



**CLUB ALPINO ITALIANO**

# **IL BOLLETTINO**

**COMITATO SCIENTIFICO CENTRALE  
PERIODICO DI DIVULGAZIONE SCIENTIFICA**

**APRILE 2021**





# Continua inarrestabile il regresso dei ghiacciai italiani e alpini

## Le evidenze dei recenti catasti

di Claudio Smiraglia<sup>(1)(2)(3)</sup>, Davide Fugazza<sup>(1)(2)</sup>, Guglielmina Diolaiuti<sup>(1)(2)(4)</sup>

(1) Università degli Studi di Milano - Dipartimento di Scienze e Politiche dell'Ambiente

(2) Comitato Glaciologico Italiano

(3) Club Alpino Italiano - Sezione di Corsico

(4) Club Alpino Italiano - Sezione di Bormio

**Riassunto:** I ghiacciai, in particolare quelli alpini, rappresentano uno degli indicatori più evidenti dei cambiamenti climatici in corso. È quindi importante disporre di dati aggiornati multitemporali che permettano di verificarne le variazioni, soprattutto areali. Per quanto riguarda le montagne italiane nel 2015 è stato pubblicato il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani, basato su foto aeree ad alta risoluzione 2005-2011. Nel catasto vengono identificati 903 ghiacciai con una superficie totale di 368 km<sup>2</sup>. Il confronto con il precedente catasto del Comitato Glaciologico Italiano del 1959-1962 indica una riduzione areale di circa il 30%. Per le Alpi nel 2020 sono stati resi noti i risultati di un progetto internazionale che aveva l'obiettivo di individuare tutti i ghiacciai di questa catena montuosa. Sulla base di immagini da satellite *Sentinel-2* del 2015-2016, sono stati identificati 4395 ghiacciai per un'area totale di 1806 km<sup>2</sup>. Rispetto al precedente catasto alpino del 2003, si registra una riduzione areale del 14%; per le Alpi Italiane la superficie risulta essere di 325 km<sup>2</sup> con una riduzione del 12% rispetto al Catasto 2015. Questi risultati sottolineano la continuazione della fase di regresso del glacialismo alpino, che sta provocando sensibili variazioni nel paesaggio di questa regione.

**Abstract: Glacier retreat continues unabated in Italy and the Alps: evidence from recent inventories.**

*Glaciers, particularly in the Alps, represent one of the clearest signs of recent climate change. It is therefore important to obtain updated multitemporal data allowing to study their areal variations. As for the Italian Alps, an updated inventory, the New Italian Glacier Inventory, was published in 2015. It was based on high resolution aerial photography acquired between 2005 and 2011 and reported 905 glaciers, with a total area of 368 km<sup>2</sup>. Comparison with the previous inventory compiled by CGI (Italian Glaciological Committee) in 1959-1962 reveals an area reduction of about 30%. In 2020, a new study was published concerning the Alps as a whole; the study was the result of an international project with the aim of censusing all glaciers of the mountain range. Based on satellite images acquired by Sentinel-2, 4395 glaciers were identified, covering an area of 1806 km<sup>2</sup>. Compared to the previous Alpine glacier inventory of 2003, this represents an area reduction of 14%. For the Italian Alps, the total glacier area is 325 km<sup>2</sup>, with a reduction of 12% compared to the 2015 inventory. These results point to the continuation of the retreat phase of Alpine glaciers, which is leading to significant variations in the landscape of this region.*

### GHIACCIAI E CATASTI

I ghiacciai possono essere veramente considerati una componente essenziale del paesaggio e dell'ambiente, anche della cultura e delle regioni montuose. Questi elementi della criosfera terrestre rappresentano infatti una risorsa idrica significativa per l'utilizzo agricolo, industriale, domestico, nonché una componente importante dal punto di vista economico del turismo e della produzione di energia idroelettrica. Poiché i ghiacciai sono in gran parte costituiti da ghiaccio vicino al punto di fusione, sono molto sensibili alle fluttuazioni climatiche e offrono quindi una delle più chiare evidenze dei cambiamenti climatici in corso. Che i ghiacciai siano in rapida riduzione da circa un secolo è un dato ormai acquisito non solo dalla scienza, ma anche dalla pubblica opinione. Sia le gigantesche calotte polari, che raccolgono la quasi totalità del ghiaccio terrestre (circa il 98% del volume), sia soprattutto

to i ghiacciai delle catene montuose stanno riducendo le proprie dimensioni, seppur con ritmi molto diversificati. Questo fenomeno sta provocando importanti trasformazioni dei sistemi fisici, biologici e antropici del nostro pianeta, non solo nelle regioni montuose e nelle aree circostanti, ma anche a livello globale. Ne deriva quindi la necessità a livello scientifico e a livello applicativo di avere a disposizione dati il più possibile aggiornati sulle dimensioni dei ghiacciai, in particolare sulle loro aree. Questo permette non solo di verificarne l'evoluzione, ma anche di procedere alla determinazione di altri importanti parametri glaciologici e idrologici, come il volume e il bilancio di massa (e quindi la loro riserva idrica e le sue variazioni); a questo si aggiunge la possibilità di predisporre modelli di evoluzione futura, ad esempio sul regime dei corsi d'acqua e sull'innalzamento del livello marino.

(a sinistra) - PISGANA: Il Pisgana Occidentale sull'Adamello lombardo ha ormai perso la lingua che lo caratterizzava e che lo classificava come "ghiacciaio vallivo". Il reticolo dei crepacci sottolinea le gigantesche cavità da collasso che si aprono sulla superficie delle placche di ghiaccio residue, che i laghi proglaciali sempre più estesi stanno ulteriormente erodendo. (ph. V. Belotti, 2015)

Questa esigenza ha portato alla realizzazione di inventari o catasti dei ghiacciai a livello globale e a livello regionale (catene montuose o entità politico-amministrative come Stati o Regioni).

Questi catasti si sono basati inizialmente sull'elaborazione di carte topografiche e di foto da terra e successivamente sull'analisi di foto aeree e di immagini da satellite.

Un primo catasto globale dei ghiacciai, escluse le calotte antartica e groenlandese, fu progettato durante l'Anno Geofisico Internazionale 1957-1958 e completato nei primi Anni Ottanta del secolo scorso, conosciuto come *World Glacier Inventory* (WGI); questo catasto fu validato, ampliato e pubblicato nel 1989 dal *World Glacier Monitoring Service* (WGMS), l'organismo internazionale con sede a Zurigo che si occupa della raccolta, validazione e diffusione dei dati sui ghiacciai a livello mondiale ([https://wgms.ch/downloads/wgi\\_1988\\_small.pdf](https://wgms.ch/downloads/wgi_1988_small.pdf)). L'insieme dei ghiacciai elencati nel WGI, che riguarda le piccole calotte a elevata latitudine e i ghiacciai montani, copre una superficie di circa 550.00 km<sup>2</sup>, di cui le Alpi coprono 2909 km<sup>2</sup>. Anche le Alpi Italiane sono presenti nel WGI attraverso il contributo del Comitato Glaciologico Italiano (CGI), l'organismo nazionale che dal 1895, dapprima nell'ambito del Club Alpino Italiano, poi in modo autonomo, cura la raccolta e la gestione dei dati sui ghiacciai.

