



Il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani

The New Italian Glacier Inventory

a cura di / *Editors*

Claudio Smiraglia and Guglielmina Diolaiuti

con la collaborazione di / *with the scientific and technical support*

Roberto S. Azzoni, Carlo D'Agata, Davide Maragno



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO

LEVISSIMA

Revision 2016





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO

Il Nuovo Catasto dei Ghiacciai
Italiani è stato realizzato grazie
al contributo di LEVISSIMA

*The New Italian Glacier
Inventory was carried out
thanks to the contribution
of LEVISSIMA*

LEVISSIMA®



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO



LEVISSIMA®



wgms
+ + + +



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA
"ARDITO DESIO"



Club Alpino Italiano



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE
DI STUDI APPLICATI PER LA GESTIONE SOSTENIBILE
E LA DIFESA DELLA MONTAGNA - GE.S.DI.MONT



Associazione Italiana di Geologia e Turismo



Il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani
The New Italian Glacier Inventory

Revisione / Revision 2016

*"Glaciers do odd things sometimes.
You could anthropomorphize them
and say they have a mind of their own"*

Coordinamento scientifico/
Project Managers:
Claudio Smiraglia and **Guglielmina Diolaiuti**
Università degli Studi di Milano
Dipartimento di Scienze della Terra "Ardito Desio"
con il contributo scientifico e tecnico di /
with the scientific and technical support of:
Roberto S. Azzoni

Testi a cura di/ *Main text by:*
Roberto S. Azzoni, Guglielmina Diolaiuti,
Claudio Smiraglia

Analisi dati e immagini ed elaborazioni
cartografiche/*Image analysis, data*
processing and map editing by:
Carlo D'Agata and **Davide Maragno**

Validazione dati/*Data validation:*
Comitato Glaciologico Italiano (CGI):
Carlo Baroni, Aldino Bondesan, Alberto Carton,
Renato R. Colucci, Gianni Mortara,
Massimo Pecci, Luigi Perotti

Fondazione Montagna Sicura – Regione Autonoma
Valle d'Aosta (FMS-RAVA):
Marco Vagliasindi

Museo delle Scienze, Trento (MUSE):
Christian Casarotto

Provincia Autonoma di Bolzano (PAB) - Alto Adige:
Roberto Dinale

Provincia Autonoma di Trento-(PAT) - Trentino:
Alberto Trenti

Regione Veneto-ARPAV:
Anselmo Cagnati, Andrea Crepaz

Società Alpinisti Tridentini (SAT):
Stefano Fontana

Ortofoto, immagini da satellite e dati
cortesemente forniti in consultazione da/
Orthophotos, satellite images and data
kindly provided by:
Regione Lombardia
Regione Piemonte
Fondazione Montagna Sicura -
Regione Autonoma Valle d'Aosta
Regione Veneto - ARPAV
Provincia Autonoma di Trento-Trentino
Provincia Autonoma di Bolzano-Alto Adige
Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia

Collaborazione raccolta materiale
fotografico/*Pictures and photographs*
kindly given by:
SGAA (Servizio Glaciologico Alto Adige):
Piero Bruschi

MUSE (Museo delle Scienze di Trento):
Christian Casarotto

SMI (Società Meteorologica Italiana):
Daniele Cat Berro, Luca Mercalli

SGL (Servizio Glaciologico Lombardo):
Riccardo Scotti

FMS:
Marco Vagliasindi

CGI:
Aldino Bondesan, Augusta V. Cerutti,
Gianluigi Franchi, Aristide Franchino,
Giovanni Kappenberger, Gianni Mortara,
Renato R. Colucci, Massimo Pecci,
Luca Carturan, Roberto Seppi

Regione Veneto-ARPAV:
Anselmo Cagnati, Andrea Crepaz

Cartografia/Map production:
UNIMI-Dipartimento Scienze della Terra
Base cartografica/Map base: AsterGDEM U2

Ideazione grafica e impaginazione/
Graphic design and layout:

Marketing Group Milano
Il progetto ha avuto il patrocinio di/*With*
the formal partnership of:
Ministero dell'Ambiente e della Tutela
del Territorio e del Mare
World Glacier Monitoring Service
Dipartimento Scienze della Terra "Ardito Desio"-
Università degli Studi di Milano
Società Alpinisti Tridentini
Fondazione Montagna Sicura -
Regione Autonoma Valle d'Aosta
Servizio Glaciologico Alto Adige
Museo delle Scienze di Trento
Servizio Glaciologico Lombardo
Società Meteorologica Italiana
Associazione Geologia e Turismo
Centro Interdipartimentale Studi Applicati
Gestione Sostenibile e Difesa della Montagna -
Università degli Studi di Milano (GESDIMONT)
Associazione italiana Geografia Fisica
e Geomorfologia (AIGEO)
Club Alpino Italiano

Modalità di citazione:
SMIRAGLIA C. & DIOLAIUTI G. (a cura di) (2015) -
Il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani. Ev-K2-CNR
Ed., Bergamo, 400 pp.

For bibliographic and reference purposes this
publication should be referred to as:
SMIRAGLIA C. & DIOLAIUTI G. (Editors) (2015) -
The New Italian Glacier Inventory.
Ev-K2-CNR, Bergamo Publ., 400 pp.

Il volume è stato realizzato anche nel quadro
del Progetto PRIN 2010/2011 (2010AYKTAB_006),
This work was also performed in the framework of the
PRIN project 2010/2011 (2010AYKTAB_006),



Indice *Contents*

5	Prefazioni/ <i>Forewords</i>
9	Introduzione/ <i>Introduction</i>
24	I Ghiacciai italiani/ <i>The Glaciers of Italy</i>
37	• I Ghiacciai del Piemonte/ <i>The Glaciers of Piedmont</i>
76	• I Ghiacciai della Valle d'Aosta/ <i>The Glaciers of Aosta Valley</i>
121	• I Ghiacciai della Lombardia/ <i>The Glaciers of Lombardy</i>
181	• I Ghiacciai del Trentino/ <i>The Glaciers of Trentino</i>
229	• I Ghiacciai dell'Alto Adige-Süd Tirol/ <i>The Glaciers of South Tyrol</i>
297	• I Ghiacciai del Veneto/ <i>The Glaciers of Veneto</i>
325	• I Ghiacciai del Friuli-Venezia Giulia/ <i>The Glaciers of Friuli-Venezia Giulia</i>
339	• I Ghiacciai dell'Abruzzo/ <i>The Glaciers of Abruzzo</i>
348	Bibliografia generale/ <i>Reference list</i>
364	Elenco dei ghiacciai italiani/ <i>List of Italian glaciers</i>
393	Elenco dei ghiaccia estinti/ <i>List of extinct glaciers</i>



Ghiacciaio di Fellaria Est (foto R. Scotti 2013)
Fellaria Est Glacier (photo courtesy R.Scotti 2013)

Prefazioni / *Forewords*



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO

Claudio Smiraglia Guglielmina Diolaiuti

Dipartimento Scienze della Terra
"Ardito Desio"-Università degli
Studi di Milano

Il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani è un progetto realizzato dal Gruppo di Ricerca Glaciologia dell'Università degli Studi di Milano (UNIMI), Dipartimento di Scienze della Terra "A. Desio", sviluppato grazie alla collaborazione pluriennale tra questa Università, Sanpellegrino Spa - brand Levissima e l'Associazione Riconosciuta EvK2CNR. Il Progetto è stato ideato per rispondere ad alcune domande fondamentali per una corretta gestione della montagna italiana: quanti sono oggi i ghiacciai del nostro Paese? qual'è l'estensione attuale del "cuore freddo" delle Alpi Italiane? quanto intenso è stato l'impatto del cambiamento climatico su questa preziosa risorsa idrica?

Solo uno studio a carattere sovraregionale, basato sulle più moderne tecniche di remote sensing e analisi d'immagine e supportato dai maggiori conoscitori del territorio, ovvero da chi i ghiacciai li studia con passione da sempre, da chi il territorio montano lo amministra e da chi nell'ambiente di alta quota vive, può portare ad una risposta aggiornata, realistica, esaustiva e completa.

A questa risposta abbiamo finalizzato tutto il lavoro che qui viene sintetizzato e che è disponibile e open source sui siti web dedicati che sono stati sviluppati da Sanpellegrino Spa e dall'Associazione EvK2CNR.

La realizzazione di questo lavoro è stata resa possibile anche grazie al prezioso contributo scientifico del Comitato Glaciologico Italiano, al coinvolgimento di numerose amministrazioni ed enti regionali e provinciali e di varie associazioni culturali di esperti del

settore. Il progetto ha inoltre ricevuto il patrocinio del World Glacier Monitoring Service di Zurigo, ente che cura il World Glacier Inventory alle cui linee guida ci siamo riferiti per tutte le fasi tecniche di raccolta ed elaborazione dati.

The New Italian Glacier Inventory is a project realized at the "Ardito Desio" Earth Science Department of the University of Milan (henceforth UNIMI) by the Glaciology staff. The project was developed within the framework of the longstanding cooperation among UNIMI, Sanpellegrino Spa - brand Levissima and the Ev-K2-CNR Association, and its purpose is to give the most accurate, up-to-date and complete information needed to manage in the best way possible the high mountain areas of Italy, and in particular to answer the following crucial questions: How many are the actual glaciers of Italy? What is the present glacier coverage in Italy? How hard and how fast has the climate change impacted the cold and frozen water resources of the Italian Alps? Elements and data to answer these questions can be provided only through a large scale analysis based on the most recent remote sensing and GIS techniques.

The analysis needs to be supported by those who best know the glacierized lands of Italy: the scientists who have been studying glaciers over the last decades with passion and motivation, the managers and policy makers who have been managing the mountain territory and their fresh water resources, and the inhabitants of the high elevation areas who live close to glaciers and glacierets.

Only the competence and the knowledge of all these people can produce a reliable, robust and complete picture of the present state of Italian glacial activity. All the work we did, summarized in this paper, aimed at producing this result. Further data and information with full details are also available at the open source web page provided by Sanpellegrino Spa and the Ev-K2-CNR Association.

This project also took advantage of the precious cooperation of the Italian Glaciological

Committee and of several regional and local partners, both public administrations and private associations of glaciologists, trekkers, climbers and mountain lovers. Last but not least, the project was accredited and recognized by the World Glacier Monitoring Service (henceforth WGMS), which is the organization that developed and presently manages the World Glacier Inventory.

Our workflow was based on the main outlines and recommendations provided by WGMS to permit worldwide comparisons.



Stefano Agostini

Presidente e Amministratore Delegato
Gruppo Sanpellegrino S.p.A.

Lacqua minerale Levissima, marchio del Gruppo Sanpellegrino, simbolo di purezza incontaminata e da sempre legata a doppio filo alla natura, rinnova il suo costante impegno per la salvaguardia della risorsa acqua. Emblema di questa vocazione è, dal 2007, la nostra collaborazione con l'Università degli Studi di Milano - Dipartimento di Scienze della Terra - e con le istituzioni locali della Valtellina (Provincia di Sondrio, Comune di Valdisotto, Camera di Commercio di Sondrio, Consorzi per lo sviluppo turistico ed economico della Valtellina).

Con loro, da anni l'acqua minerale Levissima porta avanti progetti di ricerca per fornire dati alla comunità scientifica e ipotizzare soluzioni che contrastino la continua dispersione di acqua causata dalla fusione glaciale. Punto di partenza della ricerca, le cime montuose della Valdisotto in Valtellina, dove l'acqua minerale Levissima nasce, con particolare attenzione al Ghiacciaio Dosdè - Gruppo Piazzi Campo. Qui, infatti, è stato creato un vero e proprio laboratorio a cielo aperto per lo studio dei ghiacciai, grazie all'installazione di una stazione meteorologica e ad innovativi esperimenti succedutisi negli anni su que-

sta area. Dal 2012, inoltre, ha preso il via un nuovo importante progetto internazionale, a cui l'acqua minerale Levissima ha aderito con entusiasmo, insieme all'Università degli Studi di Milano, in collaborazione con l'Associazione Ev-K2-CNR, con il patrocinio scientifico del World Glacier Monitoring Service di Zurigo e con il supporto del Comitato Glaciologico Italiano: la realizzazione del Nuovo Catasto dei Ghiacciai italiani, un importante aggiornamento scientifico dopo l'ultimo Catasto del Comitato Glaciologico 1959-1962 e la partecipazione italiana al Catasto Internazionale 1989. Un elenco completo ed omogeneo dei ghiacciai italiani e un'analisi quantitativa e qualitativa della loro riduzione areale, permettono infatti di fornire informazioni davvero significative dal punto di vista idrologico, climatico e turistico.

E Levissima ha colto subito la sfida, con lo scopo di monitorare il territorio dove la nostra acqua minerale ha le sue fonti per preservare quelle caratteristiche di purezza e leggerezza che la rendono inconfondibile.

Mineral water Levissima, brand of Sanpellegrino Group, icon of purity and always profoundly connected with the theme of nature, renews its constant commitment for the protection of water resources. The cooperation, since 2007, with the Earth Sciences Department of Università degli Studi di Milano and also with the local institutions of Valtellina (Provincia di Sondrio, Comune di Valdisotto, Chamber of commerce of Sondrio, Consortium for touristic and economic development of Valtellina), symbolizes this vocation. In collaboration with these organizations, mineral water Levissima has all along carried out research projects which aim to concretely contribute in supplying data to the scientific community.

The research, in particular, hypothesizes solutions to contrast the ice melting and the resulting water dispersion.

The research started at the mountain tops of Valdisotto, where mineral water Levissima was born, and in particular at Dosdè glacier on Piazzi Mountain in Valtellina.

