

LO STATO ATTUALE DEI GHIACCIAI ITALIANI E LA LORO RECENTE EVOLUZIONE RISULTATI DI UN NUOVO INVENTARIO

CLAUDIO SMIRAGLIA (*) e GUGLIELMINA ADELE DIOLAIUTI (**), *et al.*#

Nota presentata dal m.e. Giuseppe Orombelli
(Adunanza del 4 febbraio 2016)

SUNTO. – I ghiacciai montani rappresentano non solo un'importante risorsa idrica e paesaggistica, ma con la loro recente evoluzione sono divenuti presso l'opinione pubblica la testimonianza più evidente dei cambiamenti climatici in atto. Uno strumento fondamentale per descrivere e gestire l'ambiente glacializzato di alta montagna e per valutarne le trasformazioni è sicuramente la preparazione di un inventario o catasto dei ghiacciai esistenti che ne quantifichi caratteristiche ed evoluzione. Il nostro Paese ha una grande tradizione in questo settore. Fu infatti il primo a dotarsi alla metà del secolo scorso di un inventario dei ghiacciai, prodotto dal Comitato Glaciologico Italiano e del CNR, che evidenziò una superficie glaciale di circa 530 km². Un recente progetto, coordinato dall'Università Statale di Milano, con il supporto di enti privati e la collaborazione del Comitato EvK2CNR e del Comitato Glaciologico Italiano, ha portato alla preparazione del Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani, un atlante nazionale prodotto sulla base dell'analisi di ortofoto a colori ad alta definizione acquisite nel periodo 2005-2011. Nel Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani vengono descritti 903 ghiacciai estesi complessivamente su un'area di 370 km². La maggior parte della superficie glaciale è localizzata in Valle d'Aosta (36.15% del totale), in Lombardia e in Alto Adige. L'84% dei ghiacciai (per numero) è rappresentato da apparati di

(*) già Università Statale di Milano, Milano, Italia.

E-mail: claudio.smiraglia@unimi.it

(**) Università Statale di Milano, Dipartimento di Scienze e Politiche Ambientali, Milano, Italia. E-mail: guglielmina.diolaiuti@unimi.it

(#) La nota è il risultato di un lavoro di ricerca condotto in collaborazione con: Roberto Sergio Azzoni, Carlo D'Agata, Davide Fugazza, Antonella Senese, Davide Maragno.

dimensioni minori di 0.5 km² che insieme coprono il 21% della superficie totale. Ghiacciai più estesi di 1 km² sono solo il 9.4% del numero complessivo, ma coprono il 67.8% dell'area glaciale nazionale. Un confronto tra i dati riportati nel Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani e quanto pubblicato nel Catasto CGI-CNR (1959-1962) indica una riduzione della superficie glaciale nazionale del 30%; se si considera il Catasto Glaciale Internazionale (World Glacier Inventory o WGI), pubblicato alla fine degli anni '80 e che descrive 1381 ghiacciai estesi su un'area di 609 km², ne risulta una perdita di 478 apparati ed una contrazione areale di 239 km² (-39%). Questa riduzione ha portato a importanti e rapide modifiche del paesaggio dell'alta montagna, in particolare alla frammentazione dei ghiacciai, all'incremento delle aree scoperte dal ghiaccio, alla formazione di numerosi laghi proglaciali, allo sviluppo della vegetazione pioniera.

ABSTRACT. – Mountain glaciers represent an important hydrological and touristic resource, and their recent evolution provides a dramatic evidence of climate change for the general public. Glacier inventories, quantifying glacier characteristics and evolution, are an important tool to describe and manage high mountain glacier environments and Italy has developed a long tradition in this sector. Our country was the first to provide itself with a glacier inventory, compiled by Comitato Glaciologico Italiano and CNR, showing a glacier surface of 530 km². A recent project, coordinated by Università Statale di Milano with the support of private bodies and the cooperation of Comitato EvK2CNR and Comitato Glaciologico Italiano, led to the development of the new Italian Glacier Inventory, a national atlas produced from the analysis of color orthophotos at high resolution acquired between 2005 and 2011. The New Italian Glacier Inventory lists 903 glaciers, covering an area of 370 km². The largest part of glacier area is located in Val d'Aosta (36.15% of the total), followed by Lombardia and South Tyrol. 84% of glaciers (considering the number of glaciers) have an area lower than 0.5 km² and jointly account for 21% of the total glacier surface. Glaciers larger than 1 Km² make up 9.4% of the total number, but cover 67.8% of the total glacier area. The comparison between data from the New Italian Glacier Inventory and the CGI-CNR inventory (1959-1962) shows a 30% reduction in glacier area in Italy; considering instead the World Glacier Inventory or WGI, published at the end of the '80s, which reported 1381 glaciers and an area of 609 km², glacier loss sums up to 478 glaciers and an area of 239 km² (-39%). This shrinkage has led to rapid and significant changes to high mountain landscapes, notably glacier fragmentation, an increase in deglaciated areas, the formation of proglacial lakes and the development of pioneer vegetation.