Utilizzando prevalentemente foto aeree, vengono individuati 1381 apparati glaciali con una superficie totale di 608 km<sup>2</sup>. In realtà il nostro Paese aveva già una importante tradizione nella realizzazione dei catasti glaciali; a metà degli Anni Venti infatti veniva pubblicato da Porro e Labus un primo elenco che comprendeva 773 ghiacciai alpini e un ghiacciaio appenninico. Fra il 1959 e il 1962 il CGI



(in alto) - MER DE GLACE 1820: Sui fianchi della Mer de Glace (Monte Bianco), che con 23 km<sup>2</sup> è il maggiore dei ghiacciai francesi, un cartello collocato un centinaio di metri più in alto rispetto alla sinuosa lingua attuale, indica il livello del 1820

(ph. A. Viani, 2018)

(in basso) - MER DE GLACE: in vista del Petit Dru e dei "calanchi" che incidono la morena destra della Piccola Età Glaciale; sul grigio del detrito che copre il ghiacciaio, spiccano i teli bianchi collocati a protezione della grotta turistica

(ph. A. Viani, 2018)



pubblicò poi un'opera in quattro volumi veramente innovativa per l'epoca, il Catasto dei Ghiacciai Italiani, che elencava 835 ghiacciai, ciascuno individuato da foto e carte, con una superficie totale di circa 525 km<sup>2</sup> (<https://www.glaciologia.it/pubblicazioni/>). Il Catasto WGI si rivelò tuttavia di difficile utilizzo in quanto non furono previste la raccolta e la divulgazione dei perimetri dei singoli ghiacciai. Fu così che nel 1995 venne lanciato un nuovo progetto denominato GLIMS (*Global Land Ice Measurements from Space*) con l'obiettivo di raccogliere mediante l'utilizzo di immagini da satellite e divulgare in formato digitale non solo i dati, ma anche i perimetri dei ghiacciai mondiali, al di fuori delle calotte polari. Il database GLIMS (<http://glims.colorado.edu:8080/glacier-data/>) nel 2014 comprendeva dati e variazioni su 117.200 ghiacciai con una superficie di 420.860 km<sup>2</sup> (per le Alpi erano descritti 5.150 ghiacciai con una superficie totale di 2.900 km<sup>2</sup>).

Lo sviluppo di progetti paralleli che sottolineavano l'esigenza di collaborazioni internazionali, l'interesse per lo studio dei ghiacciai come indicatori dei cambiamenti climatici da parte di organizzazioni internazionali, come il *World Meteorological Organization* (WMO), la disponibilità di un archivio completo di immagini da satellite, in particolare Landsat, con diversi tipi di sensori, e soprattutto l'urgenza di contribuire al rapporto 2014 dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), spinsero alla creazione di un database più completo dei ghiacciai. I componenti di numerosi gruppi di ricerca provenienti da 18 paesi si radunarono più volte negli Stati Uniti fra il 2010 e 2011 per mettere in comune i dati e le metodologie. Gli incontri avvennero nella cittadina di Randolph nel New Hampshire, che diede così nome al nuovo database, il *Randolph Glacier Inventory* (RGI), arrivato con numerosi aggiustamenti alla versione RGI 6.0 del 2017 (<http://www.glims.org/RGI/>). L'individuazione dei singoli ghiacciai, da cui ricavare contorni ed aree, si basò sull'utilizzo di immagini satellitari acquisite a partire dal 1999; si trattò fondamentalmente di varie piattaforme, in particolare *Landsat 5 TM* e *Landsat 7 ETM+*, cui si unirono immagini stereo ad alta risoluzione da *ASTER*, *IKONOS* e *SPOT 5*.

Nel Randolph database i ghiacciai elencati sono 215.547 e coprono una superficie di 705.738 km<sup>2</sup> con un errore stimato del 4,7% (sempre escludendo le calotte dell'Antartide e della Groenlandia).

Va in ogni caso sottolineato che il numero totale dei ghiacciai a livello mondiale e anche regionale è un dato alquanto arbitrario; il dettaglio della suddivisione delle regioni glacializzate in singoli apparati glaciali varia infatti da regione a regione ed è influenzato dalle metodologie e dagli strumenti utilizzati (ad esempio tipo e risoluzione di cartografia e di immagini, finalità della ricerca, risorse disponibili, scelta della soglia minima areale). Per quanto riguarda le Alpi, nel RGI in questa catena montuosa vengono elencati 3.892 ghiacciai con una superficie totale di 2.089 km<sup>2</sup>.

## IL NUOVO CATASTO DEI GHIACCIAI ITALIANI

In Italia nel frattempo alla fine degli Anni Ottanta il CGI, tramite una convenzione con il Ministero dell'Ambiente, aveva realizzato un aggiornamento del catasto dei ghiacciai sulla base delle foto aeree del "Volo Italia 1988-1989", censendo 787 ghiacciai (con superficie superiore a 0,05 km<sup>2</sup>) per una superficie totale di 474 km<sup>2</sup>. Successivamente vennero realizzati solo catasti locali o regionali e per quasi ogni Regione vennero predisposti inventari aggiornati ad opera delle amministrazioni o di varie associazioni. Fu poi nel 2015 che vennero completati due importanti progetti. Il primo, realizzato nell'ambito del CGI e del programma CNR-NEXTData, fornì un'istantanea dell'estensione dei ghiacciai italiani (387 km<sup>2</sup>), sulla base di dati ricavati da ortofotografie riprese nel 2006-2007 ([http://repo.igg.cnr.it/ghiacciaiCGI/ghiacciai\\_new.html](http://repo.igg.cnr.it/ghiacciaiCGI/ghiacciai_new.html)). Il secondo fu la preparazione del Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani (NCGI), realizzato dall'Università degli Studi di Milano nell'ambito di una collaborazione sostenuta da "Levissima" e dal Comitato EvK2CNR con il supporto scientifico del CGI. (<https://sites.unimi.it/glaciol/index.php/it/catasto-dei-ghiacciai-italiani>). Il nuovo catasto del glacialismo italiano è stato prodotto utilizzando ortofoto a colori ad alta definizione, fornite da amministrazioni regionali e locali, acquisite

Tab. 1. Distribuzione, area e variazioni dei ghiacciai italiani suddivisi per Regioni (nel testo i dati sono stati approssimati)

Regione	Ghiacciai Nuovo Catasto (n°)	Ghiacciai Catasto CGI (n°)	Area Nuovo Catasto (Km <sup>2</sup> )	Area Catasto CGI (Km <sup>2</sup> )	Variazione ghiacciai (n°)	Variazione area (Km <sup>2</sup> )	Variazione area (%)
Piemonte	107	115	28,55	55,84	-8	-27,29	-49%
Valle d'Aosta	192	204	132,90	180,91	-12	-48,01	-27%
Lombardia	230	185	87,67	108,86	45	-21,19	-19%
Trentino	115	91	30,96	50,47	24	-19,51	-39%
Alto Adige	212	206	84,58	122,66	6	-38,08	-31%
Veneto	38	26	3,21	5,70	12	-2,49	-44%
Friuli - Venezia Giulia	7	7	0,19	0,38	0	-0,19	-50%
Abruzzo	2	1	0,04	0,06	1	0,02	-33%
<b>Totale</b>	<b>903</b>	<b>835</b>	<b>368,10</b>	<b>524,88</b>	<b>68</b>	<b>-156,78</b>	<b>-30%</b>



