

AUGUSTA VITTORIA CERUTTI (\*)

## LE OSCILLAZIONI DELLA QUOTA DELL'ISOTERMA 0 °C E LE VARIAZIONI DEI GHIACCIAI DEL MONTE BIANCO

**ABSTRACT:** CERUTTI A.V., *The elevation of the isotherm 0 °C and the changes in the glaciers of Mont Blanc.* (IT ISSN 0391-9838, 2001).

The recent publication by Meteo-France of the results of the 30-years' (1961-90) radio measurements of the temperature at Lyon Airport, and the functioning, since 1994, of the meteorological station at the Aiguille du Midi at a height of 3842 m. on Mont Blanc, gave the possibility to restart the studies already undertaken in 1975 on the relationship between the height of the 0°C Isotherm and the variations of the Mont Blanc glaciers.

Comparing the average monthly temperatures in Chamonix and Aiguille du Midi, a mountain that peaks over the town, it was possible to calculate the temperature lapse rate between the two stations. This allowed the definition of the elevations of the 0 °C isotherm during the summer months, which are very close to those calculated through the temperature radio measurements.

Applying the gradients calculated in the period 1994-1998 to the data of the Chamonix station since 1934, I obtained, for each 5-year period, the variations in the height reached in the summer by the 0°C isotherm. The snowline is set on average 700 m below such height.

I then correlated the data of each five-year period with the four glacial phases that occurred since 1939. In this way, I could establish that the expansion phases of 1939-1945 and 1954-1985 were preceded and partially accompanied by periods in which the 0 °C isotherm in June and September was reaching 3400 m, and in July was slightly above 3600 m. During the same period the snowline fell even below the 2700 m.

In this situation, on the Italian Mont Blanc glaciers, the glaciers accumulation basin reaches an area corresponding to more than 62% of the glaciers surface.

During the glaciers retreat between 1946 and 1955, and then again since 1985, the average summer height of the 0 °C isotherm was above 3500 m. The snowline withdrew to about 2900 m. Consequently, on the Italian side of Mont Blanc, the glaciers accumulation basin decreased to an area of less than 50% of the glaciers surface.

Since 1991 such zone represents merely 40% of the glacier. This substantially accounts for the current phase of pronounced linear and volumetric contraction of the Mont Blanc glaciers.

**KEY WORDS:** Isotherme, Temperature lapse rate, Snowline; Glacial variations, Mt. Blanc (Alps).

**RIASSUNTO:** CERUTTI A.V., *Le oscillazioni della quota dell'isoterma 0 °C e le variazioni dei ghiacciai del Monte Bianco.* (IT ISSN 0391-9838, 2001).

La recente pubblicazione da parte della Meteo-France dei risultati dei radiosondaggi del trentennio 1961-90 sull'aeroporto di Lione e la messa in funzione, dal 1994, della stazione meteorologica dell'Aiguille du Midi a 3 842 m sul Massiccio del Monte Bianco, ha dato modo alla scrivente di riprendere gli studi già avviati nel 1975 sulle relazioni che intercorrono fra la quota a cui si stabilisce l'isoterma 0 °C, il limite delle nevi persistenti e le variazioni dei ghiacciai del Monte Bianco.

Mettendo a confronto le temperature medie mensili di Chamonix e dell'Aiguille du Midi, vetta che si eleva quasi a picco sulla cittadina, è stato possibile conoscere il gradiente termico che si verifica fra le due stazioni. Ciò ha permesso di stabilire le quote dell'isoterma 0 °C dei mesi estivi, che si dimostrano assai vicine a quelle risultanti dai radiosondaggi.

Applicando i gradienti calcolati nel periodo 1994-98 alla serie della stazione di Chamonix, in funzione dal 1934, abbiamo potuto constatare, quinquennio per quinquennio le variazioni della quota raggiunta in estate dall'isoterma 0 °C. Dalla aerofotogrammetria e dalla osservazione diretta risulta che il limite climatico delle nevi perenni si stabilizza mediamente 700 m più a valle di tale isoterma.

I dati dei singoli quinquenni sono stati correlati alle quattro fasi glaciali verificatesi dal 1939 ad oggi. Si constata così che le fasi di espansione 1939-1945 e 1955-1985 sono state precedute e in parte accompagnate, da periodi in cui l'isoterma 0 °C estiva raggiunge appena la quota di 3 400 m; quella mensile di Luglio supera di poco i 3 600 e il limite delle nevi persistenti scende a quote anche inferiori ai 2 700 m ampliando grandemente le zone di alimentazione.

Sui ghiacciai italiani del Monte Bianco la fase di espansione si verifica quando la zona di alimentazione si estende ad un'area corrispondente a più del 62% della superficie glacializzata.

La situazione che porta alla contrazione degli apparati verificatasi fra il 1946 e il 1953 e nuovamente dopo il 1985, vede l'isoterma media estiva salire oltre i 3 500 m. Il limite delle nevi persistenti si ritira sopra i 2 900 m e di conseguenza sul versante italiano l'area di alimentazione si riduce a meno del 50% dell'area glacializzata. Dopo il 1991 essa è diventata appena il 40% della copertura glaciale. Questa situazione spiega ampiamente l'attuale fase di accentuata contrazione volumetrica e lineare dei ghiacciai del Monte Bianco.

**TERMINI CHIAVE:** Isotherme, Gradiente termico, Limite nevi perenni, Variazioni glaciali, M. Bianco.

(\*) Via Promis 1, 11100 Aosta.

Da quando mi occupo di glaciologia mi sono resa conto che la conoscenza della quota raggiunta dall'isoterma 0 °C nella stagione estiva è un dato fondamentale per comprendere le cause delle variazioni glaciali e della loro intensità. L'isoterma 0 °C infatti determina il limite altimetrico della zona in cui le coltri nevose sono soggette al fenomeno di fusione e non ricevono apporti dalla precipitazioni estive in quanto queste ultime avvengono sotto forma di pioggia.

Il limite climatico delle nevi perenni resta tanto più a valle della quota dello zero termico estivo quanto più grande è la quantità di neve accumulata nella stagione fredda; mediamente la differenza altimetrica risulta di circa 700 metri. Strette relazioni si stabiliscono fra l'altimetria dello zero termico estivo, il limite climatico delle nevi persistenti, l'ampiezza delle superfici glaciali che restano coperte dal nevato e la quantità di ghiaccio che di anno in anno si può formare. Da questo insieme di cose dipende l'alimentazione degli apparati glaciali e le loro conseguenti variazioni di volume e di lunghezza.

La conoscenza della distribuzione altimetrica delle aree glaciali sul versante italiano del Monte Bianco, frutto di una accurata ricerca condotta da C. Capello (1936), ci dà la possibilità di correlare la quota dell'isoterma 0 °C estiva e quella del limite delle nevi perenni con l'estensione delle fasce altimetriche in cui possono formarsi nuove coltri di ghiaccio. I dati che ne risultano hanno significative corrispondenze con le variazioni dei ghiacciai. Nella tab. 1 riporto una rielaborazione del lavoro di Capello (1936), limitandoci alle fasce altimetriche superiori ai 2.700 m, quota che, grosso modo, risulta coincidere con il limite più basso delle nevi perenni.

TABELLA 1 - Distribuzione per fasce altimetriche delle aree glaciali nei bacini alimentatori del versante italiano del Monte Bianco

TABLE 1 - Hypsometry of glacial areas inside the accumulation basins of the Mont Blanc Italian side

Intervalli altimetrici	ettari glacializzati	% sull'intera superficie glaciale
Oltre 4.501	19	0,43
4.301 - 4.500	20	0,45
4.101 - 4.300	23	0,52
3.901 - 4.100	40	0,90
3.701 - 3.900	150	3,40
3.501 - 3.700	340	7,70
3.301 - 3.500	450	10,20
3.101 - 3.300	600	13,60
2.901 - 3.100	790	17,80
2.700 - 2.900	660	15,00
Sotto i 2.700	1.325	30,00
Superficie totale	4.417*	100,00%

\* Valutazione in base della cartografia I.G.M.1:25.000, ediz.1929.

Nel 1994 la METEO-FRANCE, DIRECTION INTERREGIONALE CENTRE-EST pubblicò il fascicolo: *30 années de Radio-Sondages a Bron et Satolas - Resultats et Commentaires*. La pubblicazione riporta le medie decadiche e mensili delle altitudini raggiunte dall'isoterma 0 °C, nel trentennio 1961-1990.