LO STUDIO DEI GHIACCIAI ALPINI

I ghiacciai non polari (“locali” o *mountain glacier*) costituiscono una ridottissima parte della criosfera terrestre. La quasi totalità di superficie e volume del ghiaccio terrestre è infatti concentrata nelle gigantesche calotte polari, in particolare in Antartide, che copre oltre

l'89% del volume globale [1, 2]. I ghiacciai situati sulle catene montuose raccolgono meno dell'1% del volume del ghiaccio terrestre con una superficie di circa $0,5 \times 10^6$ km². Sulle Alpi la superficie complessiva è evidentemente molto minore (poco più di 2000 km²) [3], quindi praticamente insignificante a livello statistico rispetto alla criosfera totale. Il loro significato, e quindi anche il senso del loro studio, trascendono tuttavia le limitate dimensioni. I ghiacciai alpini nella loro evoluzione recente e in corso sono infatti entrati nella percezione comune come la più evidente ed avvertibile testimonianza dei cambiamenti climatici in atto. Le fotografie che mostrano impietosamente la riduzione e talora l'estinzione dei ghiacciai alpini con le conseguenti intense trasformazioni del paesaggio alpino, sono divenute negli ultimi anni il simbolo più diffuso nei mezzi di comunicazione degli effetti del *global change*. A questi aspetti si aggiungono tuttavia altre motivazioni importanti che spingono allo studio della criosfera. Fra queste va sottolineato che i ghiacciai alpini rappresentano anche una importante risorsa idrica ed energetica. Importante non certo a livello quantitativo (a fronte di un afflusso medio annuo per il bacino del Po di circa 77 miliardi di m³, la riserva idrica totale dei ghiacciai padani è stimabile in circa 13 milioni di m³ con un afflusso medio annuo di circa 360 milioni di m³), ma piuttosto a livello strategico. Si tratta infatti di una risorsa modesta, ma essenziale durante le estati più siccitose. A ciò si aggiungono fattori di polarizzazione turistica e paesaggistica, che fanno dei ghiacciai alpini e delle aree contermini siti di elevata frequentazione turistica e sportiva. A questo proposito va ricordato che uno dei più recenti fattori di interesse applicativo di questo tipo di studio è rappresentato dall'incremento del rischio nella frequentazione delle aree di alta montagna glacializzata o recentemente deglaciata, sia a livello strettamente alpinistico sia soprattutto a livello di escursionismo o turismo in senso generale. Nata a fine Settecento nell'Europa illuministica ad opera dei primi naturalisti come De Saussure, la scienza dei ghiacciai (glaciologia) ha seguito in duecento anni la rapidissima evoluzione delle scienze, divenendo oggi una disciplina prevalentemente quantitativa, basata su metodi e tecniche delle scienze di base come la fisica e la chimica. Al contempo tuttavia l'esigenza di nuovi paradigmi che aprano ad una lettura e ad un'analisi integrata dell'ambiente, spingono oggi al recupero nello studio dei ghiacciai di aspetti anche storici, umanistici ed economici (Figg. 1-2).



Fig. 1 – Alta montagna e ghiacciai: l'impressione idilliaca e romantica. Il Ghiacciaio dei Forni in alta Valtellina (foto C. Smiraglia, Agosto 2017).



Fig. 2 – Un'impressione più realistica del settore inferiore del ghiacciaio: il "teschio" dei Forni (foto da drone UNIMI-Levissima-Agricola 2000, 2013).