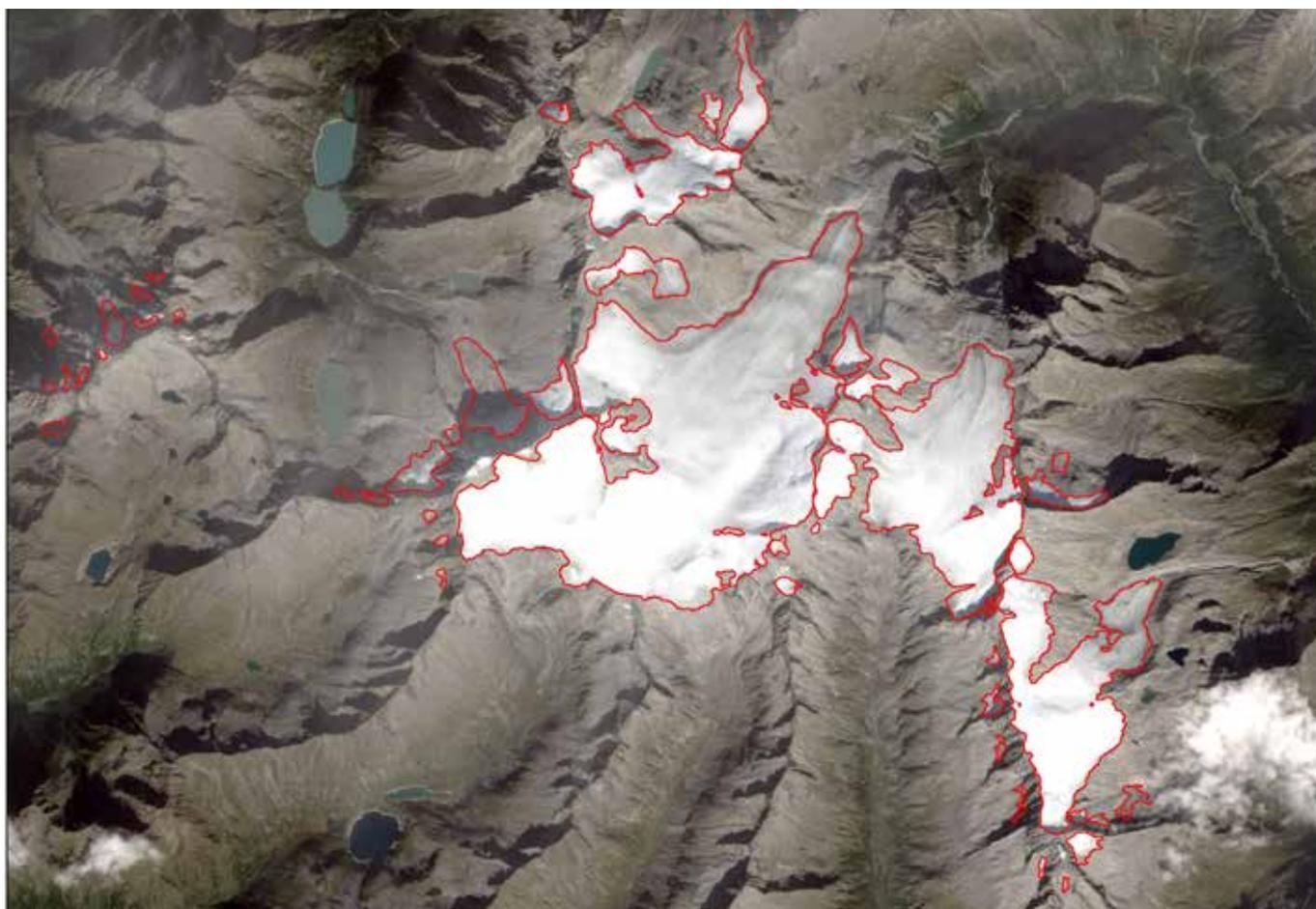
*FORNI: Il Ghiacciaio dei Forni nel settore lombardo dell'Ortles-Cevedale in un confronto fra una foto di Vittorio Sella del 1890 (qui, © Fondazione Sella - sulletraccedeighiacciai.com) e una foto del 2019 (a destra, © Fabiano Ventura sulletraccedeighiacciai.com), che evidenzia il regresso della lingua e la frammentazione recente in tre tronconi*



nel periodo 2005-2011, la cui elevata accuratezza (2 m) ha permesso di delimitare i ghiacciai con buona precisione. Il maggiore problema è stato sicuramente costituito dalla copertura detritica, che si sta espandendo sempre più sulle superfici dei ghiacciai e che, rendendo spesso difficile l'individuazione dei loro limiti, può portare a una sottostima dell'area anche del 10%. Per ridurre al minimo le imprecisioni derivanti da questo fenomeno, si sono considerate soprattutto le caratteristiche morfologiche locali, ad esempio il punto di origine dei torrenti di fusione glaciale, le morfologie superficiali concave o convesse, la presenza di falesie di ghiaccio o di laghi superficiali. Per ogni unità glaciale individuata ed inserita in un raggruppamento a livello regionale (o provinciale nel caso del Trentino e dell'Alto Adige), si sono elencati tredici parametri che evidenziano le principali caratteristiche attuali e anche quelle storiche. I parametri permettono l'identificazione univoca dell'apparato glaciale (ad esempio il nome, il codice nazionale e internazionale), la collocazione geografica (coordinate, gruppo montuoso, bacino idrografico), le caratteristiche tipologiche e morfometriche (tipologia, area, esposizione), la possibilità di confronti con i catasti precedenti (area CGI, area WGI). In un Annex, pubblicato nel 2016, si è proceduto ad una prima revisione e ad un aggiornamento, inserendo ad esempio altri parametri morfometrici, come lunghezze, quote, inclinazioni,

che rendono più completo e fruibile il database. In sintesi nel nuovo catasto vengono elencati e descritti 903 apparati glaciali (soglia minima areale 0,01 km<sup>2</sup>) con una distribuzione che interessa tutti i settori della catena alpina, dalle Marittime alle Giulie, più due piccoli corpi glaciali in Appennino nel gruppo del Gran Sasso d'Italia. La superficie complessiva risulta di 368 ± 2% km<sup>2</sup>. Prendendo in considerazione la suddivisione regionale e provinciale seguita nel Catasto, la Regione più glacializzata risulta essere la Valle d'Aosta (133 km<sup>2</sup>, 36% della superficie totale), seguita dalla Lombardia (88 km<sup>2</sup>, 24%) e dall'Alto Adige (85 km<sup>2</sup>, 23%). Meno estese sono le estensioni glaciali delle altre Regioni con i minimi in Friuli - Venezia Giulia (0,2 km<sup>2</sup>, 0,05%) e in Abruzzo (0,04 km<sup>2</sup>, 0,01%). Il numero più elevato di corpi glaciali si registra in Lombardia (230), seguita dall'Alto Adige (212), dalle Valle d'Aosta (192), dal Trentino (115) e dal Piemonte (107); molto più ridotto risulta il numero in Veneto (38), Friuli - Venezia Giulia (7) e Abruzzo (2) (tab. 1).

Le dimensioni e la tipologia dei ghiacciai italiani risultano molto differenziate: si passa infatti dal grande ghiacciaio di altopiano con lingue radiali dell'Adamello, il più esteso delle Alpi Italiane, ai vasti ghiacciai vallivi a bacini composti come i Forni e il Lys, o ai vallivi semplici come l'Osand, il Ventina, il La Mare, la Vedretta Lunga, fino ai ghiacciai montani e ai minuscoli glacionevati.



