

I GHIACCIAI DEL TICINO

Impressum

Repubblica e Cantone Ticino

Dipartimento delle finanze e dell'economia

Divisione delle risorse

Ufficio di statistica (Ustat)

Via Bellinzona 31

6512 Giubiasco

+41 (0) 91 814 50 11

dfе-ustat@ti.ch

Dipartimento del territorio

Divisione dell'ambiente

Via Franco Zorzi 13

6501 Bellinzona

+41 (0) 91 814 28 81

dt-da@ti.ch

Responsabili della pubblicazione

Pau Origoni,

Capo Ufficio di statistica

Giovanni Bernasconi,

Direttore Divisione dell'ambiente

A cura di

Giorgia Valsesia Gerber e Lisa Bottinelli,

Ufficio di statistica

Con la collaborazione di:

Katia Balemi, Maura Käppeli e Tihon Cvijic,

Divisione dell'Ambiente

Mattia Soldati, *Sezione forestale*

Sheila Paganetti e Michele Rigamonti,

Ufficio di statistica

Impaginazione

Sharon Fogliani, *Ufficio di statistica*

Progetto grafico

Jannuzzi Smith, Lugano

Stampa

Finito di stampare nell'ottobre 2022 presso

Tipo-Offset Aurora SA, Canobbio

ISBN 978-88-8468-047-1

© Ufficio di statistica, 2022

La riproduzione è autorizzata con la citazione della fonte

Consulenza scientifica

Giovanni Kappenberger, *glaciologo*

Cristian Scapozza, *Istituto scienze della Terra, Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana*

Testi, dati e fotografie di

Andrea Baumer, *Officine Idroelettriche della Maggia SA e Officine Idroelettriche di Blenio SA*

Lisa Bottinelli e Giorgia Valsesia Gerber, *Ufficio di statistica*

Daniel Farinotti, *Laboratorio di ricerca per l'idraulica, l'idrologia e la glaciologia (VAW), Politecnico federale di Zurigo (ETH) e WSL*

Maura Käppeli, *Divisione dell'ambiente*

Giovanni Kappenberger, *glaciologo*

Luca Nisi, *Ufficio federale di meteorologia e climatologia, MeteoSvizzera*

Andrea Salvetti, *Ufficio dei corsi d'acqua*

Cristian Scapozza e Chantal Del Siro, *Istituto scienze della Terra, Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana*

Mattia Soldati, Stefano Daverio e Daniele Barra, *Sezione forestale*

Federico Tettamanti, *Studio Alpino - Ecology and nature conservation*

Claudio Valeggia, *già tecnico di misurazione presso la Sezione forestale*

Giorgio Valenti, *geologo*

Si ringraziano inoltre

Andreas Bauder, *Laboratorio di ricerca per l'idraulica, l'idrologia e la glaciologia (VAW), Politecnico federale di Zurigo (ETH)*

Gabriele Corti, *già ingegnere forestale presso la Sezione forestale*

Susan Ivy-Ochs e Sarah Kamleitner, *Laboratory of Ion Beam Physics, Politecnico federale di Zurigo (ETH)*

Andreas Linsbauer, *Dipartimento di geografia, Università di Zurigo e Dipartimento di geoscienze, Università di Friburgo*

Damiano Maeder, *Oblivion Aerial SA*

Giovanni Monegato, *Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Geoscienze e Georisorse, Padova*

PERMAFROST E GHIACCIAI ROCCIOSI

Cristian Scapoza, Ricercatore senior, e Chantal Del Siro, Assistente con master, Istituto scienze della Terra, Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI)

Il permafrost: definizione

Il *permafrost* è definito come un terreno (o della roccia) che si mantiene a una temperatura uguale o inferiore a 0 °C per almeno due anni, senza implicare necessariamente la presenza di ghiaccio.^{49,50} La struttura verticale di un permafrost alpino presenta, dall'alto verso il basso, lo strato attivo (che scongela e ricongela stagionalmente), il tetto del permafrost, il corpo del permafrost (perennemente congelato), la base del permafrost e il sottosuolo non congelato [F. 1].^{50,51}