I METODI PER LO STUDIO DEI GHIACCIAI

Sulla spinta di questi elementi di interesse e soprattutto delle rapidissime trasformazioni dell'oggetto di studio, i metodi di analisi del glacialismo hanno subito una vera e propria rivoluzione metodologica e strumentale nell'arco di pochi decenni [4]. Si è infatti dapprima passati dai rilievi sistematici delle variazioni delle fronti glaciali (misure di variazione di lunghezza) alle misure di variazione di spessore (bilanci di massa) che ormai contano serie più che secolari nel primo caso e pluridecennali nel secondo. Una consapevolezza essenziale delle prime commissioni nazionali per il monitoraggio dei ghiacciai (la prima fu fondata in Svizzera

nel 1893) fu infatti l'importanza della continuità temporale delle misure. Queste tipologie di misure proseguono infatti tutt'oggi, seppur con strumenti topografici molto più sofisticati (ai primitivi teodoliti e alle bussole e bindelle si sono infatti sostituiti, o meglio aggiunti, GPS e *laser scanner*) (Fig. 3). Soprattutto si è enormemente accentuata la potenza di calcolo, che ha favorito lo sviluppo della modellistica, il tutto accompagnato dallo sviluppo degli strumenti geofisici (dalle prime prospezioni sismiche per la misura degli spessori dei ghiacciai si è passati a quelle con georadar) e anche meteorologici (con stazioni meteorologiche automatiche collocate sulla superficie dei ghiacciai (Fig. 4). La maggiore rivoluzione strumentale è forse quella legata allo sviluppo del telerilevamento, basato sulla ripresa, elaborazione e interpretazione di immagini da terra e soprattutto da aereo e da satellite, nonché recentemente anche da droni [5].



Fig. 3 – Rilievi con laser scanner presso la fronte del Ghiacciaio del Lys (Monte Rosa) (foto C. Smiraglia, 2017).



Fig. 4 – Stazione meteorologica automatica (AWS) collocata sulla superficie del Ghiacciaio dei Forni (foto C. Smiraglia, 2013).

Con queste strumentazioni è possibile ottenere da un lato informazioni quantitative sul glacialismo di aree vastissime (interi gruppi montuosi) e spesso non facilmente accessibili, dall'altro disporre di dati con altissimo dettaglio e altissima accuratezza (Fig. 5).

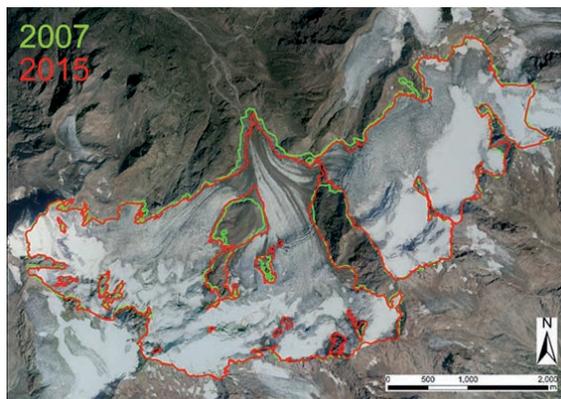


Fig. 5 – Variazioni del Ghiacciaio dei Forni fra il 2007 e il 2015
(elaborazione D. Maragno su base ortofoto 2007 Regione Lombardia:
TerraItaly-Compagnia Generale Ripresearee S.p.A.).

In Italia gli studi glaciologici iniziarono ufficialmente verso la fine dell'Ottocento con la fondazione nel 1895 della Commissione Glaciologica nell'ambito del Club Alpino Italiano che raccolse i maggiori studiosi del settore e diede il via a rilievi sistematici alle fronti di numerosi ghiacciai del versante meridionale delle Alpi. Nel 1913 la commissione si trasformò nel Comitato Glaciologico Italiano (CGI), ente che tuttora coordina questo tipo di ricerche e promuove la diffusione dei dati raccolti, con la collaborazione di numerose strutture e organizzazioni locali [6].

Uno strumento tradizionale di conoscenza glaciologica, che si è giovato dell'evoluzione scientifica e metodologica sopra accennata, è l'inventario dei ghiacciai, cioè il censimento o catasto dei corpi glaciali di un'area più o meno ampia, che può andare da un singolo gruppo montuoso, ad una regione amministrativa o ad un'intera catena montuosa, fino ad arrivare all'intero pianeta. E' chiaro che gli inventari realizzati in tempi diversi nella medesima regione, solitamente a distanza

di decenni, danno la possibilità di analizzare l'evoluzione del glacialismo di quell'area; si possono quindi valutare le variazioni numeriche e dimensionali dei singoli apparati glaciali e quindi correlare queste variazioni con i parametri meteo-climatici.