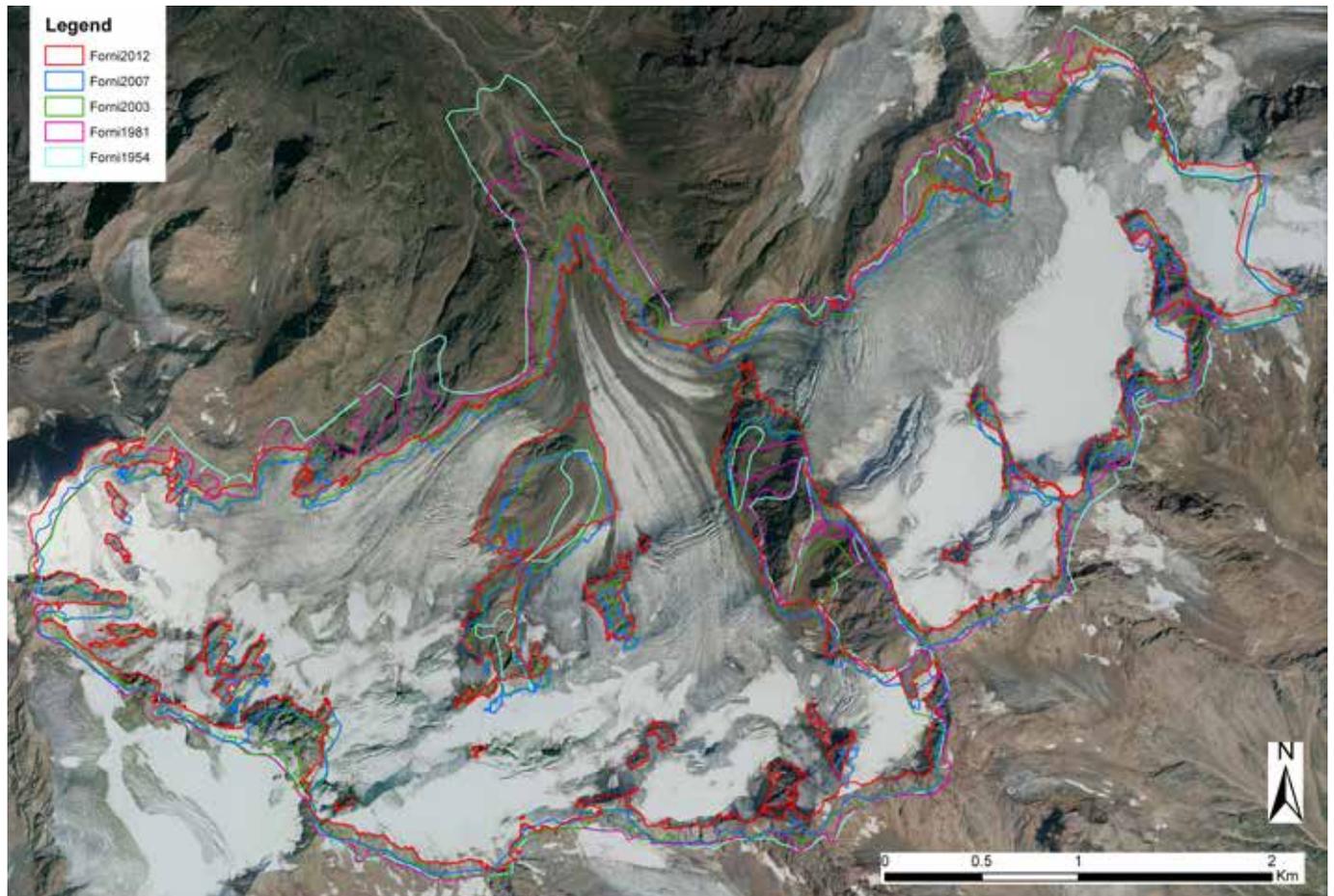
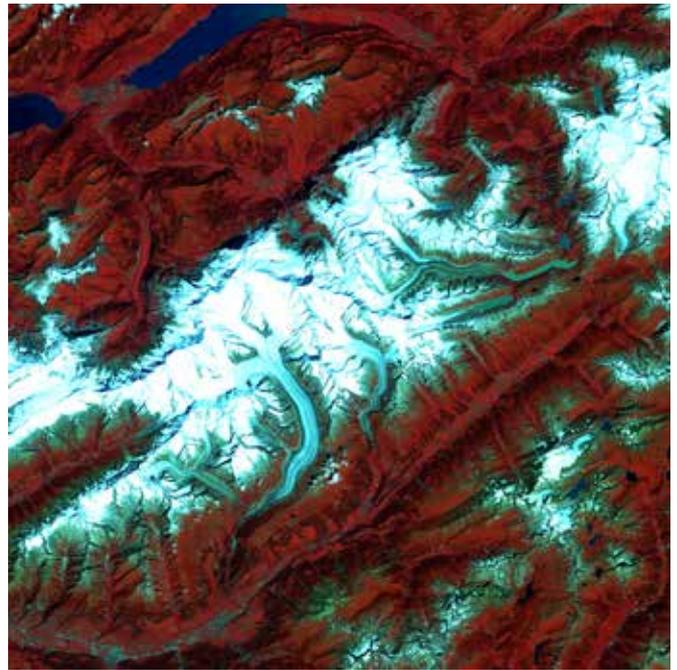
(pagina precedente in basso) - ADAMELLO: I ghiacciai del gruppo dell'Adamello fra Lombardia e Trentino in un'immagine da satellite Sentinel-2 del 2016 (elaborazione di D. Fugazza).

A Nord i ghiacciai di Pissgana, al centro il vasto altopiano del Ghiacciaio dell'Adamello, il più vasto delle Alpi Italiane, con la lingua del Mandrone che scende verso il Trentino, a SE le due colate della Lobbia e di Lares.

(a destra) - ALETSCCH: con una lunghezza di 20 km, un'area di 80 km<sup>2</sup> e uno spessore massimo di 900 m, è un ghiacciaio del tutto anomalo per l'ambiente delle Alpi. L'immagine da satellite a falsi colori evidenzia le caratteristiche himalayane del ghiacciaio, accompagnato dagli altri grandi ghiacciai delle Alpi Bernesi (Fiesch, Unteraar, Oberaar). Usando la combinazione di diverse bande spettrali è possibile ben distinguere il bacino di accumulo e il bacino di ablazione (immagine ALOS 2010 - © JAXA/ESA, 2020)

(sotto) - FORNI 1954-2012: Il Ghiacciaio dei Forni e le sue variazioni areali nell'ultimo mezzo secolo

(elaborazione di D. Maragno su base ortofoto 2007 Regione Lombardia: Terraltaly-Compagnia Generale Riprese Aeree S.p.A.)



Queste due ultime classi raccolgono per quanto riguarda il numero la maggior parte dei ghiacciai italiani: il 57% è infatti classificato come "montano" (cioè un ghiacciaio che non sviluppa una lingua valliva ed è collocato sui versanti montuosi), il 40% come "glaciovato" (cioè una piccola massa di ghiaccio caratterizzata da assenza o quasi di flusso). I ghiacciai "vallivi", caratterizzati cioè da una lingua che scende lungo

una valle, rappresentano solo il 3% del numero totale. Il glacialismo italiano si presenta quindi frammentato in un gran numero di apparati di limitata estensione: l'84% dei ghiacciai a livello di numero è rappresentato da apparati di dimensioni minori di 0,5 km<sup>2</sup> che insieme coprono il 21% della superficie totale, mentre i ghiacciai più estesi di 1 km<sup>2</sup> sono solo il 9% del numero complessivo, ma coprono il 68% dell'area glaciale nazionale.

Va sottolineato che i grandi ghiacciai, intendendo quelli con superficie superiore a 10 km<sup>2</sup>, sono solo tre: quello dei Forni in Lombardia, quello dell'Adamello in Lombardia e Trentino, quello del Miage in Valle d'Aosta. Le superfici medie regionali evidenziano chiaramente l'elemento più caratteristico del glacialismo italiano, la frammentazione in un elevato numero di apparati glaciali con una ridotta superficie: a fronte di una superficie media nazionale di 0,41 km<sup>2</sup>, si passa infatti da 0,69 km<sup>2</sup> in Valle d'Aosta a 0,08 km<sup>2</sup> in Veneto. È chiaro che questa prevalente limitata estensione unita alla frammentazione rende questi ghiacciai molto sensibili e vulnerabili alle variazioni climatiche anche di lieve entità e ne riduce l'inerzia e le potenzialità di sopravvivenza.