The site has been turned into a real open-air lab, thanks to the installation of a weather station and many innovative experiments performed over the years in the area. Since 2012, a new international project leaded by Università degli Studi di Milano, in collaboration with the Ev-K2-CNR Association and with scientific support of the Italian Glaciological Committee and the sponsorship of the World Glacier Monitoring Service, has started and mineral water Levissima joined it enthusiastically.

The aim of the project is to create a New Glacier Inventory, a significant scientific update after the last Italian inventory (CGI 1959-1962) and the Italian participation to the World Glacier Inventory 1989. The target is to make a complete list of Italian glaciers and do a quantitative and qualitative analysis of their areal reduction, in order to provide really significant information in terms of hydrology, climate and tourism. Therefore, Levissima took up the challenge to supervise the habitat where our mineral water springs, to preserve those features of purity and lightness that make it unique.



Agostino Da Polenza
Presidente di EvK2CNR

Per me il ghiaccio era un elemento da "sentire" sotto la punta dei ramponi e la becca della piccozza. Lo vedevo, lo salivo, a volte vi entravo fin a perdermi nei meandri dei crepacci, tra seracchi e torri in bilico.

Altre volte ne risalivo le grandi gobbe appoggiate a verticali pareti, oppure era il dorso rugoso orizzontale su cui per ore e giornate camminare tra un campo e l'altro.

Ero un giovane alpinista, ma già allora dei ghiacciai percepivo, seppur in modo grossolano, la dinamica, il movimento. Ne compresi meglio il valore e l'importanza quando, or-

ganizzando la spedizione ai Gasherbrum, il Prof. Desio, che ero andato a trovare a Milano in Università, nel suo studio presso il Dipartimento di Scienze della Terra, nella speranza di farmi dare delle carte topografiche della regione, mi disse che avrei utilmente potuto aggregare alla spedizione un "suo" ricercatore, un "bravo glaciologo", per approfondire le ricerche iniziate da lui nel 1929 e continuate con la spedizione al K2 nel 54 e nelle successive e avviarne di nuove.

La mia amicizia con Claudio Smiraglia iniziò allora e anche la mia comprensione dei ghiacciai, del loro ruolo, della loro fragilità, della dinamica della loro esistenza ed evoluzione.

Quando sono alla "Piramide", il laboratorio osservatorio ai piedi dell'Everest, mi sorprende spesso a guardare il Lobuche Glacier, che è proprio lì davanti, a poche centinaia di metri.

Quando arrivammo lì la prima volta nel 1989, in quel luogo di pascolo a 5000 metri, il ghiaccio ricopriva senza interruzione di continuità il salto tra il bacino superiore e quello inferiore situato alla stessa quota della Piramide. Ora, una larga fascia di granito si frappone tra i due ghiacciai. E' il segno del tempo, del riscaldamento del clima, che qui, in Himalaya, alle quote più basse colpisce i ghiacciai assottigliandoli e riducendoli a vista d'occhio, anno dopo anno.

Da sempre seguo i "miei" amici ricercatori impegnati in osservazioni sul Ghiacciaio del Changri Nup, a tre ore dalla "Piramide". Lo monitorano in continuo per aver un punto di misura storico che ci dia il senso delle sue variazioni.

Mi appassionano anche le numerose campagne sul Baltoro effettuate in particolare con il progetto Paprika (Cryospheric responses to Anthropogenic Pressures in the Hindu Kush - Karakoram - Himalaya), e poi fin su al Gasherbrum Là, a 6400 metri di quota, per comprendere quella che gli scienziati chiamano "anomalia del Karakorum", ghiacciai che sembrano crescere o mantenersi stabili, e per misurare la massa di ghiaccio e l'evoluzione del grande cuore glaciale dell'Asia, che

si trasforma in disponibilità idrica, che da quelle acque trae energia, agricoltura, qualità della vita per centinaia di milioni di uomini. Questo è l'affascinante lavoro dei ricercatori. Così nasce e si è sviluppata Ev-K2-CNR, un connubio tra alpinismo e partecipazione al lavoro della scienza e della tecnologia in alta quota che opera nelle principali regioni montane del Pianeta come l'Himalaya, il Karakorum e le Alpi, e le montagne dell'Africa, per monitorare in continuo l'impatto dei cambiamenti climatici in queste regioni. Grazie all'esperienza acquisita, Ev-K2-CNR è riuscito attraverso i suoi progetti, a raccogliere dati unici e a installare una rete di monitoraggio climatico - ambientale riconosciuta a livello internazionale perché afferente ai principali programmi del WMO e dell'UNEP, quali GAW e SPICE. Ma anche dati, informazioni e modelli necessari ai decisori politici per la gestione dei delicati territori montani.

Il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani rappresenta uno dei risultati più significativi della collaborazione tra Ev-K2-CNR e il Dipartimento di Scienze della Terra "Ardito Desio" dell'Università di Milano, il CNR e aziende private, che ha permesso di sintetizzare lo stato attuale dei ghiacciai in Italia, un'informazione fondamentale e necessaria a supporto della gestione corretta della sempre più preziosa risorsa 'acqua' nel nostro Paese.

Glaciers have always been an element that I could feel under my crampons and my axe. I saw it, I climbed on it, and sometimes I went through it, losing myself in the mazes of crevasses, between serac and ice shapes. Sometimes I climbed its great rises posed on vertical walls, or I walked on the horizontal rough back for hours and days to reach the highest camps.

I was a young climber, but already at that time I felt glaciers dynamics and movements. I could well understand their value and importance when, organizing a mountaineering expedition at Gasherbrum, Prof. Desio, that I went to meet in his office at the Earth Sciences Department of the University of Milan, hoping to find

topographic maps of the region, told me that I could usefully include in my expedition one of his researcher, a very good glaciologist, to improve the research that he initiated in 1929, and pursued during the expedition at Mt. K2 in 1954 and following field campaigns, initiating a new scientific expedition.

My friendship with Claudio Smiraglia started in that occasion, together with my better understanding of glaciers and their role, their fragility, their dynamics, their existence and evolution. When I went to the Pyramid, the laboratory-Observatory close to Mt. Everest base camp, I am being always surprised looking towards Lobuche Glacier, which is in front of the Laboratory at few hundred meters. When we arrived there the first time in 1989, in this pasture plane at 5000 m asl, ice was completely covering without interruptions the rock wall between the accumulation and ablation basins of the glacier, located at the same altitude of the Pyramid. Now a big belt of granite appears between the two basins. This is the effect of time, of climate heating that here in Himalaya, at lower altitude, impacts glaciers, visibly reducing their mass and their surface, year by year.

I always follow my friends researchers working on the field to monitor Changri Nup Glacier, located at more than three hours of walk from the Pyramid.

They are studying it in continuous to have a long term series of data that could provide information on the nature of its variations. I am also keen on the numerous scientific expeditions at the Baltoro Glacier carried out in the framework of Paprika (Cryospheric responses to Anthropogenic Pressures in the Hindu Kush - Karakoram - Himalaya) Project, and then until Gasherbrum La, at 6400 m asl, to understand what scientists defined 'the Karakorum Anomaly': glaciers that seem to increase or remain stable.

Field work allow to measure ice mass and evolution dynamics of the big ice hearth of Asia, that become water for energy, agriculture, life of hundred of millions of people. This is the fascinating job of researchers. In this frame Ev-K2-CNR was established: as

union of alpinism, participation in the scientific and technological activities at high altitude, working in the main mountain regions of the Planet, such as Himalaya, Karakorum, Alps and African mountains, to monitor the impact of climate change on these ecosystems.

Thanks to its long-term experience, Ev-K2-CNR has been able through its projects, to collect unique data and to install an environmental monitoring network internationally recognized and included in the main programs of UNEP and WMO such as GAW and SPICE. But also data, information and modeling tools useful to policy makers for a specific management of mountain territories.

The New Italian Glacier Inventory represents one of the most significant results of the collaboration between Ev-K2-CNR and the Earth Sciences Department "Ardito Desio" of the University of Milan, the Italian National Research Council and private companies, that allowed to summarize the current conditions of glaciers in Italy, a fundamental information for supporting a correct management of the precious 'water' resource in our country.



Wilfried Haeberli - Director 1986-2010
Michael Zemp - Director since 2010

Changes in glacier cover of mountain ranges are among the most striking signs in nature of rapid climate change at a global scale.

Documenting fluctuations of glaciers is, therefore, a key element of worldwide climate observation. Glaciers are indeed Essential Climate Variables (ECVs) in the Global Climate Observing System (GCOS) of WMO, UNESCO, IOC, UNEP and ICSU. Using integrative concepts, this high-level science and policy-oriented programme attempts to provide a comprehensive scientific knowledge basis in view of – among others – understanding

long-term/large-scale processes in the climate system, calibrating and validating related models, detecting and attributing changes and assessing impacts from such changes.

Glacier inventories are fundamentally important parts of such integrative concepts of worldwide glacier monitoring, which is guided and coordinated within the framework of the Global Terrestrial Network for Glaciers (GTN-G) combining the World Glacier Monitoring Service (WGMS; primarily glacier fluctuations), the Global Land-Ice Measurement from Space project (GLIMS; primarily space-born inventories) and the US National Snow and Ice Data Center (NSIDC; primarily data management). These inventories establish regional to global coverage and – together with long observational fluctuation series such as mass balance or length variation of individual glaciers – document glacier changes in space and time.

Italy has played a historical pioneering role concerning glacier inventories, having compiled the first systematic and modern inventory as a product of the International Geophysical Year, an example followed since the late 1960s by internationally coordinated attempts to complete and periodically repeat regional to worldwide inventories.

Especially in combination with digital terrain information, important quantitative information about the distribution, characteristics and change in time of the Italian glaciers can be derived. The now available data basis enables advanced model simulations to be run for analysis of past, ongoing and possible future developments at regional scales and for worldwide inter-comparison. Even detailed glacier-bed topographies can be calculated and, hence, future landscapes be anticipated, which may emerge with the probable vanishing of glaciers. This in turn opens the door for advanced assessments of impacts from climate change on cold mountains and their often densely populated surrounding lowlands. We thank and congratulate the authors and sponsors of the present contribution to global glacier and climate observation. Our best wishes for successful use accompany the new Italian Glacier Inventory.



Massimo Frezzotti

ENEA Roma- Presidente
Comitato Glaciologico Italiano

I ghiacci sono una delle componenti più importanti del sistema climatico e al contempo sono molto sensibili alle variazioni climatiche.

La riduzione dei ghiacciai su tutto il pianeta è una delle evidenze più chiare di un cambiamento in atto nel sistema climatico, molto rapido ed esteso su scala globale. Il regresso dei ghiacciai nelle Alpi è stato rilevato dalla fine della prima parte del XIX secolo, ma la velocità di regresso è aumentata notevolmente dagli anni '80 e i ghiacciai alpini hanno perso più del 50% della loro massa.

Le simulazioni ipotizzano per la fine del XXI secolo una perdita del 75% del loro volume, che riguarderebbe in particolare i ghiacciai posti al di sotto dei 3000 m. I ghiacciai costituiscono una fondamentale risorsa d'acqua dolce utilizzabile per scopi agricoli, civili ed industriali.

Pertanto sono presi in particolare considerazione nel monitoraggio delle modificazioni ambientali attribuite al cambiamento climatico e negli scenari previsionali. La rilevanza scientifica ed economica di questa risorsa naturale è stata oggetto di studio in Italia sin dalla fine del secolo XIX.

Il Comitato Glaciologico Italiano fin dal 1895 ha coordinato il monitoraggio dei ghiacciai italiani permettendo la raccolta di una delle serie più lunghe al mondo di osservazioni delle variazioni delle fronti glaciali. Il nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani, realizzato dal Gruppo di Ricerca Glaciologia dell'Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze della Terra "Ardito Desio", nell'ambito di una proficua collaborazione fra mondo della ricerca e sponsor industriali, rappresenta un ulteriore importante contributo allo studio

dei ghiacciai italiani ed aggiorna alla prima decade del XXI secolo i catasti realizzati dal Comitato Glaciologico Italiano a partire dal 1925.

The cryosphere is one of the most important components of the climate system and at the same time is very sensitive to climate variations.

Very rapid glacier shrinking over the planet represents one of the clearest evidence of climate change.

The decline of the glaciers in the Alps has been detected since the end of the first part of the nineteenth century, but the rate of this decline has increased dramatically since the 80s and the alpine glaciers have lost more than 50% of their mass.

For the end of the twenty-first century, the simulations suggest a loss of 75% of glaciers volume that will affect particularly those below 3000 m. Glaciers are a fundamental resource of fresh water for agricultural, civil and industrial uses.

Therefore they are taken into particular consideration for monitoring and forecasting environmental modifications related to climate change.

The scientific and economic relevance of this natural resource has been the subject of study in Italy since the end of the nineteenth century. Since 1895, the Italian Glaciology Committee has coordinated the monitoring of Italian glaciers by gathering one of the longest series in the world of glacier front changes.

The new Italian Glacier Inventory made by the Glaciology staff of the "Ardito Desio" Earth Science Department of the University of Milan, as part of a fruitful collaboration between research and industry sponsors, has updated to the first decade of the twenty-first century the inventories made since 1925. It represents a further important contribution to the study of Italian glaciers.