L'Italia vanta una lunga ed importante tradizione nel campo degli inventari dei ghiacciai. Sempre nell'ambito del CGI venne infatti realizzato da Carlo Porro nel 1925 uno dei primissimi censimenti a livello mondiale, basato su cartografia e rilievi di terreno; nell'occasione vennero censiti 774 ghiacciai. Una realizzazione veramente all'avanguardia per il suo tempo, sempre ad opera del CGI con il CNR, fu il Catasto dei Ghiacciai Italiani pubblicato fra il 1959 e il 1962, anch'esso realizzato su cartografia e rilievi di terreno. In quell'occasione vennero censite 835 unità glaciali (comprendendo ghiacciai in senso stretto e glacionevati, cioè piccoli apparati privi di movimento) con una superficie totale di poco più di 500 km² [6, 7] (Fig. 6).

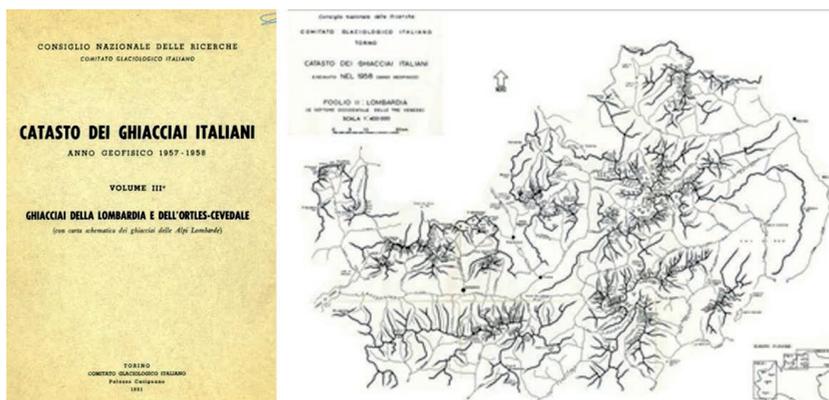


Fig. 6 – Il Catasto dei Ghiacciai Italiani del CGI-CNR. Volume delle Alpi Centrali (a sinistra copertina; a destra carta allegata con la distribuzione dei ghiacciai).

Successivamente con il coordinamento del *World Glacier Monitoring Service* (WGMS) fu realizzato il catasto internazionale dei ghiacciai (*World Glacier Inventory-WGI*, 1985 e successivi aggiornamenti anche in rete), cui per la parte italiana contribuì il CGI. La superficie totale dei ghiacciai italiani risultò di circa 600 km² con un notevole incremento numerico degli apparati. Dopo la compilazione

di numerosi inventari regionali e settoriali ad opera di vari enti e strutture locali, negli ultimi anni nell'ambito di diversi progetti sono stati predisposti degli elenchi aggiornati dei ghiacciai italiani. Fra questi il progetto internazionale GLIMS (*Global Land Ice Measurements from Space*) [1], il progetto CNR-CGI *Next Data* [8] e un progetto Università di Milano-Associazione EvK2CNR – Sanpellegrino Spa. Quest'ultimo si può considerare come un vero e proprio aggiornamento del catasto CGI degli anni '50-'60 ed è stato pubblicato nel 2015 (è liberamente consultabile e scaricabile dal sito <https://sites.unimi.it/glaciol/>) [9].

LO STATO ATTUALE DEI GHIACCIAI ITALIANI: UNA SINTESI DAL NUOVO INVENTARIO

Il nuovo catasto è stato realizzato nell'ambito del Gruppo di Glaciologia dell'Università Statale di Milano, si è avvalso della collaborazione scientifica del CGI, ha coinvolto numerose realtà regionali e provinciali dell'arco alpino, nonché i principali enti culturali esperti del settore, ed ha avuto il patrocinio del WGMS. L'obiettivo principale del lavoro, il cui interesse non è solo scientifico, ma anche culturale, divulgativo e applicato, è stato quello di fornire una quadro completo, aggiornato e quantitativo della risorsa paesaggistica rappresentata dai ghiacciai italiani (*Figg. 7-8*).