È noto che i venti atlantici regolano tanto il clima della Francia Occidentale quanto quello della regione del Monte Bianco; pertanto i valori di altitudine dello zero termico rilevati dai radiosondaggi su Lione possono ritenersi validi anche nella nostra zona di studio. Nella tab. 2 viene presentata una sintesi dei prospetti A 32 e A 33 del citato lavoro.

TABELLA 2 - Altitudine dello zero termico: valori medi, massimi ed estremi (1961-90), secondo i risultati dei radiosondaggi su Lione

TABLE 2 - Zero °C isotherme altitude: average, maximum extreme values (1961-90), according to radiopol measurements in Lyon, France

Mese	Quota media m	Quota massima m	Quota estrema m	Data
G	1.540	2.019	3.780	22/01/1969
F	1.579	2.023	3.418	09/02/1981
M	1.632	2.290	3.841	11/03/1990
A	1.961	2.416	3.973	28/04/1987
M	2.571	3.047	4.430	14/05/1969
G	3.174	3.690	5.140	15/06/1981
L	3.733	4.138	5.180	10/07/1970
A	3.692	4.174	5.270	08/08/1969
S	3.464	4.023	5.040	10/09/1978
O	2.980	3.711	4.860	28/10/1969
N	2.137	2.652	4.250	28/11/1979
D	1.841	2.310	4.062	21/12/1987

I dati dei radiosondaggi di Lione mettono in luce che l'isoterma 0 °C raggiunge i 3.000 m già nella prima decade di Giugno. Nell'ultima decade del mese sale a 3.400 m poi agli inizi di Luglio ai 3.700 m e vi rimane fino al 20 Agosto. Ridiscende in Settembre attorno ai 3.400 m e permane sopra i 3.000 m fino alla seconda decade di Ottobre.

Correlando i dati dei radiosondaggi del trentennio 1961-90 con le fasce altimetriche studiate da Capello sul versante italiano del Monte Bianco, risulta che il fenomeno della fusione interessa per lunghi mesi tutti i bacini ablatori che si stendono al di sotto dei 2.900 m. Essi, con la loro estensione di quasi 2.000 ettari, costituiscono il 45% dell'area glacializzata del versante.

Le fasce fra i 2.900 e i 3.400 metri subiscono la fusione da Giugno a Ottobre, vale a dire per circa 130-150 giorni. Esse hanno una estensione di circa 1.700 ettari e costituiscono il 37% dell'area glacializzata. La fusione è presente un centinaio di giorni fra i 3.400 e i 3.700 metri su circa 500 ettari, il 12% della superficie glaciale. Infine, per quasi sei settimane fra Luglio e Agosto essa investe anche le fasce poste fra i 3.700 e i 4.100 metri di altitudine (ulteriori 190 ettari).

Di conseguenza, secondo i dati dei radiosondaggi, appena il 2% del versante italiano del Monte Bianco viene risparmiato dai fenomeni di fusione. Ma anche queste regioni estreme possono sporadicamente avere temperature superiori ai 0 °C. Infatti i risultati dei radiosondaggi rivelano che nei mesi estivi le massime assolute della relativa isoterma superano addirittura i 5.100 metri.

Anche tenendo conto che la diminuzione della temperatura avviene più rapidamente nella libera atmosfera che sui versanti dei massicci montuosi, questi dati presentano uno scenario inaspettato della dinamica glaciale del Monte Bianco. Fra il 1961 e il 1990 si sono certamente registrate notevoli oscillazioni attorno ai valori medi riportati nella tab. 1. Non si spiegherebbe diversamente la fase di espansione che i ghiacciai del Monte Bianco hanno avuto fino alla metà degli anni '80 a cui poi è seguita l'attuale rapida e accentuata contrazione.

Per correlare le oscillazioni dell'altitudine dello zero termico con le variazioni dei ghiacciai del Monte Bianco è necessario disporre di valori disaggregati che indichino la quota raggiunta dalla isoterma estiva 0 °C nei diversi anni del trentennio. Purtroppo non mi è stato possibile ottenere queste informazioni dalla METEO-FRANCE.

#### LA RICERCA DELLA QUOTA DELL'ISOTERMA 0 °C SUL MONTE BIANCO

Tuttavia si può giungere alla conoscenza della quota dello zero termico attraverso una serie di calcoli basati sul valore reale del gradiente termico. Questo dato è ricavabile quando si possa disporre dalle temperature, registrate nello stesso momento in due stazioni poste a quote diverse sullo stesso versante di un massiccio montuoso.

Sul versante italiano del Monte Bianco fra il 1959 e il 1975, erano contemporaneamente in funzione la stazione meteorologica dell'Aeronautica Militare al Colle del Gigante (3.370 m) e quella del Servizio Idrografico a Courmayeur (1.220 m); dal 1965, anche quella del piazzale italiano del Tunnel del Monte Bianco. Sul versante francese dal 1934 è in servizio la stazione meteorologica di Chamonix (1.042 m). Nel 1994 la Meteo-France, fa messo in funzione una stazione automatica d'alta quota sulla vetta all'Aiguille du Midi (3.842 m).

Elaborando i dati è possibile ottenere, con buona approssimazione, la quota raggiunta dallo zero termico nel periodo di funzionamento delle stazioni, giorno per giorno o mese per mese.

Nel 1975 (Cerutti, 1975), avevo applicato questo metodo per studiare le variazioni mensili dello zero termico sul versante italiano del Monte Bianco fra il 1936 e il 1970, correlandole con le variazioni glaciali. Ora è mia intenzione procedere nello stesso modo mettendo a confronto i dati delle stazioni di Chamonix e dell'Aiguille du Midi anche se la serie fornita da quest'ultima stazione, in funzione da pochi anni, dà luogo a computi meno probanti di quelli impostati per il versante italiano sulla serie quasi ventennale della stazione del Colle del Gigante.

Nel 1976 la stazione del Colle del Gigante è stata dismessa dall'Aeronautica Militare; quella di Courmayeur, non più gestita dal Servizio Idrografico del Po, dal 1985 ha cessato la pubblicazione dei dati. Per completare la ricerca relativa al versante italiano ho dovuto servirmi dell'unica serie attualmente disponibile per la zona di Courmayeur, quella rilevata nella stazione meteorologica del Piazzale Italiano del Tunnel del Monte Bianco (1.381 m) in funzione dal 1966. Purtroppo però nei bollettini mensili della Società del Traforo, vengono pubblicate solo le temperature meridiane che quando è in vigore l'ora legale in realtà vengono lette alle ore 11 solari. Questi dati perciò non sono omogenei a quelli delle consuete stazioni meteorologiche ma hanno il pregio di costituire una serie pluri-trentennale che ha una sua omogeneità intrinseca. Inoltre la stazione del Traforo del Monte Bianco ha funzionato per dieci anni contemporaneamente a quella del Colle del Gigante e per quasi venti a quella di Courmayeur. I dati delle tre stazioni possono così essere utilmente confrontati fornendo basi realistiche ad alcune necessarie interpolazioni.

Ho condotto questa indagine lavorando sulla temperatura media dei mesi di Giugno, Luglio, Agosto e Settembre e sulla media delle massime di Luglio per conoscere fino a quale altitudine si spinge la fusione nelle ore più calde dell'estate. Come nelle precedenti ricerche ho utilizzato come unità temporale il quinquennio per le seguenti ragioni:

- 1) Le medie quinquennali correggono abbastanza bene i valori estremi che si presentano nell'arco di tempo.
- 2) Il quinquennio, sui ghiacciai alpini, è il periodo necessario per la trasformazione della neve in ghiaccio.
- 3) Il quinquennio è il tempo medio di risposta delle lingue vallive al mutare delle condizioni del clima. Esso perciò ci permette di correlare agevolmente le variazioni climatiche con quelle di lunghezza degli apparati.

#### IL GRADIENTE ALTIMETRICO DELLA TEMPERATURA

I calcoli tendenti a individuare la quota dello zero termico devono basarsi sul valore del gradiente altimetrico della temperatura. È noto che questo fenomeno varia in funzione di molti fattori quali l'insolazione, la trasparenza dell'aria, l'esposizione ai raggi solari, la morfologia, la presenza di coperture vegetali, nevose o glaciali.