Ripartizione del permafrost

Nelle Alpi si utilizza il termine di *permafrost discontinuo*, poiché interessa dei settori dove si possono trovare anche zone senza permafrost⁴⁹. Il *limite inferiore del permafrost discontinuo* è un limite teorico basato sulla quota e sull'esposizione del versante, e nelle Alpi Ticinesi è situato fra 2.300 e 2.450 m s.l.m. per i versanti esposti a nord e fra 2.500 e 2.650 m s.l.m. per quelli esposti a sud.^{52,53} Secondo il modello PERMAL-TI, basato sull'apprendimento automatico (*machine learning*)^{54,55}, la superficie con una probabilità di occorrenza del permafrost superiore al 50% è pari a 265 km², corrispondente al 9,4% del cantone Ticino [F. 2].^{54,55} La superficie cantonale potenzialmente interessata dal permafrost è quindi circa 55 volte più estesa rispetto a quella coperta dai ghiacciai (4,8 km² nel 2016).²⁹

L'espressione visibile del permafrost: il ghiacciaio roccioso

Un permafrost alpino, se il volume di ghiaccio fra i detriti di roccia supera il 50% del volume totale, inizia a fluire verso valle a causa della de-

formazione lenta e continua del ghiaccio stesso, generando un *ghiacciaio roccioso* [v. foto]. I ghiacciai rocciosi sono distinti in *attivi* (contengono del ghiaccio e si muovono), *transizionali* (contengono ancora del ghiaccio ma non si muovono) e *relitti* (non contengono più ghiaccio).⁵² In Ticino, sono stati censiti 281 ghiacciai rocciosi (contro i soli 30 ghiacciai "classici"), di cui 70 attivi (25%), 54 transizionali (19%) e 157 relitti (56%).^{53,55}

La temperatura della superficie del suolo

Lo stato termico del permafrost è monitorato grazie alla *temperatura della superficie del suolo* (*Ground Surface Temperature*, GST), misurata tramite sensori autonomi collocati su ghiacciai rocciosi, falde di detrito e pareti rocciose.⁵⁶ Il monitoraggio sistematico della GST è svolto su sei siti di studio (v. pallini viola e blu in [F. 2]), con un numero variabile compreso fra 2 e 10 sensori di temperatura per sito.^{56,57} Due siti sono integrati alla rete svizzera di monitoraggio del permafrost PERMOS.⁵⁸ L'indicatore di evoluzione di GST è la *temperatura media annua della superficie del suolo* (*Mean Annual Ground Surface Temperature*, MAGST), che si ottiene applicando una media mobile su 365 giorni ai valori medi giornalieri di GST.⁵⁶⁻⁵⁸

La velocità dei ghiacci rocciosi

Un altro indicatore significativo dello stato termico del permafrost nei ghiacciai rocciosi è la *velocità orizzontale media di riferimento della superficie* (vH).^{29,56,57} Questa misura è eseguita sul terreno, con un sistema satellitare globale di navigazione GNSS, o indirettamente, grazie a fotografie aeree acquisite con un drone. L'accuratezza ot-

tenuta è di 0,5-2,0 cm sulla posizione orizzontale e di 1,0-2,5 cm sulla posizione verticale, ciò che consente di monitorare anche un ghiacciaio roccioso dai movimenti particolarmente lenti (meno di 10 cm all'anno). Sette ghiacciai rocciosi attivi delle Alpi Ticinesi sono monitorati con questa tecnica (v. pallini viola e gialli in [F. 2]).^{56,57}

