

ROSSANA SERANDREI BARBERO (*), UGO MATTANA (**), & STEFANO ZECCHETTO (*)

GLACIALISMO RECENTE E VARIAZIONI CLIMATICHE NELLE ALPI AURINE E PUSTERESI (ALPI ORIENTALI)

ABSTRACT: SERANDREI BARBERO R., MATTANA U. & ZECCHETTO S., *Recent Glacier Behaviour and Climatic Factors in the Aurine and Pusteresi Alps (Eastern Alps)* (IT ISSN 0391-9838, 1995).

Measurements of the snout variations of the Aurine and Pusteresi glaciers (Noriche Alps) are available from 1929; they indicate a general retreat interrupted by a short advance between 1977 and 1983. The climatic parameters recorded starting from the 20's at Terme di Brennero (1,320 m) allow some evaluation on the mechanisms that control the snout variations and their response time. The advance seems due to the concomitance between colder temperatures in summer and a higher amount of precipitation in winter. The retreat of the 30's seems to be governed by a different climatic trend with respect to the one that governs the present regression. The response time, which results for some glaciers within 5 years for temperature and at least the double for precipitation, is directly proportional to the size of the glacier. The analysis of glacier behaviour in the area examined allows to exclude the existence of other advances apart from the measured one and makes it possible to extrapolate the known snout variations to the periods lacking measures.

KEY WORDS: Glaciers, Temperature, Precipitation, Periodicity, Aurine and Pusteresi Alps.

RIASSUNTO: SERANDREI BARBERO R., MATTANA U. & ZECCHETTO S., *Glacialismo recente e variazioni climatiche nelle Alpi Aurine e Pusteresi (Alpi Orientali)* (IT ISSN 0391-9838, 1995).

Sui ghiacciai delle Alpi Aurine e Pusteresi (Alpi Noriche) sono disponibili misure di spostamento delle fronti dal 1929; esse indicano una fase di regresso interrotta da una breve avanzata alla fine degli anni 70. I parametri climatici rilevati dagli anni '20 a Terme di Brennero (1 320 m) permettono alcune considerazioni sui meccanismi che controllano gli spostamenti delle fronti e i loro tempi di risposta. L'avanzata 1977-1983 appare dovuta alla concomitanza tra minime temperature estive e massime precipitazioni

invernali; il regresso degli anni '30 appare controllato da condizioni termometriche inizialmente più sfavorevoli al glacialismo rispetto a quelle che controllano il regresso attuale. I tempi di risposta, di grandezza doppia per le precipitazioni rispetto alla temperatura, risultano direttamente proporzionali alle dimensioni dei ghiacciai. L'analisi del glacialismo nell'area studiata permette di estrapolare gli spostamenti frontali noti ai periodi privi di misure.

TERMINI CHIAVE: Ghiacciai, Temperatura, Precipitazioni, Periodicità, Alpi Aurine e Pusteresi.

INTRODUZIONE

Il versante italiano delle Alpi Aurine e Pusteresi (Alpi Noriche) comprende i ghiacciai tributari dei bacini idrografici del Torrente Vizze e del Torrente Aurino (fig. 1). Escludendo gli apparati tributari del Rio di Riva, affluente del Torrente Aurino, qui non considerati, nel Catasto dei Ghiacciai Italiani (C.N.R.-C.G.I., 1959-1962) essi coprono le unità dal numero 882 al 925, che includono tutti i 34 ghiacciai delle Aurine (di cui 3 estinti) e 19 delle Pusteresi (di cui 1 estinto). La superficie totale dei ghiacciai considerati è di 19,53 km² secondo il catasto del 1962 (C.N.R.-C.G.I., op. cit.) e di 23,38 km² secondo il catasto del 1982 (PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO-UFFICIO IDROGRAFICO, 1982). Questi valori si riferiscono ai ghiacciai inclusi e misurati in entrambi i catasti, con esclusione, quindi, dei 4 ghiacciai dichiarati estinti nel catasto del 1962 e dei numerosi glacionevati riportati nel solo catasto del 1982, compilato, come è noto, durante una breve fase favorevole al glacialismo verificatasi, nelle Alpi Orientali, negli anni '70 dopo una lunga fase di ritiro. L'aumento di superficie glacializzata di 3,85 km² nel 1982, pari al 20% dell'estensione del 1962, è attribuibile a questa recente fase di espansione glaciale, ma sulla sua stima quantitativa incidono le imprecisioni legate ai diversi sistemi di rilievo utilizzati nei due catasti e ai loro diversi margini di tolleranza nella precisione delle misure (ATTARDO & alii, 1989); gli stessi limiti valgono per il valore della superficie totale, pari a circa 19 km², calcolato nel 1987 (SERANDREI BARBERO & alii, 1992), in piena ripresa del regresso in atto ancora oggi (ZANON, 1991).

(*) Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse del C.N.R., S. Polo 1364, 30125 Venezia.