Per ottenere un gradiente medio dal valore il più realistico possibile, ho messo a confronto le medie mensili delle temperature di Giugno, Luglio, Agosto e Settembre nonché la media delle massime di Luglio rilevate tanto nelle stazioni d'alta quota quanto in quelle di fondovalle. Queste elaborazioni hanno fornito un valore dei gradienti un poco più elevato di quello che avevo utilizzato nella ricerca del 1975.

Le temperature della stazione del Tunnel Monte Bianco, lette a alle ore 11 solari, risultano più vicine alle medie mensili che non alla medie delle massime regi-

strate a Courmayeur. Per questo motivo, nella ricerca del gradiente, i dati del Traforo del Monte Bianco sono stati messi a confronto con le medie risultanti al Colle del Gigante fra le temperature mensili e le massime (Cfr. tab. 5).

TABELLA 3 - Temperature medie estive in °C sul versante meridionale Monte Bianco

TABLE 3 - Average summer temperatures in °C on the Mont Blanc southern slope

Mesi	Colle del Gigante 3.370 m		Courmayeur 1.220 m		Trafoforo Monte Bianco Piazzale Italiano 1.381 m
	osservaz. mens.	1961/75 max	osservaz. mens.	1961/75 max	osservaz. 1966/75 meridiana
G.	-0,5	2,7	14,3	21,1	15,6
L.	1,8	5,2	17,3	24,1	18,9
A.	2,0	5,0	17,0	23,2	18,0
S.	-0,1	2,3	14,1	19,8	14,9
Media G+L+A+S	0,8	3,8	15,6	22,0	16,8

TABELLA 4 - Temperature medie estive in °C sul versante Settentrionale Monte Bianco

TABLE 4 - Average summer temperatures in °C on the Mont Blanc northern slope

Mesi	Aiguille du Midi 3.842 m		Chamonix 1.042 m	
	osservazioni mens.	1994/98 max	osservazioni mens.	1994/98 max.
G.	-4,0	-0,5	14,1	19,2
L.	-1,1	2,4	16,1	22,8
A.	1,2	2,5	16,0	23,3
S.	-4,8	-1,4	11,5	17,4
Media G+L+A+S	-2,2	0,8	13,9	14,4

TABELLA 5 - Gradienti altimetrici della temperatura

TABLE 5 - Temperature lapse rates

Versante meridionale		
Media mensile G.L.A.S.	Colle Gigante/Courmayeur	145 m
Medie mensili Luglio	Colle Gigante/Courmayeur	145 m
Media massime Luglio	Colle Gigante/Courmayeur	113 m
Media meridiana G.L.A.S.	Med/max Gigante/Merid. TMB	137 m
Media meridiana Luglio	Med/max Gigante/Merid. TMB	129 m
Versante settentrionale		
Media mensile G.L.A.S.	Aiguille du Midi/Chamonix	168 m
Medie mensili Luglio	Aiguille du Midi/Chamonix	168 m
Media massime Luglio	Aiguille du Midi/Chamonix	137 m

TABELLA 6 - Variazioni quinquennali della quota media dell'isoterma 0 °C da Giugno a Settembre in base ai dati della tabella 5 (1)

TABLE 6 - Five-years' variations of the 0 °C isotherm average elevation between June and September as from table 5

Anni	Courmayeur 1220 m		T.M.B 1381 m		Chamonix 1042 m	
1936-40	16,2°C	3.570 m			13,3°C	3.280 m
1941-45	15,5°C	3.470 m			14,4°C	3.460 m
1946-50	15,9°C	3.525 m			14,8°C	3.530 m
1951-55	14,9°C	3.380 m			14,0°C	3.400 m
1956-60	14,9°C	3.380 m			13,7°C	3.345 m
1961-65	15,3°C	3.440 m			14,5°C	3.480 m
1966-70	15,4°C	3.450 m	16,7°C	3.670 m	13,7°C	3.345 m
1971-75	16,5°C	3.610 m	17,2°C	3.740 m	14,2°C	3.430 m
1976-80	15,3°C	3.440 m	16,4°C	3.630 m	13,9°C	3.380 m
1981-85	16,5°C	3.610 m	17,7°C	3.800 m	14,8°C	3.530 m
1986-90		(3.530) m	17,0°C	3.710 m	14,2°C	3.430 m
1991-95		(3.720) m	18,4°C	3.900 m	14,7°C	3.510 m
1996-98		(3.800) m	19,0°C	3.980 m	14,1°C	3.410 m
Medie periodi:		3.530 m		3.775 m		3.425 m

TABELLA 7 - Variazioni quinquennali della quota dell'isoterma 0 °C media e massima di Luglio in base ai dati della tabella 5 (1)

TABLE 7 - Five-years' variations of the 0 °C isotherm average and maximum elevation in July as from table 5

Anni	Courmayeur 1220 m				Chamonix 1042 m			
	Media °C	Quota	Max °C	Quota	Media °C	Quota	Max °C	Quota
1936-40	18,0	3.830m	23,8	3.930m	14,4	3.490m	20,4	3.840m
1941-45	16,9	3.670m	24,1	3.960m	16,0	3.730m	23,0	4.190m
1946-50	17,5	3.782m	24,5	4.015m	16,1	3.750m	22,9	4.180m
1951-55	16,9	3.670m	23,6	3.910m	15,9	3.710m	21,9	4.040m
1956-60	16,6	3.627m	23,4	3.890m	14,9	3.550m	21,8	4.030m
1961-65	17,3	3.616m	23,3	3.875m	15,6	3.660m	22,4	4.110m
1966-70	16,7	3.645m	23,2	3.865m	15,4	3.630m	22,3	4.100m
1971-75	18,4	3.850m	25,7	4.150m	15,5	3.650m	22,5	4.120m
1976-80	17,4	3.743m	23,9	3.945m	15,3	3.610m	21,8	4.030m
1981-85	18,4	3.850m	25,7	4.150m	16,9	3.880m	24,5	4.400m
1986-90		(3.855m)		(4.100m)	15,8	3.700m	23,5	4.260m
1991-95		(4.085m)		(4.330m)	16,9	3.880m	24,5	4.400m
1999-98		(4.025m)		(4.260m)	15,6	3.670m	22,8	4.165m

(1) NOTA. Nei due lustri di funzionamento parallelo delle stazioni di Courmayeur, del Colle del Gigante e del Traforo del Monte Bianco, la quota dell'isoterma 0°C calcolata sui dati di quest'ultima stazione che rileva i valori della temperatura meridiana, appare logicamente superiore a quella calcolata sulle medie giornaliere di Courmayeur (cfr. tab 6) Invece la quota dell'isoterma massima di Luglio ricavata dalla temperatura registrata al Traforo del Monte Bianco appare inferiore di 200 metri a quella risultante dalle letture di Courmayeur perché mentre quest'ultima ha per base la media delle temperature massime giornaliere, la prima è calcolata sulla media delle temperature rilevate alle ore 11 solari, quando l'energia irradiata dal Sole ancora non raggiunge ancora i valori massimi. Per il periodo posteriore alla cessazione del funzionamento della stazione di Courmayeur, si è ritenuto utile interpolare le tabelle 6 e 7, indicando fra parentesi le quote presunte delle isoterme 0° secondo i calcoli sopra illustrati.

## CONFRONTO FRA I RISULTATI DEI COMPUTI E DEI RADIOSONDAGGI

La quota 3.515 m secondo i radiosondaggi di Lione è, nel trentennio 1961-90, l'altitudine media dell'isoterma 0 °C dei mesi di Giugno, Luglio, Agosto e Settembre.

In base ai calcoli precedentemente illustrati, lo zero termico nei mesi estivi sul Monte Bianco risulta a 3.513 m

sul versante meridionale e a 3.422 m su quello settentrionale. Nel mese di luglio che nel trentennio risulta essere stato il più caldo, i radiosondaggi danno lo zero termico ad una quota media di 3.733 m; i nostri computi, rispettivamente a 3.760 m sul versante italiano, a 3.680 m su quello francese. La congruenza fra i valori rilevati dai radiosondaggi e quelli risultanti dai calcoli basati sul gradiente, confermano l'attendibilità di questi ultimi.

## LE VARIAZIONI DELLA NEVOSITÀ

Non è facile accertare la quantità di neve che cade in alta quota in quanto le soffici coltri vengono continuamente spostate dai forti venti. I ricercatori, però, hanno cercato con vari metodi di giungere ad una sua valutazione essendo questo un dato fondamentale per gli studi glaciologici.