Evoluzione dal 2006

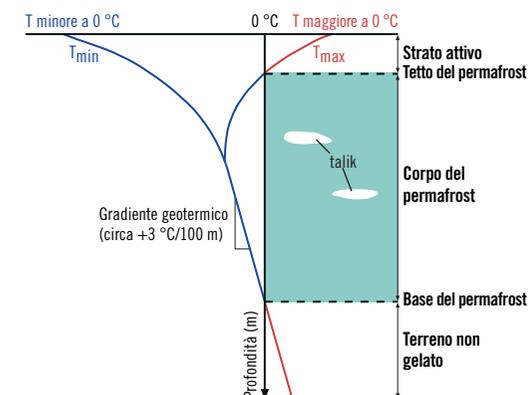
La MAGST misurata sui ghiacciai rocciosi delle Alpi Ticinesi presenta delle fluttuazioni pluriennali dovute soprattutto alle variazioni di innevamento e alle fasi canicolari estive, come è stato il caso nel 2015 e nel 2019.⁵⁶⁻⁵⁸ Nonostante queste fluttuazioni, la tendenza misurata è quella di un riscaldamento medio della temperatura di 0,73 °C al decennio per il ghiacciaio roccioso di Piancabella (dove le misure sono iniziate nel 2006) e di ben 1,10 °C al decennio per tutti i siti dal 2010 [F. 3]. L'evoluzione della vH presenta un comportamento in linea con quello della MAGST, con due fasi di accelerazione nei periodi 2009-2015 e 2018-2021 [F. 4]. È stato possibile stabilire una chiara relazione fra il riscaldamento delle temperature e l'accelerazione nel movimento dei ghiacciai rocciosi [F. 5], la cui risposta non è lineare ma addirittura di tipo esponenziale, con un fattore che aumenta da 1,4 a 2,5 per un riscaldamento di 1°C.⁵⁷

Il futuro del permafrost

Il riscaldamento di GST osservato dal 2006, così come le periodiche accelerazioni delle velocità dei ghiacciai rocciosi misurate dal 2009, sono un chiaro indicatore del riscaldamento e della conseguente degradazione del permafrost.⁵⁶⁻⁵⁸ Il modello PERMAL-TI consente di modellare la diminu-

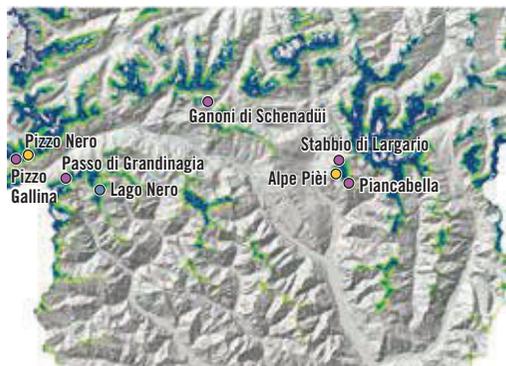
zione della superficie del permafrost in funzione degli scenari climatici svizzeri CH2018.⁵⁴ Nella seconda metà del secolo, per un aumento di temperatura di +1,1°C entro la fine del periodo 2020-2049, la probabilità di occorrenza del permafrost passerà al di sotto del 35% per tutte le quote e tutte le orientazioni. Per scenari di riscaldamento delle temperature dell'aria meno conservativi (+1,3/+1,4°C), alla fine del ventunesimo secolo sarà molto improbabile osservare delle temperature del suolo tali da permettere il mantenimento del permafrost, poiché il suo limite inferiore si troverà ben al di sopra delle quote massime delle montagne ticinesi.⁵⁵

F. 1
Struttura del permafrost e temperatura del suolo e sottosuolo (in presenza di permafrost), secondo la profondità



Fonte: Scapoza e Fontana (2009: 28)

F. 2
Ripartizione potenziale del permafrost nelle Alpi Ticinesi e siti di monitoraggio gestiti dalla SUPSI



Ghiacciai rocciosi
 ● monitoraggio GST e vH
 ● solo monitoraggio GST
 ● solo monitoraggio vH