(**) Dipartimento di Geografia dell'Università, via del Santo 26, 35123 Padova.

Comunicazione presentata al Convegno «Cento anni di ricerca glaciologica in Italia», Torino, 19-20 Ottobre 1995 (Communication presented at the Meeting «100 years of glaciological research in Italy», Turin, 19-20 October, 1995).

I dati climatici sono stati gentilmente forniti dall'Ufficio Idrografico della Provincia Autonoma di Bolzano, di cui ricordiamo con gratitudine il Direttore Ing. P. VALENTINI, sempre aperto ad ogni forma di collaborazione.

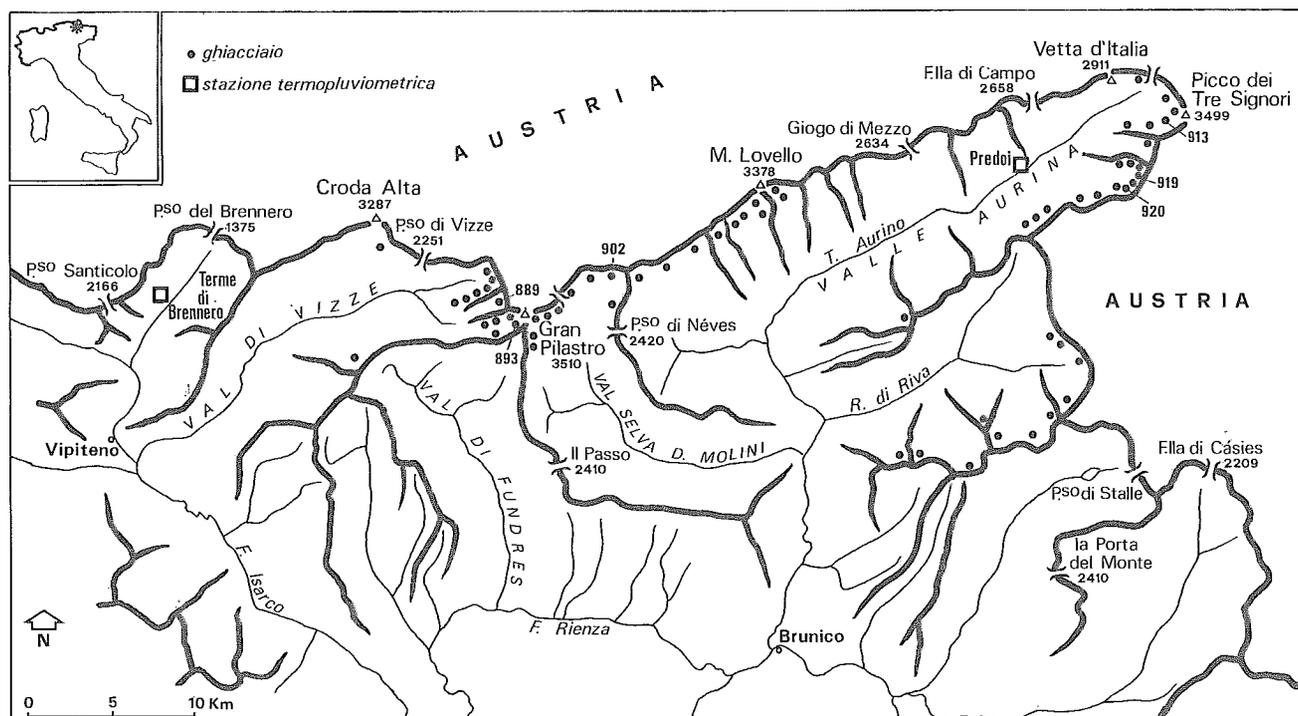


Fig. 1 - Ubicazione dell'area in esame, dei ghiacciai controllati e delle stazioni termopluviometriche (da C.N.R.-C.G.I., 1959-62, modificato).
 Fig. 1 - Location of the area under study, with indication of the considered glaciers and meteorological stations (after C.N.R.-C.G.I. 1959-1962, modified).

Le dimensioni dei 49 ghiacciai di questo settore delle Alpi Orientali sono comprese tra 0,02 e 2,62 km² (C.N.R.-C.G.I., 1959-62). Solo 5 tra i ghiacciai considerati hanno superficie maggiore di 1 km². Essi sono: il Ghiacciaio della Quaira Bianca (n° di catasto 889), il Ghiacciaio del Gran Pilastro (893), il Ghiacciaio Orientale di Neves (902), il Ghiacciaio di Rio Torbo (908) e il Ghiacciaio di Lana (913). Su questi ghiacciai, con esclusione del solo Ghiacciaio di Rio Torbo, sono in corso misure di spostamento della fronte da alcuni segnali fissi; misure che, pur senza fornire informazioni sul bilancio di massa, sono comunque legate ai parametri climatici attraverso un tempo di risposta più o meno lungo (POSAMENTIER, 1977; REYNAUD, 1977; BELLONI & alii, 1985; SERANDREI BARBERO & alii, 1989). Analoghe misure sono in corso sul Ghiacciaio della Valle del Vento (919) e sul Ghiacciaio Rosso Destro (920) che rappresentano, per questo settore delle Alpi, due apparati di dimensioni medie.