GRIVOLA: I ghiacciai della Grivola (al centro) e di Bellefage (a destra) in Valle d'Aosta; la loro limitata estensione (meno di 0,5 km<sup>2</sup>) li accomuna alla maggior parte dei ghiacciai italiani. A sinistra vista parziale del Ghiacciaio di Trajo (foto D. Cat Berro/SMI-[www.nimbus.it](http://www.nimbus.it), 2015)



PILATTE: Il Ghiacciaio de la Pilatte nel massiccio degli Ecrins (Alpi Francesi del Delfinato). Anche questo imponente ghiacciaio vallivo a bacini composti mostra i tipici segnali della fase di involuzione, in particolare l'emersione di "finestre" rocciose che lo stanno frammentando in più tronconi isolati e riducono l'alimentazione alla lingua valliva. (ph. C. Smiraglia, 2016)

La disponibilità di più catasti prodotti in date diverse permette di procedere a confronti multitemporali e di evidenziare tendenze a scadenza pluridecennale, che possono essere correlate alle tendenze climatiche corrispondenti. È chiaro che l'accuratezza di questi confronti è condizionata dalle diverse metodologie di raccolta dei dati e dalle diverse fonti utilizzate. Se si procede, ad esempio, a un confronto fra il Catasto del CGI del 1959-1962 con il nuovo Catasto, pur tenendo conto delle diversissime metodologie di raccolta dati (nel primo caso cartografia e rilievi di terreno, nel secondo ortofoto ad alta definizione), si osserva che in circa mezzo secolo il glacialismo italiano si è ridotto arealmente di circa il 30%. A livello regionale le variazioni risultano molto diversificate; si hanno infatti riduzioni della superficie glaciale complessiva attorno al 50% o di poco inferiore per Friuli-Venezia Giulia, Veneto e Piemonte e del 19% della Lombardia. Il numero degli apparati ha invece visto un incremento passando da 835 a 903, nonostante si siano verificate 180 estinzioni, incremento dovuto sia alla frammentazione degli apparati preesistenti sia all'inserimento nel catasto di nuovi ghiacciai prima non identificati oppure classificati estinti per i quali si sono individuate tracce di attività. È anche interessante esaminare le variazioni areali avvenute fra i due catasti tenendo conto della dimensione iniziale dei ghiacciai raggruppati per classi dimensionali; si osserva infatti che i ghiacciai con superficie ridotta (inferiore a 1 km<sup>2</sup>) presentano la maggiore variabilità (dallo 0 al 90%) della riduzione areale, mentre i ghiacciai di maggiore estensione presentano riduzioni sempre meno accentuate, con il tipico andamento non lineare decrescente, come si è riscontrato per gli altri settori delle Alpi. Se il confronto viene effettuato con il catasto più recente WGI (i dati italiani riguardano il periodo 1975-1984), la riduzione areale raggiunge quasi il 40% con l'estinzione di 478 corpi glaciali.

Va infatti ricordato che intorno al periodo 1960-1985 si verificò una limitata fase di espansione glaciale legata a una lieve riduzione delle temperature medie di circa 0,3°C rispetto al periodo 1921-1959 e a un incremento delle precipitazioni di circa il 9%. Questo determinò la formazione di numerosi piccoli ghiacciai o meglio glacionevati e l'avanzamento delle fronti dei ghiacciai di maggiori dimensioni, in particolare vallivi, che fino all'inizio degli Anni Settanta avevano visto un costante arretramento (il Ghiacciaio dei Forni e il Ghiacciaio di La Mare ad esempio sono avanzati di circa 300 m, il Ghiacciaio del Lys di circa 90 m).

Pur tenendo conto dei margini di incertezza che derivano da confronti effettuati su dati raccolti con metodologie molto diverse, il quadro che ne esce non lascia dubbi ed è confermato da quanto emerge per altri settori alpini; sulle Alpi Svizzere ad esempio il confronto dei catasti 1973 e 2010 mostra una riduzione areale del 27%, mentre sulle Alpi Francesi il confronto fra l'estensione del glacialismo



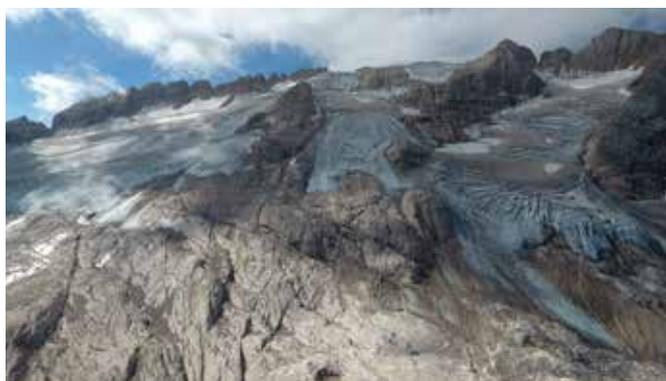
**PASTERZE:** La lingua del Ghiacciaio Pasterze, il più grande delle Alpi Austriache (18 km<sup>2</sup>) ai piedi del Grossglockner, mostra chiaramente i segni dell'attuale fase di intenso regresso: la superficie è ampiamente ricoperta dal detrito derivante dai franamenti dei versanti circostanti, i crepacci circolari segnalano imponenti collassi in corso, i piccoli laghi proglaciali accelerano l'ablazione - (ph. J. Orso, 2016)

1967-1971 e quello del 2006-2009 evidenzia una riduzione del 25%. Del resto la semplice frequentazione del paesaggio estivo delle Alpi consente di osservare il sempre più accentuato sviluppo di fenomeni sintomatici di un'intensa fase di "sofferenza" glaciale: collassi, frammentazioni, emersione di fasce rocciose, formazione di laghi di contatto glaciale, incremento della copertura detritica superficiale.

## IL NUOVO CATASTO DEI GHIACCIAI DELLE ALPI

### Metodologie

Proprio da queste osservazioni sulle rapide variazioni morfologiche e dalle misurazioni annuali delle variazioni frontali e dei bilanci di massa, che non indicano alcun rallentamento o alcuna inversione di tendenza del regresso dei ghiacciai, nonché dalla necessità di disporre di database sempre aggiornati per qualsiasi analisi o modellazione di tipo ambientale, nasce l'esigenza di progettare e realizzare nuovi catasti a breve scadenza temporale. Tenendo conto che il ritmo di riduzione areale per molte regioni glacializzate si aggira sull'1% all'anno (un valore simile si registra anche per il ghiacciai italiani confrontando i dati del WGI e del NCGI), e che quindi in un



**MARMOLADA:** Il Ghiacciaio della Marmolada, il più vasto apparato glaciale delle Dolomiti. Evidente la frammentazione in numerose placche e colate separate, la cui alimentazione nevosa è praticamente inesistente. (ph. D. Alessandrini, 2018)