Permafrost
 Probabilità di occorrenza
 0,25 0,50 0,75 1,00

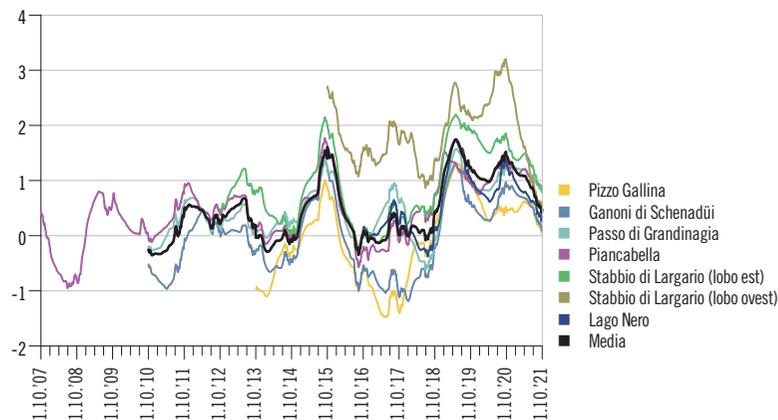
La carta interattiva è scaricabile su: <http://repository.supsi.ch/11589/>

Modificato da: Deluigi e Scapozza (2020: 25). Rilievo: ©swisstopo



Il ghiacciaio roccioso dei Ganoi di Schenadüi, Val Cadlimo
 Foto: M. Buzzi, 4 agosto 2013

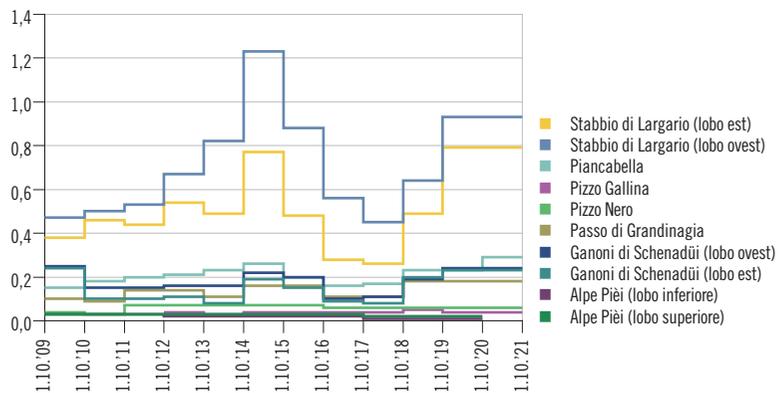
F. 3
MAGST dei ghiacciai rocciosi monitorati (in °C), dal 1° ottobre 2007



MAGST: temperatura media annua della superficie del suolo.

Fonte: IST-SUPSI e PERMOS, 2022: <http://dx.doi.org/10.13093/permos-2022-01>

F. 4
vH dei ghiacciai rocciosi monitorati (in m/anno*), dal 1° ottobre 2009



vH: velocità orizzontale media di riferimento della superficie.

* È considerato l'anno idrologico (1° ottobre-30 settembre).

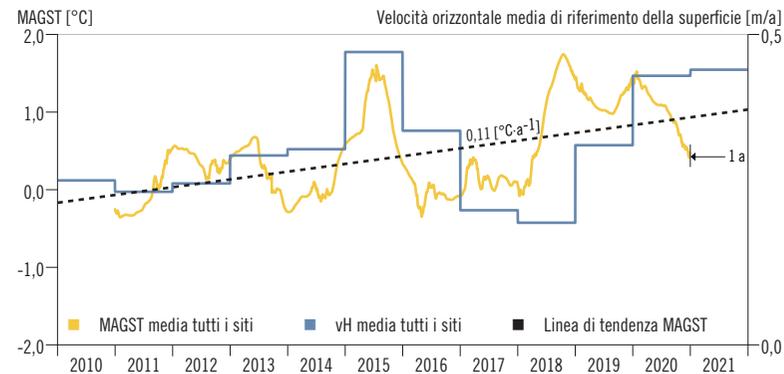
Fonte: IST-SUPSI e PERMOS, 2022: <http://dx.doi.org/10.13093/permos-2022-01>



Il ghiacciaio roccioso del Lago di Leit, nella regione del Pizzo Campolungo.