Le misure alle fronti sono in corso, in genere, dagli anni '70; ma accanto a queste relativamente recenti, esistono quelle effettuate negli anni '30 dai precedenti operatori. Di queste misure, che rientrano in una generale fase di ritiro in atto sulle Alpi Orientali dal 1925 (ZANON, 1985), sono utilizzabili solo il segno e la grandezza dello spostamento, essendo molto limitate le informazioni sulla posizione frontale dell'epoca e sulla posizione dei segnali a cui venivano riferite le misure.

Con questo lavoro si vuole verificare se l'esistenza di eventuali episodi ciclici nelle serie di dati climatici locali

permetta di riconoscere, negli anni '30, quelle stesse condizioni che determinano l'attuale ritiro delle fronti e di ricostruire i probabili spostamenti frontali in anni privi di informazioni.

I GHIACCIAI CONTROLLATI

All'interno dell'area studiata, vengono presi in esame i ghiacciai le cui misure alle fronti siano sufficientemente estese nel tempo (Tab. 1). Questo requisito, essenziale in questo tipo di approccio, ha evidenziato come vicende evolutive diverse, anche per apparati contermini, abbiano a volte condizionato le sequenze delle misure.

Le prime descrizioni dei ghiacciai delle Alpi Aurine risalgono alla fine della «Piccola Età glaciale» (SONKLAR, 1872; RICHTER, 1888) e già nel 1885 le prime misure (FINSTERWALDER, 1888) segnalano il regresso in atto. In particolare, sui ghiacciai della Quaira Bianca e del Gran Pilastro, descritti da CONCI tra il 1925 e il 1927 (C.G.I., 1927-1928), nel 1929 ebbero inizio i controlli di PERETTI che, protratti (salvo l'interruzione bellica) fino al 1958, risultano fondamentali per i riferimenti ai dati morfometrici e per i tentativi di riscontro con la letteratura precedente (C.G.I., 1930-1960; PERETTI, 1930). Nel 1968, dopo circa 10 anni di interruzione, i controlli furono ripresi da ZANELLA su entrambi i ghiacciai, ma protratti con continuità solo per il Ghiacciaio del Gran Pilastro, mentre il Ghiacciaio della Quaira Bianca veniva abbandonato per le diffi-

TABELLA 1 - Principali caratteristiche dei ghiacciai considerati.

TABLE 1 - Main characteristics of the studied glaciers

Ghiacciaio n°	Area 1962 km ²	Area 1982 km ²	esposizione	q. min. m (1992)	q. max m	media m	periodo di osservazione
Quaira Bianca 889	1,31	1,41	SO	2555	3510	3032	1929-58 1990-93
Gran Pilastro 893	2,5	2,62	O	2460 (1991)	3370	2915	1929-58 1968-93
Orient. Neves 902	2,1	2,27	S	2540	3350	2945	1930-51 1968-94
Lana 913	1,32	1,69	NO	2240	3499	2870	1930-38 1976-94
Valle del Vento 919	0,273	0,360	NO	2460	3100	2780	1931-33 1976-94
Rosso Destro 920	0,718	1,00	NO	2455	3220	2838	1931-38 1976-94

coltà di controllo (C.G.I., 1969-1979). Le osservazioni furono infine riprese nel 1983 e continuate fino ad oggi da MATTANA, che nel 1990 poteva riprendere le misure anche sul Ghiacciaio della Quaira Bianca.

Il Ghiacciaio Orientale di Neves fu descritto da CONCI negli anni 1926-27 (C.G.I., 1927-1928) e fu controllato da PERETTI dal 1930 al 1940 e ancora nel dopoguerra (C.G.I., 1931-1952; PERETTI, 1934); le osservazioni furono quindi riprese nel 1968 da ZANELLA (C.G.I., 1969-1980) e successivamente da MATTANA.

Sui Ghiacciai di Lana, della Valle del Vento e Rosso Destro, appartenenti alle Alpi Pusteresi, il regresso in atto negli anni '30 è documentato da SESTINI nel 1930 e 1934, MARCHETTI nel 1931 e 1932, TAVANI nel 1933 e VIDESOTTI dal 1935 al 1938 (C.G.I., 1931-1939). Interrotte nel 1938, le osservazioni furono riprese nel 1976 da SERANDREI BARBERO.

