

RICCARDO NUCCI (*) & ACHILLE MAURI

IL GLACIALISMO DEL LIVIGNASCO (ALPI LOMBARDE): VARIAZIONI RECENTI E RELAZIONI CON IL CLIMA

ABSTRACT: NUCCI R. & MAURI A., *The glaciers of the Livigno area (Lombardy Alps): recent variations and relations with the climate.* (IT ISSN 1724-4757, 2005).

The glacier variations of the Livigno area (Lombardy Alps) of the last sixties years have been studied, analyzing both the length and area reductions. It results a strong glacier area reduction (almost 30% between 1941 and 2002) coupled with a noticeable increase in the terminus altitudes (from the 2,693 m medium value to the 2,746 m medium value for six glaciers). The elaboration of the terminus glaciers data obtained from the publications of the Italian Glaciological Committee showed a length reduction of 230 m from 1940 to 2002 for the Ghiacciaio Settentrionale di Campo and a length reduction of 140 m in 20 years (1941-1961) for the Mine Glacier. Their dynamic was however discontinuous and saw phases of strong reductions and of small advances as the one occurred between 1977 and 1985, with left evident deposits in the proglacial area. The above mentioned glacier variations has been correlated to the Bormio meteorological station's data, which allow to point out a reduction in the mean summer temperatures of almost 1 °C (-0.95 compared to the average of the 1922-1995 period), occurred between 1968 and 1990, and a concomitant increase in winter precipitation of about 100 mm (always compared to the full series average). This type of glacial dynamic is well connected to the alpine glaciers recent variation phase which, after a continuous regression up to 1950, saw a short and small global increasing phase between years '60 and '80 of the XX Century followed by a restart of an intense and very strong reduction.

KEY WORDS: Ongoing glacier variations, Recently formed moraines, Climate relations, Livigno, Lombardy Alps, Italy.

RIASSUNTO: NUCCI R. & MAURI A., *Il glacialismo del Livignasco (Alpi lombarde): variazioni recenti e relazioni con il clima.* (IT ISSN 1724-4757, 2005).

Sono state studiate le variazioni frontali ed areali del glacialismo del Livignasco (Alpi Lombarde) degli ultimi sessanta anni. Il confronto bibliografico ha evidenziato una sensibile riduzione areale delle masse glaciali (quasi il 30 % fra il 1941 e il 2002), accompagnata da un notevole in-

nalzamento delle quote frontali (da un valore medio di 2.693 m a un valore medio di 2.746 m per i sei ghiacciai per i quali si hanno i dati completi). L'elaborazione dei dati sulle variazioni frontali (disponibili solo per un numero limitato di ghiacciai), ha permesso di evidenziare un regresso di 230 m dal 1940 al 2002 per il Ghiacciaio Settentrionale di Campo e di 140 m in 20 anni (1941-1961) per la fronte occidentale del Ghiacciaio delle Mine. Questa dinamica non è stata però continua, ma ha visto una fase di rallentamento del regresso e di limitata espansione fra il 1977 e il 1985, che ha lasciato nell'area proglaciale ben evidenti depositi e forme. Le variazioni glaciali sopra descritte sono state correlate con i dati termici e pluviometrici della stazione meteo di Bormio, che hanno permesso di rilevare un abbassamento delle temperature medie estive di quasi un grado (-0,95 °C rispetto alla media del periodo 1922-1995), avvenuto tra il 1968 e il 1990, ed un concomitante aumento delle precipitazioni invernali di circa 100 mm (sempre rispetto alla media sull'intera serie).

Questo tipo di dinamica glaciale bene s'inserisce nel quadro delle variazioni recenti dei ghiacciai alpini che, dopo una continua fase di regresso fino alla fine degli anni '50 del XX secolo, hanno visto una limitata fase globale di espansione fra gli anni '60 e gli anni '80 del XX secolo, seguita da una ripresa intensa della riduzione.

TERMINI CHIAVE: Variazioni glaciali recenti, Morene della seconda metà del XX secolo, Livigno, Alpi Lombarde.

INTRODUZIONE

La criosfera terrestre sta subendo in tempi recenti una degradazione intensa, particolarmente evidente per quanto riguarda il glacialismo di montagna. Tenendo conto dell'importanza delle masse glaciali sia nell'ambito degli equilibri ambientali, sia a livello applicativo (risorsa idrica, energetica, turistica), è opportuna un'analisi che evidenzia la loro evoluzione negli ultimi decenni. Ciò vale in modo particolare per quelle regioni dove i ghiacciai sono di ridotte dimensioni (e, probabilmente per questo motivo, poco conosciuti e studiati), e quindi rispondono in tempi brevi alle variazioni climatiche delle quali possono rappresentare un indicatore significativo e attendibile. È questo il caso del Livignasco, sicuramente uno dei settori meno noti dal punto di vista glaciologico delle intere Alpi italiane. Il presente contributo si pone quindi l'obiettivo di esaminare l'evoluzione della copertura glaciale di questa regione a

(*) Dipartimento di Scienze della Terra «Ardito Desio», Università degli Studi di Milano, via Mangiagalli 34 - 20133 Milano.

Lavoro svolto nell'ambito del Progetto MIUR 2003 «Trasformazioni in atto dei ghiacciai delle Alpi Italiane. Effetti morfologici, ipotesi evolutive, significato climatico e confronti con aree extralpine», Resp. Naz. P.R. Federici, Resp. Loc. C. Smiraglia. Si ringraziano il prof. C. Smiraglia e la dr. G. Diolaiuti per la lettura critica del testo.

partire dalla seconda metà del secolo scorso, evidenziando nel contempo le modificazioni morfologiche verificatesi nelle aree proglaciali.

L'AREA DI STUDIO

La Valle di Livigno è un lembo estremo dell'alta Valtellina (Lombardia, Sondrio) proteso verso il territorio svizzero, situato tra i gruppi montuosi dell'Ortles-Cevedale e Bernina, orientata in direzione N-NE - S-SW (fig. 1). È solcata interamente dal Torrente Spöl che, nascendo dalla confluenza dei Torrenti Forcola e Vago a Sud-Ovest, sfocia nelle acque del Lago di Livigno a Nord-Est, per poi affluire nel Fiume Inn, quindi nel bacino imbrifero del Danubio. L'abbassamento della linea di cresta rispetto ai due gruppi montuosi collaterali (le cime più elevate non raggiungono i 3.400 m) giustifica la limitata dimensione del glacialismo, che si localizza esclusivamente sul versante settentrionale.