Introduzione / *Introduction*

testi di/ *texts by* **Claudio Smiraglia** *and* **Guglielmina Diolaiuti**

Le motivazioni

L'intensa riduzione areale dei ghiacciai delle montagne italiane, che ha visto un'accelerazione negli ultimi decenni (Diolaiuti et al., 2012a; 2012b), trova riscontro su tutte gli altri settori delle Alpi e sulle altre catene montuose della Terra (Paul et al., 2004; 2007; 2011; Zemp et al., 2008) ed è sicuramente uno dei segnali più chiari ed evidenti esistenti in natura delle variazioni climatiche in atto e in particolare dell'aumento di temperatura media dell'aria (Brunetti et al., 2000; Casty et al., 2005; Brohan et al., 2006). Oltre ad essere i più attendibili indicatori climatici, i ghiacciai rappresentano un'importante risorsa idrica, energetica, paesaggistica e turistica. Studiarne le dimensioni attuali e le più recenti variazioni è quindi utile ed importante anche a livello applicativo. Uno strumento ampiamente utilizzato a questo scopo è il catasto o inventario dei ghiacciai: un elenco che evidenzia le principali caratteristiche, a livello qualitativo e quantitativo, e permette, se ripetuto nel tempo, di valutare le relative variazioni (Rau et al., 2005; Paul et al., 2007; 2010; Pfeffer et al., 2014). Quando alla fine degli anni '70 del secolo scorso l'*International Commission for Snow and Ice* (ICSI) in un simposio in Svizzera gettò le basi per il Catasto Internazionale dei Ghiacciai, si indicarono tre principali motivazioni: 1) migliorare la conoscenza dei cicli idrologici e dei bilanci idrologici a scala locale, regionale e globale; 2) offrire i dati di base per la gestione delle risorse idriche e per il loro utilizzo a scopo civile, irriguo e energetico, per la prevenzione dei rischi ambientali, per il turismo; 3) contribuire allo studio dei fenomeni ambientali e dei processi guidati dal clima e dalle sue variazioni

(Müller & Scherler, 1977).

Il nostro Paese ha un'antica e grande tradizione nel campo dell'allestimento di catasti glaciali. Uno dei primi inventari in assoluto fu realizzato nel 1925 da Carlo Porro nell'ambito delle iniziative del Comitato Glaciologico Italiano (CGI); questo catasto riporta 774 ghiacciai (Porro, 1925; Porro & Labus, 1927). L'opera più significativa e all'avanguardia per il suo tempo è sicuramente il Catasto dei Ghiacciai Italiani realizzato fra il 1959 e il 1962 dal CGI con il supporto del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). In quest'occasione furono inventariate 838 unità glaciali (comprendendo ghiacciai in senso stretto e glacionevati), estese su una superficie totale di poco più di 500 km² (CGI-CNR, 1959; 1961a; 1961b; 1962). La metodologia di raccolta dati si basò essenzialmente su cartografia e rilievi di terreno.

Alla fine degli Anni Settanta del XX secolo il CGI partecipò al Catasto Internazionale dei Ghiacciai (*World Glacier Inventory-WGI*), che venne pubblicato a livello di sintesi alla fine degli anni '80 (WGMS, 1989), mentre i dati dei singoli apparati vennero divulgati successivamente su un apposito sito *internet del World Glacier Monitoring Service* (www.wgms.ch/) e del National Snow & Ice Data Center (NSIDC) www.nsidc.org/data/glacier_inventory. Per l'Italia il catasto WGI venne realizzato da F. Secchieri per conto del CGI (Serandrei Barbero & Zanon 1993). La superficie totale risultò di circa 600 km², con un sensibile incremento numerico degli apparati (Belloni et al., 1985; Smiraglia, 2008). I dati per il WGI vennero raccolti soprattutto dall'analisi di foto aeree, purtroppo in alcuni casi con una copertura nevosa non trascurabile.

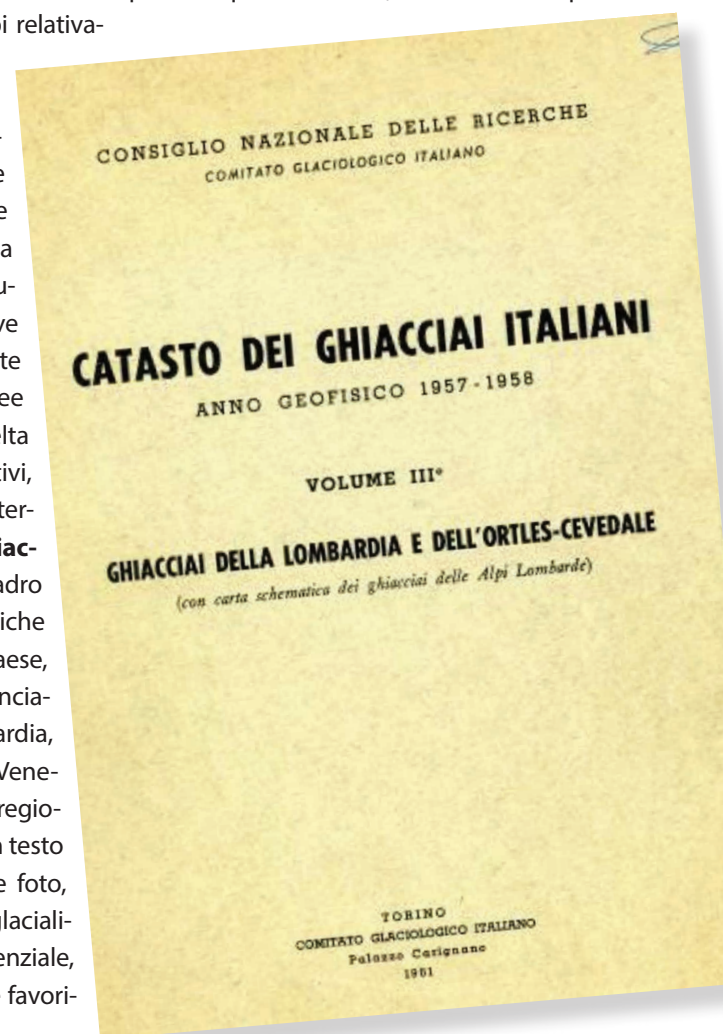
Nel 1989 il CGI, su incarico del Ministero dell'Ambiente, realizzò un aggiornamento del catasto, evidenziando una riduzione numerica e di superficie (la superficie complessiva

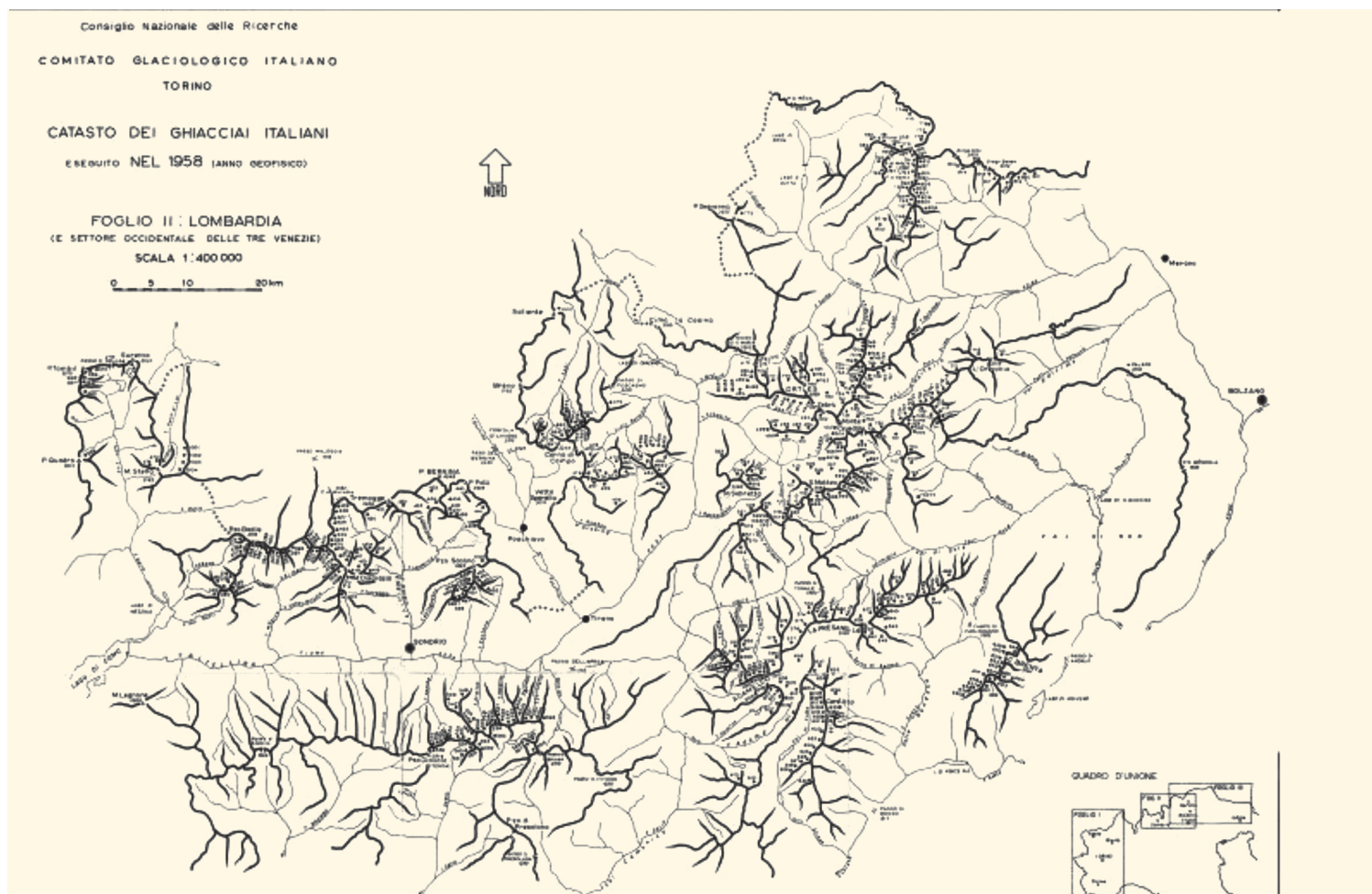
risultò di circa 480 km²) sia rispetto al Catasto CGI 1959-1962, sia soprattutto rispetto al Catasto WGI (Ajassa et al., 1994; 1997). Da questo momento in poi è mancato un aggiornamento a livello nazionale, anche se sono stati realizzati ottimi catasti locali (regionali e provinciali) diffusi sia a livello cartaceo sia su appositi siti (fra gli altri, Zanon, 1990; SGL, 1992; Comitato Glaciologico Trentino, 1994; Citterio et al., 2007; Maragno et al., 2008; Diolaiuti et al., 2011; 2012a; 2012b; Bonardi et al., 2012; Secchieri, 2012; D'Agata et al., 2014).

Il progetto del Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani, i cui risultati sono presentati in questo volume, si è posto l'obiettivo di colmare questa lacuna realizzando in tempi relativamente brevi un inventario del glacialismo italiano attuale.

Come fonte principale da cui ricavare i dati di base, in particolare le superfici dei ghiacciai, si sono scelte ortofoto ad alta risoluzione. La prima parte del presente volume è costituita da un'Introduzione, che descrive il progetto, le metodologie utilizzate e le fonti di raccolta dei dati, le linee guida che si sono seguite per la scelta dei parametri qualitativi e quantitativi, anche in accordo alle indicazioni internazionali. Segue un capitolo sui **Ghiacciai italiani**, che offre sia un quadro sintetico e globale sulle caratteristiche attuali del glacialismo del nostro Paese, sia sette paragrafi regionali e provinciali (Piemonte, Valle d'Aosta, Lombardia, Trentino, Alto Adige, Veneto, Friuli-Venezia Giulia, Abruzzo). Ogni paragrafo regionale e provinciale è costituito da un testo che evidenzia, anche con grafici e foto, dimensioni e caratteristiche del glacialismo locale, da una bibliografia essenziale, da una serie di carte sintetiche che favori-

scono la localizzazione e l'individuazione dei singoli apparati glaciali, da una serie di tabelle che raccolgono le informazioni qualitative e numeriche e che costituiscono il risultato principale del progetto. In questi paragrafi si è proceduto anche ad un primo confronto con i dati del Catasto CGI 1959-1962. Come si ribadirà più volte, le metodologie di raccolta dati dei due catasti sono molto diverse e il confronto non può offrire che informazioni generali sulla tendenza dell'evoluzione del glacialismo nell'ultimo mezzo secolo. Un confronto, seppur meno approfondito, è stato realizzato anche con i dati del WGI. L'ultima parte di questo volume, sicuramente impor-





Il Catasto dei Ghiacciai Italiani CGI-CNR (1959-1962). La copertina del terzo volume (a sinistra) e la carta di distribuzione dei ghiacciai della Lombardia (a destra).
The Italian Glacier Inventory developed by CGI-CNR (1959-1962). The third volume (on the left) and the distribution map of Lombardy glaciers (on the right).

tante per l'aggiornamento delle conoscenze sul glacialismo italiano, è la **Bibliografia**, che raccoglie i principali lavori scientifici e di alta divulgazione dedicati ai ghiacciai italiani pubblicati tra il 1962 e il 2014.