La metodologia di base per l'individuazione dei singoli ghiacciai e dei loro parametri geometrici è stata l'utilizzo, l'elaborazione e l'interpretazione in ambiente GIS di ortofoto a grande scala (1:5000) riprese fra il 2005 e il 2011, fornite cortesemente da tutte le Regioni alpine. L'accuratezza nominale delle ortofoto (pixel 0.5 m x 0.5 m) ha permesso di delimitare i perimetri dei ghiacciai con elevata precisione (errore areale medio +2%); va tuttavia tenuto conto che in alcuni casi, in particolare a causa delle frequenti coperture detritiche che stanno sempre più caratterizzando la superficie dei ghiacciai, l'errore areale può essere superiore. I ghiacciai sono stati raggruppati in base alla distribuzione regionale amministrativa (unica eccezione il Trentino-Alto Adige, dove si è tenuto conto della suddivisione provinciale). Per ogni unità glaciale sono stati inseriti quindici parametri in parte descrittivi e qualitativi (ad esempio *Nome*, *Gruppo montuoso*, *Regione amministrativa*, *Bacino idrografico*, *Tipologia*), in parte

numerici e quantitativi (come *Area in km²*, *Area CGI*, *Area WGI*). In un apposito *Annex* sono stati inseriti altri parametri quantitativi, come *Lunghezza massima*, *Altezza minima*, *Altezza massima*, *Altezza media*, *Inclinazione media*. Vengono così resi disponibili i principali parametri numerici indicati dal WGMS, la cui elaborazione ha permesso non solo di evidenziare le caratteristiche attuali del glacialismo italiano, ma anche di individuare le tendenze dell'ultimo mezzo secolo [10, 11].

A livello di sintesi l'elaborazione dei dati del catasto indica che sulle montagne italiane sono situati 903 apparati glaciali (fra ghiacciai in senso stretto e glacionevati) con una superficie complessiva di 369 km², per la quasi totalità distribuiti sulle Alpi. Le Regioni con le maggiori superfici glaciali risultano essere la Valle d'Aosta (134 km²), la Lombardia (88 km²), l'Alto Adige (85 km²) e il Trentino (46 km²), mentre la Regione alpina meno glacializzata è il Friuli (0,2 km²). Sugli Appennini sono presenti solo due piccoli glacionevati, derivanti dalla frammentazione del preesistente Ghiacciaio del Calderone sul Gran Sasso (0,04 km²) [12]. Una delle più interessanti peculiarità del glacialismo italiano è la sua distribuzione su tutti i settori della catena alpina, dalle Alpi Marittime alle Alpi Giulie, caratteristica che lo differenzia da tutti gli altri Stati alpini. A questo si affianca la ridotta dimensione dei ghiacciai; prevalgono infatti gli apparati di piccole dimensioni (<0,5 km²), mentre quelli con area maggiore di 10 km² sono solamente tre: il Ghiacciaio dei Forni in Lombardia, quello dell'Adamello in Lombardia e Trentino, quello del Miage in Valle d'Aosta, che insieme coprono oltre il 10% dell'intero glacialismo italiano (va tuttavia ricordato che negli ultimissimi anni il Ghiacciaio dei Forni si è frammentato in almeno due settori, perdendo quindi la sua struttura unitaria). Va anche sottolineato che l'84% del numero dei ghiacciai italiani si colloca nella fascia areale <0,1-0,5 km², ma nel contempo ricopre solo il 21% della superficie totale. A questa dimensione prevalentemente molto ridotta, che li rende fra l'altro molto sensibili ai mutamenti climatici anche lievi, si aggiunge la tipologia poco differenziata. I ghiacciai "vallivi", caratterizzati da una lingua ben evidente che scende anche a quote relativamente basse, sono solo il 3%, mentre vi è l'assoluta prevalenza dei ghiacciai "montani", annidati sui versanti montuosi alle quote più elevate (57%), e dei "glacionevati", piccoli corpi glaciali caratteristici della fase terminale (o embrionale) del glacialismo (40%) [9].