I ghiacciai della regione di Livigno sono sempre stati oggetto di scarsissima attenzione da parte degli studiosi, principalmente a causa delle loro modeste dimensioni e del difficile accesso. Il primo elenco sistematico dei ghiacciai italiani (Porro, 1925) addirittura non li considera e bisognerà aspettare il 1940 per avere una prima ricognizione scientifica della zona effettuata da Nangeroni (Nangeroni, 1941). Alcuni apparati (in particolare glacionevati), fra l'altro, sono di dimensioni così ridotte e mascherati da copertura detritica che bisogna attendere ancora alcuni anni prima che vengano individuati e censiti. Successivamente, però, lo studio di questi apparati glaciali viene trascurato e anche le campagne glaciologiche coordinate dal Comitato Glaciologico Italiano ne riportano informazioni molto sommarie. La toponomastica, inoltre, risulta ambigua e tal-

volta contraddittoria sia a livello di cartografia sia a livello di monografie descrittive. Una sistematizzazione viene curata ancora da Nangeroni per il Catasto dei Ghiacciai Italiani realizzato dal Comitato Glaciologico Italiano (CNR-CGI, 1961), in tempi più recenti dal World Glacier Inventory (WGMS, CGI, 1989) e soprattutto dal nuovo catasto dei ghiacciai lombardi realizzato dal Servizio Glaciologico Lombardo (SGL, 1992). Nel presente lavoro si è mantenuta la toponomastica originale di ogni catasto utilizzato; in pochi casi si è usato un doppio nome quando ci fosse possibilità di confusione.

LE VARIAZIONI RECENTI DEI GHIACCIAI DEL LIVIGNASCO

La prima parte del lavoro riguarderà le variazioni del glacialismo del Livignasco degli ultimi 60 anni, analizzate dal punto di vista sistematico ed areale. Successivamente si prenderanno in considerazione le variazioni di lunghezza tratte dai dati sulle variazioni frontali raccolti dagli operatori glaciologici, che per quanto riguarda il numero di apparati interessati e soprattutto la continuità delle misure costituiscono un campione piuttosto ridotto, ma significativo.

Secondo Nangeroni (1941) che, come si è detto, compie il primo rilievo sistematico di terreno e la prima catalogazione degli apparati glaciali di questa regione, gli individui glaciali accertati sono otto (escludendo il Ghiacciaio Meridionale di Campo situato in territorio svizzero); a questi si aggiungono altri quattro ghiacciai probabili, una ventina di glacio-nevati e numerosi *campi di neve* non permanenti. Nangeroni attribuisce la presenza degli apparati glaciali all'altitudine (gli otto accertati sono localizzati in prossimità delle cime superiori a 3.000 m), all'esposizione settentrionale e alla morfologia del versante Nord che presenta ampie spianate alle quote elevate. La copertura nevosa presente al momento delle sue osservazioni di terreno limita tuttavia la raccolta diretta dei dati morfometrici dei singoli apparati, per i quali l'Autore fa ricorso quasi esclusivo alla cartografia IGM (tavoletta 8, III, NE, Pizzo Filone, rilievo 1935) (fig. 2).

I ghiacciai individuati da Nangeroni con i principali parametri morfometrici vengono elencati nella tab. 1.

Come appare dalla tabella precedente, l'individuo glaciale di maggiori dimensioni è l'Occidentale di Val Nera, localizzato in un circo aperto sul versante settentrionale della cresta Monte Val Nera-Colle Val Nera. La superficie totale degli otto ghiacciai è di 228,1 ha (media 28,5 ha), mentre la quota media delle fronti è di 2.722 m e la lun-

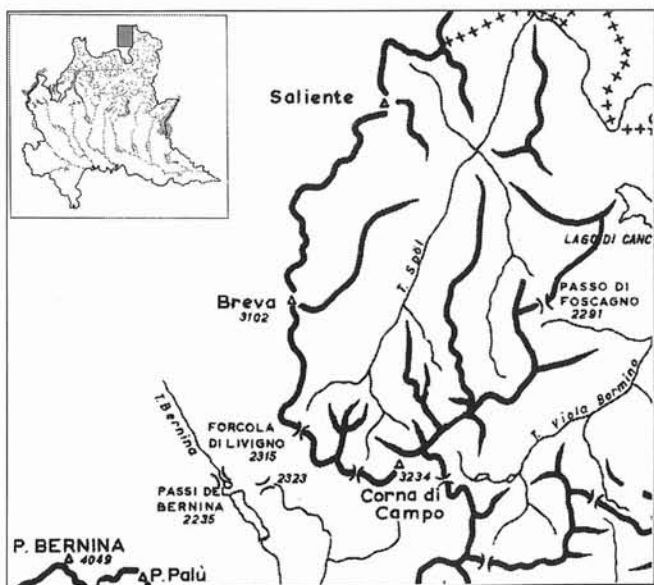


FIG. 1 - Ubicazione dell'area studiata.