**MORTERATSCH:** La fronte del Ghiacciaio Morteratsch, uno dei maggiori ghiacciai del Bernina svizzero, è ormai ben lontana dalla piana proglaciale frequentata dai turisti, dove spiccano panchine, carrozzine e cartelli di pericolo; sulla destra si scorge qualche placca di ghiaccio "morto", quasi sepolta dal detrito - (ph. C. Smiraglia, 2017)

decennio la riduzione dovrebbe aggirarsi sul 10%, sembra auspicabile un aggiornamento a scala almeno decennale dei catasti. Nasce così nel 2016 un progetto internazionale per la redazione di un nuovo catasto dei ghiacciai alpini, che ha raccolto studiosi svizzeri, francesi, austriaci, oltre che italiani. Un catasto moderno di una grande catena montuosa non può che basarsi sull'analisi di immagini da satellite, deve essere accurato, riguardare nel nostro caso l'intera catena alpina, presentare dati acquisiti in condizioni favorevoli in un unico anno. Come materiale di base si sono scelte le immagini scattate dal satellite Sentinel-2 (S2) lanciato nel 2015 dall'ESA (European Space Agency) nell'ambito del Programma Copernicus. Il satellite acquisisce immagini multispettrali in tredici bande del visibile e dell'infrarosso, l'orizzonte al suolo è di 290 km e la risoluzione arriva a 10 m. La realizzazione di un moderno catasto dei ghiacciai su una area vasta come le Alpi, per rispondere ai requisiti sopra indicati deve affrontare numerosi problemi. Sicuramente va ridotta al minimo l'estensione temporale delle immagini da elaborare; in questo caso si sono utilizzate immagini S2 acquisite durante due



**CALDERONE:** Il Calderone sul Gran Sasso d'Italia, considerato a lungo l'unico ghiacciaio degli Appennini e il più meridionale d'Europa. Attualmente è frammentato in due minuscole placche di ghiaccio, quasi sepolte dal detrito. (ph. M. Pecci, 2019)

settimane di agosto 2015, che presentavano le condizioni ideali per mappare i ghiacciai, cioè copertura di neve invernale praticamente inesistente e senza nuvole od ombre che potessero nascondere i ghiacciai. La presenza, soprattutto in Italia, di ghiacciai parzialmente coperti da nuvolosità ha tuttavia suggerito di utilizzare anche immagini, seppur in numero ridotto, del 2016 e alcune del 2017. Un periodo di acquisizione di tre anni è stato, in ogni caso, ritenuto accettabile in termini di possibili errori nel calcolo delle aree dei ghiacciai, che tenendo conto anche della risoluzione delle immagini dovrebbe variare fra il 3 e il 5%. Un altro problema è rappresentato dalla possibile disomogeneità nel calcolo dell'estensione dei ghiacciai da parte dei vari operatori. Per valutare la variabilità e l'errore che avrebbe potuto derivare nella digitalizzazione dei perimetri, si è proceduto ad una digitalizzazione multipla (quattro volte) di un gruppo preselezionato di ghiacciai a opera di tutti gli operatori e si è poi effettuato un confronto sovrapponendo i vari perimetri. Per ciascun ghiacciaio e per l'intero campione, e per ogni operatore, si sono poi calcolate la media e la deviazione standard, procedendo infine a una serie di correzioni effettuate insieme da tutti gli operatori. Un ulteriore problema è rappresentato dalla copertura detritica che caratterizza molti ghiacciai delle Alpi (*debris covered glaciers*), fra questi il più noto è sicuramente il Miage sul versante italiano del Monte Bianco, ma si può ricordare anche il Glacier Noir nel Delfinato francese. La riduzione di spessore dei ghiacciai ha provocato l'emersione di vaste zone rocciose e detritiche prive di ghiaccio, la cui erosione sta incrementando rapidamente la copertura detritica superficiale. È un fenomeno che certamente, quando il suo spessore supera qualche centimetro, permette ai grandi ghiacciai vallivi di portare le proprie lingue a quote insolitamente basse, mentre i ghiacciai più piccoli e più larghi vengono completamente nascosti. Ciò comporta che la corretta mappatura della loro estensione divenga talora una vera sfida, dove diventa importante anche la conoscenza diretta del terreno. Le metodologie di digitalizzazione multipla sopra ricordate hanno evidenziato una notevole variabilità nell'identificazione e nella mappatura dei *debris covered glaciers*, unita a un'elevata

uniformità nell'analisi dei ghiacciai con ridotta o nulla copertura detritica. Per questi ultimi (*debris free glaciers*) la delimitazione si è basata sull'utilizzo di una metodologia automatica basata sul rapporto tra bande spettrali. La mappatura automatica utilizza la riflettanza molto bassa di ghiaccio e neve nella regione dello spettro elettromagnetico dell'infrarosso ad onde corte (SWIR, *shortwave-infrared*) rispetto al visibile (VIS) o all'infrarosso vicino (NIR, *near infrared*). Ponendo una soglia limite al rapporto fra bande spettrali (ad esempio infrarosso/SWIR o visibile/SWIR) si ottiene una mappatura accurata del ghiaccio "pulito".

In sintesi, a fronte di un errore nel calcolo dell'area dei ghiacciai più piccoli o interamente ricoperti di detrito superiore al 20%, a livello generale, l'errore dovrebbe essere inferiore al 5%. Infine tutti i dati reali definitivi sono stati inseriti in un unico database, insieme a tutta una serie di dati topografici (ad esempio esposizione, quota massima e minima) derivanti dal modello digitale di elevazione (DEM, *digital elevation model*) ALOS AW3D30.

### Risultati

In totale sulle Alpi sono stati identificati 4.395 ghiacciai, con superficie maggiore di 0,01 km<sup>2</sup>, che coprono una superficie complessiva di 1806 km<sup>2</sup>, di cui rispettivamente 892 km<sup>2</sup> corrispondente al 49,4% del totale in Svizzera, 362 km<sup>2</sup> (20%) in Austria, 325 km<sup>2</sup> (18%) in Italia e 227 km<sup>2</sup> (12,6%) in Francia. La distribuzione per classi di area conferma quanto già noto, cioè che il glacialismo alpino è caratterizzato da pochi ghiacciai di grande estensione, circondati da numerosissimi piccoli ghiacciai (tab. 2).

La quasi totalità (92%) ha infatti una superficie inferiore a 1 km<sup>2</sup> e copre il 28% dell'area totale, mentre solo l'1,6% ha una superficie superiore a 5 km<sup>2</sup> e copre il 40% dell'area totale. I ghiacciai di area ancora più piccola (inferiore a 0,05 km<sup>2</sup>) sono in effetti ancora più numerosi (46%), ma coprono una ridottissima superficie (2,7%). Molti di questi ultimi in realtà molto probabilmente potrebbero essere classificati come glacionevati o placche di neve piuttosto che ghiacciai in senso stretto.

Se si prende in considerazione l'esposizione, si osserva che predominano sia come numero (60%) sia come area (60%), i ghiacciai esposti verso i quadranti

Tab. 2. Numero e area dei ghiacciai delle Alpi suddivisi per classi dimensionali

	Classe areale (Km <sup>2</sup> )											Tutte
	0,01 - 0,02	0,02 - 0,05	0,05 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 5	5 - 10	10 - 20	> 20	
Numero (n°)	966	1060	723	533	520	244	177	103	48	16	5	4.395
Numero (%)	22,0	24,1	16,5	12,1	11,8	5,6	4,0	2,3	1,1	0,4	0,1	100
Area (Km <sup>2</sup> )	13,83	34,44	51,42	75,48	163,87	168,28	249,06	319,13	322,96	211,85	195,56	1.805,9
Area (%)	0,8	1,9	2,8	4,2	9,1	9,3	13,8	17,7	17,9	11,7	10,8	100



*BRENTVA: Il Ghiacciaio della Brenva che scende direttamente dal Monte Bianco. Dal 2004 è frammentato in due tronconi, il primo affacciato su un ripido salto roccioso, il secondo, ormai fossile, scende lungo la Val Veny. (ph. A. Franchino, 2019)*



*FINDELEN: Il Ghiacciaio Findelen sul versante svizzero del Monte Rosa; l'imponente morena in destra idrografica testimonia la grande fase di espansione della Piccola Età Glaciale e l'entità del regresso dell'ultimo secolo. (ph. C. Smiraglia, 2017)*

settentrionali (NW, N, NE). Questa distribuzione delle esposizioni è caratteristica delle regioni dove la presenza delle masse glaciali è condizionata soprattutto dalla radiazione solare piuttosto che dalle precipitazioni solide. Va comunque aggiunto che una percentuale areale relativamente ampia è anche quella dei ghiacciai esposti verso SE, grazie all'Aletsch, con 80 km<sup>2</sup> il più vasto in assoluto di tutta la catena alpina, e al Fiescher (il database può essere scaricato dal sito: <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.909133>).