Study motivation

The sharp decline in the area occupied by Italian glaciers, which has actually accelerated over the last decades (Diolaiuti et al., 2012a; 2012b), is comparable in magnitude and rates with the glacier shrinkage observed on other Alpine sectors and on several glacie-

rized mountain groups of the planet (Paul et al., 2004; 2007; 2011; Zemp et al., 2008), thus offering a clear and unambiguous signal of the ongoing climate change and in particular of the worldwide air temperature warming (Brunetti et al., 2000; Casty et al., 2005; Brohan et al., 2006). Glaciers not only represent meaningful indicators of climate changes, they are also precious landscape elements and valuable freshwater, energy and tourist resources. A tool widely applied to evaluate glacier changes and variations in a changing climate is a glacier inventory. This is a glacier data base where the main glacier features (both quantitative and qualitative information) are listed, thus per-

mitting the computation of glacier variations, if any, over a time window of several years or decades (depending on the frequency of data acquisition, see Rau et al., 2005; Paul et al., 2007; 2010; Pfeffer et al., 2014). At the end of the 1970s, the International Commission for Snow and Ice (ICSI) organized a Symposium in Switzerland to discuss the main guidelines for compiling a glacier inventory, and they also listed the principal motivations supporting the development of a glacier data base: 1) to improve the knowledge of the water budget and hydrological cycle at a local, regional and global scale; 2) to make available to technicians and scientists valuable data for managing the

freshwater resources (civil use, irrigation and hydropower), and to develop actual strategies of risk management; 3) to contribute to the analysis of environmental processes and natural phenomena linked to climate and its variations (Müller & Scherler, 1977). Italy has a long and robust tradition in developing glacier inventories. Among the earliest glacier data bases, there is the one realized by Carlo Porro in 1925 within the framework of the initiatives promoted and supported by the Italian Glaciological Committee (henceforth CGI); 774 glaciers are listed in this inventory (Porro, 1925; Porro & Labus, 1927). The most important work in this respect and quite innovative in its time

was the Italian Glacier Inventory; this was developed by the CGI in cooperation with the National Research Council (henceforth CNR) in the period 1959-1962. This data base, developed by analysing maps and making field surveys, reported 838 glaciers (considering both actual glaciers and glacierets) which were found covering a total area of about 500 km² (CGI-CNR, 1959; 1961a; 1961b; 1962). At the end of the 1970s, the CGI was part of the international team leading the World Glacier Inventory (henceforth WGI), which was published only in the end of 1980s as a synthesis (WGMS, 1989) and later with full details at the dedicated web page hosted by the World Glacier Monitoring Service web site (www.wgms.ch) and the National Snow & Ice Data Center (NSDIC) (www.nsidc.org/data/glacier_inventory).

The total area of the Italian glaciation was shown in the WGI to be equal to about 600 km², and a numeric increase of glaciers was indicated (Belloni et al., 1985; Serandrei-Barbero & Zanon, 1993; Smiraglia, 2008).

The Italian data entered in the WGI, mainly managed by F. Secchieri, derived from aerial photo analysis and in some cases the photos used proved to be affected by a not negligible snow coverage. At the end of the 1980s, the CGI was charged by the Italian Environment Ministry to develop a new updated glacier inventory. In the data base obtained, the Italian glaciers were found to cover an area of about 480 km² thus indicating an actual decrease with respect to both the CGI (1959-1962) inventory and the WGI (Ajassa et al., 1994; 1997). This was the last Italian inventory; no other national studies to develop a general glacier data base have been carried out. After that time, only local (mainly regional) inventories have been published (among the others: Zanon, 1990; SGL, 1992; Comitato Glaciologico Trentino, 1994; Citterio et al., 2007; Maragno et al., 2008; Diolaiuti

et al., 2011; 2012a; 2012b; Bonardi et al. 2012; Secchieri, 2012; D'Agata et al., 2014). Then, the project named "The New Italian Glacier Inventory", presented here, was conceived and developed to fill this scientific gap, and in a quite short time frame it has produced the up-to-date data base needed to describe the overall Italian glacial situation. The main source of information we used in our data mining (in particular, glacier area values) are orthophotos featuring a high resolution. In the first part of this volume we provide a general **Introduction** which describes the project aims, the methods and techniques we applied and the main sources of data we analysed; moreover, we describe the guidelines we followed (according to the recommendations reported in the most recent international literature) to compile the inventory and to choose the main numerical and descriptive parameters to be listed. The second chapter, **Italian Glaciers**, offers a picture of all the main features affecting Italian glaciation. It is followed by seven sub-chapters dealing with facts and figures describing Italian glaciers at a regional scale (Piedmont, Aosta Valley, Lombardy, Trentino, South Tyrol, Veneto, Friuli-Venezia Giulia and Abruzzo). Each one of these sub-chapters has a general description of the regional distribution of glaciers, also supported by diagrams and pictures, a reference list reporting the main papers describing the regional glaciation, and maps which help the reader to understand the correct location of glaciers. Last but not least, tables are inserted to describe the main glacier features at present and the changes that occurred with respect to the CGI (1959-1962) inventory and the WGI. As regards these latter comparisons, the reader should consider the broad difference in technique and methods and data sources between the new Inventory and the old ones.

Such profound differences cast doubt on the re-

sults obtained; in several cases the changes in Italian glaciation over the last half-century may have been underestimated. Nevertheless these results give a general overview of the evolution of the Italian cryosphere. In the **Reference list**, the last part of this volume, we report the scientific papers dealing with Italian glaciers and published in the time window 1962-2014. This part is really of great relevance for updating our knowledge of Italian glaciers.

Metodologie e fonti

Come strumento di base per l'individuazione e la delimitazione dei corpi glaciali si sono utilizzate e analizzate ortofoto messe cortesemente a disposizione per consultazione dalle strutture regionali e provinciali di pertinenza. Le ortofoto utilizzate derivano da foto aree a grande scala, con limitata o assente copertura nuvolosa, riprese prevalentemente nel periodo estivo e tardo estivo quando la copertura nevosa sui ghiacciai è ridotta e il ghiaccio esposto è ben visibile e mappabile. Le ortofoto utilizzate sono state rilevate nel 2005 (Valle d'Aosta, Volo RAVA); 2007 (Lombardia, Ortofoto digitale a colori BLOM-CGR S.p.A.-IIT2000/VERS.2007); 2008 (Provincia Autonoma di Bolzano-Alto Adige, Volo PAB); 2009 (Veneto: rilievo LIDAR Regione Veneto-ARPAV); 2009-2011 (Regione Piemonte, Volo ICE); 2011 (Trentino, Volo PAT); 2011 (volo UM Friuli-Venezia Giulia). Le immagini sono tutte a colori e caratterizzate da pixel con una risoluzione nominale di 0,5 x 0,5 m. L'accuratezza delle immagini dichiarata dai produttori è pari a ± 1 m. In un numero limitato di casi si è ricorsi anche alla consultazione di immagini da satellite (Valle d'Aosta 2009 Immagini SPOT con risoluzione

di 6 m) o a dati di letteratura e di terreno (Friuli-Venezia Giulia e Abruzzo). Le ortofoto sono state analizzate e utilizzate come layer base per delimitare in ambiente GIS (*Geographic Information System*) i perimetri glaciali dai quali calcolare le aree di copertura. Questi dati insieme ad altre informazioni fondamentali (come toponimo, codice identificativo, coordinate del ghiacciaio, etc., si veda nei paragrafi successivi l'elenco dettagliato) hanno popolato un data base relazionale che costituisce il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani. Per la verifica e l'integrazione dei dati così ottenuti si sono utilizzati sia i catasti regionali e provinciali già esistenti, sia la documentazione cartografica, il tutto costantemente accompagnato da rilievi sul terreno. La validazione finale è avvenuta ad opera di esperti del Comitato Glaciologico Italiano e delle varie Regioni e Province.

Per la valutazione dell'errore dei dati catastali prodotti si è seguito l'approccio introdotto da Vögtle & Schilling (1999) e applicato in precedenza da altri autori per calcolare l'errore planimetrico dei ghiacciai lombardi (Citterio et al., 2007; Diolaiuti et al., 2012a) e dei ghiacciai valdostani (Diolaiuti et al., 2012b). Il metodo prevede il calcolo per ciascun ghiacciaio censito del *buffer* areale di incertezza che è funzione del perimetro del ghiacciaio stesso, della dimensione del pixel dell'immagine utilizzata e della efficacia della perimetrazione manuale effettuata dall'operatore (valutata di volta in volta e dipendente dall'esperienza dell'operatore e dalla sua conoscenza diretta della zona in esame). L'errore complessivo è pari allo scarto quadratico medio di tutti i *buffer* areali calcolati. Grazie all'ottima qualità e risoluzione delle immagini utilizzate e dell'accurata delimitazione manuale effettuata, il valore dell'errore planimetrico delle aree censite nel Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani

è sempre risultato inferiore a $\pm 2\%$ dell'area calcolata. Fanno eccezione alcune situazioni particolari come le aree glaciali parzialmente o completamente coperte da detrito (*debris covered glacier* sia sensu strictu sia sensu latu, si vedano anche Kirkbride, 2011 e Smiraglia & Diolaiuti, 2011). Queste situazioni negli ultimi anni sono divenute sempre più frequenti e rendono più difficoltosa la corretta perimetrazione degli apparati glaciali, soprattutto nel settore terminale. In queste situazioni l'area glaciale può venire sottostimata fino al 10%. Per limitare l'errore in questi selezionati casi durante la delimitazione manuale si è cercato di tenere conto delle caratteristiche morfologiche della superficie glaciale; queste ultime infatti possono indicare la presenza di ghiaccio ricoperto da detrito e suggerire la corretta posizione del limite glaciale.

Si è quindi tenuto conto della presenza di fessure di ghiaccio, di canali sopraglaciali e laghi superficiali, di cavità e "mulini", di alternanze di zone convesse e zone rigonfie oppure più scure per la presenza di acqua di fusione oppure ancora con netti dislivelli; anche la presenza di torrenti e soprattutto il loro punto di origine è stato un utile elemento per identificare il limite della fronte glaciale (Paul et al., 2004; 2009). Infine per numerosi ghiacciai interamente o parzialmente ricoperti da detrito (fra gli altri Miage, Lys, Belvedere, Solda) si è proceduto nelle scorse estati a rilievi *ad hoc* sul terreno che hanno permesso di acquisire dati GPS (*Global Positioning System*) di precisione relativi ai veri perimetri frontali.

Anche la presenza di ombre, infine, può influire sulla corretta perimetrazione dei ghiacciai. Per ovviare a questo problema le aree in ombra sono state escluse dall'analisi.

I ghiacciai non analizzati o perimetrati per questo motivo costituiscono comunque meno dell'1% in area del campione totale e

quindi la sottostima del glacialismo italiano dovuta a questo fattore può considerarsi trascurabile. Dalle ortofoto analizzate si sono ricavate informazioni anche sull'esposizione dei singoli ghiacciai e sulla loro tipologia (ricavate in accordo a Paul et al., 2010; Cogley et al., 2011; Pfeffer et al., 2014); anche queste confluite nel data base del Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani. I dati riguardanti superficie, numero, esposizione e tipologia dei ghiacciai sono inoltre stati sintetizzati in appositi grafici a livello generale, a scala regionale e per singoli gruppi montuosi.

Per consentire confronti con altri catasti (sia internazionali che regionali relativi a settori del patrimonio glaciale nazionale) i dati areali sono stati analizzati rispetto a sette classi dimensionali (i.e.: $< 0.10 \text{ km}^2$; $0.10\text{-}0.5 \text{ km}^2$; $0.5\text{-}1 \text{ km}^2$; $1\text{-}2 \text{ km}^2$; $2\text{-}5 \text{ km}^2$; $5\text{-}10 \text{ km}^2$ e $>10 \text{ km}^2$) introdotte per la prima volta da Paul et al. (2004) e successivamente utilizzate in Italia da Citterio et al. (2007), Maragno et al. (2008), Diolaiuti et al. (2011, 2012a; 2012b) e D'Agata et al. (2014), in Austria da Knoll & Kerschner (2009) e in Francia da Gardent et al. (2014).

La valutazione delle variazioni areali avvenute fra gli anni '60 (catasto CGI) e l'attuale è stata effettuata sia tenendo conto dell'intero campione, sia confrontando solo i dati comuni alle banche dati considerate (nel caso di frammentazioni registrate dal nuovo Catasto, si è considerato l'insieme dei frammenti per ottenere un unico valore da confrontare con quello CGI). Questa seconda procedura ha ridotto lievemente il campione analizzato, ma ha permesso una più realistica valutazione dell'evoluzione glaciale che in questo modo non è affetta da ghiacciai inseriti in una sola banca dati e non presenti nell'altra perché non individuati (ad esempio a causa di copertura detritica, nuvolosa, nevosa oppure ombreggiatura). Il calcolo della variazione areale

è inoltre stato effettuato per ciascuna classe dimensionale e per evitare slittamenti di classe dovuti al progressivo rimpicciolimento dei ghiacciai, ad ogni apparato è stata attribuita sempre la classe di appartenenza nel primo censimento ovvero il catasto CGI 1959-1962 (si vedano dettagli sul criterio applicato in Citterio et al., 2007 e Diolaiuti et al., 2012a; 2012b).

A livello informativo è stato comunque riportato nelle tabelle iniziali (tab.1) di ciascuna descrizione regionale anche la variazione areale e numerica complessiva valutata semplicemente confrontando i dati complessivi (e quindi senza tenere conto che il campione confrontato differisce per numero di apparati). Quest'ultimo dato ha solo un valore indicativo generale; per analisi successive è opportuno riferirsi alle tabelle dei dati comuni e confrontabili sopra descritte.