Per quanto riguarda il massiccio del Monte Bianco disponiamo dei dati raccolti dai pluviometri del Col du Midi (3.600 m), sul versante francese, tuttora in servizio e

del Colle del Gigante (3.320 m) sul versante italiano che ha funzionato dal 1928 al 1973. Le medie segnalate da questi strumenti sono rispettivamente 3.200 mm e 2.300 mm di equivalente in acqua. Poiché la densità delle neve è più di sei volte inferiore a quella dell'acqua, alle altissime quote a cui sono posti gli strumenti misuratori, le cadute di neve devono avere valori compresi fra i 15 e i 20 metri all'anno.

Nel giro di poche settimane questa massa soffice si compatta: al momento della nevicata la sua densità è mediamente di appena 0,05 g/cm cubo ma in poche ore la raddoppia. Poi, in tempi più lunghi, sotto la compressione esercitata dalle nuove neviccate, la densità aumenta a valori di 0,2 e 0,3 g/cm cubo. A mano a mano che cresce la densità si riduce l'altezza della coltre ed essa prende i caratteri di «nevato», portandosi a spessori medi annui compresi fra i 5 e gli 8 metri.

In base ai dati del pluviometro del Colle del Gigante si può giudicare qualitativamente come quinquenni di «scarsa nevosità» quelli il cui equivalente in acqua risulta almeno del 4% al di sotto della media; di «media nevo-

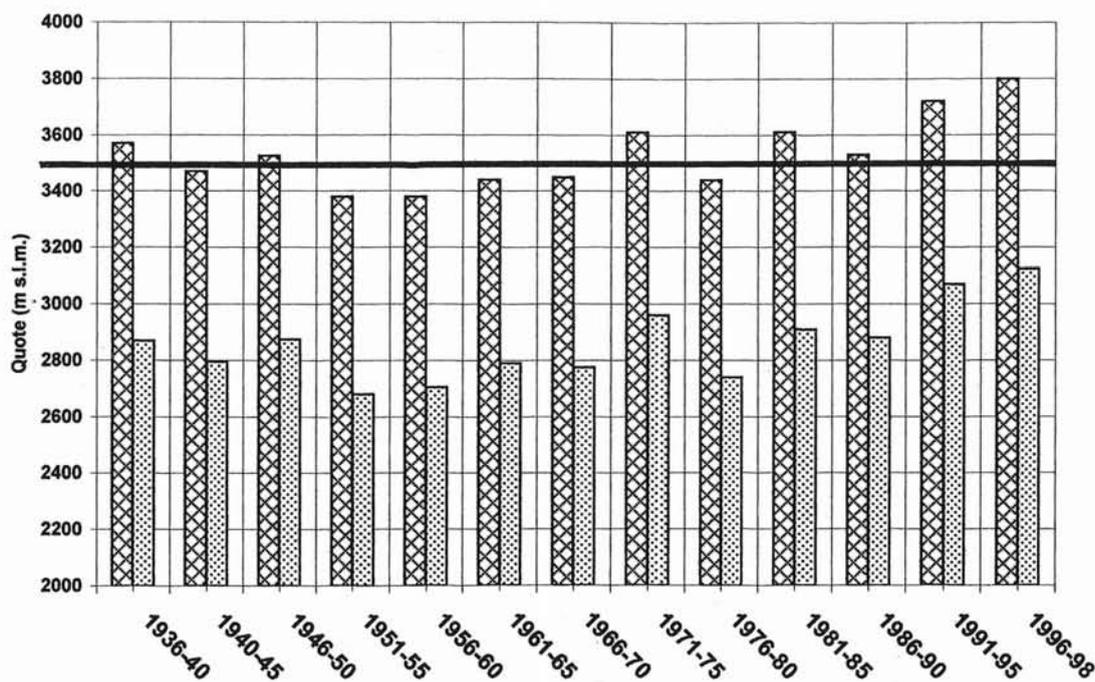


FIG. 1 - Altimetria, Zero termico e Limite climatico nevi persistenti sul versante italiano del Monte Bianco. Linea nera orizzontale: quota media isoterma 0 °C dei mesi di Giugno, Luglio, Agosto e Settembre nel trentennio 1961-90 secondo i radiosondaggi su Lione 3515 m; Colonne a rombi: quote medie quinquennali dell'isoterma 0 °C sul versante italiano del Monte Bianco calcolate applicando il gradiente altimetrico della temperatura alle medie dei mesi di Giugno, Luglio, Agosto e Settembre registrate a Courmayeur; Colonne a puntini: limite climatico quinquennale delle nevi persistenti calcolato in base alla nevosità media dei quinquenni e alla rispettiva quota estiva dello Zero termico.

FIG. 1 - The elevation of the 0°C isotherm and the snowline on the Italian side of the Mont Blanc. Black horizontal line: average elevation of the 0°C isotherm during the months of June, July, August and September in the period 1961-90, according to the radiopolls over Lyon (at a height of 3315 m); Rhomboidal colums: five-years' climatic limit of the 0°C isotherm on the Italian side of the Mont Blanc calculated by applying the temperature lapse rate to the average temperatures measured in Courmayeur during the months of June, July, August and September; Dotted colums: five-years' snowline calculated after the average snowfall of each five-years' period and after the corresponding summer elevation of the 0°C isotherm.

sità» quelli vicini alla media; di «abbondante nevosità» quelli che la superano almeno del 4%.

Per una valutazione più documentata, accosteremo a questi dati quelli relativi alle precipitazioni annue registrate dalla Meteo-France a Chamonix la cui media, su una serie ininterrotta che inizia nel 1934, risulta di 1240 mm.

TABELLA 8 - Nevosità 1936-70 in alta quota in base alla media quinquennale dell'equivalente in acqua al pluviometro Colle Gigante e alle precipitazioni annue a Chamonix

TABLE 8 - Snowfall 1936-70 at high altitudes based upon the five-years' water equivalent mean values recorded at Colle del Gigante station and upon annual precipitation in Chamonix

Anni	Colle Gigante	Chamonix	Nevosità
1936-40	2.552 mm	1.280 mm	- molto nevoso
1941-45	2.100 mm	1.100 mm	- scarsamente nevoso
1946-50	2.119 mm	1.100 mm	- scarsamente nevoso
1951-55	2.390 mm	1.390 mm	- molto nevoso
1956-60	2.149 mm	1.260 mm	- mediamente nevoso
1961-65	2.120 mm	1.260 mm	- mediamente nevoso
1966-70	2.246 mm	1.300 mm	- mediamente nevoso
Medie generali	2.239 mm	1.240 mm	

Dal 1973, non essendo più in funzione il pluviometro del Colle del Gigante sono venuti a mancare, per il versante italiano, i dati di precipitazione in alta quota. Tuttavia, è possibile almeno individuare i periodi più o meno nevosi, utilizzando i dati nivometrici rilevati alle stazioni meteorologiche dei piazzali italiano e francese del Tunnel del Monte Bianco, messi in parallelo a quelli delle precipitazioni registrate alla stazione di Chamonix.

TABELLA 9 - Nevosità 1966-98 in base alla media quinquennale registrata ai nivometri del Traforo del Monte Bianco e alle precipitazioni di Chamonix

TABLE 9 - Snow precipitation 1966-98 based upon the five-years' average measured at Mont Blanc Tunnel station and upon precipitations in Chamonix, France

Quinquenni	Italia neve in cm	Francia	Chamonix precip. in mm	Nevosità
1970/71-1974/75	436	300	884	scarsamente nevoso
1975/76-1978/80	730	461	1.316	molto nevoso
1980/81-1984/85	587	520	1.300	molto nevoso
1985/86-1989/90	469	340	1.240	mediamente nevoso
1990/91-1994/95	421	315	1.350	mediamente nevoso <sup>(2)</sup>
1995/96-1997/98	530	300	1.280	mediamente nevoso <sup>(2)</sup>
Media generale	550	467	1.240	

<sup>(2)</sup> NOTA - Negli ultimi due periodi si nota scarsità di neve al Traforo del Monte Bianco ma abbondanza di precipitazioni a Chamonix. È l'effetto del forte innalzamento delle temperature invernali (fra i 2 e i 3 °C) verificatosi nel corso degli anni '90. Esso fa sì che, durante l'inverno, una certa quantità di precipitazioni cada come pioggia sui fondovalle ma come neve in alta quota: di qui la qualificazione di «mediamente nevoso» per gli anni posteriori al 1990, malgrado i dati rilevati al Traforo del Monte Bianco.