### **Variazioni**

Il precedente catasto dei ghiacciai dell'intera catena alpina venne realizzato da glaciologi dell'Università di Zurigo utilizzando immagini Landsat TM del 2003. Nell'occasione, tenendo conto delle incertezze dovute all'elevato numero di ghiacciai di ridottissime dimensioni non mappati, come nelle Dolomiti o nella Zugspitze, e alle aree glaciali coperte di detrito non identificate, venne stimata un'estensione totale di circa 2080-2100 km<sup>2</sup>. La riduzione rispetto al Catasto WGI, che come detto precedentemente aveva stimato un totale di circa 2900 km<sup>2</sup>, si aggira quindi sugli 800-820 km<sup>2</sup> (28-30%). Per avere un ulteriore riferimento quantitativo si può ricordare che durante la massima espansione della Piccola Età Glaciale (verso il 1850-1860), la superficie totale dei ghiacciai delle Alpi viene stimata in circa 4500 km<sup>2</sup>. Il confronto fra i dati totali del catasto del 2003 (considerando circa 2100 km<sup>2</sup>) e quello del 2015 (circa 1800 km<sup>2</sup>) indicherebbe una riduzione di circa 300 km<sup>2</sup> (14%, circa 1,2% all'anno).

Questi confronti presentano, come già osservato, diversi tipi di problemi. Il primo è certamente la diversa risoluzione delle immagini da satellite utilizzate (nel presente caso molto più elevata per le Sentinel 2). A questo si aggiunge la difficoltà, come è già stato accennato, di delimitare esattamente l'estensione del ghiaccio al di sotto della copertura detritica, che è fra l'altro in continua crescita. Anche la frammentazione delle lingue, che soprattutto sui pendii più ripidi dà origine a corpi glaciali separati, crea notevoli problemi nei confronti. Se si selezionano solo i perimetri dei ghiacciai presenti e confrontabili in entrambi i catasti (2873 in totale), si ottiene per il 2003 una superficie totale di 2060 km<sup>2</sup> che diventa 1783 km<sup>2</sup> per il 2015, con una riduzione quindi del 13,2% (1,1% all'anno). I risultati in ogni caso sottolineano ancora una volta che il regresso del glacialismo alpino sta continuando senza segni di rallentamento e che l'equilibrio con le attuali condizioni climatiche non è stato ancora raggiunto. Lo dimostra anche la copertura residua di neve e nevato a fine estate sui ghiacciai (area di accumulo), che copre a stento il 20-30% della loro superficie. Tenendo conto che per avere un bilancio in equilibrio fra accumulo e ablazione, la copertura nevosa dovrebbe aggirarsi sul 60%, è chiaro che il regresso

dei ghiacciai alpini proseguirà anche nei prossimi anni con una riduzione dell'area del 50-70%.

Sul versante italiano la situazione non è certo migliore. L'estensione totale è di 325 km<sup>2</sup> con i valori più elevati in Valle d'Aosta (123 km<sup>2</sup>, 38%), in Lombardia (75 km<sup>2</sup>, 23%), in Alto Adige (74 km<sup>2</sup>, 22,8%, che insieme al Trentino arriverebbe però a oltre 96 km<sup>2</sup>, 29,5%). Notevole, come per gli altri catasti nazionali, è stata la difficoltà nel delineare i perimetri dei ghiacciai delle Dolomiti, delle Alpi Giulie e delle Orobie, di limitate dimensioni (si tratta quasi sempre di glacionevati), talora interamente coperti di detrito e ospitati in circhi o nicchie ad alta quota, dove le ombre spesso impediscono una corretta mappatura sulle immagini da satellite. Anche se i confronti per stimarne le variazioni offrono naturalmente problemi di interpretazione, la tendenza appare tuttavia indiscutibile. Rispetto al catasto nazionale (NCGI) il numero dei ghiacciai italiani, pur risottolineando la scarsa significatività di questo parametro, è lievemente diminuito, passando da 903 a 881 apparati, mentre la superficie totale è variata da 368 a 325 km<sup>2</sup> con una riduzione di 43 km<sup>2</sup>, corrispondente all'11,7%. La riduzione media annua dovrebbe aggirarsi, tenendo conto dell'estensione temporale delle ortofoto e delle immagini da satellite, intorno ai 3,5-5,5 km<sup>2</sup> (1,1%-1,7%).

Se si fa riferimento a singoli ghiacciai, in particolare a quelli di maggiori dimensioni, come l'Adamello e i Forni, si constata che il primo è passato da 16,9 a 14,4 km<sup>2</sup> (-2,5 km<sup>2</sup> corrispondenti al 14,8%), mentre il secondo da 11,3 a 10,4 km<sup>2</sup> (-0,9 km<sup>2</sup>, pari al 7,9%); i valori medi annui sono rispettivamente di -0,3 (1,8%) e -0,1 km<sup>2</sup> (0,9%). Al di là dell'apparente aridità dei dati, si è osservata nell'ultimo decennio un'imponente trasformazione del paesaggio dell'alta montagna italiana, che si può sintetizzare in una riduzione delle superfici glaciali e nivali, in un ampliamento delle aree proglaciali e in una risalita della vegetazione pioniera. Numerose sono risultate le frammentazioni delle singole unità glaciali in corpi separati, interrompendo la convergenza dei flussi dai bacini superiori che davano origine a colate talora imponenti o a vere lingue vallive (basterebbe ricordare quanto avvenuto nell'ultimo decennio per la Lex Blanche, il Lys, il Ventina, il Fellaria Orientale, i Forni, il Careser, il Malavalle, il Fradusta, solo per fare qualche esempio fra i numerosissimi possibili).

È un classico processo di retroazione positiva che amplifica dimensioni e ritmi del regresso. L'apertura di "finestre" rocciose sulla superficie dei ghiacciai, in particolare nelle zone più ripide, ne modifica sensibilmente l'albedo e quindi la capacità di riflettere la radiazione solare, che viene in gran parte assorbita, riscaldando ulteriormente la roccia e incrementando l'ablazione del ghiaccio circostante. Le superfici rocciose, divenute più ampie e sottoposte a più numerosi cicli gelo-disgelo, danno origine a sempre più frequenti crolli e frane; i materiali



*LYS: Rilievi laser scanner sul Ghiacciaio del Lys. Lo strumento permette di ottenere un modello tridimensionale ad alta definizione della lingua del ghiacciaio e del lago proglaciale. Ripetendo le misure e sovrapponendo i due modelli, è possibile quantificare le variazioni del ghiacciaio non solo areali ma anche volumetriche, variazioni che possono poi essere confrontate con i dati derivanti dalle analisi remote sensing (ph. C. Smiraglia)*



*FORNI: La Stazione Meteorologica Automatica (AWS-Automatic Weather Station) collocata nel 2005 sulla lingua del Ghiacciaio dei Forni a 2700 m a cura dell'Università degli Studi di Milano, prima stazione italiana su ghiacciaio. Inserita in reti di misura internazionali, i suoi dati permettono studi approfonditi, ad esempio sull'evoluzione dell'albedo, anche in funzione della copertura detritica, e sul bilancio energetico del ghiacciaio con i suoi effetti sul bilancio di massa (ph. C. Smiraglia)*

derivanti dall'erosione delle rocce si depositano sui ghiacciai e ne modificano l'aspetto, trasformandoli in nere superfici che nascondono il ghiaccio vivo, e in funzione della loro granulometria e del loro spessore possono rallentare l'ablazione.