TABELLA 1 - I ghiacciai del Livignasco (Nangeroni, 1941)

Ghiacciaio	Superficie (ha)	Lunghezza (m)	Quota fronte (m)
VAGO	16,1	800	2720
SETTENTRIONALE DI CAMPO	52,5	1200	2805
OCCIDENTALE DI VAL NERA	60,8	1000	2600
CENTRALE DI VAL NERA	4,7	200	2900
ORIENTALE DI VAL NERA	29,5	350	2800
PIZZO PAVALLO	12,5	520	2660
CORNA DI CAPRA	16,6	520	2715
MINE	35,4	1000	2580

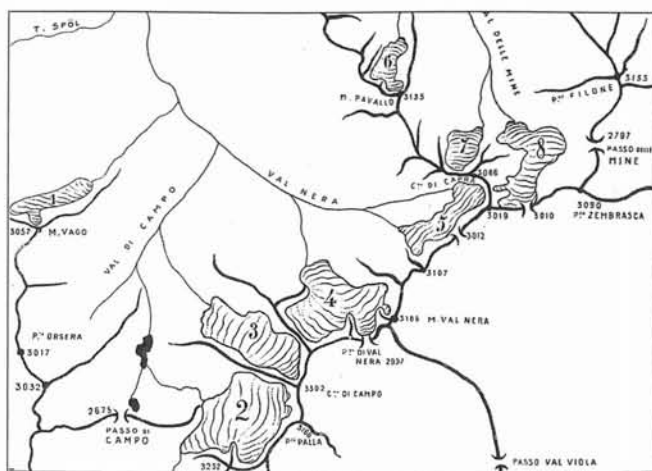


FIG. 2 - Carta dei ghiacciai del Livignasco (Nangeroni, 1941). Ghiacciai: 1: del Vago; 2: Campo Meridionale; 3: Campo Settentrionale; 4: Occidentale di Val Nera Ovest; 5: Orientale di Val Nera Est; 6: Pizzo Pavallo; 7: Corna di Capra (di Dentro); 8: delle Mine.

ghezza media è di 823,7 m. Nangeroni (1941) non fornisce informazioni quantitative sugli altri ghiacciai (la cui esistenza viene ritenuta probabile) e sulla ventina di glacionevati. Questi ghiacciai figurano invece nel Catasto del CGI (1961), sempre curato per l'area in esame dal Nangeroni, dove sono elencati con la numerazione appositamente predisposta 13 apparati, fra i quali 3 definiti estinti (tab. 2). Il Catasto viene realizzato sulla base di cartografia IGM, aggiornata in modo speditivo con rilievi di terreno. Dei tre apparati definiti estinti, che nella descrizione del Catasto sono ridotti a placche di ghiaccio e nevato, non vengono riportati nella tabella i dati poiché i loro valori quantitativi sono riferiti agli anni Quaranta.

L'individuo glaciale di maggiori dimensioni è sempre l'Occidentale di Val Nera. La superficie totale dei dieci ghiacciai è di 180,5 ha (media 18,05 ha), mentre la quota media delle fronti è di 2.768 m e la lunghezza media è di 572,5 m.

Un aggiornamento dei dati del Catasto CGI viene realizzato sempre a cura del Comitato Glaciologico Italiano in occasione della preparazione del Catasto Internazionale dei Ghiacciai (World Glacier Inventory) curato dal World Glacier Monitoring Service, di cui viene pubblicata una

TABELLA 2 - Ghiacciai del Livignasco dal Catasto dei Ghiacciai Italiani (CGI, 1961)

N° Catasto	Ghiacciaio	Tipo	Superficie (ha)	Lunghezza (m)	Quota fronte (m)
988	PIZZO FILONE	ESTINTO	1	1	1
989	PIZZO ZEMBRASCA	GHIACCIAIO	6	300	2760
990	ALTO DELLE MINE	GHIACCIAIO	2	200	2950
991	MINE	GHIACCIAIO	28	875	2580
992	CORNA DI CAPRA DI DENTRO	GHIACCIAIO	9,5	400	2700
993	CORNA DI CAPRA DI FUORI	ESTINTO	1	1	1
994	PIZZO PAVALLLO	GHIACCIAIO	9,5	500	2795
995	ORIENTALE DI VAL NERA	GHIACCIAIO	19	300	2820-2750
996	OCIDENTALE DI VAL NERA	GHIACCIAIO	56	750	2700
997	SETTENTRIONALE DI CAMPO	GHIACCIAIO	36	1125	2880
998	SUD DEL VAGO	ESTINTO	1	1	1
999	SETTENTRIONALE DEL VAGO	GHIACCIAIO	9,5	800	2760
1000	SALIENTE	GHIACCIAIO	5	475	2800

sintesi nel 1989 (WGMS, 1989; i dati integrali sono attualmente disponibili sul sito: http://nsidc.org/data/glacier_inventory/query.html).

Per la Lombardia le singole schede sono state predisposte da C. Smiraglia e G. Catasta utilizzando prevalentemente foto aeree dell'inizio degli anni Ottanta con rilievi sul terreno. I dati sono riportati nella tab. 3, dove è stata mantenuta la toponomastica ufficiale WGMS, anche se lievemente diversa rispetto a CGI, 1961.

Come appare dalla tab. 3, il numero di apparati individuati non è cambiato, ma vengono elencati 9 ghiacciai e 4 glacionevati. Il Val Nera Ovest mantiene ancora la superficie maggiore. La superficie totale dei nove ghiacciai è di 212 ha (media 23,5 ha); gli apparati classificati come ghiacciai coprono una superficie di 190 ha (media 21,1 ha), mentre i glacionevati coprono i restanti 22 ha (media 5,5 ha). Sempre per quanto riguarda i ghiacciai in senso stretto, la quota media delle fronti è di 2.767 m e la lunghezza media è di 611 m. Per i glacionevati i valori corrispondenti sono invece 2.826 e 275 m.

Un ulteriore aggiornamento viene realizzato all'inizio degli anni Novanta a cura del Servizio Glaciologico Lombardo (SGL, 1992) con rilievi di terreno e aggiornamento delle carte tecniche regionali. I dati sono presentati nella tab. 4, dove è stata mantenuta la toponomastica SGL, anche se lievemente diversa rispetto a quella CGI, 1961.