Foto: C. Del Siro, 12 settembre 2019

F. 5
Relazione fra MAGST (in °C) e vH (in m/anno*), dal 1° ottobre 2010



MAGST: temperatura media annua della superficie del suolo (spostata indietro 1 anno).

vH: velocità orizzontale media di riferimento della superficie.

* È considerato l'anno idrologico (1° ottobre-30 settembre).

Fonte: IST-SUPSI e PERMOS, 2022: <http://dx.doi.org/10.13093/permos-2022-01>

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- ¹ Kappenberg, G. (2006). Che cos'è un ghiacciaio. *Dati – Statistiche e società*, VI, 2, 6-9.
- ² Ghiacciai del Ticino. Poster. https://www4.ti.ch/fileadmin/DTI/temi/forestali/ghiacciai/documenti/Manifesto_ghiacciai.pdf.
- ³ Campisano, C. J. (2012). Milankovitch Cycles, Paleoclimatic Change, and Hominin Evolution. *Nature Education Knowledge* 4, 3, 5.
- ⁴ Buis, A. (2020). Milankovitch (Orbital) Cycles and Their Role in Earth's Climate. NASA. <https://climate.nasa.gov/news/2948/milankovitch-orbital-cycles-and-their-role-in-earths-climate/>. (20.1.2022).
- ⁵ Imbrie, J. e Palmer Imbrie, K. (1979). *Ice Ages: Solving the Mystery*. Cambridge etc.: Harvard University Press.
- ⁶ Bralower, T. e Bice, B. Ancient Climate Events: Pleistocene Glaciation. College of Earth and Mineral Science, The Pennsylvania State University. <https://www.e-education.psu.edu/earth103/node/636>. (19.1.2022).
- ⁷ Loutre, M. F. (2002). Ice Ages (Milankovitch theory). In Holton, J. R.; Pyle, J. e Curry, J. A. (Eds.), *Encyclopedia of Atmospheric Sciences* (995-1003). Amsterdam etc.: Academic Press.
- ⁸ Schirber, M. (2015). “Snowball Earth” Might Have Been Slushy. NASA. https://www.giss.nasa.gov/research/features/201508_slushball/. (19.1.2022).
- ⁹ Bralower, T. e Bice, B. Ancient Climate Events: Snowball Earth. College of Earth and Mineral Science, The Pennsylvania State University. <https://www.e-education.psu.edu/earth103/node/640>. (19.1.2022).
- ¹⁰ Allen, P. A. e Etienne, J. L. (2008). Sedimentary Challenge to Snowball Earth. *Nature Geoscience*, 1, 817–825.
- ¹¹ Marshall, C. R. (2006). Explaining the Cambrian “Explosion” of Animals. *Annual Review of Earth and Planetary Science*, 34, 355–84.
- ¹² Brugger, J.; Feulner, G., e Petri, S. (2017). Baby, It's Cold Outside: Climate Model Simulations of the Effects of the Asteroid Impact at the End of the Cretaceous. *Geophysical Research Letters*, 44, 419–427.
- ¹³ Chiarenza, A. A.; Fansworth, A.; Mannion, P. D. e Allison, P. A. (2020). Asteroid Impact, Not Volcanism, Caused the End-Cretaceous Dinosaur Extinction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117, 29, 17084–17093.
- ¹⁴ Jardine, P. (2011). The Paleocene-Eocene Thermal Maximum. *Palaeontology Online*, 1, 5, 1-7.
- ¹⁵ Bralower, T. e Bice, B. Ancient Climate Events: 5, Thermal Maximum. College of Earth and Mineral Science, The Pennsylvania State University. <https://www.e-education.psu.edu/earth103/node/639>. (19.1.2022).
- ¹⁶ Zachos, J. C.; Dickens, G. R. e Zeebe, R. E. (2008). An Early Cenozoic Perspective on Greenhouse Warming and Carbon-Cycle Dynamics. *Nature*, 451, 279–283. <https://doi.org/10.1038/nature06588>.