Data and methods

To detect glaciers, mark their boundaries and calculate their area our fundamental data source was recent colour orthophotos which were kindly made available for this research project by regional and local administrations. The orthophotos are derived from high resolution aerial photos featuring low or absent cloud coverage and acquired at the end of the summer when glaciers show the minimum snow mantle and then their limits appear clearer and are more detectable. The analysed orthophotos were surveyed in 2005 (Valle d'Aosta, RAVA Flight); 2007 (Lombardia, digital colour orthophoto BLOM-CGR S.p.A.-I-IT2000/VERS.2007); 2008 (Provincia Autonoma di Bolzano-Alto Adige, PAB Flight); 2009 (Vene-



Il Lago Miage, suddiviso in tre piccole conche, presso il Ghiacciaio del Miage (213) coperto di detrito, nel gruppo del Monte Bianco (foto A. Franchino, 2013)

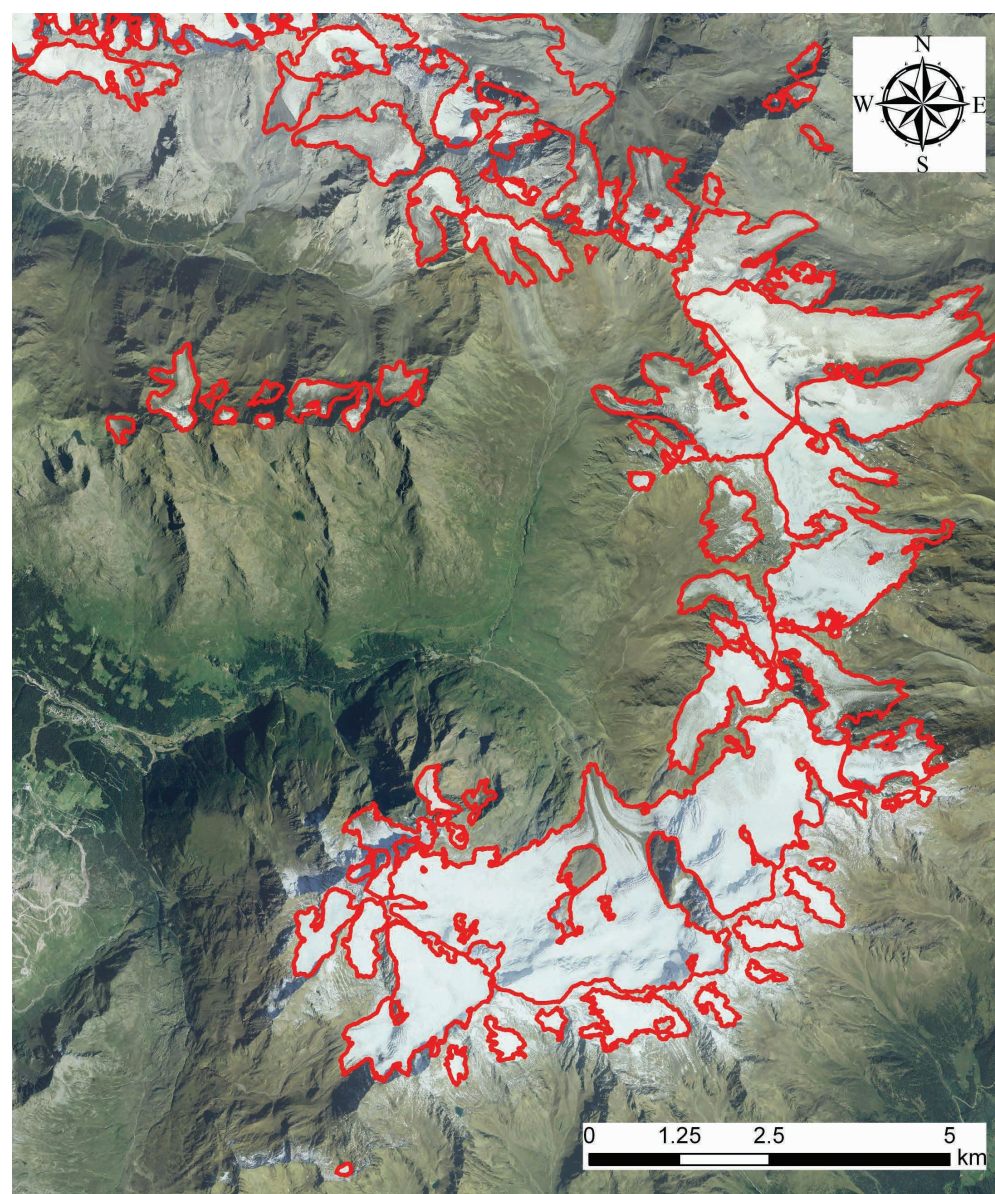
The three small basins of the Miage Lake, close to the debris covered Miage Glacier (213) in the Mont Blanc mountain group (photo courtesy A. Franchino, 2013)

to-ARPAV); 2009-2011 (Regione Piemonte, ICE Flight); 2011 (Trentino, PAT Flight); 2011 (UM flight Friuli-Venezia Giulia). The orthophotos are products available for purchase, featuring a planimetric resolution specified by 1 pixel (pixel size = 0.5 m). The planimetric accuracy stated by the manufacturers is ± 1 m.

In some cases we also used satellite images to improve the glacier mapping (Valle d'Aosta, 2009 SPOT images featuring a resolution of 6 m) and field and literature data as well (Friuli-Venezia Giulia and Abruzzo). The colour orthophotos have been used as base layer in a GIS (Geographic Information System) environment to detect and map glacier boundaries. These permitted the calculation of glacier area values. The area data together with other crucial information (e.g.: glacier name, id code, coordinates, etc... see also the following paragraphs) were entered in a data base which constitutes the New Italian Glacier Inventory. A cross check of the glacier data thus obtained was performed considering already existent regional or local inventories, recent published maps and cartography, and dedicated field surveys. The final validation of all the New Italian Glacier Inventory was performed by a team of experts selected from the Italian Glaciological Committee and/or from technical personnel of local administrations.

To assess the potential error affecting data entered in the new inventory, we adopted the approach introduced by Vögtle & Schilling (1999) and largely applied in the recent past to evaluate the area error of Lombardy glaciers (Citterio et al., 2007; Diolaiuti et al., 2012a) and of Aosta Valley glaciers (Diolaiuti et al., 2012b). This method is based on the calculation of the area buffer for each mapped glacier. The buffer extent depends on the glacier boundary, the pixel size and the uncertainty of the applied mapping (this latter due to the manual opera-

tor and evaluated for each glacier in relation to the experience of the operator and to his/her knowledge of the surveyed glacier area). The final precision of the whole glacier coverage was determined by taking the root of the squared sum of all the buffer areas. Thanks to the high quality and resolution of the analysed orthophotos and the accurate manual mapping we performed, the glacier area data obtained featured an error less than $\pm 2\%$ of the actual value. Few exceptions occur in the case of supraglacial debris presence (i.e.: debris covered glaciers, both *sensu strictu* and *sensu latu*; see Kirkbride, 2011 and Smiraglia & Diolaiuti, 2011). These conditions are becoming even more frequent over recent years and are making it more difficult and uncertain to detect and map glacier outlines; particularly the glacier snout mapping is difficult since at lower elevations debris coverage can reach higher depth. In such conditions the mapped glacier area can be underestimated by up to 10% of the actual value. To reduce the error, whenever debris occurs at the glacier surface, we also considered glacier morphological features; in fact, these may indicate the occurrence of buried ice thus improving the correct mapping of glacier limits. Then we took into account the occurrence of: ice cliffs and ice pinnacles, bediers and epiglacial streams, supraglacial lakes and water ponds, glacier moulins and surface roughness, dark areas due to higher water content or areas showing clear changes of elevation, meltwater streams originating from heavily debris-covered areas (Paul et al., 2004; 2009). In some selected cases, whenever the supraglacial debris was abundant, thus partially or totally covering the ablation area (i.e.: Miage, Lys, Belvedere and Solda glaciers), we also performed ad hoc field surveys using GPS techniques to map the actual glacier boundaries. Last but not least, shadow occurrence can drive



Ghiacciai del Gruppo Ortles Cevedale (Lombardia, Trentino e Alto Adige). In ambiente GIS sono stati delineati i perimetri glaciali sulla base dell'ortofoto a colori (BLOM-CGR S.p.A.-IIT2000/VERS.2007). Per gentile concessione della Regione Lombardia. Glaciers located in the Ortles-Cevedale Group (Lombardy, Trentino and South Tyrol). In a GIS environment the glacier boundaries are mapped used as base layer the color orthophoto (BLOM-CGR S.p.A.-IIT2000/VERS.2007) Courtesy by Regione Lombardia

an increase in the error affecting the area data. Therefore, in our work we decided to avoid shadow areas which, in the orthophotos we analysed, represent only a small part of the total (less than 1% of the whole glacierized area).

From the orthophoto analysis we also derived information on glacier aspect and type (following the recommendations listed by Paul et al., 2010; Cogley et al., 2011; Pfeffer et al., 2014); these data were entered in the New Italian Glacier Inventory as well. Data describing glacier number, area coverage and type were also summarized at a general, regional and local (i.e.: mountain group) scale through diagrams and plots.

In order to permit fruitful comparisons among these new glacier data and the ones reported in previous regional and/or international inventories, we sorted them according to a size classification (7 size classes: i.e.: < 0.10 km²; 0.10-0.5 km²; 0.5-1 km²; 1-2 km²; 2-5 km²; 5-10 km² and >10 km²). This classification was first introduced by Paul et al. (2004), who analysed the Swiss glaciers, and more recently has been applied to Italian glaciers by Citterio et al. (2007), Maragno et al. (2008), Diolaiuti et al. (2011, 2012a; 2012b) and D'Agata et al. (2014), to the Austrian glaciers by Knoll & Kerschner (2009), and to the French glaciers by Gardent et al. (2014).

The number of glaciers surveyed is different in the two available data sets (the CGI inventory and the New Italian Glacier Inventory), due either to unreliable detection of some glaciers in the aerial photos (arising from the effects of cloud cover and/or snow cover), or to a heavy debris coverage, or to disappearance of some glaciers. To avoid inconsistencies in evaluating the glacier changes that occurred in the period 1960s–2014 (i.e.: comparing the CGI inventory and the New Italian Glacier Inventory), we considered only the glaciers common to both data

records. Moreover, the area changes were computed for each size class to evaluate magnitude and rates of glacier shrinkage in relation to glacier dimension.

To avoid inconsistencies, such as the apparent gain in area for those classes that acquired more glaciers from the larger classes than they lost to the smaller ones, the area change values were obtained by crediting the contribution of each glacier according to its class in the CGI inventory.

Thus, the evaluations of area changes were not affected by class shifts (for further details on these criteria, see Citterio et al., 2007 and Diolaiuti et al., 2012a; 2012b). Just to give a general overview, we also reported for each glacier Region the total area variation computed by comparing the two data records, without considering the common comparable sample (Table 1 in the regional glacier description). Obviously, these values can only suggest generally that glacier shrinkage occurred but they cannot support further discussions on glacier evolution, which instead have to be based on glacier area changes computed considering only the ice bodies common to the two data records.

Parametri inseriti

Nelle schede regionali sono inseriti 13 parametri che permettono la caratterizzazione di ciascun apparato sia dal punto qualitativo che quantitativo (Kargel et al., 2014; Pfeffer et al., 2014). Gli obiettivi che hanno suggerito la scelta dei parametri sono stati: 1) l'identificazione univoca, anche multitemporale, dei singoli apparati glaciali (attraverso toponimo e codice identificativo alfanumerico ovvero con **Nome**, **Codice nazionale** e **Codice WGI**); 2) la loro collocazione

geografica (attraverso le **Coordinate** medie del ghiacciaio e l'indicazione del **Gruppo montuoso** e del **Bacino idrografico** di appartenenza); 3) le loro caratteristiche tipologiche e morfometriche attuali (riportandone la **Tipologia**, l'**Area**, l'**Esposizione** prevalente e indicando l'**Anno del rilievo**); 4) la possibilità di confronti con catasti precedenti (riportando dati pregressi come l'**Area del Catasto CGI 1959-1962**, e l'**Area del Catasto WGI**); 5) la possibilità di inserire altre informazioni utili per la migliore caratterizzazione del ghiacciaio e della sua storia (con il campo **Note**).

Altri parametri morfometrici (in particolare quote e lunghezze) avrebbero certamente arricchito la banca dati del nuovo Catasto. Per disporre in tempi rapidi di una copertura completa delle Alpi Italiane si è però preferito limitarsi, almeno in questa fase, ai campi sopra indicati. Fra questi è soprattutto il dato areale a rivestire la maggiore importanza (Pfeffer et al., 2014). Una copertura areale completa è infatti auspicabile per numerose analisi a scala globale, ad esempio per ricavare informazioni sul volume dei ghiacciai e la loro riserva idrica mediante modelli che mettono in relazione area e volume e per la stima delle variazioni volumetriche e dei bilanci di massa con il confronto di modelli digitali del terreno (DEM). Gli altri parametri morfometrici sono stati inseriti nell'ANNEX - Rev. 2016

1) Nome

Come base toponomastica si è privilegiato il Catasto CGI 1959-1962, pur con modifiche e aggiornamenti suggeriti sia dalle mutate condizioni morfologiche e tipologiche, sia da esigenze di maggiore concisione, sia infine dalla necessità di tenere conto di situazioni locali ormai consolidate nel Catasto WGI e soprattutto in inventari glaciali regionali o provinciali. Eventuali modifiche rispetto alla toponomastica CGI sono state

indicate nel campo **Note**. In particolare ci si è attenuti alle seguenti convenzioni:

Il nome del ghiacciaio, anche per facilitarne la reperibilità, è costituito dal suo toponimo principale, eventualmente seguito da altre specificazioni scritte per intero (ad esempio: Superiore, Inferiore, Alto, Centrale, etc.). Non è quindi stato utilizzato il nome comune "ghiacciaio" (o suoi sinonimi come Vedretta), tranne nel caso fosse seguito da un aggettivo qualificante (ad esempio Vedretta Rossa o Vedretta Lunga /Langenferner).