Le distanze misurate negli anni '30 sono riferite a dei segnali di cui non è nota la posizione rispetto agli attuali; per questo motivo i grafici delle distanze misurate (fig. 2) presentano un andamento spezzato in cui lo zero di riferimento comune alle due serie di dati è arbitrario. Quest'ultimo è, comunque, reso superfluo dall'utilizzo della derivata prima delle distanze (fig. 3) che, descrivendo gli spostamenti frontali in termini di velocità annua, rende l'insieme dei dati omogeneo. Per tutti i ghiacciai considerati (fig. 2), nel 1930 è già in atto un regresso che dura ancora oggi, salvo una breve inversione di tendenza attorno al 1980; l'avanzata è stata più accentuata per i ghiacciai 913, 919 e 920, è appena avvertibile per il ghiacciaio 902 e non è rilevabile per il ghiacciaio 893. La derivata delle distanze misurate (fig. 3) è, a sua volta, molto costante per il ghiacciaio 893 (attorno ai 10 m anno⁻¹) mentre mostra evidenti accelerazioni o decelerazioni negli altri: nei ghiacciai 913, 919 e 920 la massima velocità di avanzata si verifica attorno al 1980, seguita da una decelerazione e da un assestamento su una velocità di regresso quasi costante (ghiacciaio 913) o in aumento (919 e 920). Nel ghiacciaio 902 nel 1980 si ha la minima velocità di spostamento, preceduta da un rallentamento progressivo del regresso e seguita da una nuova accelerazione.

Le ragioni di questi comportamenti non sembrano at-

tribuibili alle caratteristiche altimetriche (tab. 1), ma piuttosto alle dimensioni: l'avanzata attorno al 1980 è ben marcata per i ghiacciai di dimensioni minori (913, 919 e 920), si traduce in un semplice arresto del regresso nel ghiacciaio di dimensioni intermedie (902) e non è avvertita dal ghiacciaio più esteso (893); mentre nulla si può dire sul ghiacciaio 889, privo di misure nel periodo di interesse, se non che, nei periodi di osservazione, il suo passo di regresso, costante, è inferiore ai 10 m anno⁻¹.

IL CLIMA

Nell'area in esame sono operative 2 stazioni termopluviometriche: Predoi (1 449 m) dal 1977 e Terme di Brennero (1 320 m) dal 1921 per le precipitazioni e dal 1926 per la temperatura. A Predoi l'anno medio 1977-94 ha temperatura minima in Gennaio (-3,9 °C) e massima in Luglio (+ 14,3 °C) e precipitazioni minime in Febbraio (40,2 mm) e massime in Luglio (136,5 mm). A Terme di Brennero l'anno medio 1977-94 ha anch'esso temperatura minima in Gennaio (-2,8 °C) e massima in Luglio (+ 14,9 °C) e precipitazioni minime in Febbraio (34,6 mm) e massime in Luglio (132 mm).

Le due stazioni appaiono analoghe, ma caratterizzate da un certo scarto dei valori mensili. A Predoi le temperature mensili sono in media di $1,3 \pm 0,9$ °C inferiori a quelle di Terme di Brennero; la correlazione lineare tra le temperature medie mensili delle due stazioni per il periodo 1978-1988, in cui l'acquisizione dei dati è continua in entrambe le stazioni, risulta di + 0,99, dove + 1 indica una perfetta relazione diretta tra due variabili (DAVIS, 1986).

Per quanto riguarda le precipitazioni mensili, che differiscono in media di $2 \pm 33,7$ mm, la correlazione lineare, calcolata per il solo periodo 1980-1983 date le frequenti lacune nei dati, risulta comunque apprezzabile (+ 0,78).

Data la buona correlazione tra le stazioni, Terme di Brennero viene considerata rappresentativa dell'area in esame. I relativi valori medi annui della temperatura e totali annui delle precipitazioni per l'intero periodo (figg. 4 e 5) mostrano un andamento non stazionario, evidenziato