Gli apparati individuati sono 21, di cui uno classificato estinto. Dei 20 restanti 11 sono classificati come ghiacciai e 9 glacionevati. L'incremento numerico degli apparati glaciali è dovuto sia alla frammentazione di alcuni individui

TABELLA 3 - Ghiacciai del Livignasco (dati World Glacier Inventory, 1989)

N° Catasto	Ghiacciaio	Tipo	Superficie (ha)	Lunghezza (m)	Quota fronte (m)
1414311003	PIZZO FILONE	GLACIONEVATO	4	300	2830
1414311006	PIZZO ZEMBRASCA	GHIACCIAIO	5	300	2790
1414311007	MINE ALTO	GHIACCIAIO	2	200	2950
1414311008	MINE	GHIACCIAIO	21	800	2675
1414311010	CORNA DI CAPRA DI DENTRO	GHIACCIAIO	10	500	2750
1414311011	CORNA DI CAPRA DI FUORI	GLACIONEVATO	6	300	2860
1414311012	PIZZO PAVALLLO	GHIACCIAIO	10	500	2785
1414311013	VAL NERA	GHIACCIAIO	28	400	2720
1414311015	VAL NERA W	GHIACCIAIO	43	1100	2690
1414311016	CAMPO N	GHIACCIAIO	43	1000	2835
1414311018	VAGO S	GLACIONEVATO	4	300	2855
1414311019	VAGO N	GLACIONEVATO	8	200	2760
1414311020	SALIENTE	GHIACCIAIO	8	400	2800

TABELLA 4 - I ghiacciai del Livignasco (SGL, 1992)

N° Catasto	Ghiacciaio	Tipo	Superficie (ha)	Lunghezza (m)	Quota fronte (m)
988	PIZZO FILONE SUD EST	GLACIONEVATO	1	170	2845
988.1	PIZZO FILONE NORD	GLACIONEVATO	2	180	2800
989	PIZZO ZEMBRASCA	GHIACCIAIO	3	260	2780
990	MINE SUPERIORE (MINE ALTO)	GHIACCIAIO	1,5	200	2920
991	MINE	GHIACCIAIO	15	700	2670
991.1	MINE INFERIORE	GHIACCIAIO	4,5	230	2660
992	CORNA DI CAPRA DI DENTRO	GHIACCIAIO	11,3	370	2730
993	CORNA DI CAPRA DI FUORI	GLACIONEVATO	2	1	2880
994	PIZZO PAVALLLO	GHIACCIAIO	12	510	2800
995	VAL NERA EST	GHIACCIAIO	27	600	2730
995.1	VAL NERA CENTRALE	GHIACCIAIO	3,5	200	2910
996	VAL NERA OVEST	GHIACCIAIO	56	1050	2620
996.1	MONTE VAL NERA	GLACIONEVATO	2	110	3050
997	CAMPO SETTENTRIONALE	GHIACCIAIO	49,3	1100	2815
997.1	PUNTA ORSERA I	GLACIONEVATO	2	100	2800
997.2	PUNTA ORSERA II	GLACIONEVATO	1,5	140	2860
997.3	PUNTA ORSERA III	GLACIONEVATO	1	130	2900
997.4	PUNTA ORSERA IV	GLACIONEVATO	6,5	270	2690
998	VAGO SUD	GLACIONEVATO	1	160	2870
999	VAGO NORD	ESTINTO	1	1	1
1000	SALIENTE	GHIACCIAIO	6	280	2750

(come quello delle Mine, che è suddiviso in due apparati, Mine e Mine Inferiore, oppure quello del Pizzo Filone, frammentato in Pizzo Filone Sud-Est e Pizzo Filone Nord), sia all'individuazione di apparati prima non segnalati, come i quattro glacionevati di Punta Orsera. In totale, il glacialismo del Livignasco copre una superficie complessiva di 208,5 ha (media 10,4 ha); gli apparati classificati come ghiacciai coprono una superficie di 189,5 ha (media 17,2 ha), mentre i glacionevati coprono i restanti 19 ha (media 2,1 ha). Per i ghiacciai in senso stretto la quota media delle fronti è di 2.763 m e la lunghezza media è di 518 m. Per i glacionevati i valori corrispondenti sono invece 2.855 e 157,5 m.

Un ulteriore esame del glacialismo del Livignasco, che risulta quindi attualmente il più aggiornato, viene realizzato da R. Nucci e A. Mauri nel 2000-2002, utilizzando come base foto aeree e cartografia regionale, aggiornate con rilievi di terreno mediante strumentazione topografica satellitare. I dati, che riguardano solo gli apparati classificati come ghiacciai, sono riportati nella tab. 5. Va osservato che sono elencati 9 ghiacciai a differenza del Catasto SGL che ne elenca 11, in quanto il Ghiacciaio Mine Inferiore è stato considerato ancora facente parte del Ghiacciaio delle Mine, e il Val Nera Centrale considerato ancora facente parte del Val Nera Est (SGL) o Orientale di Val Nera (CGI).

Nella tabella sono indicati solo due parametri (superficie e quota fronte) invece dei tre delle tabelle precedenti.

Secondo questi rilievi il glacialismo del Livignasco copre una superficie complessiva di 155,1 ha (media 17,2 ha); la quota media delle fronti è di 2.776 m. I dati sopra presentati, pur raccolti con diverse modalità di rilievo e organizzati in modo differente da un catasto all'altro, permettono di formulare un quadro sintetico dell'evoluzione del glacialismo della regione durante gli ultimi sessanta anni. Le differenze nella toponomastica che si riscontrano nei diversi catasti sono una diretta conseguenza dell'evoluzione del glacialismo livignasco che ha visto, nel corso di pochi decenni, lo smembramento di alcuni apparati glaciali e la nascita di nuovi, opportunamente classificati e rinominati da un catasto all'altro. Il risultato del confronto, possibile evidentemente solo per gli apparati di cui si dispone una sequenza completa di dati e osservazioni, è presentato nella tab. 6; in questa sono indicate le variazioni in percentuale delle superfici da un periodo all'altro e le variazioni complessive dal primo dato disponibile fino all'ultimo (per sei ghiacciai si ha la variazione 1941-2002, mentre per gli altri tre apparati la variazione riguarda il perio-

TABELLA 6 - Variazioni percentuali delle superfici glaciali nei cinque periodi considerati. DM: Dato mancante

