lettera ripagò a mille doppi le mie fatiche» (Taddei 1937: 98).

Carlo Taddei, in quei giorni, doveva essere soddisfatto, fiero del suo lavoro e molto felice perché, durante i giorni trascorsi al Tremorgio «attraverso l'etere giungevano con la Radio, in modo perfetto, i concerti dell'Augusteo di Roma e da Strasburgo. Le serate al chiaro di luna, sulle sponde fiorite del Tremorgio, mentre a Milano Tito Schipa cantava il celebre "Cielo e mar" della Gioconda di Ponchielli, o da Zurigo giungeva qualche bella marcia dell'amico Mantegazzi, hanno lasciato in me un ricordo tutto permeato di poesia» (Taddei 1937: 99). Nel suo prezioso libro "Dalle Alpi Lepontine al Ceneri" (Fig. 2), Carlo Taddei scrive: «Ritorno sempre con piacere al Tremorgio, perché lassù passo ore indimenticabili in perfetta comunione con la Natura. Sono anche felice di avere aggiunto al Tremorgio una nuova gemma che lo fa conoscere a tutto il mondo scientifico» (Taddei 1937: 100). Si tratta, evidentemente, della scoperta della scapolite.

IN CONCLUSIONE

È motivo di gioia e di grande consolazione contemplare la natura ed essere nella felice condizione di poterla ammirare, studiare e progressivamente conoscerla, sia per quanto riguarda le interazioni e i complessi rapporti e processi che caratterizzano gli ecosistemi costituiti di organismi viventi, sia per quanto riguarda le componenti di natura minerale.

Carlo Taddei ha fortemente amato la natura e, per mezzo di indagini sul terreno, osservazioni e studi di botanica e passione per la mineralogia, la petrografia e la geologia, è riuscito a far proprio il sistema della natura, un sistema che ci aiuta a ragionare, a scoprire le molteplici temporalità dei processi naturali. La natura evidenzia il rapporto fra il vegetale, la ginestra del Leopardi e l'energia distruttiva del vulcano. Le biocenosi alpine sfidano le inclemenze del tempo, la siccità e l'eccesso di pioggia nella breve stagione estiva, resistono al freddo, alla neve nella lunga stagione invernale. Fioriscono a chiazze, a mosaico, pullulano di vita, secondo il substrato pedologico e roccioso, dimostrando resistenza, armonia e bellezza. Le strutture della natura conferiscono stabilità e sicurezza perché sono evolute e costruite per affermarsi, e vivere, nel futuro.

La natura è «l'immenso sistema del bello» (Giacomo Leopardi).

RINGRAZIAMENTI

Un ringraziamento a Marco Antognini e a Cristian Scapozza per la redazione del dattiloscritto.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

Imhof E. (red.) 1965-1972. Atlante della Svizzera. Wabern-Bern, Verlag der Eidgenössischen Landestopographie (65 tavole cartografiche con 300 carte).

Lavizzari L. 1863. Escursioni nel Cantone Ticino. Locarno, Armando Dadò editore, ristampa 1992, 589 pp.

Pini E. 1783. Memoria Mineralogica sulla Montagna di S. Gottardo. Milano, Stamperia di Giuseppe Marelli, 128 pp.

Saussure de H.-B. 1796. Voyages dans les Alpes, précédés d'un essai sur l'histoire naturelle des environs de Genève. Genève, Tome quatrième, 594 pp.

Taddei C. 1927. Note di mineralogia della Svizzera italiana. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 22: 21-33.

Taddei C. 1928. Note di mineralogia della Svizzera italiana. Bellinzona e dintorni. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 23: 23-35.

Taddei C. 1937. Dalle Alpi Lepontine al Ceneri. Note di geomineralogia. Bellinzona, Istituto Editoriale Ticinese, 179 pp.