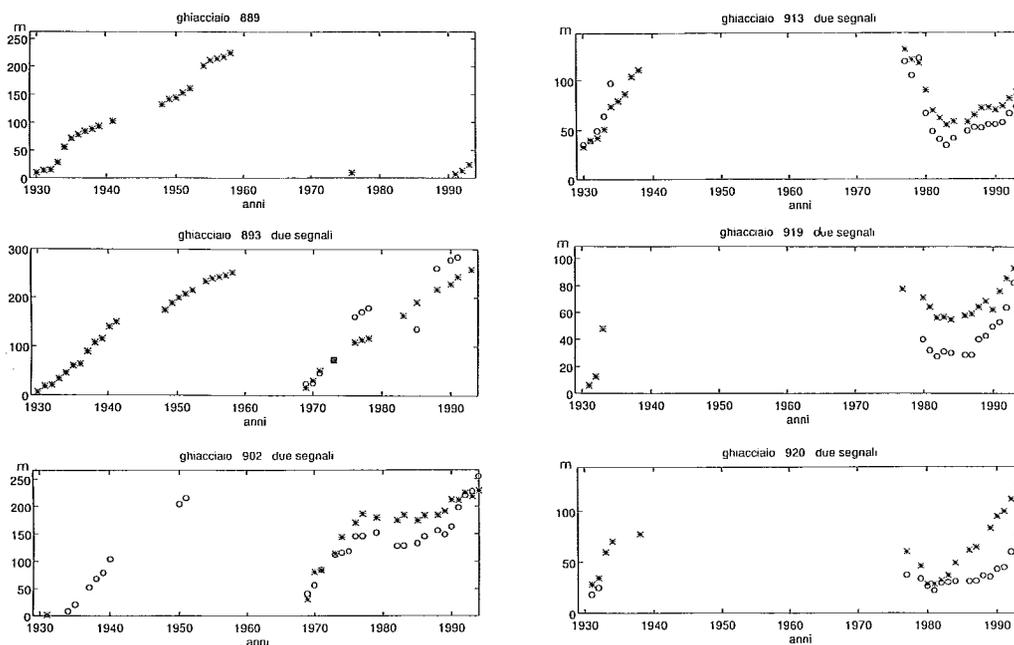


FIG. 2 - Distanze delle fronti dai segnali fissi dal 1929 al 1994. I ghiacciai sono identificati dal numero di catasto (v. tabella 1). Le misure sono approssimate a $\pm 0,5$ m; lo zero di riferimento, arbitrario, corrisponde alla prima misura documentata.

FIG. 2 - Glacier snout variations between 1929 and 1994. The glaciers are identified by their inventory number (see Table 1). The data accuracy is ± 0.5 m; the zero reference line, arbitrary, corresponds to the first recorded measure.

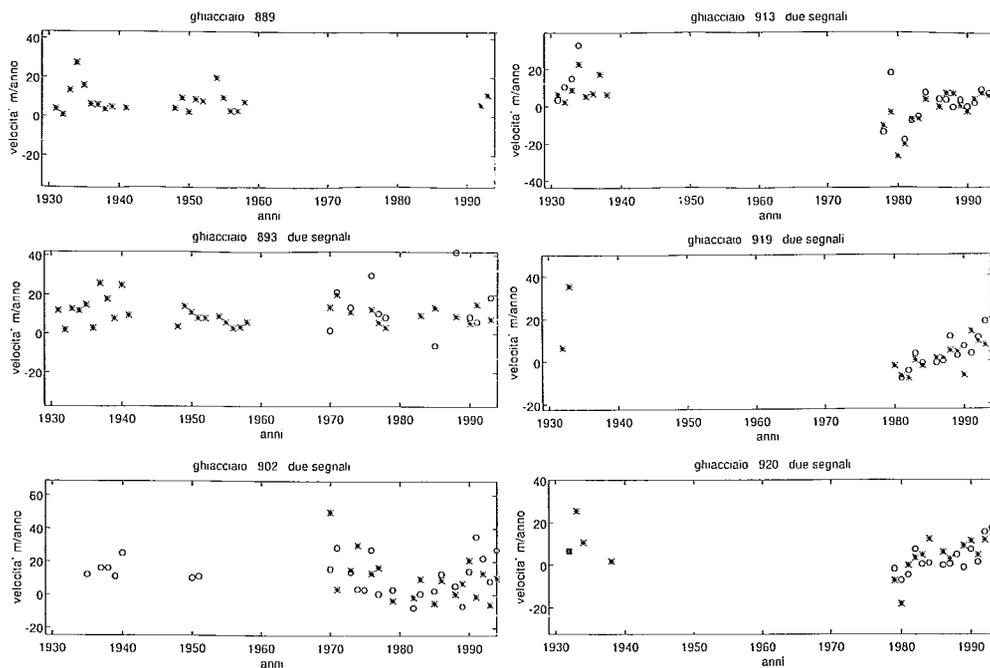


FIG. 3 - Derivate delle distanze di figura 2, espresse come velocità degli spostamenti frontali in $m \text{ anno}^{-1}$: velocità negative corrispondono ad avanzate, velocità positive a regressi. I ghiacciai sono identificati dal numero di catasto (v. tabella 1).

FIG. 3 - Velocities of the snout variations expressed in $m \text{ year}^{-1}$: negative velocities correspond to advances, positive velocities to retreats. The glaciers are identified by their inventory number (see Table 1).

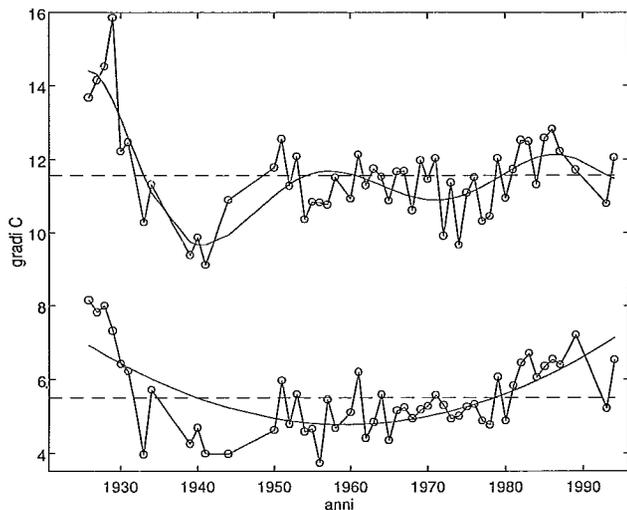


FIG. 4 - Terme di Brennero (1 320 m), 1926-1994: temperatura media annua (in basso) e del semestre Maggio-Ottobre, e relative curve di regressione; le linee tratteggiate indicano il valore medio, rispettivamente 5,6 °C e 11,6 °C.