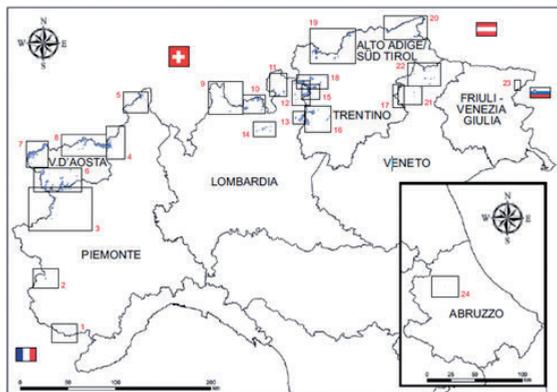


Fig. 7 – La distribuzione dei ghiacciai italiani. I riquadri e i numeri indicano i settori della suddivisione geografica utilizzata nel Nuovo Catasto [9] (elaborazione D. Maragno).



Fig. 8 – Il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani (consultabile e scaricabile dal sito <https://sites.unimi.it/glaciol/>).

COME SONO VARIATI I GHIACCIAI ITALIANI

La disponibilità di inventari multitemporali permette, come si è accennato, il confronto fra situazioni diversificate e distribuite nel tempo. Va tuttavia sottolineato che questo confronto non è agevole a livello quantitativo e spesso offre solo indicazioni di massima. Le metodologie di raccolta dati, in particolare fra il catasto CGI e il nuovo catasto, sono infatti

molto diverse e i dati presentano accuratèzze altrettanto diverse. Va ricordato infatti che per il catasto CGI i dati sono stati raccolti con misure di terreno e cartografia spesso non aggiornata, mentre per il nuovo catasto si sono utilizzate ortofoto ad alta definizione e anche immagini da satellite. La tendenza risultante appare tuttavia chiara e indiscutibile: su tutte le montagne italiane i ghiacciai dalla metà del secolo scorso sono in netta riduzione areale (complessivamente l'area è diminuita di 157 km² corrispondente a circa il 30% della superficie complessiva iniziale). Le perdite maggiori si sono avute nelle Regioni dove i ghiacciai coprivano superfici limitate, come il Friuli (-50%) e il Veneto (-48%); più contenute sono apparse le riduzioni dove i ghiacciai coprivano superfici più vaste, come la Valle d'Aosta (-26%) e la Lombardia (-24%). Se poi si mettono in relazione le superfici dei ghiacciai del catasto CGI e le rispettive variazioni areali, si osserva chiaramente come gli apparati con una superficie iniziale minore presentino la maggiore variabilità nelle variazioni (dallo 0 al 90%), mentre i ghiacciai maggiori presentano variazioni sempre meno intense (Fig. 9).

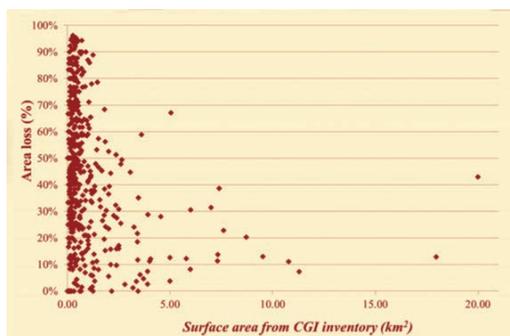


Fig. 9 – Relazione fra superficie dei ghiacciai nel catasto CGI e riduzione areale percentuale rispetto al nuovo catasto (da Smiraglia e Diolaiuti [9]).

Se il confronto viene effettuato con i dati del Catasto Internazionale (*World Glacier Inventory* o WGI), pubblicato alla fine degli anni '80 del XX secolo [13], il regresso appare ancora più intenso. Nel periodo 1965-1985 si ebbe infatti una limitata fase di espansione glaciale che secondo i dati WGI portò ad un lieve aumento nel numero e nella superficie dei ghiacciai italiani (e anche nel resto delle Alpi) rispetto alla metà del XX secolo. Nel WGI i ghiacciai elencati erano 1381 estesi su un'area di 609 km²; i risultati del nuovo catasto segnalano quindi una perdita di 478 ghiacciai e una riduzione areale di 240 km² (-39%) [9]. La tendenza che

emerge dal confronto dei dati è sicuramente molto chiara, ma sono soprattutto le modifiche del paesaggio glaciale ad evidenziare l'intensità dei fenomeni avvenuti a partire dalla metà degli anni '50 del secolo scorso in alta montagna, come risulta ben illustrato anche dai semplici e ormai classici confronti fra foto riprese in periodi diversi (*Fig. 10*).



Fig. 10 – Il Ghiacciaio di Moncorvè nel gruppo del Gran Paradiso (Valle d'Aosta) in una cartolina viaggiata nel 1920 (Archivio Società Meteorologica Italiana) a sinistra; lo stesso ghiacciaio nel 2014 (foto Società Meteorologica Italiana) a destra.