Ghiacciaio	Variazione di superficie (%) nei periodi				
	1941 - 1961	1961 - 1989	1989 - 1992	1992-2002	1941 - 2002
					- 66,7 % (1961 - 2002)
PIZZO ZEMBRASCA	DM	- 16,7 %	-40%	- 33,4 %	-35% (1961 - 2002)
ALTO DELLE MINE (MINE SUPERIORE)	DM	0%	-25%	- 13,4 %	
MINE (compreso Mine Inferiore)	-21%	-25%	- 7,2 %	- 12,9 %	-52%
CORNA DI CAPRA DI DENTRO	- 42,8 %	5%	15%	- 47,9 %	- 63,9 %
PIZZO PAVALLO	-24%	5%	20%	+ 41,6 %	36%
ORIENTALE DI VAL NERA	- 35,6 %	+ 47,3 %	-3,60%	-51,90%	-55,90%
OCCIDENTALE DI VAL NERA	- 7,9 %	+ 12,5 %	- 11,2 %	- 5,4 %	- 12,9 %
SETTENTRIONALE DI CAMPO	- 31,5 %	+ 19,4 %	+ 15,1 %	- 17,2 %	-12%
					-4% (1961 - 2002)
SALIENTE	DM	60%	-25%	-20%	

do 1961-2002). Fra il 1941 e il 2002 la superficie totale dei sei ghiacciai considerati è passata da 207,3 ha a 147,7 ha (-28,8%), mentre fra il 1961 e il 2002 la superficie totale per i nove ghiacciai considerati passa da 171 ha a 155,8 ha (-8,9%).

Le variazioni in percentuale presentate nella tab. 6 evidenziano una netta riduzione delle superfici glaciali negli ultimi 60 anni che in qualche caso (Corna di Capra, Val Nera Est) supera il 50% della superficie del 1941. Anche i ghiacciai per i quali si dispone solo di dati a partire dal 1961 mostrano accentuate riduzioni. L'unica eccezione è rappresentata dal Ghiacciaio del Pizzo Pavallo che fa registrare un incremento areale del 36% dal 1941 al 2002. Questa evoluzione non è però lineare, ma piuttosto articolata. Emerge infatti dai dati di variazione che fra il 1961 e il 1989 sei ghiacciai su nove aumentano la propria superficie, uno resta costante e due mostrano una riduzione. Questo andamento si osserva, anche se con dimensioni meno accentuate, fra il 1989 e il 1992, quando tre ghiacciai sono in incremento. La riduzione areale riprende in misura più accentuata nell'ultimo periodo, quando si registrano in 10 anni riduzioni anche superiori al 50%.

In sintesi, dai confronti dei vari catasti emerge una dinamica complessa caratterizzata da una riduzione areale fino all'inizio degli anni Sessanta del XX secolo, cui segue una fase di espansione fino al catasto del 1989, che si smorza fino ai dati del 1992, ed è seguita da una ripresa generalizzata della riduzione.

Anche le variazioni delle quote medie delle fronti forniscono un'indicazione simile, seppure più smorzata nelle dimensioni; le quote delle fronti dei ghiacciai per i quali si hanno i dati completi (Mine, Corna di Capra di Dentro, Pizzo Pavallo, Val Nera Est, Val Nera Ovest, Campo Nord) passano da una media frontale di 2.693 m con i dati del 1941 a 2.746 m con i dati 2002, confermando con l'innalzamento della quota frontale il fenomeno della contrazione areale. Anche in questo caso, dopo una cospicua salita della quota frontale fra il 1941 e il 1961, si osserva una discesa della quota frontale e una stabilità dal 1961 al 1992 (fig. 3, dove in ordinata sono riportate le superfici medie dei ghiacciai a sinistra e le quote medie delle fronti a destra).

TABELLA 5 - Il glacialismo del Livignasco al 2002 (Nucci & Mauri, inedito)

N° Catasto	Ghiacciaio	Tipo	Superficie (ha)	Quota fronte (m)
989	PIZZO ZEMBRASCA	GHIACCIAIO	2	2800
990	ALTO DELLE MINE (MINE SUPERIORE)	GHIACCIAIO	1,3	2930
991	MINE	GHIACCIAIO	17	2650
992	CORNA DI CAPRA DI DENTRO	GHIACCIAIO	6	2730
994	PIZZO PAVALLO	GHIACCIAIO	17	2760
995	ORIENTALE DI VAL NERA	GHIACCIAIO	13,7	2760
996	OCCIDENTALE DI VAL NERA	GHIACCIAIO	53	2735
997	SETTENTRIONALE DI CAMPO	GHIACCIAIO	41	2845
1000	SALIENTE	*GHIACCIAIO	4,8	2780

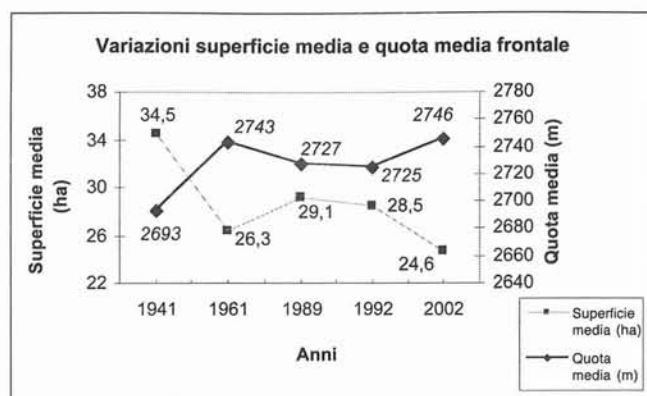


FIG. 3 - Variazioni dei valori medi delle quote frontali e dei valori medi delle superfici dei sei ghiacciai più monitorati.

Come è noto, un altro parametro ampiamente utilizzato per lo studio dell'evoluzione recente degli apparati glaciali è rappresentato dalle misure di variazione frontale, che in Italia sono iniziate alla fine del XIX secolo a cura del CGI e sono diventate sistematiche negli anni Venti del XX secolo. Purtroppo le caratteristiche già evidenziate dei ghiacciai del Livignasco (limitate dimensioni, accesso difficoltoso) non ne hanno favorito la diffusione e le misure hanno riguardato un numero limitato di ghiacciai e soprattutto hanno avuto una continuità solo parziale, per cui i dati sono frammentari e difficilmente collegabili fra di loro.