FIG. 4 - Terme di Brennero (1 320 m), 1926-1994: annual mean temperature (bottom) and mean temperature for the ablation season (May-October) with regression curves superimposed. Dashed lines represent the mean value of the two data series, 5,6 °C and 11,6 °C respectively.

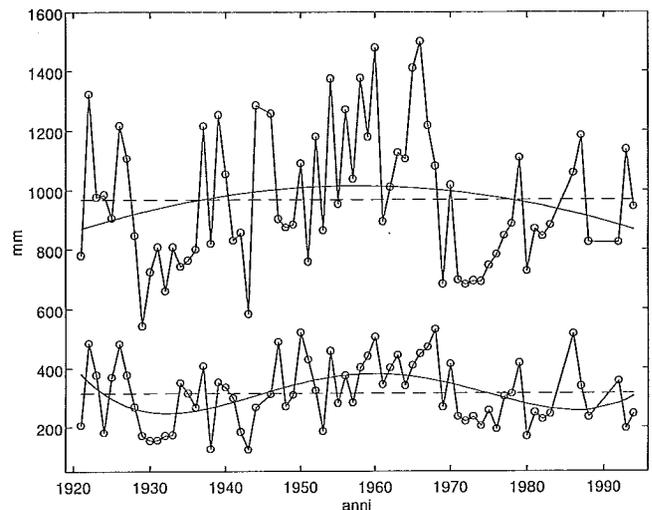


FIG. 5 - Terme di Brennero (1 320 m), 1921-1994: precipitazioni annue (in alto) e del semestre Novembre-Aprile, e relative curve di regressione; le linee tratteggiate indicano il valore medio, rispettivamente 968,5 mm e 315 mm.

FIG. 5 - Terme di Brennero (1 320 m), 1921-1994: yearly precipitation (top) and precipitation in the accumulation season (November-April) with regression curves superimposed. Dashed lines indicate the mean values of the two data series, 968.5 mm and 315 mm respectively.

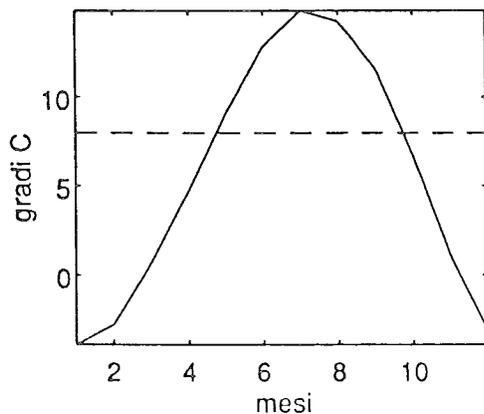


FIG. 6 - Terme di Brennero (1 320 m): anno termometrico medio 1926-1994. La linea tratteggiate indica la riduzione della temperatura (8 °C) e la conseguente durata della stagione d'accumulo e d'ablazione alla quota media dei ghiacciai considerati (circa 2 900 m).

FIG. 6 - Terme di Brennero (1 320 m): mean thermometric year for the period 1926-1994. The dashed line shows the decrease in temperature (8 °C) and the consequent length of the accumulation and ablation season at the mean altitude of the considered glaciers (about 2 900 m).

dalle curve di regressione (DAVIS, 1986). Per un gradiente altimetrico medio annuo di 0,5 °C/100 m (CORBEL, 1963; CA' ZORZI & alii, 1984) a 2 900 m (media approssimata degli estremi dei ghiacciai considerati) la riduzione della tem-

peratura è di 8 °C e la stagione di ablazione viene a coincidere con il semestre Maggio-Ottobre (fig. 6).

Gli andamenti dei valori medi delle temperature del semestre di ablazione e totali delle precipitazioni del semestre di accumulo (figg. 4 e 5) mostrano con più evidenza, rispetto ai valori annui, l'andamento periodico delle precipitazioni e la non stazionarietà della temperatura estiva.

Le periodicità delle serie mensili delle temperature e delle precipitazioni sono state calcolate con il metodo del periodogramma normalizzato (PRESS & alii, 1992, pp. 569-577) che, contrariamente alla classica analisi di Fourier, permette di valutare le periodicità in serie con dati mancanti; ciò è particolarmente importante nel campo della geofisica dove le serie di dati senza interruzioni sono molto rare. Nel caso delle serie qui considerate relative a Terme di Brennero, mancano gli anni 1932, 1935-1938, 1942, 1943, 1945-1949, 1959, 1990-1992 per le temperature e gli anni 1945, 1984, 1985, 1989-1991 per le precipitazioni.