- ¹⁷ Lisiecki, L. E. e Raymo, M. E. (2005). A Pliocene-Pleistocene Stack of 57 Globally Distributed Benthic $\delta^{18}\text{O}$ Records. *Paleoceanography*, 20, PA1003.
- ¹⁸ Marshall, S. J. (2009). Glaciations, Quaternary. In: Gornitz, V. (Ed.), *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments* (389-393). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4411-3_97.
- ¹⁹ Ivy-Ochs, S.; Kerschner, H.; Reuther, A.; Preusser, F.; Heine, K.; Maisch, M.; Kubik, P. W. e Schlüchter, C. (2008). Chronology of the Last Glacial Cycle in the European Alps. *Journal of Quaternary Science*, 23, 6-7, 559-573.
- ²⁰ Ivy-Ochs, S.; Monegato, G. e Reitner, J. M. (2022). The Alps: Glacial Landforms from the Last Glacial Maximum. In Palacios, D. et al (Eds.), *European Glacial Landscapes. Maximum Extent of Glaciations* (449-460). Amsterdam: Elsevier.
- ²¹ Scapozza, C.; Castelletti, C.; Soma, L.; Dall'Agno, S. e Ambrosi, C. (2014). Timing of LGM and Deglaciation in the Southern Swiss Alps. *Géomorphologie: Relief, Processus, Environnement*, 20, 4, 307–322.
- ²² Kamleitner, S.; Ivy-Ochs, S.; Monegato, G.; Gianotti, F.; Akçar, N.; Vockenhuber, C.; Christl, M. e Synal, H.-A. (2022). The Ticino-Toce Glacier System (Swiss-Italian Alps) in the Framework of the Alpine Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 279, 107400.
- ²³ Bernoulli, D.; Ambrosi, C.; Scapozza, C.; Stockar, R.; Schenker, F. L.; Gaggero, L.; Antognini M. e Bronzini, S. (2018). 1373 Mendrisio-Como. Note esplicative. In *Atlante geologico della Svizzera 1:25.000*. Berna: Swisstopo.
- ²⁴ Corti, G.; Kappenberg, G. e Bauder, A. (2006). Appunti sui ghiacciai svizzeri e ticinesi. *Dati – Statistiche e società*, VI, 2, 10-12.
- ²⁵ Spinedi, F.; Kappenberg, G.; Soldati, M. e Corti, G. (2017). Cambiamenti climatici: conseguenze sul ritiro dei ghiacciai mondiali e ticinesi. *Dati – Statistiche e società*, XVII, 2, 4-17.
- ²⁶ Haeberli, W.; Oerlemans, J. e Zemp, M. (2019). The Future of Alpine Glaciers and Beyond. *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*. <https://oxfordre.com/climate-science/view/10.1093/acrefore/9780190228620.001.0001/acrefore-9780190228620-e-769>.
- ²⁷ Scapozza, C. (2014). Appunti climatici e glaciologici sulle descrizioni della Valle di Blenio tra Settecento e Ottocento. *Archivio Storico Ticinese*, 155, 38–63.
- ²⁸ Scapozza, C.; Del Siro, C.; Lambiel, C. e Ambrosi, C. (2021). Schmidt Hammer Exposure-Age Dating of Periglacial and Glacial Landforms in the Southern Swiss Alps Based on R-Value Calibration Using Historical Data. *Geographica Helvetica*, 76, 401–423.
- ²⁹ GLAMOS. (2020). Swiss Glacier Inventory 2016, Release 2020. Glacier Monitoring Switzerland. doi:10.18750/inventory.2016.r2020.
- Pubblicazioni:*
Linsbauer, A.; Huss, M.; Hode, I. E.; Bauder, A.; Fischer, M.; Weidmann, Y.; Bärtschi, H. e Schmassmann, E. (2021). The New Swiss Glacier Inventory SGI2016: from a Topographical to a Glaciological Dataset. *Frontiers in Earth Sciences*, 9, 704189. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.704189>.