Sulle lingue dei ghiacciai si formano dapprima crepacci circolari che si evolvono poi in caverne di ghiaccio, il cui collasso frantuma la fronte del ghiacciaio e provoca arretramenti anche di centinaia di metri. Le aree lasciate libere sono rimodellate dalle acque ruscellanti e soprattutto incanalate che erodono i sedimenti morenici; sui versanti delle morene laterali vengono incisi solchi verticali che danno loro un aspetto pseudocalanchivo; le aree proglaciali ospitano laghi di contatto glaciale, il più delle volte effimeri, le cui acque attraverso la loro azione termica e meccanica, con un altro processo di retroazione, accelerano l'ablazione delle fronti. Per usare una terminologia più scientifica, stiamo assistendo ad una rapida trasformazione da un sistema morfodinamico glaciale a un sistema morfodinamico paraglaciale.

È un'evoluzione che si sta verificando praticamente su tutti i ghiacciai italiani (così come sugli altri versanti delle Alpi), particolarmente accentuata per i ghiacciai vallivi che scendono con le loro fronti a quote inferiori. Basterebbe visitare il Ghiacciaio del Lys sul Monte Rosa o quello dei Forni sull'Ortles-Cevedale per avere un quadro completo e veramente didattico di quanto sta avvenendo in funzione dell'evoluzione climatica degli ultimi decenni.

### IMPATTI A LIVELLO SOCIOECOLOGICO

Le trasformazioni sopra elencate (si è accennato soprattutto al regresso dei ghiacciai, ma il discorso potrebbe essere allargato agli altri comparti della criosfera, come il permafrost o il ghiaccio marino) riguardano una catena montuosa collocata in un continente ad alta densità di popolazione e ad alto sviluppo tecnologico ed economico, e possono provocare sensibili e molteplici impatti sul sistema socioecologico. Basterà ricordare la riduzione delle risorse idriche, la modifica nella stagionalità e nelle portate del regime dei corsi d'acqua ad alimentazione nivoglaciale, il peggioramento della qualità dell'acqua a causa del rilascio di inquinanti da parte di neve e ghiaccio, gli effetti sulla produzione di energia idroelettrica, sull'irrigazione agricola e sulla disponibilità di acqua potabile, sul rischio derivante da frane, valanghe, alluvioni, sugli ecosistemi terrestri e acquatici, sulle attività turistiche estive e invernali. Sono impatti che richiederebbero una trattazione approfondita; in questa sede ci si è limitati ad elencarli sinteticamente, rimandando ad altre pubblicazioni per un'analisi dettagliata (ad esempio al capitolo 2 del Report 2019 dell'IPCC dedicato agli oceani e alla criosfera - <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-2/>; si veda anche la bibliografia citata alla fine dell'articolo).

**Nota** - I dati riportati nell'articolo sono tratti prevalentemente da: DIOLAIUTI G.A., AZZONI R.S., D'AGATA C., MARAGNO D., FUGAZZA D., VAGLIASINDI M., MORTARA G., PEROTTI L., BONDESAN A., CARTON A., PECCI M., DINALE R., TRENTI A., CASAROTTO C., COLUCCI R.R., CAGNATI A., CREPAZ A. & SMIRAGLIA C. (2019) - Present extent, features and regional distribution of the Italian glaciers. *La Houille Blanche*, 5-6, 159-175. Disponibile on line su [www.shf-lhb.org](http://www.shf-lhb.org)

PAUL F., RASTNER P., AZZONI R.S., DIOLAIUTI G., FUGAZZA D., LE BRIS R., NEMEC J., RABATEL A., RAMUSOVIC M., SCHWAIZER G. & SMIRAGLIA C. (2020) - Glacier shrinkage in the Alps continues unabated as revealed by a new 2015 glacier inventory from Sentinel 2. *Earth System Science. Data*, 12, 1805-1821. Disponibile on line su <https://essd.copernicus.org/articles/12/1805/2020/essd-12-1805-2020-discussion.html>

### BIBLIOGRAFIA

La bibliografia dedicata alle variazioni recenti dei ghiacciai a scala alpina e regionale è ovviamente vastissima; qui di seguito vengono elencate alcune pubblicazioni di utile consultazione in gran parte reperibili in rete:

- COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO (2017) - Itinerari glaciologici sulle montagne italiane. Vol. 1. Capitoli tematici (a cura di C. Baroni). Società Geologica Italiana, Roma, 106 pp.
- COGLEY J.G. (2009) - A more complete version of the World Glacier Inventory. *Annals of Glaciology*, 50(53), 32-38.
- HOCK R., RASUL G., ADLER C., CÁCERES B., GRUBER S., HIRABAYASHI Y., JACKSON M., KÄÄB A., KANG S., KUTUZOV S., MILNER A., MOLAU U., MORIN S., ORLOVE B. & STELTZER H. (2019) - High Mountain Areas. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (Pörtner H.O., Roberts D.C., Masson-Delmotte V., Zhai P., Tignor M., Poloczanska E., Mintenbeck K., Alegria A., Nicolai M., Okem A., Petzold J., Rama B. & Weyer N.M. eds.), Intergovernmental Panel Climate Change, 131-202.
- KARGEL J.S., LEONARD G.J., BISHOP M.P., KÄÄB A. & RAUP B. (eds.) (2014) - Global Land Ice Measurements from Space. Springer Praxis, Chichester, 876 pp.
- PAUL F., FREY H. & LE BRIS R. (2011) - A new glacier inventory for the European Alps from Landsat TM scenes of 2003: Challenges and results. *Annals of Glaciology*, 52, 144-152.
- PFEFFER W. T., ARENDT A.A., BLISS A., BOLCHT., 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, 537-552.
- SALVATORE M.C., ZANONER T., BARONI C., CARTON A., BANCHIERI F.A., VIANI C., GIARDINO M. & PEROTTI L. (2015) - The state of Italian glaciers: a snapshot of the 2006-2007 hydrological period. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 38, 175-198.
- SMIRAGLIA C. & DIOLAIUTI G.A. (a cura di) (2015) - Il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani. Ev-K2-CNR, Bergamo, 400 pp.
- SMIRAGLIA C., AZZONI R.S., D'AGATA C., MARAGNO D., FUGAZZA D. & DIOLAIUTI G. A. (2015) - 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, 79-87.
- WORLD GLACIER MONITORING SERVICE (WGMS) (1989) - World glacier inventory: status 1988 (Haeblerli W., Böschi H., Scherler K., Østrem G. & Wallen C.C. eds.). IAHS (ICS) - UNEP-UNESCO, World Glacier Monitoring Service, Zürich.
- ZEMP M., HUSS M., THIBERT E., ECKERT N., MCNABB R., HUBER J., BARRANDUN M., MACHGUTH H., NUSSBAUMER S. U., GÄRTNER-ROERL I., THOMSON L., PAUL F., MAUSSON F., KUTUZOV S. & COGLEY J. G. (2019) - Global glacier mass changes and their contributions to sealevel rise from 1961 to 2016. *Nature*, 568, 382-386.