Se il toponimo comprende una denominazione geografico-morfologica iniziale (Passo, Cima, Pizzo, Lago, etc.), questa è stata mantenuta in prima posizione (Cima di Forame, Passo d'Amola)

Le aggettivazioni derivanti da punti cardinali sono state scritte per esteso, preferendo il sostantivo conciso (Nord; Sud-Ovest, etc) al posto dell'aggettivo descrittivo (Occidentale, Meridionale, etc.), tranne quando si riferiscano ad un altro toponimo (ad esempio una cima, come Levanna Orientale).

Il caso più delicato riguarda le frammentazioni e i ghiacciai di nuova identificazione. Per quanto riguarda le frammentazioni, come linea guida generale sono stati considerati individui glaciali nuovi tutti quelli derivanti da separazioni ben evidenti, presenti alla data del rilievo, purché di superficie superiore od eguale alla soglia minima scelta (nel nostro caso la soglia di inventariabilità è stata: 0,01 km²). In alcuni casi, quando rilievi più recenti rispetto alle foto utilizzate hanno mostrato frammentazioni già avvenute, nelle Note si è indicato il fenomeno in corso alla data della foto (esempi sono costituiti dal Lys e dal Lex Blanche, che alla data delle foto aeree risultavano ancora non frammentati).

Per quanto riguarda il toponimo da assegnare alle nuove unità glaciali, nel caso vi fossero

denominazioni specifiche già codificate in catasti regionali, si sono preferibilmente utilizzati i relativi toponimi. Nel caso non vi fossero toponimi precedenti, si sono utilizzati, ove possibile, sostantivi e aggettivi localizzativi (Est, Centrale, Inferiore, etc.) aggiunti al nome già in essere; nel caso non fosse possibile utilizzare aggettivi specifici (ad esempio perché già presenti o poco intuitivi), si è mantenuto per il ghiacciaio principale il toponimo preesistente, aggiungendo ai singoli frammenti il numero romano (I, II, etc.) partendo dal ghiacciaio principale oppure seguendo, ove possibile, l'andamento orografico-idrologico del Catasto CGI. Questi stessi criteri sono stati seguiti anche per ghiacciai di nuova identificazione non presenti nei catasti precedenti. Una situazione opposta è quella degli accorpamenti, per cui si è creata una sola unità glaciologica quando nel Catasto CGI erano elencate più unità. Ciò è stato fatto nei casi in cui si è deciso di privilegiare nella toponomastica l'aspetto glaciologico (in particolare l'unitarietà morfodinamica) rispetto a quello storico e tradizionale. I casi più noti sono quelli dell'Adamello (in precedenza suddiviso in sei ghiacciai autonomi) e quello del Belvedere (già trattato in tre unità separate). In Alto Adige, seguendo il Catasto CGI, si è mantenuta la toponomastica bilingue: si è infatti utilizzato il toponimo italiano seguito dal nome tedesco. In numerosi casi non è stata riscontrata uniformità fra i toponimi italiani e tedeschi del CGI e quelli del catasto della Provincia Autonoma di Bolzano-Alto Adige (PAB); quest'ultimo inoltre tende ad utilizzare lo stesso nome sia per il ghiacciaio principale sia per quelli derivanti da frammentazioni. In queste situazioni si è quindi preferito indicare nel campo **Nome** o nel campo **Note** tutti i toponimi italiani e tedeschi utilizzati sia nel Catasto CGI sia nel catasto PAB. Ciò ha deter-

minato una maggiore complessità nella consultazione delle tabelle, garantendo però la completezza delle informazioni.

A livello generale tutte le frammentazioni e gli accorpamenti e le variazioni di toponomastica rispetto a fonti precedenti sono state segnalate nelle **Note** al fine di rendere possibile l'identificazione univoca del ghiacciaio e la ricostruzione della sua storia.

2) Codice

Si è utilizzato come codice base il numero del Catasto CGI con eventuali modifiche derivanti da situazioni locali codificate in catasti regionali o provinciali o da particolari esigenze di chiarezza.

Nel caso di frammentazioni o di ghiacciai non presenti nel Catasto CGI ed identificati successivamente, si è mantenuto il numero CGI per il ghiacciaio matrice o per quello immediatamente precedente a livello topografico. Ai ghiacciai derivanti o non identificati precedentemente si è assegnato il codice CGI seguito da punto e decimale (.1 o .2, etc.). La successione è stata dettata dall'andamento orografico-idrologico del CGI oppure da criteri dimensionali e genetici.

Poiché nel presente Catasto si è scelta una suddivisione regionale o provinciale di tipo politico-amministrativo, a differenza del Catasto CGI basato su una successione strettamente orografico-idrologica, la sequenza numerica dei ghiacciai nei due catasti presenta differenze.

3) Codice WGI

Sono stati utilizzati i codici ufficiali WGI con dodici cifre. Nel caso di ghiacciai non elencati nel WGI (frammentazioni successive o ghiacciai non identificati precedentemente), la casella relativa è stata lasciata vuota.

4) Coordinate

Il sistema utilizzato è il WGS 84, sistema di riferimento del GPS ormai universalmente in uso. Le coordinate sono sessagesimali (xx°xx'xx"N e yy°yy'yy"E) e si riferiscono al centro del poligono che rappresenta il perimetro glaciale censito nel Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani.

5) Gruppo montuoso

Per ogni ghiacciaio si è utilizzata, con piccole modifiche in funzione di particolari situazioni locali, la suddivisione basata sulla classificazione SOIUSA (*Suddivisione Orografica Internazionale Unificata del Sistema Alpino*) con la seguente successione (Marazzi, 2005):

Raggruppamento montuoso: SEZIONE – Sottosezione – Supergruppo (e/o Gruppo).

Nella sequenza verticale delle singole schede regionali i ghiacciai sono stati raggruppati in settori montuosi più tradizionali, in qualche caso non totalmente coincidenti con la Sottosezione SOIUSA.

6) Bacino Idrografico

È stato indicato il bacino idrografico principale seguito da due o al massimo tre bacini di ordine inferiore, seguendo sostanzialmente il Catasto CGI.

In rari casi particolari (ad esempio per l'Adamello) si è indicato anche un secondo bacino principale con i suoi bacini di ordine inferiore

7) Tipologia

Sono state utilizzate tre tipologie, che fanno riferimento a classificazioni internazionali, come WGI, GLIMS, IHP-IACS, ESIG e nazionali (SGL e SAT) (si veda ad esempio Müller & Scherler, 1977; SGL, 1992; Rau et al., 2005; WGMS, 2012; Kargel et al., 2014):

- Vallivo: ghiacciaio costituito da una bacino

di accumulo ben definito dal quale si origina una lingua che scorre in una valle ben definita dal punto di vista geomorfologico. Si definisce "vallivo semplice" quando vi è un solo bacino di accumulo dal quale fluisce la lingua; "vallivo composto", quando la lingua è formata dalla coalescenza di due o più lingue minori provenienti da altrettanti bacini collettori.

- Montano: ghiacciaio, anche di notevoli dimensioni, che non sviluppa una lingua valliva e che è collocato su versanti montuosi. È condizionato nella sua forma e nella sua evoluzione dalle caratteristiche morfologiche del sito che lo ospita (e.g.: circo, falda, nicchia, calotta, pendio, canalone, sospeso, altopiano con lingue radiali, etc.).

- Glacionevato: indicato nella letteratura internazionale come *glacieret*, è una massa di ghiaccio di forma indefinita e di limitata estensione, ospitata in una concavità montuosa, spesso circhi glaciali preesistenti, caratterizzata da flusso molto lento o del tutto assente. Deve essere osservabile per almeno due anni di seguito. Può formarsi all'inizio di una fase glaciale o durante una deglaciazione e può quindi essere considerato la fase embrionale o terminale di un ghiacciaio in senso stretto. Nel presente Catasto per attribuire ad un apparato la classificazione tipologica di glacionevato si è utilizzato prevalentemente un criterio dimensionale e pertanto si sono considerati glacionevati tutti i corpi glaciali con superficie inferiore a 0,05 km². Nel caso di apparati di dimensioni comprese tra 0,09 e 0,05 km² si è tenuto conto per attribuire questa tipologia anche di caratteristiche morfologiche o di informazioni da letteratura (Rau et al., 2005).

8) Area (in km²)

È indicata l'area di ciascun ghiacciaio in km²

con due decimali calcolata in base al perimetro delimitato in ambiente GIS sulla fonte più recente utilizzata. Come limite areale di catastabilità è stato scelto il valore 0,01 km² in accordo alla letteratura internazionale (Paul et al., 2004; Rau et al., 2005). Nei casi in cui l'area del ghiacciaio fosse divisa fra due Regioni sono state riportate solo le aree di pertinenza regionale, illustrando nelle Note la particolare situazione.

9) Anno del rilievo

È stato indicato l'anno di ripresa della ortofoto o della fonte cui si è attinto.

10) Area CGI (km²)

È stata inserita l'area del Catasto CGI 1959-1962. Nel caso di frammentazioni l'area CGI è stata attribuita al ghiacciaio originario, mentre per il ghiacciaio o i ghiacciai derivati la casella si è lasciata vuota. La situazione è stata esplicitata nelle Note. Nel caso un ghiacciaio classificato estinto in CGI nel presente catasto venisse classificato attivo, sono stati inseriti il corrispondente codice numerico e l'area negli appositi campi; il campo Area CGI è stato mantenuto vuoto, indicando nelle Note "classificato estinto in CGI".

11) Area WGI km²

È stata inserita l'area del Catasto WGI compilato per l'Italia fra la fine degli anni '70 e l'inizio degli anni '80. Nel caso di frammentazioni l'area WGI è stata attribuita al ghiacciaio originario, mentre per il ghiacciaio o i ghiacciai derivati la casella si è lasciata vuota.

12) Esposizione

È stata espressa in otto quadranti e riportata con sigle maiuscole: N; NE; E; SE; S; SO; O; NO.

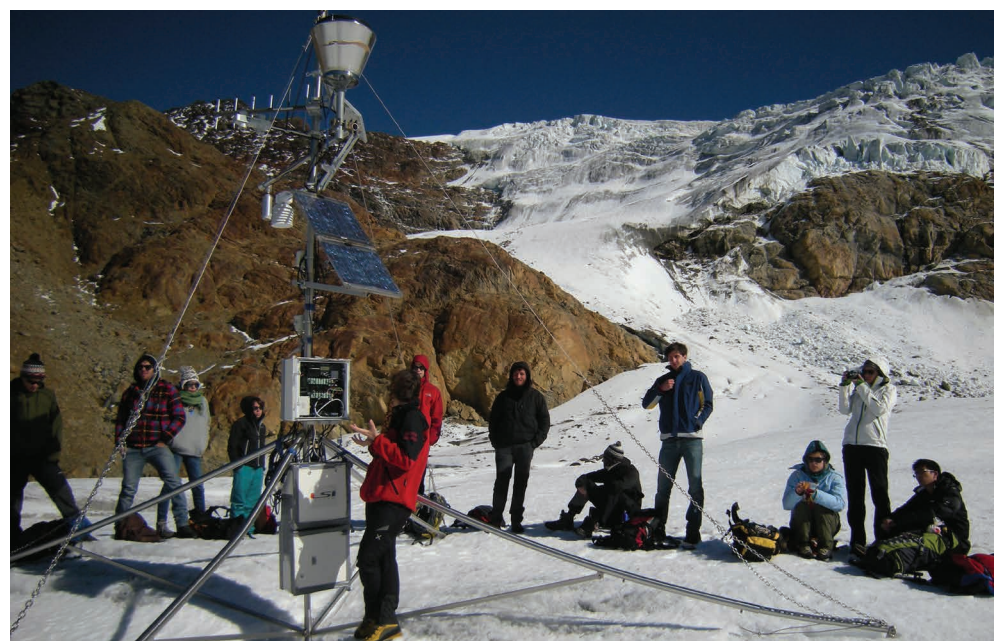
13) Note

Il campo è stato utilizzato per qualsiasi informazione ulteriore: toponimi alternativi;

presenza o assenza nei catasti CGI o WGI; frammentazioni; classificazioni particolari; copertura detritica quasi completa, etc.



Ghiacciaio di Caspoggio (435) nel gruppo del Bernina-Scalino nel 1910 (foto Archivio Dell'Acqua)
Caspoggio Glacier (435) in the Bernina-Scalino mountain group in 1910 (photo courtesy Archive Dell'Acqua)



Ghiacciaio dei Forni (507) nel gruppo Ortles-Cevedale: Stazione Meteorologica Automatica, sullo sfondo la seracata orientale (foto C. Smiraglia, 2013)
Forni Glacier (507) in the Ortles-Cevedale mountain group: AWS (Automatic Weather Station), on the background the Eastern Ice Fall (photo courtesy C. Smiraglia, 2013)

Inserted Data

In the New Italian Glacier Inventory we introduced 13 parameters to describe Italian glacial activity from both a quantitative and a descriptive point of view (Kargel et al., 2014; Pfeffer et al., 2014). The other parameters have been inserted in the ANNEX - Revision 2016.