## L'ISOTERMA 0°C E IL LIMITE CLIMATICO DELLE NEVI PERENNI

Sul Monte Bianco, al Col du Midi (3.600 m) ove i ricercatori francesi hanno attrezzato un laboratorio di glaciologia, l'ablazione dei mesi estivi sottrae alla coltre nevosa uno spessore di circa tre metri. Le perdite si fanno ovviamente più ingenti alle quote più basse fino a che l'intero manto viene distrutto alla altitudine in cui si fanno equilibrio la quantità di neve caduta nei mesi freddi e quella asportata dall'ablazione nei mesi caldi.

«Sul versante francese del Monte Bianco l'altitudine del limite climatico delle nevi persistenti, scrive L. Reynaud (1985), varia con l'esposizione: sui versanti nord, all'ombra delle pareti rocciose, scende fino a 2.600 m (Envers des Aiguilles) mentre in pieno sud, come sul ghiacciaio di Talèfre, risale verso 2.950 m. La sua altitudine muta anche di anno in anno fluttuando per dislivelli di 150, 200 m attorno ai valori medi di 2.750 m».

Visto che sul versante francese i nostri calcoli indicano la quota 3.425 m come quella a cui si assesta lo Zero termico in estate, il dislivello fra questo e il limite climatico delle nevi persistenti indicato da Reynaud risulta di 675 m

Sul versante italiano, negli anni Trenta, i limiti climatici delle nevi perenni sono stati oggetto di studio di insigni ricercatori: Sestini (1930), Peretti (1931), Capello (1936). I tre autori hanno utilizzato il metodo topografico basato sul rapporto fra la quota delle creste dei circhi e quelle delle fronti dei ghiacciai. I risultati dei computi dei tre autori sono molto vicini e pongono la quota media di tale limite intorno ai 3.200 m.

Un tipo di rilevamento più moderno e diretto è quello che si fonda sulla interpretazione delle foto aeree. Esso è alla base della compilazione del «Catasto dei ghiacciai e delle nevi perenni della Regione Autonoma Valle D'Aosta», elaborato da Secchieri nel 1986 e purtroppo non ancora pubblicato. Per ciascun ghiacciaio sono stati rilevati i dati caratteristici e, fra gli altri, anche la quota limite della neve «vecchia», vale a dire il limite dell'innevamento persistente.

I voli aerofotogrammetrici su cui Secchieri ha lavorato erano stati eseguiti fra il 15 Settembre e il 6 Ottobre 1975, nel periodo più adatto all'osservazione del limite del nevato. All'esame dei fotogrammi le quote limiti delle nevi persistenti sui singoli ghiacciai italiani del Monte Bianco risultano le seguenti:

Ghiacciaio di Lex Blanche	m 2.820
» » Miage	m 2.870
» » Brenva	m 2.795
» » Toulà	m 2.930
» » Planpiceux	m 2.865
» » Frebouzie	m 2.780
» » Grandes Jorasses	m 2.860
» » Triolet	m 2.845
» » Pre de Bar	m 3.035

La media generale di tale limite risulta essere quota 2.870 m. Si tratta di una altitudine assai più modesta di quella indicata dagli autori degli anni Trenta, ma in per-

fetto accordo con i risultati della ricerca condotta fra il 1980 e il 1983, per richiesta della scrivente, dalle guide d'Alta Montagna di Courmayeur durante le escursioni sui ghiacciai del Monte Bianco. Essa, inoltre, è in convincente rispondenza con la quota media di 2.750 m rilevata per lo stesso limite dai glaciologi francesi sul versante settentrionale.

Il 1975 risulta essere stato un anno scarsamente nevoso come tutti gli altri di quel quinquennio (cfr tab. 9) ma con un estate piuttosto fresca; infatti in quel quinquennio l'altitudine media dello Zero termico estivo risultava essere a 3.610 m ma nel 1975, a 3.520 m. Di conseguenza in quell'anno fra isoterma 0 °C e il limite delle nevi persistenti rilevato dall'aerofotogrammetria risultava esservi un dislivello di 650 metri. In periodi più ricchi di neve questo dislivello è certamente più rilevante: prudentemente lo possiamo stimare di circa 700 metri negli anni mediamente nevosi e di almeno 750 per quelli di più abbondanti nevicate. Sulla base di questi valori abbiamo calcolato, per ciascun quinquennio 1936-2000 l'altitudine del limite delle nevi persistenti. Raffrontando poi i dati ricavati da questa elaborazione con le superfici glaciali per fasce altimetriche, di cui alla tabella 1, è stato possibile valutare in modo soddisfacente le variazioni di ampiezza dei bacini alimentatori, causa prima della fasi di espansione e di contrazione degli apparati glaciali

TABELLA 10 - Limite altimetrico delle nevi persistenti e superficie di alimentazione nei ghiacciai italiani del Monte Bianco

TABLE 10 - Snowline altitude and accumulation area of glaciers on Mont Blanc Italian side

Anni	Q. estiva 0 °C	Nevosità	Q. limite nevi persistenti	Superf. glaciale a monte limite nevi ettari % tot. glac.
1936-40	3.570 m	Abbond.	2.820 m	2.696 ha 61%
1940-45	3.470 m	Scarsa	2.820 m	2.696 ha 61%
1946-50	3.525 m	Scarsa	2.875 m	2.514 ha 57%
1951-55	3.380 m	Abbond.	2.630 m	3.323 ha 76%
1956-60	3.380 m	Media	2.680 m	3.158 ha 72%
1961-65	3.440 m	Media	2.740 m	2.960 ha 67%
1966-70	3.450 m	Media	2.750 m	2.927 ha 66%
1971-75	3.610 m	Scarsa	2.960 m	2.200 ha 50%
1976-80	3.440 m	Abbond.	2.690 m	3.122 ha 71%
1981-85	3.610 m	Abbond.	2.860 m	2.564 ha 58%
1986-90	3.530 m	Media	2.760 m	2.894 ha 65%
1991-95	3.720 m	Media	3.020 m	1.712 ha 39%
1996-00	3.650 m	Media	2.950 m	2.232 ha 51%

## VARIAZIONI GLACIALI E PARAMETRI CLIMATICO-NIVOLOGICI

I ghiacciai alpini nel corso del XX secolo hanno conosciuto più fasi di espansione e di contrazione. Robert Vivian (1975) elenca le fasi glaciali che durante il XX secolo hanno avuto luogo nelle Alpi Occidentali.

- 1) 1915-30 - Espansione: sono in crescita il 60% dei ghiacciai.
- 2) 1930-40 - Accentuata contrazione: interessa il 90% dei ghiacciai.
- 3) 1939-45 - Breve espansione: coinvolge il 25% dei ghiacciai.
- 4) 1946-53 - Forte contrazione della totalità dei ghiacciai.
- 5) 1954-70 Nuova espansione. Nel 1970 essa era in atto sul 20% dei ghiacciai Alpi Occidentali ma ben sull'85% di quelli del Monte Bianco.
- 6) 1974-79 - Breve contrazione: coinvolge una piccola percentuale di ghiacciai.
- 7) 1978-85 - Ripresa della espansione generalizzata.
- 8) Dal 1986 - Rapido e pronunciato ritiro di tutti i ghiacciai.

Alcuni fatti assai interessanti emergono dalla correlazione delle variazioni glaciali successive al 1936 con i dati climatico-nivometrici raccolti nelle tabelle 6, 7, 8, 9.

Risulta evidente che da tre a cinque anni prima dell'inizio delle fasi di espansione la quota della isoterma 0 °C si abbassa di un centinaio di metri, provocando un abbassamento ancora più pronunciato del limite delle nevi persistenti, soprattutto negli anni di notevole nevosità.

Vengono così ampliate le superfici di alimentazione e di conseguenza aumenta la produzione di coltri glaciali.

La cosa ha potuto essere ben documentata sui ghiacciai del versante italiano del Monte Bianco. Infatti, correlando la distribuzione altimetrica delle aree glaciali rilevate da C. Capello (1936) con i dati climatico-nivologiche, risulta che ogni espansione è preceduta dall'ampliarsi delle zone di alimentazione su almeno il 61% dell'area glacializzata. Questa estensione pare essere sul versante meridionale Monte Bianco la minima capace di garantire la formazione di una quantità di ghiaccio superiore al necessario per equilibrare le perdite dovute all'ablazione.