In ricordo di Ivan Mercolli (1949-2019)

Filippo Bianconi

Zickerickstr. 22a, 38304 Wolfenbüttel, Germania

f.bianconi@t-online.de

Ivan Mercolli si è spento a Berna il 26 novembre 2019, un mese prima di poter festeggiare i 70 anni di vita. Mercolli, attinente di Vezio nell'Alto Malcantone, è nato a Lugano il 26 dicembre 1949. Al Liceo Cantonale di Lugano conosce Claudia, che sposerà pochi anni dopo e che sarà la compagna di tutta la sua vita. Dopo gli esami di maturità si iscrive alla sezione di geologia della facoltà di scienze naturali del Politecnico Federale di Zurigo, dove nel novembre del 1973 ottiene il diploma di geologo con un lavoro sulla serpentinite della Val Malenco (Mercolli 1973). Continua gli studi nello stesso ateneo e lì termina la sua formazione accademica nell'agosto 1979 con il lavoro di dottorato.

Sempre ancora nel 1979 Mercolli si trasferisce a Berna, dove inizia la sua attività all'Istituto di geologia, sezione di mineralogia e petrografia dell'università di Berna, dapprima come assistente; nel 1986 ottiene la venia legendi e nel 1995 è promosso professore; lo sarà fino al suo pensionamento nel 2012. Durante questi anni ha curato numerosi lavori di bachelor, di master e di dottorato. Mercolli era molto stimato dai sui colleghi e apprezzato come docente dai suoi studenti. Era di natura amabile e gentile, sempre sorridente, di carattere molto umano, paziente e un pochino introverso. Era schivo di mondanità: a Berna circolava con la Vespa. La montagna era la sua grande passione e dopo il pensionamento passava le vacanze estive nel suo stupendo "rustico" a ovest di Vergeletto.

Durante il lungo periodo bernese Mercolli ha svolto ricerche e insegnato nei campi della petrologia, della mineralogia e dell'interazione tra le rocce e l'acqua. Le sue passioni erano la geologia strutturale della zona centrale delle Alpi e la genesi e l'evoluzione orogenetica delle rocce, in particolare di quelle vulcaniche e di quelle ultrabasiche nella loro funzione di separazione di unità del basamento. Su questi temi ha pubblicato numerosi contributi scientifici come autore principale o coautore: quelli più importanti sono riassunti qui di seguito.

I primi passi nella cartografia geologica Mercolli li ha fatti durante le vacanze estive alla fine del suo quarto semestre come mio assistente nelle ricerche di uranio nell'estate del 1971 per conto dell'ufficio di ricerche geologiche di Bruno Campana, che possedeva una licenza di esplorazione nelle valli di Anniviers e di Réchy a sud di Sierre nel Vallese. In quell'occasione Mercolli ha sviluppato la sua passione per il lavoro sul campo (anni dopo mi aveva confessato che proprio allora era sul punto di abbandonare lo studio della geologia, ma i

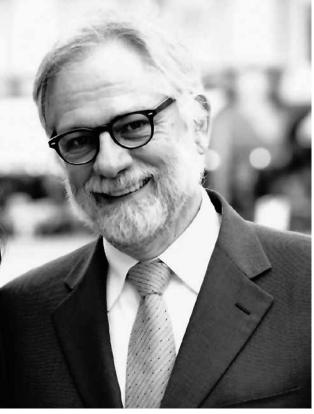


Figura 1: Ivan Mercolli nel 2012 in una foto realizzata dal figlio Lorenzo.

due mesi vallesani per fortuna sua erano stati la scintilla per continuare sulla strada iniziale). Come professore aveva poi insegnato ai suoi studenti l'arte del rilievo geologico sul campo nei corsi estivi svolti in Piora.

Mercolli ha elaborato il lavoro per la tesi di dottorato sulle inclusioni fluide nei noduli di quarzo dei marmi dolomitici di Costello nella regione del Campolungo (Mercolli 1979, 1982), ricerche in seguito estese per alcuni anni (Mercolli 1980; Mercolli et al. 1987). I risultati servirono tra l'altro a precisare la genesi della tremolite, la sua trasformazione diaforetica in talco e le condizioni di pressione e temperatura nel quadro dell'orogenesi alpina.