- Weidmann, Y.; Bärtschi, H.; Zingg, S. e Schmassmann, E. (2019). Das Schweizerische Gletscherinventar als Produkt des swissTLM3D. *Geomatik Schweiz*, 5, 114–119.
- ³⁰ Zemp, M.; Paul, F.; Hoelzle, M. e Haerberli, W. (2008). Glacier Fluctuations in the European Alps, 1850-2000: an Overview and Spatio-temporal Analysis of Available Data. In Orlove, B. et al. (Eds.), *Darkening Peaks. Glacier Retreat, Science, and Society* (152-167). Berkeley: University of California Press.
- ³¹ Kappenberger, G. e Spinedi, F. (2006). Appunti sul clima. *Dati – Statistiche e società*, VI, 2, 51-53.
- ³² Zemp, M. et al. (2015). Historically Unprecedented Global Glacier Decline in the Early 21st Century. *Journal of Glaciology*, 61, 228, 745-761.
- ³³ Haerberli, W. et al. (Eds.). (1989). *World Glacier Inventory - Status 1988*. Zurich: World Glacier Monitoring Service.
- ³⁴ Paul, F.; Frey, H. e Le Bris, R. (2011). A New Glacier Inventory for the European Alps from Landsat TM Scenes of 2003: Challenges and Results. *Annals of Glaciology*, 54, 59, 144-152.
- ³⁵ Paul, F. et al. (2020). Glacier Shrinkage in the Alps Continues Unabated as Revealed by a New Glacier Inventory from Sentinel-2. *Earth System Science Data*, 12, 1805-1821.
- ³⁶ Zekollari, H.; Huss, M. e Farinotti, D. (2019). Modelling the Future Evolution of Glaciers in the European Alps Under the EURO-CORDEX RCM Ensemble. *The Cryosphere*, 13, 1125-12246.
- ³⁷ GLAMOS (1880-2021). The Swiss Glaciers 1880-2018/19, Glaciological Reports No 1-140. *Yearbooks of the Cryospheric Commission of the Swiss Academy of Sciences (SCNAT)*. doi:10.18752/glrep_series.
- ³⁸ Maisch, M.; Wipf, A.; Denneler, B.; Battaglia, J. e Benz, C. (2000). *Die Gletscher der Schweizer Alpen: Gletscherhochstand 1850, Aktuelle Vergletscherung, Gletscherschwund-Szenarien. (Schlussbericht NFP 31)*. 2. Aufl. Zürich: vdf Hochschulverlag.
- ³⁹ Paul, F. (2006). *The new Swiss Glacier Inventory 2000 – Application of Remote Sensing and GIS*. Zurich: Department of Geography, University of Zurich. (Schriftenreihe Physische Geographie, Glaziologie und Geomorphodynamik, 52).
- ⁴⁰ Müller, F.; Cafilisch, T. e Müller, G. (1976). *Firn und Eis der Schweizer Alpen. Gletscherinventar*. Zürich: Geographisches Institut, ETH. (Publ. 57/57a).
- ⁴¹ Fischer, M.; Huss, M.; Barboux, C. e Hoelzle, M. (2014). The New Swiss Glacier Inventory SGI2010: Relevance of Using High-resolution Source Data in Areas Dominated by Very Small Glaciers. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 46, 933–945.
- ⁴² Grab, M. et al. (2021). Ice Thickness Distribution of All Swiss Glaciers Based on Extended Ground-Penetrating Radar Data and Glaciological Modeling. *Journal of Glaciology* 1–19. <https://doi.org/10.1017/jog.2021.55>.
- ⁴³ Agassiz, L. (1840). *Études sur les glaciers*. Neuchâtel: O. Petitpierre.