Nella annate favorevoli al glacialismo l'isoterma media a 0 °C nel mese più caldo supera di poco la quota 3600; in questa situazione l'altissima altimetria del massiccio fa sì che più di 400 ettari della sua copertura glaciale (circa il 9%) resti pressoché immune dalla fusione. Il Monte Bianco risulta così uno dei pochissimi massicci alpini che possiede zone di «ghiacciai freddi». La perforazione fatta dai glaciologi francesi a 4.785 m (Reynaud-1985) ha permesso di accertare che a quella quota, mancando la percolazione dell'acqua di fusione, la temperatura interna resta sempre vicina a -20 °C e la trasformazione della neve in ghiaccio avviene senza interruzioni, come al centro degli inlandis groenlandesi o antartici, per un processo di lenta ricristallizzazione. L'esposizione prevalentemente settentrionale dei ghiacciai francesi fa sì

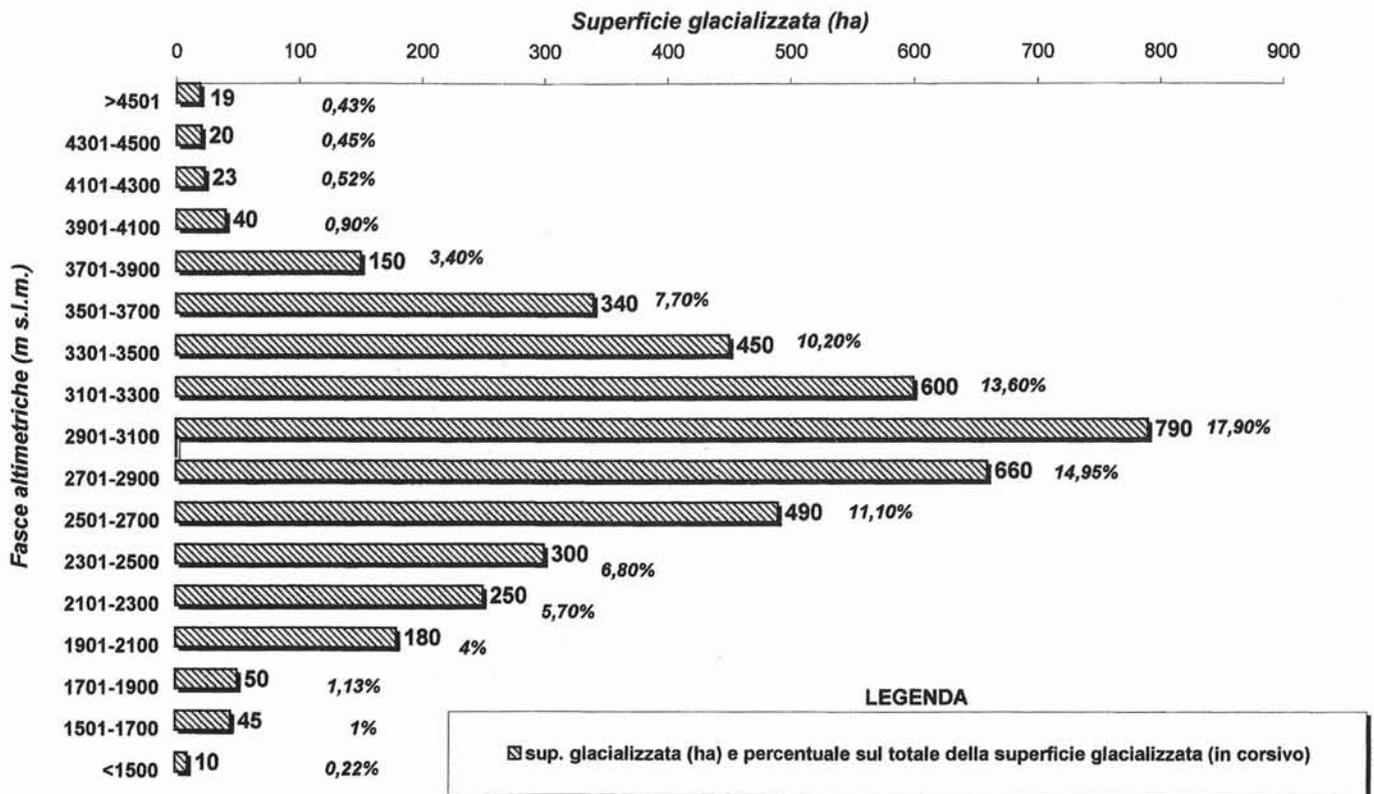


FIG. 2 - Distribuzione altimetrica delle aree glaciali sul versante italiano del Monte Bianco secondo i dati di Capello, 1936. Sul versante italiano del Monte Bianco la copertura glaciale che si stende al di sopra dei 2.900 m di quota ha una superficie di 2.432 ettari, pari al 55% dell'intera area glacializzata. Quando il limite climatico delle nevi persistenti coincide con questa quota il bilancio di massa dei corpi glaciali è pressoché in parità. Affinché si produca una espansione è necessario che il limite delle nevi si abbassi ulteriormente.

FIG. 2 - Glacial areas on the Italian side of the Mont Blanc after Capello, 1936. On the Italian side of the Mont Blanc the glaciers located above 2900 m have a total surface of 2432 ha, corresponding to 55% of the whole glacial area. When the snowline corresponds to this altitude, the mass balance of the glacial bodies is practically zero. In order to have an expansion, the snowline must shift towards lower elevations.

che su quel versante le aree «fredde» siano più vaste che sul versante italiano.

Le fasi di contrazione degli apparati glaciali sono precedute dall'innalzarsi della quota estiva dell'isoterma 0 °C e del limite climatico delle nevi persistenti, con conseguente riduzione dell'area di alimentazione. Sui ghiacciai italiani, se questa si riduce a meno del 58% della copertura glaciale, non è più in grado di produrre il ghiaccio necessario a compensare le perdite dovute all'ablazione.

Negli anni sfavorevoli al glacialismo, lo Zero termico medio di luglio si innalza sopra i 3.800 metri e pertanto, malgrado l'elevata altimetria del Monte Bianco, appena 100 ettari della sua copertura glaciale (il 2%) conservano le caratteristiche dei ghiacciai «freddi».

#### LE VARIAZIONI DEL PERIODO 1936-1950

La lieve espansione che ha luogo fra il 1939/40 e il 1944 è la prima fase che i dati in nostro possesso ci per-

TABELLA 11 - Variazioni del limite climatico delle nevi persistenti e dell'ampiezza delle aree di alimentazione dei ghiacciai italiani correlate ai periodi delle variazioni glaciali

TABLE 11 - Variations of the snowline and extent of accumulation areas of glaciers compared to periodical glacier variations

Anni	Q. estiva 0°C differenza in m da precedente	Q. nevi persist. differenza italiana in m da precedente	% sup.glac. glaciali sopra quota persistenti	Fasi Sec. XX
'36-40	3.570m	2.820m	61%	
'36-45	3.470m -100m	2.820m	61%	Espansione '39-45
'46-50	3.525m + 55m	2.875m + 75	57%	Contrazione '46-55
'51-70	3.380m -152m	2.690m -185	71%	Espansione '56-73
'71-75	3.610m +210m	2.960m +220	50%	Contrazione '74-79
'76-80	3.440m -170m	2.690m -220	71%	Espansione '78-85
'80-00	3.630m +180m	2.930m +240	52%	Contrazione da '84

mettono di seguire. Sul versante francese essa si prepara, fin dal 1936, con la discesa dell'isoterma 0 °C estiva alla quota di appena 3.280 m. Il limite delle nevi persistenti, grazie anche ad una abbondante nevosità, si stabilizza presumibilmente sotto i 2.600 metri. Fra il 1939 e il 1942 la lingua valliva del ghiacciaio di Bosson si allunga di un centinaio di metri. Questo ghiacciaio ha nel suo bacino di alimentazione anche la zona fredda della cupola sommitale del Monte Bianco, è dotato di un alveo molto ripido ed ha, di conseguenza, una elevata velocità di discesa (circa 200 metri all'anno). Perciò, fra tutti i ghiacciai del Monte Bianco è quello che risponde più rapidamente alle mutate condizioni climatiche.