Il metodo del periodogramma fornisce, oltre alla ciclicità dei dati, anche una stima della attendibilità delle periodicità calcolate, espressa in termini di probabilità; solo le periodicità con alti valori di probabilità possono essere considerate attendibili.

L'analisi dei dati mensili delle precipitazioni del periodo 1921-1994 è stata fatta per un intervallo di periodicità (data dal rapporto 1/frequenza x 12 mesi) compreso tra 200 anni (frequenza = 0,0004) e 5,5 anni ($f = 0,015$); in questo intervallo (fig. 7) l'unica frequenza probabile è in corrispondenza di $f = 0,0018$ (circa 46 anni). Le temperatu-

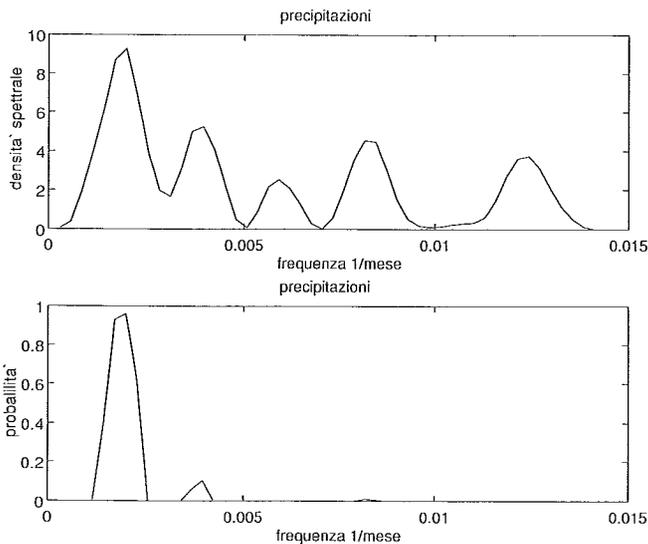


Fig. 7 - Diagramma della periodicità (periodogramma) dei dati mensili delle precipitazioni del periodo 1921-1994 (in alto) e sua probabilità, espressi in funzione della frequenza in mesi⁻¹. L'intervallo di frequenza raffigurato corrisponde ad una periodicità P ($P = 1/(\text{frequenza} \times 12 \text{ mesi})$) compresa tra 200 anni (frequenza 0,0004) e 5,5 anni (frequenza 0,015). L'unica frequenza probabile in questo intervallo è in corrispondenza di 0,0018 (circa 46 anni).

Fig. 7 - Plot of the periodicity of the monthly values of the precipitation in the period 1921-1994 (top) and the associated probability (bottom), as a function of the frequency in months⁻¹. The frequency interval shown corresponds to the period P ($P = 1/(\text{frequency} \times 12 \text{ months})$) between 200 years (frequency 0.0004 months⁻¹) and 5.5 years (frequency 0.015 months⁻¹). The only probable frequency falls at 0.0018 (about 46 years).

re mensili del periodo 1926-1994 mostrano, invece, la sola periodicità annuale mentre, per periodi più lunghi (fig. 8), le probabilità di periodicità sono nulle.

DISCUSSIONE

Sui ghiacciai considerati, all'interno di una generale fase di deglaciazione, si è verificata una breve avanzata alla fine degli anni '70, seguita da una ripresa del regresso negli anni '80. L'avanzata fa seguito ai minimi valori della temperatura estiva (media del periodo di ablazione) dei primi anni '70 (fig. 4) e ai persistenti massimi delle precipitazioni invernali (totale del periodo di accumulo) del ventennio 1950-1970 (fig. 5). La ripresa del regresso succede, con tempi di risposta diversi per ciascun ghiacciaio, all'aumento della temperatura estiva, forzante principale dell'ablazione (KUHNS, 1993), superiore alla media dal 1980 circa (fig. 4) e al decremento delle precipitazioni invernali che ha avuto inizio attorno al 1970 (fig. 5).