Spicca soprattutto la frammentazione, rapida più di quanto prevedibile, dei ghiacciai preesistenti in più corpi minori, con l'apparentemente paradossale risultato di ampliare, almeno per il momento, il numero totale dei ghiacciai (da 835 a 903). Ben conosciuti, fra gli altri, sono i casi di ghiacciai, spesso vallivi, o anche di minori dimensioni, come la Lex Blanche e la Brenva sul Monte Bianco, il Lys sul Monte Rosa, il Ventina e il Fellaria Orientale sul Bernina-Disgrazia, i Forni e il Careser sull'Ortles-Cevedale, il Pisgana Occidentale in Adamello, il Malavalle nelle Breonie, e anche il minuscolo Calderone in Appennino, frammentatisi dall'inizio del Duemila in due o più tronconi (*Figg. 11-13*) [14, 15].



Fig. 11 – Il Ghiacciaio di Fellaria Orientale nel gruppo del Bernina con il settore inferiore ormai nettamente staccato dal corpo principale (foto R. Scotti, 2013).

Questo fenomeno è dovuto alla riduzione dello spessore delle colate glaciali, derivante a sua volta dal bilancio negativo che si è instaurato negli ultimi decenni fra alimentazione nevosa invernale e ablazione estiva (in massima parte fusione). Sulla superficie dei ghiacciai, nei settori più ripidi, si scoprono “finestre” rocciose che nell’arco di pochi anni aumentano la loro estensione fino a separare in più tronconi il ghiacciaio precedentemente unitario. A questo si uniscono la riduzione di lunghezza delle lingue glaciali, il collasso delle zone frontali dove si aprono crepacci, caverne e fratture, la formazione di laghi di contatto glaciale (*Fig. 12*), fenomeno ormai diffusissimo di classica retroazione, che con l’effetto meccanico e termico dell’acqua a contatto con il ghiaccio provoca un’intensa accelerazione del regresso. Altro fenomeno diffusissimo, con effetto contrario almeno nella fase iniziale, è l’incremento della copertura detritica superficiale, derivante dal più intenso crioclastismo sulle pareti rocciose che racchiudono il ghiacciaio; se lo spessore del detrito supera un livello critico (5-10 cm), la fusione del ghiacciaio sottostante viene rallentata.



Fig. 12 – Il lago di contatto glaciale alla fronte del Ghiacciaio Pisgana Occidentale nel gruppo dell’Adamello visto da monte (foto W. Belotti, 2016).

Gli scenari futuri, creati sulla base di modelli climatici e di modelli glaciali, non lasciano molto spazio all’ottimismo sulla sopravvivenza o la ripresa di questi elementi naturali che possono veramente essere considerati il simbolo dell’alta montagna. Le ultimissime calde estati del 2016 e del 2017, dopo la caldissima estate del 2003, hanno inferto un altro duro colpo alle masse glaciali alpine e soprattutto italiane. E’ quindi molto pro-

babile che il regresso glaciale proseguirà e accelererà nei prossimi anni e decenni, fino a portare all'estinzione dei ghiacciai piccoli e medi. Per il Ghiacciaio dei Forni, ad esempio, uno dei più grandi ghiacciai italiani, da alcuni anni già frammentato in tre spezzoni, il volume complessivo potrebbe ridursi entro fine secolo al 5-0% di quello attuale [16]. La catena alpina, i cui grandiosi paesaggi sono già molto mutati nei periodi più recenti, si sta dunque avviando ad assumere un aspetto quasi totalmente privo di masse glaciali, molto diverso da quello che conoscevamo fino a mezzo secolo fa (*Fig. 13*).



Fig. 13 – I residui del Ghiacciaio del Calderone sul Gran Sasso in Appennino (foto R. Tonelli, 2005).

RINGRAZIAMENTI

Il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani è stato ideato e realizzato nel laboratorio Fotogeologia e Remote Sensing dell'Università degli Studi di Milano nell'ambito di un progetto di ricerca sostenuto da Sanpellegrino SPA e di una convenzione di collaborazione scientifica tra UNIMI, Associazione EvK2CNR e Sanpellegrino SPA. Il Comitato Glaciologico Italiano ed esperti delle amministrazioni di numerose regioni alpine italiane hanno partecipato alla fase di validazione dei dati raccolti e hanno fornito supporto scientifico e materiale iconografico (fotografie) pubblicato nel volume.