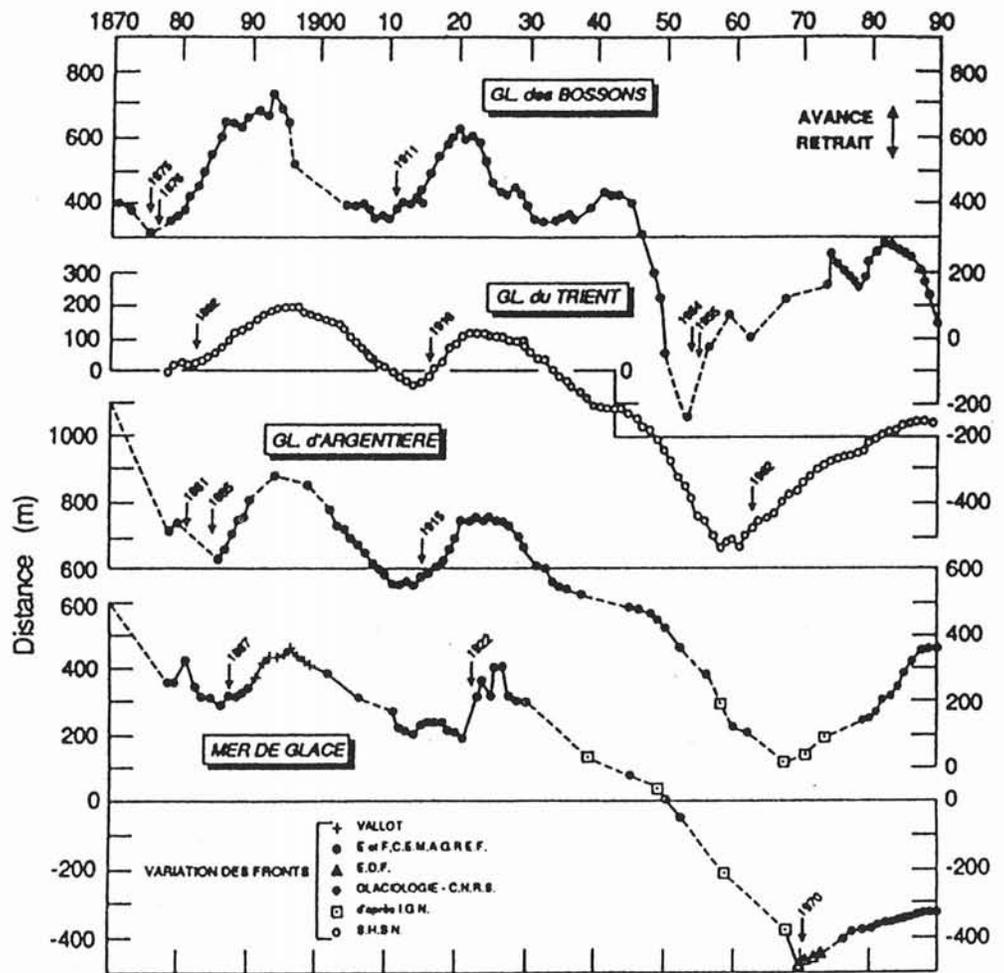
Sul versante italiano fino al 1940 l'isoterma estiva degli 0 °C mantiene una posizione sfavorevole al glacialismo, rimanendo attestata a 3.570 m di altitudine. Subito dopo però si abbassa di ben 100 m dando luogo alla formazione di ghiaccio in quantità tale da provocare un certo accrescimento volumetrico e lineare dei ghiacciai. Infatti, fra il 1942 e il 1943, Lex Blanche e di Pré-de-Bar si allungano rispettivamente di 40 e di 60 metri.

Dopo il 1945 le isoterme dei mesi estivi si innalzano considerevolmente su ambedue i versanti raggiungendo, su quello italiano la quota media di 3.525 m. La nevosità si fa molto scarsa e il limite delle nevi perenni sale a quasi 2.900 metri riducendo le aree di alimentazione al 57% della copertura glaciale: una estensione che si dimostra insufficiente per produrre quantità di ghiaccio in grado di compensare l'ablazione.

Alcuni autori (Rudloff, 1967) segnalano questo periodo, che ha il proprio culmine nel 1947, come il vero e proprio optimum climatico dei secoli posteriori al 1500. Ne consegue una forte crisi di alimentazione dei ghiacciai. Infatti, dopo il 1945 quasi tutti gli apparati delle Alpi Occidentali entrano in accentuato regresso. Fra i ghiacciai del Monte Bianco, molti perdono rapidamente decine di metri di spessore e ogni anno raccorciano le loro lingue vallive fra i trenta e i cinquanta metri. Il ghiacciaio di Bosson tra il 1943 e il 1953 perde una lunghezza di 550 m; l'Argentière, tra il 1945 e il 1950, di 400 m; il Trient tra il 1945 e il 1958, di 500 m. (Cfr. fig. 3) Sul versante italiano la lingua valliva del Lex

FIG. 3 - Variazioni ghiacciai del versante settentrionale del Monte Bianco dal 1870 al 1990 (da Reynaud, 1991). È evidente la sincronia delle variazioni registrate nei quattro ghiacciai presi in considerazione: Bosson, Trient, Argentière e Mer de Glace: le contrazioni più gravi sono quelle registratesi fra il 1945 e il 1960. Invece tutti risultano in espansione fra il 1965 e il 1990. Lo schema mette in luce che ciascun ghiacciaio ha un tempo di risposta diverso alle variazioni climatiche: il più breve è quello del Bosson, ghiacciaio molto ripido, alimentato direttamente dalle calotte sommitali del Monte Bianco; i più lenti sono quelli dell' Argentière e della Mer de Glace, apparati molto estesi dal bacino con pendenze moderate e le cui quote più alte non superano i 3.900 m.

FIG. 3 - Variations of the glaciers on the northern side of the Mont Blanc from 1870 to 1990 (after Reynaud, 1991). The synchronicity of the variations measured in the four glaciers considered (Bosson, Trient, Argentière and Mer de Glace) is evident: the most serious contractions were measured from 1945 to 1960. On the contrary, all of them expanded in the period between 1965 and 1990.



Blanche, fra il 1942 e il 1954, perde 850 m di lunghezza; quella della Brenva, 425 m e quella del Pré-de-Bar di 225 m.

## LE VARIAZIONI DEL PERIODO 1951-1980

Dopo il 1950 si afferma una fase climatica più fredda. Su ambedue i versanti le isoterme estive 0 °C si stabiliscono fra i 3.370 e i 3.380 m di altitudine. Questa situazione, a cui si accompagna una abbondante nevosità, perdura per circa vent'anni e costituisce una congiuntura molto favorevole al glacialismo (tab. 11).

Sul versante italiano negli anni più nevosi il limite delle nevi persistenti scende sotto i 2.700 m e le zone di alimentazione si estendono su più del 70% dell'area glacializzata; possono così formarsi nuove poderose coltri di ghiaccio. Fatti analoghi si registrano anche sul versante opposto, tanto che fra il 1960 e il 1970 l'85% dei ghiacciai del Monte Bianco risulta essere in espansione.

I primi a rispondere a questa situazione favorevole sono il Bosson sul versante francese e il Lex Blanche su quello italiano, che già nel 1954-55 mostrano di aver decisamente invertito fase. Fra il 1958 e il 1959 la fronte del ghiacciaio svizzero del Trient avanza improvvisamente di venti metri e per circa trent'anni manterrà sostenuti ritmi di espansione.

Negli anni sessanta tutti i ghiacciai del versante italiano aumentano di volume e di lunghezza (Lex Blanche + 670 m; Brenva + 200 m; Pré-de-Bar + 120 m) e così pure gran parte di quelli francesi. Sui ghiacciai più lunghi e meno ripidi, quali l'Argentière e la Mer de Glace, di anno in anno, aumenta lo spessore delle coltri, ma gli effetti della migliorata alimentazione tardano fino al 1971 a ripercuotersi sulle fronti e solo negli anni successivi avranno luogo espansioni lineari delle lingue vallive.

Proprio il 1971 risulta essere, tanto sul versante italiano quanto su quello francese, uno degli anni più caldi del nostro periodo di studio. Mai fino ad allora a Chamonix la temperatura media di luglio era salita a 16,6 °C e la media delle massime a 24,5 °C mentre a Courmayeur si registravano rispettivamente 22,3 °C e 28,6 °C. In quel quinquennio sul versante francese l'isoterma 0 °C media estiva si innalza a 3 430 m; su quello italiano supera i 3.600 m. La nevosità si fa molto scarsa e pertanto l'area di alimentazione su versante italiano si riduce ad appena il 50% della superficie glacializzata (tab. 11). Malgrado le buone riserve di ghiaccio formatesi nei decenni precedenti, alcuni apparati entrano presto in crisi. I ghiacciai di Lex Blanche e di Bosson sono, come sempre, i più sensibili. Il primo, che dal 1954 al 1973 aveva guadagnato 670 metri di lunghezza, fra il 1974 e l'1980 ne perde 86; il secondo che nello stesso periodo si era allungato di 450 metri, fra il 1973 e il 1978 si raccorcia di circa 100.