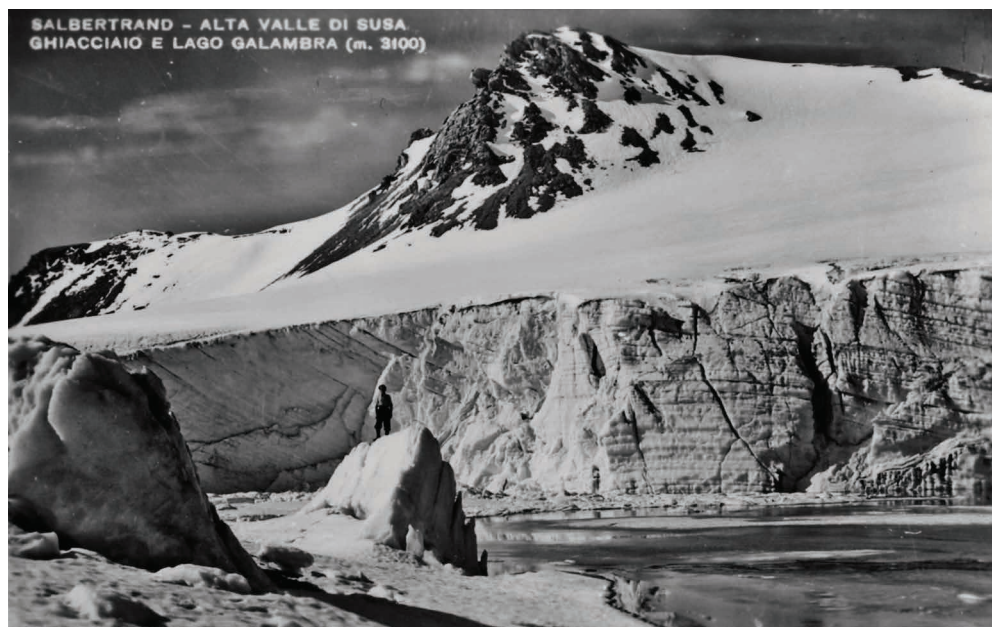
The main criteria supporting the choice of these parameters were: 1) to identify each glacier univocally (through a **name** and an ID code, this latter was reported as both national **code** and **WGI code**); 2) to indicate the correct location of each glacier (through the mean **coordinates** and reporting the **mountain group** and **catchment** nesting the analysed glacier); 3) to describe the actual type and features of each glacier (by reporting the **glacier type**, **area** and **main aspect**, clearly stating the **survey year**); 4) to support comparisons between the present data base and previous ones (then adding past data: the **area values** reported in the **CGI inventory** and the **area data** listed in the **WGI**); 5) to enhance this new data base through the "Note" field where any other data can be reported. Other parameters surely should improve the new data base we developed (among others, glacier minimum and maximum elevation and length). Nevertheless, we needed to limit our analysis to the above-mentioned 13 parameters to produce in a short time a complete updated picture of Italian glacial activity. Glacier area values are surely the most important and crucial data (Pfeffer et al., 2014), since they support further analysis, also at a global scale, for modeling glacier volume (thus giving a raw amount of the glacier-derived freshwater resources) and, whenever coupled with Digital Elevation Models (DEMs), for assessing glacier volume changes and estimating glacier mass balance. The other parameters have been inserted in the ANNEX - Rev. 2016.

1) Glacier Name

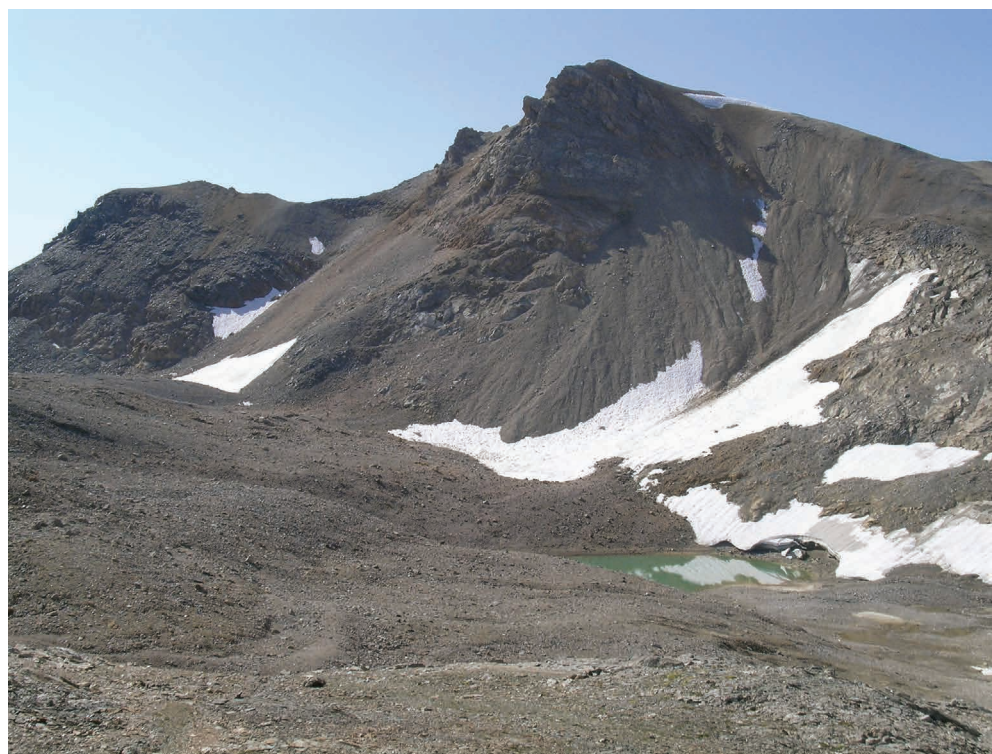
To assign a name to each glacier we mainly referred to the CGI inventory (1959-1962). In some cases we needed to update the name, due to actual changes in glacier morphology and type, or due to local situations already considered in the WGI or in previous local or regional inventories. If the glacier name was changed, it was reported and explained in the “**Note**” field. Some main guidelines were applied, and in particular:

the glacier name, in order to make identification easier, is formulated by the main location name followed by other details (e.g.: Superiore, Inferiore, Alto, Centrale, etc.). We did not insert the word “Ghiacciaio” (or other synonyms, such as “Vedretta”), the only exceptions being where “Ghiacciaio” or “Vedretta” were followed by a qualificative adjective (e.g.: Vedretta Rossa or Vedretta Lunga /Langenferner). When the location name included a specific geographic or morphologic indication (e.g.: Passo, Cima, Pizzo, Lago, etc..) we maintained this value at the head of the glacier name (e.g.: Cima di Forame, Passo d’Amola).

The indication of the cardinal directions was fully reported and we preferred to use the name (Nord, Sud-Ovest, etc..) instead of the adjective (Occidentale, Meridionale, etc.); the only exception being where the adjective referred to another name (e.g.: in the case of a mountain peak, such as Levanna Orientale). Particular attention was given to attributing the correct name after glacier fragmentation. In these cases, we considered as newly formed all the glaciers derived from clear and unambiguous fragmentation, detectable at the year of the inventory survey (i.e.: on the analysed orthophoto) and exceeding the chosen area threshold of 0.01 km². In some cases, the fragmentation has occurred only very recently (after the acqui-



Ghiacciaio di Galambra (codice CGI 26) nel Gruppo del Moncenisio in una cartolina del 1954 (foto Bogliaccino, Archivio SMI)
Galambra Glacier (CGI code 26) in the Moncenisio mountain group from a 1954 postcard (photo Bogliaccino, courtesy Archive SMI)



Ghiacciaio di Galambra (codice CGI 26) nel gruppo del Moncenisio, attualmente estinto (foto M. Tron, 2009)
Galambra Glacier (CGI code 26) in the Moncenisio mountain group, at the moment extinct (photo courtesy M. Tron, 2009)

sition of the orthophotos we analysed), so we could not report the derived glaciers as new independent ice bodies, and we only reported the occurrence of a fragmentation, the date and the source of such information in the “**Note**” field (e.g.: Lys and Lex Blanche glaciers, which on the orthophotos still appeared as a whole glacier body, though in very recent times both experienced the detachment of part of their tongues).

As regards the name to be assigned to the newly formed glaciers, we mainly referred to the name reported in already published regional or local inventories, if any. When no name was already assigned to the newly formed glacier, we indicated it by adding to the name of the main fragmented glacier an adjective stating the location of the fragment (Est, Centrale, Inferiore, etc.); in other cases we maintained the name of the main fragmented glacier adding a cardinal number (I, II, etc.) ranging from the largest to the smallest remnant ice bodies, or following an orographic or a hydrologic sequence. These criteria have also been applied to new glaciers; we considered actual new glaciers the ones without any previous survey in the older records (CGI inventory and WGI), generally due to heavy snow or debris coverage which made them undetectable by past surveyors.

Another case is glacier fusion. We decided to indicate as a single glacier some the ice bodies which were part of the same system from a morphological and/or a dynamic point of view. The most well known cases are the ones of the Belvedere and Adamello glaciers. These glaciers appeared in the past inventories as fragmented, into 6 (Adamello) and 3 (Belvedere) ice bodies. In the New Italian Glacier Inventory we reported them as two complex glaciers (Adamello and Belvedere, in Lombardy and Piedmont, respectively).

In Alto Adige we maintained both the Italian

and the German name (as it was applied in the CGI inventory). In several cases inconsistencies were found among the names (Italian and/or German) reported in the CGI inventory and the ones listed in the Bolzano Autonomous Province (PAB) glacier inventory; in fact, in this regional data base the same name was applied to both the main glacier and to the ones derived from fragmentation. In these cases we preferred to list all the Italian and German names (from the PAB inventory and from the CGI inventory as well) in the “**Note**” and/or “**Nome**” field. In this way, for each glacier we gave the most complete information, even if more details also meant greater complexity in consulting the new glacier data base. In short, in the “**Note**” field we reported fragmentation and/or fusion, if any, and the date of the survey or the source of this information, to permit a univocal identification of each glacier and the most accurate reconstruction of its evolution.

2) Glacier code

We included the **ID code** reported in the CGI inventory with only a few changes based on indications reported in already-published regional or local inventories.

In the case of glaciers newly formed due to fragmentation phenomena and without previous inclusion in the CGI data base, we assigned an ID code based on the CGI inventory code for the main fragmented glacier, adding at the end a dot and an ordinal number (e.g.: .1, .2, etc.). To assign the ordinal number we followed a sequence based on the orography or the hydrology, or the size of the ice body. Furthermore in our new inventory we analysed glaciers sorting them according to seven regions which we have identified through their political-administrative boundaries. This choice has driven some differences in the glacier code with

respect to the CGI inventory, which instead sorted glaciers with respect to mountain group and catchment.

3) Glacier WGI Code

We applied the WGI official code based on an alphanumeric ID with 12 elements. In the case of glaciers without previous inclusion in the WGI (due to fragmentation or no identification in the past) we made the field **WGI code** empty.

4) Glacier Coordinates

We entered the mean glacier coordinates (considering the centre of the polygon we developed in the GIS by mapping the glacier boundary) referred to the WGS 84 datum. The coordinates were reported as degrees, minutes, seconds (e.g.: xx°xx'xx"N e yy°yy'yy"E).

5) Mountain Group

Each glacier was assigned to the nesting **mountain group** by applying the SOIUSA (International Standardized Mountain Subdivision of the Alps) classification and only small changes were applied. In particular the following SOIUSA information was reported (Marazzi, 2005): Mountain groups higher level: Section – Sub section- Supergroup (and/or Group).

Following the vertical sequence of glaciers into the data base, the ice bodies are grouped in traditional mountain sectors, which in some cases are not completely equivalent to the SOIUSA Sub-Section.

6) Mountain catchment

We also reported for each glacier the main nesting **mountain catchment**. We also added 2 or 3 minor basins as in the CGI inventory. Only for certain glaciers, which are nested by two different main catchments or which give their meltwater to two different basins (e.g.: Adamel-

lo Glacier), we reported both main drainage basins in the new data base.

7) Glacier type

We sorted the surveyed glaciers according to three main glacier types, according to previous classifications applied in the international glacier data base, e.g.: WGI, GLIMS, IHP-IACS, ESIG and in national ones (SGL and SAT), as well (for further details, see Müller & Scherler, 1977; SGL, 1992; Rau et al., 2005; WGMS, 2012; Kargel et al., 2014):

i) valley glacier: an ice body featuring an accumulation basin from which originates an ablation tongue flowing downward between the walls of the valley. This tongue needs to be clearly shaped and evident from a geomorphological point of view. A “simple valley glacier” is an ice body showing only one accumulation basin and then a single ablation tongue; a “complex valley glacier” is a glacier with a tongue derived from the confluence of two or more minor tongues which originate from different accumulation basins; **ii) mountain glacier:** a glacier without an ablation tongue. It can range in size from the smallest to the widest ones. It mainly depends on the morphological features of the nesting mountain slope (thus giving a cirque glacier, a niche glacier, an ice cap, an avalanching glacier, etc.); **iii) glacieret:** the available international literature indicates with this term a small ice body of unclear shape and morphology, sometime nested by a cirque, with slow or absent ice flow. To be identified as a glacieret, the ice body should persist for at least two consecutive years. This glacier type can originate at the beginning of a positive glacier phase (i.e.: whenever glaciers are advancing) or it may develop in the final part of a glacier’s life, before its extinction. In our New Glacier Inventory we attributed this glacier type to all the ice bodies featuring a surface area less than 0.05

km². In the case of glaciers ranging between 0.09 and 0.05 km² to attribute this type we also considered other features (e.g.: glacier morphology or data from literature, see also Rau et al., 2005).

8) Area (km²)

For each glacier surveyed we have reported, in km² and approximated to two decimals, the **area** value we have computed on the basis of the most recent data source. The area data were entered in the new data base only if they exceeded the threshold of 0.01 km². This is a threshold value suggested by the international literature dealing with glacier inventories (Paul et al., 2004; Rau et al., 2005). When the glacier area was spread over two different political-administrative regions, we reported the two distinct values and in the “**Note**” field we explained the particular status.