BIBLIOGRAFIA

- [1] J.S. Kargel, A.B.G. Bush, J.G. Cogley, G.J. Leonard, B.H. Raup, C. Smiraglia, M. Pecci and R. Ranzi, *A world of changing glaciers: Summary and climatic context*, in J. S. Kargel et al. (eds.), *Global Land Ice Measurements from Space*, Springer Praxis Books, DOI: 10.1007/978-3-540-79818-7_33, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2014.
- [2] M. Zemp (editor), *Global Glacier Changes: Facts and Figures*, UNEP-WORLD GLACIER MONITORING SERVICE, 2008.
- [3] F. Paul, H. Frey and R. Le Bris, *A new glacier inventory for the European Alps from Landsat TM scenes of 2003: challenges and results*, *Annals of Glaciology*, **52** 59 (2011).
- [4] C. Smiraglia, *Some considerations from recent footprints of the cryospheric sciences to the forthcoming steps*, in E. Wuillermoz, R. Toffolon and A. Cortinovis editors, *Proceedings International Conference on Mountains and Climate Change "High Summit"*, Lecco, CNR, Roma, 2014.
- [5] D. Fugazza, A. Senese, R. Azzoni, C. Smiraglia, M. Cernuschi, D. Severi, G. Diolaiuti, *High resolution mapping of glacier surface features. The UAV survey of the Forni Glacier (Stelvio National Park, Italy)*, *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, **38**, 25-33 (2015).
- [6] www.glaciologia.it
- [7] Comitato Glaciologico Italiano – Consiglio Nazionale delle Ricerche, *Catasto dei Ghiacciai Italiani*, Torino, I-II-III-IV (1959-1962).
- [8] M.C. Salvatore, T. Zanoner, C. Baroni, A. Carton, F.A. Banchieri, C. Viani, M. Giardino and L. Perotti, *The state of Italian glaciers: a snapshot of the 2006-2007 hydrological period*, *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, **38**, 175-198 (2015).
- [9] C. Smiraglia e G.A. Diolaiuti (a cura di), *Il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani*, Bergamo, Ev-K2-CNR, 2015, p. 400.
- [10] C. Smiraglia, R.S. Azzoni, C. D'Agata, D. Maragno, D. Fugazza and G. Diolaiuti, *The evolution of the Italian glaciers from the previous data base to the New Italian Inventory. Preliminary considerations and results*, *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, **38** (2015), 79-87.
- [11] C. Smiraglia, R.S. Azzoni, C. D'Agata, D. Maragno, D. Fugazza and G. Diolaiuti, *The New Italian Glacier Inventory: a didactic tool for a better knowledge of the Alpine natural environment*, *Journal of Research and Didactics in Geography*, **1**, 4 (2015).
- [12] M. Pecci, C. D'Agata, C. Smiraglia, *Ghiacciaio del Calderone (Apennines, Italy): the mass balance of a shrinking mediterranean glacier*, *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, **31** (2008), 55-62.
- [13] W. Haeberli, H. Bösch, K. Scherler, G. Østrem and C.C. Wallèn (editors), *World Glacier Inventory - Status 1988*, AHS-UNEP-UNESCO, 1989.
- [14] C. Smiraglia e G. Diolaiuti, *L'evoluzione del paesaggio glaciale dell'alta montagna alpina*, in G. SCANU (a cura di), *Paesaggi, Ambienti, Culture, Economie*, Bologna, Patron, 2013, 417-426.

- [15] L. Mercalli, D. Cat Berro, G. Mortara e C. Smiraglia, *Effetti dei Cambiamenti Climatici sui Ghiacciai*, In S. Castellari e V. Artale (a cura di), *I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti*, Bologna, Bonomia Press, 2009, pp. 221-239.
- [16] R. Garavaglia, A. Marzorati, G. Confortola, D. Bocchiola, G. Cola, E. Manzata, A. Senese, C. Smiraglia e G. Diolaiuti, *Evoluzione del Ghiacciaio dei Forni. La possibile evoluzione del più grande ghiacciaio vallivo italiano attraverso approcci modellistici monodimensionali*, *iNeve e Valanghe*, 4 (2014), 60-67.