L'eccezione è rappresentata dal Ghiacciaio di Campo Nord, dove Nangeroni pose i primi segnali nel 1940. Le variazioni frontali del ghiacciaio furono poi misurate con discreta continuità dagli operatori del CGI fino al 2000 e pubblicate dapprima sul Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano, successivamente su Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria (attuale intestazione del Bollettino del CGI), (operatori Arzuffi, Bellotti, Bolognini, Nangeroni, Mauri, Nucci, Presotto, Ratti, Salvatore). Nonostante le interruzioni nella sequenza (le misure non furono compiute dal 1942 al 1949, dal 1951 al 1956, dal 1972 al 1975, dal 1977 al 1984), è sempre stata mantenuta la continuità dei segnali; è stato così possibile colmare le lacune con la semplice media annua utilizzando l'ultimo e il primo valore prima e dopo l'interruzione. Si tratta ovviamente di una forte approssimazione rispetto alla reale dinamica glaciale, che consente tuttavia di creare una serie ininterrotta di dati e di fornire un quadro generale attendibile. La sequenza delle variazioni frontali cumulate è presentata nella fig. 4 e nella tab. 7.

È evidente il regresso fra il 1940 e il 1965, quantificabile in 196 m (circa 8 m all'anno), cui fa seguito una fase che alterna situazioni di stabilità, di lieve regresso e di progresso (dal 1977 al 1984 + 20 m), la cui esatta determinazione e sequenza sono difficilmente identificabili a causa delle interruzioni delle misure annuali. Il regresso riprende nettamente nel 1990 (-26,5 m fino al 2002).

TABELLA 7 - Ghiacciaio Settentrionale di Campo. Tabella riassuntiva delle variazioni frontali annue e cumulate. N, N1, GG1, GG2, GG3: segnali glaciologici. NR: Nessun Rilevamento effettuato. IN: rilievo non effettuato per innevamento

Anno	Variazioni frontali		Operatore
	Annuale	Cumulata	
1940	N		Nangeroni
1941	-11	-11	Nangeroni
1942	NR		
1943	NR		
1944	NR		
1945	NR		
1946	NR		
1947	NR		
1948	NR		
1949	-20	-31	Nangeroni
1950	NR		
1951	NR		
1952	NR		
1953	NR		
1954	NR		
1955	NR		
1956	NR		
1957	Nuovo N1		Nangeroni
1958	NR		
1959	-12	-182	Nangeroni, Bellotti
1960	-5	-187	Bellotti
1961	-1	-188	Bellotti
1962	-3	-191	Bellotti
1963	-9	-200	Bellotti
1964	-1	-201	Bellotti
1965	-1	-202	Bellotti
1966	6	-196	Bellotti
1967	0	-196	Bellotti
1968	0	-196	Bellotti
1969	NR		
1970	Nuovo N1	-213	Bellotti
1971	-7	-220	Bellotti
1972	NR		
1973	NR		
1974	NR		
1975	NR		
1976	-1	-214	Bellotti
1977	NR		
1978	NR		
1979	NR		
1980	NR		
1981	NR		
1982	NR		
1983	NR		
1984	NR		
1985	+20 (Nuovo GG1)	-194	Galluccio
1986	0 (Nuovo GG1, GG2)	-194	Galluccio
1987	NR		
1988	-2,5	-196,5	Galluccio
1989	-2,5	-199	Galluccio
1990	-4,5	-203,5	Galluccio, Ratti
1991	-1	-204,5	Galluccio
1992	-0,5	-205	Ratti
1993	0	-205	Presotto, Ratti
1994	-2,5	-207,5	Presotto, Ratti
1995	-3	-210,5	Galluccio, Ratti
1996	NR		
1997	-3	-213,5	Ratti
1998	-2,5	-216	Bolognini, Salvatore
1999	IN		Arzuffi
2000	-5	-221	Mauri, Nucci
2001	IN		Mauri, Nucci
2002	-9	-230	Mauri

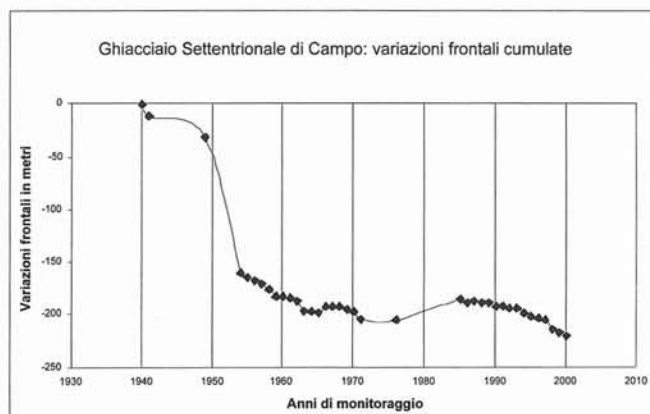
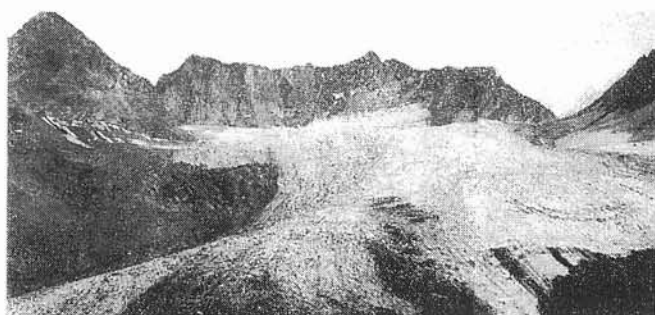


FIG. 4 - Variazioni frontali cumulate del Ghiacciaio Settentrionale di Campo.

Per gli altri ghiacciai del Livignasco le serie storiche sono molto più frammentarie e incomplete o addirittura inesistenti. Gli unici dati indicativi, oltre a quelli del Ghiacciaio Settentrionale di Campo, appartengono al Ghiacciaio delle Mine, la cui fronte occidentale ha subito un regresso di 140 m in 20 anni (1941-1961); la fronte orientale (indicata nel catasto del 1992 come Ghiacciaio delle Mine Inferiore), monitorata fino al 1996 seppur in modo saltuario, ha fatto registrare una fase di regresso dal 1957 al 1961 (19 m), seguita da una fase di avanzata di 16 m fino al 1985 e una fase di regresso di 30 m nel periodo 1985-1996, regresso tuttora in atto.