Dal 2000 Mercolli ha passato numerose stagioni sul campo nel Sultanato dell'Oman in lavori di rilievo cartografico (Peters et al. 2007) e di ricerca centrati sulla genesi delle ofioliti di Semail, sull'evoluzione strutturale del basamento e sulla genesi dei giacimenti di solfuri massicci nelle ofioliti (Mercolli 2000; Mercolli et al. 2006; Gilgen et al. 2014), durante i primi anni in

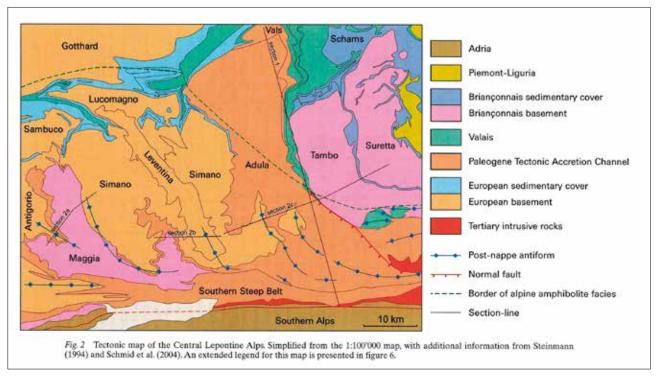


Figura 2: Carta tettonica delle Alpi Lepontine Centrali (da Berger et al. 2006).

qualità di assistente del professor Peters (perito in condizioni oscure nelle acque del Golfo dell'Oman).

Negli anni fra il 1987 e il 1991 ha studiato, assieme a Volker Dietrich, professore al Poli di Zurigo, il "mélange" di rocce vulcaniche basiche e ultrabasiche di composizione andesitica nell'arco insulare di Egina nel Golfo Saronico (Grecia), con un centro vulcanico ancora attivo nella penisola di Methana. In quest'arco insulare è descritto un affioramento di boninite, un particolare tipo di rocce vulcaniche di composizione andesitica tipico nei cunei di mantello al disopra di litosfera oceanica in subduzione (Dietrich et al. 1987, 1988). Nell'ambito di questo complesso di ricerca fu rilevata la carta geologica dell'Isola di Egina (Dietrich et al. 1991).

Due decenni dopo Mercolli ha collaborato allo studio della superficie dell'Oligocene della serie vulcanica della Zona Sesia-Lanzo separata al contatto con la Zona Ivrea-Verbano (ambedue appartenenti al Dominio Adriatico dalla Linea del Canavese, il segmento occidentale della Linea Insubrica) e dei relativi fenomeni tettonici complessi (Kapferer et al. 2011, 2012).

Lo studio probabilmente più importante di Mercolli ma sicuramente per il Sopraceneri - è la carta tettonica e petrografica delle Alpi Lepontine Centrali in scala 1:100'000 (Carta geologica speciale 127, Berger & Mercolli 2006) con le relative note esplicative (Berger et al. 2007). La carta fa il punto sulla struttura tettonica e l'evoluzione paleogeografica e geodinamica della parte centrale delle Alpi Lepontine. Essa presenta le unità che costituiscono la pila delle coltri di ricoprimento cristalline delle Alpi Centrali, la loro deformazione polifase e le strutture metamorfiche; elemento chiave della nuova interpretazione è l'identificazione di numerose unità di mélanges tettonici e il loro ruolo nel complesso orogenetico. Alcune delle interpretazioni tettoniche ancora controverse sono discusse criticamente, ad esempio la relazione fra le unità Sambuco e Maggia (fig. 2).

L'ultimo lavoro di Mercolli segue la scia del precedente con la compilazione e reinterpretazione della carta geologica speciale 129 del massiccio dell'Aar e delle falde di ricoprimento del Tavetsch e del Gottardo in scala 1:100'000 (Berger et al. 2016). Questa compilazione ha permesso di chiarire i tre complessi seguenti: a) la suddivisione del basamento policiclico in unità tettoniche (zone); b) la classificazione delle rocce plutoniche sulla base delle loro età radiometriche e delle loro affinità geochimiche; e c) la rappresentazione grafica dei livelli di rocce vulcaniche che sottolineano la loro importanza nella suddivisione tettonica del basamento. È da notare che le falde di ricoprimento del Tavetsch e del Gottardo erano fino allora considerate come unità dei massicci centrali delle Alpi. Le note esplicative (Berger et al. 2017) forniscono un breve riassunto delle caratteristiche delle unità rappresentate e considerazioni sulla loro evoluzione tettono-metamorfica pre-alpina ed alpina.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

Berger A. & Mercolli I. 2006. Tectonic and Petrographic Map of the Central Lepontine Alps, 1:100'000. Carta geologica speciale 127. swisstopo.