Sugli altri ghiacciai l'onda di piena formatasi prima del 1971 continua a fluire riuscendo a compensare la ridotta alimentazione. Pertanto in quei brevi anni critici su di loro si nota solo una progressione più contenuta o un periodo di stasi.

Il quinquennio 1976-80 ritorna a valori termici favorevoli al glacialismo e le abbondanti nevicate portano il limite delle nevi perenni a quote tali da aprire all'alimentazione il 71% dell'area glaciale italiana (tab. 11). Lex Blanche e Bosson passano nuovamente in fase di espansione riguadagnando in gran fretta il terreno perduto, poi superano il limite frontale del 1974 sopravanzandolo, il primo di circa 100 metri, il secondo di una cinquantina. Tutti gli altri proseguono il loro progresso compresi Argentière e la Mer de Glace fino a tutto il quinquennio seguente.

Giunge al termine la lunga fase climatica favorevole al glacialismo, che con la breve interruzione fra il 1971-75, era in atto fin dal 1950. Ad essa i ghiacciai del Monte Bianco avevano risposto in tempi più o meno rapidi (dai 4 anni di Lex Blanche e Bosson ai 20 della Mer de Glace e dell'Argentière) facendo registrare, oltre all'aumento di spessore delle coltri glaciali, considerevoli accrescimenti di lunghezza delle lingue vallive.

Sul versante italiano il ghiacciaio di Lex Blanche dal 1954 al 1986 si è accresciuto di 764 metri; la Brenva, dal 1963 al 1993, di 470 m; il Pré-de-Bar dal 1963 al 1987, di 250 m. Sul versante franco-svizzero il ghiacciaio di Bosson dal 1954 al 1983 si è allungato 500 m; la Mer de Glace, dal 1971 al 1990, 200 m; l'Argentière, dal 1971 al 1987, 350 metri; il ghiacciaio di Trient: dal 1958 al 1987, 400 m (Cfr. fig. 3).

## LE VARIAZIONI DAL 1981 AL 2000

Il quinquennio 1981-85 segna l'inizio di una nuova fase climatica caratterizzata da temperature molto elevate (tab. 11). L'isoterma media estiva 0 °C, tanto sul versante francese che su quello italiano, balza quasi 200 metri a monte della quota a cui si era stabilizzata fin dal 1950: dai 3 345 m ai 3.530 m sul versante francese, dai 3.440 m ai 3.630 m su quello italiano. Le precipitazioni nevose si fanno meno abbondanti e il limite delle nevi persistenti sul versante italiano si innalza tanto da raggiungere i 2.900 metri. Le aree di alimentazione passano dal 71% al 55% della copertura glaciale. Si instaura una situazione simile e forse anche più estrema di quella del famoso *optimum* 1946-50.

Sul versante italiano, i ghiacciai cominciarono a registrare scompensi di alimentazione fra il 1987 e il 1988. Ora, dopo dodici anni di clima sfavorevole al glacialismo tutti gli apparati hanno subito forti perdite di spessore, mentre diminuisce vistosamente la lunghezza delle lingue vallive: quella di Lex Blanche si è molto smagrita e si è raccorciata di almeno 400 m; quella di Pre de Bar di quasi 200 m.

Anche sul versante francese i ghiacciai sono in rapido regresso. La Mer de Glace ha perduto in lunghezza tutto quanto aveva guadagnato nella precedente fase di espansione e inoltre la lingua valliva si è ulteriormente appiattita. Argentière dal 1990 si è raccorciata di 210 metri, il Bosson, dal 1983, di 500 metri.

Fra l'86 e il '90 sul versante francese lo zero termico estivo si è abbassamento di un centinaio di metri di quota, ampliando la superficie in cui si raccolgono le coltri ali-

mentatrici. Il ghiacciaio di Bosson, che ha una reazione molto rapida, dal 1997 risponde a questo fenomeno con una nuova espansione: in due anni la sua lunghezza è aumentata una cinquantina di metri.

Ma dopo il 1991 l'isoterma 0 °C fra Giugno e Settembre ritorna in alta quota: nell'Estate del 1995, ai 3.842 m della stazione meteorologica dell'Aiguille du Midi, la temperatura media di Luglio è stata di +2 °C e la media delle massime, di +6 °C.

Sul versante italiano per questi ultimi quinquenni abbiamo a disposizione solo i dati della stazione meteorologica del Traforo del Monte Bianco. In base al loro trattamento la quota media estiva dell'isoterma 0 °C risulterebbe superare i 3.600 metri portando il limite delle nevi persistenti a 2.930 m. Se questa situazione corrisponde alla realtà, le zone di alimentazione sono ridotte ad appena il 53% della superficie glaciale italiana, una estensione ben inferiore al 57% registrato durante l'optimum 1946-50.

Questi dati dimostrano che è in atto una situazione climatica assai sfavorevole al glacialismo anche se le estati 1999 e 2000 sono stati alquanto più fresche dei precedenti anni del decennio.

#### BIBLIOGRAFIA

- BRUNOT G. (1999) - *Climatologie particulière de la vallée de Chamonix*. Deuxièmes Etats Generaux de l'environnement dans le Massif du Mont-Blanc. Les Houches, 17 Avril 1999.
- CAPELLO C.F. (1936) - *La glaciazione attuale nel Massiccio del Monte Bianco*. Boll. Comit. Glac. It., ser 1,16, 157-230.

- CERUTTI A.V. (1975) - *Le condizioni termometriche e nivometriche del periodo 1936-70 sul versante meridionale del Monte Bianco e le variazioni di volume delle precipitazioni nevose nei bacini glaciali*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 3, 23, 31-50.
- CERUTTI A.V. (1985) - *Le variazioni glaciali e climatiche durante l'ultimo secolo nei gruppi del Monte Bianco e del Monte Rosa*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 8, 124-136.
- CERUTTI A.V. (1992) - *L'espansione dei ghiacciai italiani del Monte Bianco fra il 1962 e il 1989*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 15, 67-74.
- CERUTTI A.V. (1995) - *Variazione dei Ghiacciai del Monte Bianco in epoca storica*. Archivi Glaciali: atti dell'incontro di Courmayeur 2-3 Settembre 1995, 9-28.
- METEO-FRANCE - DIRECTION INTERREGIONALE CENTRE-EST (1994) - *30 années de Radio-Sondages a Bron et Satolas - Resultats et Commentaires*.
- MOREAU L. (1999) - *Etat des glaciers du versant francais du Mont Blanc*. Deuxièmes Etats Generaux de l'environnement dans le Massif du Mont-Blanc. Les Houches, 17 Avril 1999.
- REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA (1985) - *Catasto dei ghiacciai e delle nevi perenni. (su volo aereofotogrammetrico 1975)*. Compilatore F. Secchieri. Supervisione del Comitato Glaciologico Italiano. Inedito.
- REYNAUD L. (1985) - *La Mer de Glace et les glaciers du Mont-Blanc*. Comité Scientifique des réserves Naturelles du Departement de Haute-Savoie, in base ai documenti e ai risultati del laboratorio di Glaciologia del CNRS di Grenoble.
- REYNAUD L. (1988) - *Le glacier d'Argentière*. Comité Scientifique des réserves naturelles du Departement de Haute-Savoie, id. c.s., in base ai documenti e ai risultati del laboratorio di Glaciologia del CNRS di Grenoble.
- REYNAUD L. (1991) - *Glace et Glacieres*. Festival des Sciences de la Terre et de ses Hommes, in base ai documenti e ai risultati del laboratorio di Glaciologia del CNRS di Grenoble.
- RUDLOFF H. VON (1967) - *Die Schwankungen und Pendelungen des Klimas in Europa seit dem Beginn der regelmassigen Instrumenten-Beobachtungen*. Braunschweig, Vieweg
- VIVIAN R. (1975) - *Les Glaciers des Alpes Occidentales*. Allier, Grenoble, 513 pp.