9) Survey date

We reported the year of the survey (i.e.: the date of acquisition of the orthophoto, the satellite image, or the main data source analysed).

10) Area from CGI inventory (km²)

We entered in the new data base the area value (in km²) reported in the CGI inventory (1959-1962). In case of glacier fragmentation, the CGI area value was attributed to the main glacier body and no data were entered in the derived glacier fragments.

The occurrence of such cases was explained and detailed in the “**Note**” field. When a glacier was labelled as extinct in the CGI inventory but is now recognized and inventoried, we entered the new area value in the glacier’s “**Area**” field and we maintained the “**Area CGI**” field empty. In the “**Note**” field we also explained this condition, stating “glacier labelled as extinct in the CGI inventory”.

11) Area from WGI (km²)

We entered in the new data base the area value (in km²) reported in the WGI. These values for the Italian glaciers are referred to data sources dating between the end of the 1970s and the

beginning of the 1980s. In case of glacier fragmentation, the WGI area value was attributed to the main glacier body and no data were entered in the derived glacier fragments. The occurrence of such cases was explained and detailed in the "Note" field.

12) Aspect

Glacier **Aspect** was reported. It was evaluated considering 45° aspect bins, thus giving 8 main classes: N; NE; E; SE; S; SO; O; NO.

13) Note

The "**Note**" field was used to list information on glacier name, occurrence of fragmentation, glacier fusion, glacier extinction, occurrence of supraglacial debris, detachment of a part of the glacier body, etc...



Ghiacciaio di Malavalle / Übeltal (875) nel gruppo Breonie Occidentali (foto G.L. Franchi, 1991)
Malavalle / Übeltal Glacier (875) in the Breonie Occidentali mountain group (photo Courtesy G.L. Franchi, 1991)



Ghiacciaio di Malavalle / Übeltal (875) (foto G.L. Franchi, 2014)
Malavalle / Übeltal Glacier (875) (photo Courtesy G.L. Franchi, 2014)

Bibliografia References

- AJASSA R., BIANCOTTI A., BIASINI A., BRANCUCCI G., CARTON A. & SALVATORE M.C. (1997) - *Changes in the number and area of Italian Alpine glaciers between 1958 and 1989*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 20, 293-297.
- AJASSA R., BIANCOTTI A., BIASINI A., BRANCUCCI G., CAPUTO C., PUGLIESE F. & SALVATORE M.C. (1994) - *Catasto dei ghiacciai italiani: primo confronto tra i dati 1958 e 1989*. Il Quaternario, 7 (1), 497-502.
- BARONI C. (2013) - *Il Comitato Glaciologico Italiano. Oltre 100 anni di ricerche glaciologiche in una nuova banca dati*. Meteorologica, 2, 4-7.
- BELLONI S., CATASTA G. & SMIRAGLIA C. (1985) - *Problematiche e indicazioni per un nuovo catasto dei ghiacciai italiani sulla base del confronto fra il Catasto Italiano 1959-1962 e il World Glacier Inventory*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 8, 166-181.
- BROHAN P., KENNEDY J.J., HARRIS I., TETT S.F.B. & JONES P.D. (2006) - *Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850*. Journal of Geophysical Research, 111, D12106, doi:10.1029/2005JD006548.
- BRUNETTI M., MAUGERI M. & NANNI, T. (2000) - *Variations of temperature and precipitation in Italy from 1866 to 1995*. Theoretical and Applied Climatology, 65, 165-174.
- COGLEY J. G., HOCK R., RASMUSSEN L. A., ARENDT A. A., BAUDER A., BRAITHWAITE R. J., JANSSON P., KASER G., MÖLLER M., NICHOLSON L. & ZEMP M. (2011) - *Glossary of Glacier Mass Balance and Related Terms*. IHP-VII Technical Documents in Hydrology No. 86, IACS Contribution No. 2, UNESCO-IHP, Paris.
- CASTY C., WANNER H., LUTERBACHER J., ESPER J. & BÖHM R. (2005) - *Temperature and precipitation variability in the European Alps since 1500*. International Journal of Climatology, 25, 1855-1880.
- CITTERIO M., DIOLAIUTI G., SMIRAGLIA C., D'AGATA C., CARNIELLI T., STELLA G. & SILETTO G. B. (2007) - *The fluctuations of Italian glaciers during the last century: a contribution to knowledge about Alpine glacier changes*. Geografiska Annaler, 89, A3, 164-182.
- COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO – CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE (1959) - *Catasto dei Ghiacciai Italiani, Anno Geofisico Internazionale 1957-1958. Elenco generale e bibliografia dei ghiacciai italiani*. Comitato Glaciologico Italiano, Torino, v. 1, 172 pp.
- COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO – CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE (1961a) - *Catasto dei Ghiacciai Italiani, Anno Geofisico Internazionale 1957-1958. Ghiacciai del Piemonte*. Comitato Glaciologico Italiano, Torino, v. 2, 324 pp.
- COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO – CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE (1961b) - *Catasto dei Ghiacciai Italiani, Anno Geofisico Internazionale 1957-1958. Ghiacciai della Lombardia e dell'Ortles-Cevedale*. Comitato Glaciologico Italiano, Torino, v. 3, 389 pp.
- COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO – CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE (1962) - *Catasto dei Ghiacciai Italiani, Anno Geofisico Internazionale 1957-1958. Ghiacciai delle Tre Venezie (escluso Ortles-Cevedale) e dell'Appennino*. Comitato Glaciologico Italiano, Torino, v. 4, 309 pp.
- COMITATO GLACIOLOGICO TRENTO (1994) - *I ghiacciai del Parco Naturale Adamello-Brenta. Parco Adamello-Brenta*, Nuova Stampa Rapida, Trento, 127 pp.
- D'AGATA C., BOCCHIOLA D., MARAGNO D., SMIRAGLIA C. & DIOLAIUTI G. (2014) - *Glacier shrinkage driven by climate change in the Ortles-Cevedale group (Stelvio National Park, Lombardy, Italian Alps) during half a century (1954-2007)*. Theoretical Applied Climatology, 116 (1-2), 169-190.
- DIOLAIUTI G., MARAGNO D., D'AGATA C., SMIRAGLIA C. & BOCCHIOLA D. (2011) - *A contribution to the knowledge of the last fifty years of Alpine glacier history: the 1954-2003 area and geometry changes of Dosdè Piazzi glaciers (Lombardy-Alps, Italy)*. Progress in Physical Geography, 35(2), 161-182.
- DIOLAIUTI G., BOCCHIOLA D., D'AGATA C., SMIRAGLIA C. (2012a) - *Evidence of climate change impact upon glaciers' recession within the Italian alps: the case of Lombardy glaciers*. Theoretical and Applied Climatology, 109(3-4), 429-445.
- DIOLAIUTI G., BOCCHIOLA D., VAGLIASINDI M., D'AGATA C., & SMIRAGLIA C. (2012b) - *The 1975-2005 glacier changes in Aosta Valley (Italy) and the relations with climate evolution*. Progress in Physical Geography, 36 (6), 764-785.
- GARDENT M., RABATEL A., DEDIEU J.P. & DELINE P. (2014) - *Multitemporal glacier inventory of the French Alps from the late 1960s to the late 2000s*. Global and Planetary Change, 120, 24-37.
- HAEBERLI W., HOELZLE M., PAUL F. & ZEMP M. (2007) - *Integrated monitoring of mountain glaciers as key indicators of global climate change: the European Alps*. Annals of Glaciology, 46, 150-160.
- KARGEL J.S., LEONARD G.J., BISHOP M.P., KÄÄB A. & RAUP B.H. (Eds.) (2014) - *Global Land Ice Measurement from Space*. Springer, 876 pp.
- KIRKBRIDE M. (2011) - *Debris-Covered-Glaciers*. In: V. P. Singh, P. Singh & U. K. Haritashya (Eds.), "Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers", Springer, 190-192.
- KNOLL C. & KERSCHNER H. (2009). *A glacier inventory for South Tyrol, Italy, based on airborne laser scanner data*. Journal of Glaciology, 50, 46-52.
- MARAGNO D., DIOLAIUTI G., D'AGATA C., MIHALCEA C., BOCCHIOLA D., BIANCHI JANETTI E., RICCARDI A. & SMIRAGLIA C. (2009) - *New evidence from Italy (Adamello Group, Lombardy) for analysing the ongoing decline of Alpine glaciers*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 32:31-39.
- MARAZZI S. (2005) - *Atlante orografico delle Alpi. SOIUSA (Suddivisione orografica unificata del Sistema Alpino)*. Priuli & Verlucca Editori, Ivrea, 416 pp.
- MÜLLER & SCHERLER (1977) - *Instructions for the compilation and assemblage of data for a world glacier inventory*. Zurich, Temporary Technical Secretariat for World Glacier Inventory, Swiss Federal Institute of Technology.
- PANTALEO M. (1973) - *Bibliografia analitica dei ghiacciai italiani nelle pubblicazioni del C.G.I.* Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano, 21 suppl., 127 pp.
- PAUL F., HUGGEL C. & KÄÄB A. (2004) - *Combining satellite multispectral image data and a digital elevation model for mapping debris-covered glaciers*. Remote Sensing of Environment, 89, 510-518.
- PAUL F., KÄÄB A. & HAEBERLI W. (2007) - *Recent glacier changes in the Alps observed from satellite: consequences for future monitoring strategies*. Global Planetary Change, 56, 111-122.
- PAUL F., H. FREY, R. LE BRIS (2011) - *A new glacier inventory for the European Alps from Landsat TM scenes of 2003: challenges and results*. Annals of Glaciology, 52(59), 144-152.
- PAUL F, BARRY R.G., COGLEY J.G., FREY H., HAEBERLI W., OHMURA A., OMMANNEY C.S.L., RAUP B., RIVERA A. & ZEMP M. (2009) - *Recommendations for*

the compilation of glacier inventory data from digital sources. *Annals of Glaciology*, 50 (53), 119–126.

PAUL F., ARNAUD Y., RANZI R. & ROTT H. (2014) - *European Alps*. In: Kargel J.S., Leonard G.J., Kääb A. & Raup B. H. (Eds.), "Global Land Ice Measurement from Space", Springer, 439-460.

PFEFFER W.T., ARENDT A.A., BLISS A., BOLCH T., COGLEY J.G., GARDNER A.S., HAGEN J.O., HOCK R., KASER G., KIENHOLZ C., MILES E.S., MOHOLDT G., MÖLG N., PAUL F., RADIC´ V., RASTNER P., RAUP B.H., RICH J., SHARP M.J., THE RANDOLPH CONSORTIUM (2014) - *The Randolph Glacier Inventory: a globally complete inventory of glaciers*. *Journal of Glaciology*, 60 (221), 537-552.

PORRO C. (1925) - *Elenco dei Ghiacciai Italiani*. Parma, Ufficio Idrografico del Po, 61 pp.

PORRO C. & LABUS P. (1927) - *Atlante dei Ghiacciai Italiani*. Firenze, Istituto Geografico Militare.

RAU F., MAUZ F., VOGT S., KHALSA S. J. S. & RAUP B. (2005) - *Illustrated GLIMS Glacier Classification Manual. Glacier Classification Guidance for the GLIMS Glacier Inventory*. Regional Center 18 "Antarctic Peninsula", 36 pp.

SECCHIERI F. (2012) - *I ghiacciai delle Dolomiti*. La Galiverna, Battaglia Terme, 222 pp.

SERANDREI-BARBERO R. & ZANON G. (1993) - *The Italian Alps*. In: Williams R.S. & Ferrigno J.G. (Eds.), "Satellite Image Atlas of Glaciers of the World – Europe", USGS Professional Paper 1386-E, Washington D.C.

SERVIZIO GLACIOLOGICO LOMBARDO (1992). *Ghiacciai in Lombardia*. Bergamo, Bolis, 368 pp

SINGH V.P., SINGH P. & HARITASYA U.K. (Eds.) (2011) - *Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers*. Springer, 1254 pp.

SMIRAGLIA C. (2008) - *I ghiacciai*. In: Grillotti Di Giacomo M. G. (a cura di) "Atlante Tematico delle Acque d'Italia", FEDERBIM, Brigati, Genova, 35-42

SMIRAGLIA C. (2013) - *Il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani. Finalità, metodologie, problemi e primi risultati*. *Meteorologica*, 2, 8-11.

SMIRAGLIA C. & DIOLAIUTI G. (2011) - *Epiglacial Morphologies*. In: V. P. Singh, P. Singh & U. K. Haritashya (Eds.), "Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers", Springer, 262-268.

VÖGTLE T & SCHILLING KJ (1999) - *Digitizing Maps*. In: Bähr HP, Vögtle T (Eds.), "GIS for Environmental Monitoring". Schweizerbart, Stuttgart, 201–216.

WGMS (1989) - *World Glacier Inventory. Status 1988*. Haeberli W., Bosch H., Scherler K., Ostrem G., Wallen C.C. (eds.), IAHS-UNEP-UNESCO.

WGMS (2012) - *Fluctuations of Glaciers 2005–2010*. Volume X. Zemp M., Frey H., Gärtner-Roer I., Nussbaumer S.U., Hoelzle M., Paul F. & Haeberli W. (eds.), ICSU(WDS)/IUGG(IACS)/UNEP/UNESCO/WMO, World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland, 336 pp.

ZEMP M., PAUL F., HOELZLE M. & HAEBERLI W. (2008) - *Glacier fluctuations in the European Alps, 1850–2000: an overview and a spatiotemporal analysis of available data*. In: Orlove B., Wiegandt E. & Luckman B.H. (Eds.), "Darkening peaks: Glacier retreat, science, and society". Berkeley, CA, University of California Press, 152–167.