La piccola fase di espansione ed il successivo regresso registrati dalle fronti glaciali nella seconda metà del XX



a



b



c

FIG. 5 - Il Ghiacciaio Settentrionale di Campo nel 1959 (a: foto Bellotti), nel 1989 (b: foto Galluccio) e nel 2000 (c: foto Mauri).

secolo hanno lasciato tracce evidenti nelle attuali aree proglaciali.

Presso la fronte del Ghiacciaio Settentrionale di Campo è possibile osservare attualmente una sequenza di depositi e di forme moreniche recenti, definibili «della seconda metà del XX secolo», per distinguerli da quelli di genesi più antica. In quest'area è stato individuato un complesso di cordoni morenici paralleli, (formato da sette unità) molto ravvicinati fra di loro e paralleli anche al limite attuale del ghiacciaio, che si distinguono dalle forme

create nelle espansioni glaciali precedenti (Piccola Età Glaciale e anni Venti del XX secolo) per diversi caratteri, quali soprattutto: l'ubicazione, prossima alla fronte del ghiacciaio e compresa tra la posizione frontale più avanzata raggiunta nella seconda metà del XX secolo (dedotta dalle misure di variazione frontale delle relazioni del CGI) e il limite frontale attuale; le ridotte dimensioni rispetto agli apparati delle espansioni precedenti (da 0,30 m a 2,50 m di altezza); la ridottissima alterazione e la limitata copertura vegetale; la mancata segnalazione nella cartografia degli anni Ottanta del XX secolo, solitamente la più recente disponibile. La data di deposizione delle morene non è identificabile poiché le misure di variazioni frontali presentano una lacuna negli anni compresi tra il 1971 e il 1976 (anno in cui la curva cumulativa delle variazioni frontali indica l'inizio dell'avanzamento). Probabilmente negli anni compresi tra il 1971 e il 1976 le misurazioni non sono state eseguite per l'eccessivo innevamento; infatti anche la serie di variazioni frontali del Ghiacciaio Paradisino (in territorio elvetico), monitorata dopo il 1965 a cura della Commissione Glaciologica Svizzera, presenta una lacuna negli stessi anni causata dall'innevamento dell'area frontale.

Oltre a depositi morenici nell'area proglaciale antistante il Ghiacciaio Settentrionale di Campo sono state rinvenute anche altre forme di recente formazione quali *fluted moraines*, *ground moraines*, *depositi fluvioglaciali*, *rocce montonate* e piccoli *laghi proglaciali*, le cui dimensioni sono in continuo mutamento e direttamente dipendenti dall'entità dell'ablazione a cui la fronte glaciale è sottoposta.

VARIAZIONI GLACIALI RECENTI E DINAMICA CLIMATICA NEL LIVIGNASCO

Le variazioni glaciali sopra descritte e in particolare la limitata fase di espansione che si è verificata fra il 1971 e il 1985, lasciando tracce evidenti sul terreno, sono da corre-



FIG. 6 - Ghiacciaio Settentrionale di Campo. Morena frontale della seconda metà del XX secolo con piccolo lago di sbarramento; un lembo della fronte del ghiacciaio è visibile sulla destra (foto Nucci).

lare a limitate modificazioni della dinamica climatica recente. Si è così cercato mediante l'elaborazione dei dati di alcune stazioni meteorologiche di individuare gli eventi meteo-climatici che potessero essere legati alla dinamica glaciale emersa dal confronto dei catasti e dalle serie di misure frontali. I dati delle stazioni più vicine al sito dei ghiacciai del Livignasco sono risultate quelle di Livigno S. Rocco (1.865 m) e di Trepalle (2.200 m), la cui continuità storica purtroppo è assai limitata (non superiore al periodo 1962-1998). Si è quindi preferito utilizzare i dati relativi alla stazione di Bormio (1.225 m) (medie mensili, dati UIPO e Centro Nivometeorologico Regione Lombardia), con un'estensione temporale che copre il periodo 1925-1995 e che hanno fornito le serie termiche e pluviometriche più estese e complete. L'elaborazione dei dati meteorologici ha permesso di allestire i grafici riportati in figg. 7 e 8 per quanto riguarda le medie estive per i dati termici e i totali invernali per le precipitazioni, parametri ritenuti come i

più influenti sulla dinamica glaciale dai vari autori (Belloni, 1992; Hoinkes, 1968; Rabagliati & Serandrei Barbero, 1982; Reynaud, 1990; Belloni & alii, 1990; Vincent & Vallon, 1997).

L'analisi dei grafici permette di cogliere un abbassamento delle temperature medie estive di quasi un grado ($-0,95^{\circ}\text{C}$), rispetto alla media ultrasettantennale, avvenuto tra il 1968 e il 1990, ed un concomitante aumento delle precipitazioni invernali di circa 100 mm (sempre rispetto alla media sull'intera serie). Questa recrudescenza climatica, preceduta e seguita da periodi più caldi e meno piovosi, ha anticipato di alcuni anni la fase di espansione glaciale registrata nelle serie storiche di dati frontali e ha favorito i bilanci di massa positivi dei ghiacciai che hanno poi portato ad un avanzamento delle fronti e alla deposizione delle morene di neoformazione. Al termine di questa fase, con il successivo aumento della temperatura di quasi un grado rispetto alla media settantennale, le fronti glaciali hanno interrotto la fase positiva ed hanno ripreso un veloce regresso tuttora in corso.

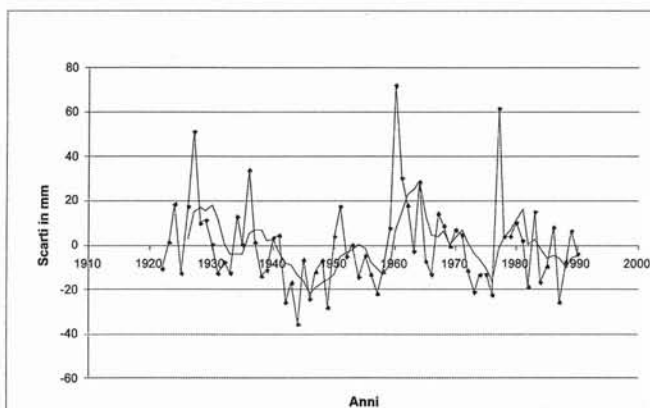


FIG. 7 - Bormio. Scarti delle precipitazioni medie invernali (Ottobre-Aprile) dal 1922 al 1990 (la curva più marcata indica la media mobile di ordine 5).