Berger A., Mercolli I. & Engi M. 2006. Tectonic and Petrographic Map of the Central Lepontine Alps, 1:100'000. Carta geologica speciale 127. Explanatory notes. swisstopo e Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen, 85: 109-146.

Berger A., Mercolli I., Herwegh M. & Gnos E. 2016. Geological Map of the Aar Massif, Tavetsch and Gotthard Nappes.
Geological special map 1:100'000, map sheet 129. swisstopo.

- Berger A., Mercolli I., Herwegh M. & Gnos E. 2017. Geological Map of the Aar Massif, Tavetsch and Gotthard Nappes. – Geological special map 1:100'000, explanatory notes 129. swisstopo: 126 pp.
- Dietrich V., Oberhänsli R. & Mercolli I. 1987. A new occurrence of boninite from the ophiolite melange in the Pindus-Sub-Pelagonian Zone s.l. (Aegina Island, Saronic Gulf, Greece). Ofioliti, 12: 83-90.
- Dietrich V., Mercolli I. & Oberhänsli R. 1988. Dazite, High-Alumina Basalte und Andesite als Produkte Amphibol-dominierter Differentiation (Ägina und Methana, Ägäischer Inselbogen). Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen, 68: 21-39.
- Dietrich V., Gaitanakis P., Mercolli I., & Oberhänsli R. 1991. Geological map of Greece: Aegina Island 1:25'000. Stiftung Vulkaninstitut Immanuel Friedländer, Zürich.
- Gilgen S., Diamond L.W. & Mercolli I. 2014. Volcanostratigraphic controls on the occurrence of massive sulfide deposits in the Semail Ophiolite, Oman. Economic Geology, 109: 1585-1610.
- Kapferer N., Mercolli I. & Berger A. 2011. The composition and evolution of an Oligocene regolith on top of the Sesia-Lanzo Zone (Western Alps). International Journal of Earth Sciences, 100: 1115-1127.
- Kapferer N., Mercolli I., Berger A., Ovtcharova M. & Fügenschuh B. 2012. Dating emplacement and evolution of the orogenic magmatism in the internal Western Alps: 2. The Biella Volcanic Suite. Swiss Journal of Geosciences, 105: 67-84.

- Mercolli I. 1973. Il margine sud-occidentale delle serpentiniti della Val Malenco. Lavoro di diploma ETH Zurigo, inedito.
- Mercolli I. 1979. Le inclusioni fluide nei noduli di quarzo dei marmi dolomitici della regione del Campolungo (Ticino). Tesi di dottorato, ETH Zurigo, inedita.
- Mercolli I. 1980. Verteilung in Tremolit und Talk in den metamorphen Dolomiten des Campolungo (Tessin) und ihre phasenpetrologische Bedeutung. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen, 60: 31-44.
- Mercolli I. 1982. Le inclusioni fluide nei noduli di quarzo dei marmi dolomitici della regione del Campolungo (Ticino). Bollettino svizzero di mineralogia e petrografia, 62: 245-312.
- Mercolli I., Skippen G., & Trommsdorff V. 1987. The tremolite veins of Campolungo and their genesis. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen, 67: 75-84.
- Mercolli I. 2000. The mantle-Crust transition of the Semail Ophiolite, Sultanate of Oman. In: Ranalli G., Ricci C.A. & Trommsdorff V. (eds), Proceedings of Crust-Mantle interactions, International School Earth and Planetary Sciences, Siena, 24.9-3.10.1999: 125-138.
- Peters T., Amin O.E., Blechschmidt I., Mercolli I., Al Battaschy M. & Al Busaidi S. 2007. Geological Map of Adh Dhahir. Self-publishing by Tjerk Peters.