- ⁴⁴ Forbes, J. (1842-1851). Letters on Glaciers. *Edinburgh New Philosophical Journal*.
- ⁴⁵ Agassiz, L.; Guyot, A. e Desor, E. (1847). *Système glaciaire ou recherches sur les glaciers, leur mécanisme, leur ancienne extension et le rôle qu'ils ont joué dans l'histoire de la Terre. 1^{re} partie, Nouvelles études et expériences sur les glaciers actuels, leur structure, leur progression et leur action physique sur le sol*. Paris: Victor Masson.
- ⁴⁶ Rete di Monitoraggio dei Ghiacciai Svizzeri. www.glamos.ch
- ⁴⁷ Corti, G. e Valeggia, C. (2006). La misurazione delle variazioni frontali dei ghiacciai in Ticino. *Dati – Statistiche e società*. VI, 2, 13-15.
- ⁴⁸ Bauder, A.; Eisen, O.; Kappenberger, G.; Casartelli, G.; Strozzi, T.; Valenti, G. e Spinedi, F. (2006). Il ghiacciaio del Basodino. *Dati – Statistiche e società*, VI, 2, 16-39.
- ⁴⁹ Harris, S. A.; French, H. M.; Heginbottom, J. A.; Johnston, G. H.; Ladanyi, B.; Sego, D. C. e Van Everdingen, R. O. (1988). *La terminologie du pergélisol et notions connexes*. Ottawa: Conseil National de Recherches du Canada. (Note de service technique, 142).
- ⁵⁰ Société Suisse de Géomorphologie (2021). Géomorphologie de la montagne froide. <https://geomorphologie-montagne.ch/> (29.03.2022).
- ⁵¹ Scapozza, C. e Fontana, G. (2009). *Le Alpi Bleniesi. Storia glaciale e periglaciale e patrimonio geomorfologico*. Lugano: STSN. (Memorie della Società ticinese di scienze naturali e del Museo cantonale di storia naturale, 10).
- ⁵² Scapozza, C. (2013). *Stratigraphie, morphodynamique, paléoenvironnements des terrains sédimentaires meubles à forte déclivité du domaine périglaciaire alpin*. Lausanne: Institut de géographie et durabilité, Université de Lausanne. (Géovisions, 40)
- ⁵³ Scapozza, C. e Mari, S. (2010). Catasto, caratteristiche e dinamica dei rock glacier delle Alpi Ticinesi. *Bollettino della Società ticinese di scienze naturali*, 98, 15–29. <https://repository.supsi.ch/2152/>.
- ⁵⁴ Deluigi, N. e Scapozza, C. (2020). PERMAL-TI: Carta della ripartizione potenziale del permafrost nelle Alpi Ticinesi. <https://repository.supsi.ch/11589/> (29.03.2022).
- ⁵⁵ Deluigi, N. e Scapozza, C. (2020). Il permafrost nelle Alpi Ticinesi: ripartizione potenziale attuale e futura. *Bollettino della Società ticinese di scienze naturali*, 108, 19–31. <https://repository.supsi.ch/12075/>.
- ⁵⁶ Scapozza, C.; Antognini, M. e 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. <https://repository.supsi.ch/9639/>.
- ⁵⁷ Scapozza, C.; Deluigi, N.; Del Siro, C.; Pollo, A. e Antognini M. (2020). 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, 33–43. <https://repository.supsi.ch/12077/>.
- ⁵⁸ Noetzi, J. e Pellet C. (Eds.). (2022). *Swiss Permafrost Bulletin 2021*. Davos Dorf etc.: PERMOS. <https://doi.org/10.13093/permos-bull-2022>.