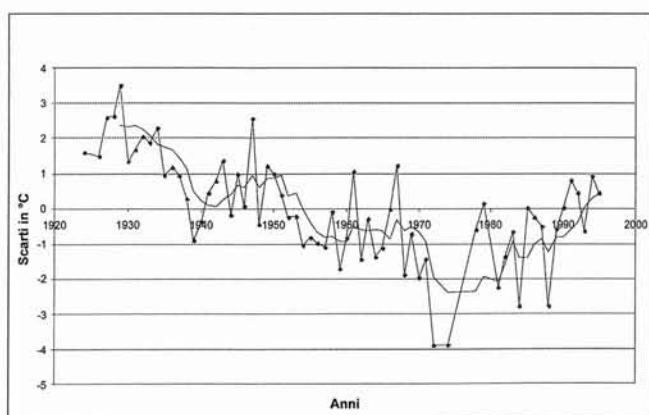


FIG. 8 - Bormio. Scarti delle temperature medie estive (Maggio-Settembre) rispetto alla media 1924-1995 (la curva più marcata indica la media mobile di ordine 5).

CONCLUSIONI

Lo studio ha permesso di evidenziare le variazioni recenti (ultimo sessantennio) del glacialismo del Livignasco. Questi apparati, seppur di limitate dimensioni e con sequenze storiche di dati poco continue, hanno offerto informazioni interessanti che vanno ad integrare le conoscenze sulla dinamica glaciale di aree molto più note. Il confronto dei dati delle varie monografie e dei diversi catasti ha evidenziato nel periodo considerato una sensibile riduzione areale (quasi il 30% fra il 1941 e il 2002) accompagnata da un notevole innalzamento delle fronti (da un valore medio di 2.722 m a un valore medio di 2.776 m). Anche i dati sulle variazioni frontali (disponibili solo per un numero molto limitato di ghiacciai) hanno mostrato un sensibile regresso (-230 m dal 1940 al 2002 per il Ghiacciaio Settentrionale di Campo). Questa dinamica non è stata però continua, ma ha visto una fase di rallentamento del regresso e di limitata espansione fra il 1977 e il 1985, che ha lasciato sul terreno ben evidenti depositi e forme, in particolare morene frontali, ben distinguibili rispetto a quelle della Piccola Età Glaciale e a quelle dell'espansione degli anni Venti del XX secolo. L'analisi dei dati meteorologici della stazione di Bormio permette di collegare questa fase di progresso ad una riduzione delle temperature estive di $0,6^{\circ}\text{C}$ e ad un incremento delle precipitazioni invernali di 100 mm. Successivamente il regresso del glacialismo è ripreso fino ad ora in modo molto marcato ed intenso.

Questo tipo di dinamica glaciale bene s'inserisce nel quadro delle variazioni recenti dei ghiacciai alpini che hanno visto una fase globale di espansione fra gli anni '60 e gli anni '80 del XX secolo (Wood, 1988; Patzelt, 1985), ben registrata anche sulle Alpi Italiane (Zanon, 1991) ed offre un ulteriore contributo alla migliore conoscenza della piccola fase fredda posteriore agli anni Cinquanta del XX secolo (Pinna, 1996).

BIBLIOGRAFIA

- BELLONI S. (1992) - *Oscillazioni frontali dei ghiacciai italiani e clima: un sessantennio di ricerche*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 8, 43-58.
- BELLONI S., PELFINI M. & SMIRAGLIA C. (1990) - *Parametri climatici e variazioni glaciali*. Mem. Soc. Geol. It., 45, 867-875.
- COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO, CNR (1961) - *Catasto dei Ghiacciai Italiani, vol. 3°, Ghiacciai della Lombardia e dell'Ortles-Cevedale*. Torino.
- HOINKES H.C. (1968) - *Glacier variation and weather*. Journ. Glac., 7, 3-19.
- NANGERONI G. (1941) - *Osservazioni preliminari sul glacialismo attuale nel Livignasco*, Boll. Com. Glac. It., ser. I, 21, 45-63.
- PATZELT G. (1985) - *Die Gletscher der Österreichischen Alpen 1985-1986*. Zeitschr. Gletscherk. u. Glazialgeol., 21, 403-407.
- PINNA M. (1996) - *Le variazioni del clima. Dall'ultima glaciazione alle prospettive per il XXI secolo*. Angeli, Milano.
- PORRO (1925) - *Elenco dei ghiacciai italiani*. Pubbl. Ufficio Idrogr. del Po, Parma, 61 pp.
- RABAGLIATI R. & SERANDREI BARBERO R. (1982) - *I ghiacciai delle Alpi Giulie dal 1920 al 1979. Spostamenti delle fronti e variazioni climatiche*. Studi Trent. Sc. Nat., Acta Geol., 59, 105-126.
- REYNAUD L. (1990) - *European glaciological data and their relation with the climate*. In: A.L. Berger & C. Nicolis (eds.), «New Perspectives in Climate Modelling», Elsevier Sc. Publ., Amsterdam.
- SERVIZIO GLACIOLOGICO LOMBARDO (1992) (a cura di A. Galluccio e C. Catasta) - *Catasto dei Ghiacciai Lombardi*. Bolis, Milano.
- VINCENT C. & VALLON M. (1997) - *Meteorological control on glacier mass balance: empirical suggested by measurements on Glacier de Sarennes, France*. Journ. Glac., 43 (143), 131-137.
- WOOD F. (1988) - *Global alpine glaciers trends 1960s to 1980s*. Arct. Alp. Res., 20, 4, 404-413.
- WORLD GLACIER MONITORING SERVICE (1989) - *World Glacier Inventory. Status 1988*. IAHS, Teufen.
- ZANON G. (1991) - *Vent'anni di progresso dei ghiacciai 1965-1985*. Atti del convegno «Le variazioni climatiche recenti (1800-1990) e le prospettive per il XXI secolo», Roma 5-6 Aprile 1990, Mem. Soc. Geogr. It., 46, 153-165.