L'avanzata cade all'interno di una marcata opposizione di fase (fig. 9), in atto dai primi anni '70, caratterizzata da basse temperature estive ed alte precipitazioni invernali. Nell'intero periodo considerato essa è l'unica fase di basse temperature ed alte precipitazioni; quest'ultime sono infatti sfasate di circa 10 anni fino al 1940 e sostanzialmente

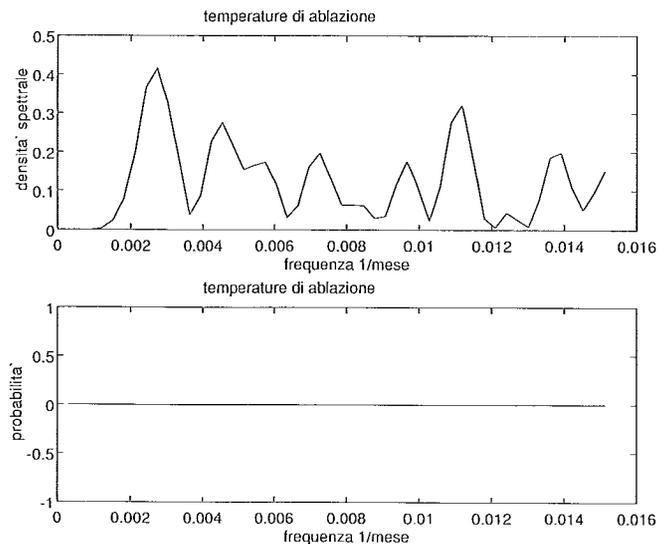


Fig. 8 - Diagramma della periodicità (periodogramma) dei dati mensili della temperatura del periodo 1926-1994 (in alto) e sua probabilità, espressi in funzione della frequenza. L'intervallo di frequenza raffigurato, di periodo P compreso tra 85 e 5 anni (dove $P = 1/(\text{frequenza} \times 12 \text{ mesi})$) non contiene alcuna frequenza probabile.

Fig. 8 - Plot of the periodicity of the monthly temperature values between 1926 and 1994 (top) and its probability (bottom) expressed as a function of the frequency in months⁻¹. The frequency interval shown, of period ranging from 85 to 5 years, does not contain any probable frequency.

in fase con la temperatura dal 1940 al 1970. La diminuzione della temperatura estiva dovrebbe farsi sentire prima sui ghiacciai ubicati a quota più alta, dato che essi vengono a trovarsi prima degli altri al di sopra della isoterma 0 °C; ma i ghiacciai esaminati non mostrano di reagire in base alle caratteristiche altimetriche, la cui influenza, così come quella di altri parametri, è, evidentemente, secondaria rispetto alle dimensioni, strettamente legate (JOHANNESON & alii, 1989) al tempo di risposta.

La discontinuità delle misure alle fronti impedisce una valutazione precisa dei tempi di risposta con i consueti metodi di correlazione (BELLONI & alii, 1985, 1990; RABAGLIATI e SERANDREI BARBERO, 1982; SERANDREI BARBERO & alii, 1989; SMIRAGLIA, 1986) ma la ripresa del regresso nei primi anni '80, con un ritardo molto breve rispetto all'iniziato aumento della temperatura estiva, sembra indicare tempi di risposta contenuti e direttamente proporzionali alle dimensioni dei ghiacciai considerati, che sono caratterizzati, come già evidenziato sui ghiacciai del Gruppo di Tessa (MATTANA, 1983), ciascuno da una dinamica propria. Sui ghiacciai più estesi l'aumento della temperatura estiva, con valori superiori alla media dal 1980 circa, cade all'interno del tempo di risposta alla fase climatica favorevole al glacialismo degli anni '70, che non è avvertita o si traduce in un semplice rallentamento della velocità di regresso; sui ghiacciai più piccoli, caratterizzati da una minore inerzia e quindi da tempi di risposta più brevi (sui piccoli ghiacciai

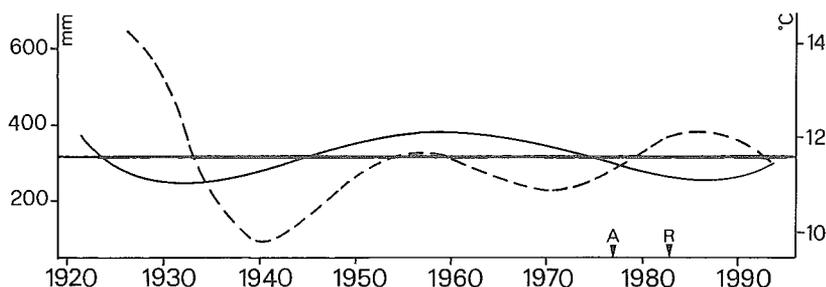


FIG. 9 - Sulle curve di regressione della temperatura estiva (tratteggiata) e delle precipitazioni invernali, sono riportati l'inizio dell'avanzata A nel 1977 e l'inizio del regresso R nel 1983. Sulla linea orizzontale coincidono i valori medi della temperatura estiva (11,6° C) e delle precipitazioni invernali (315 mm).

FIG. 9 - Regression curves of the summer temperature (dashed) and of the winter precipitation (solid line). A and R indicate the beginning of the glacier advance and retreat, in 1977 and 1983 respectively. The horizontal line expresses both the mean of summer temperature (11.6° C) and of winter precipitation (315 mm).

delle Alpi Giulie il tempo di risposta è di 1-2 anni, SERANDREI BARBERO & *alii*, 1989), l'avanzata degli anni '70 si manifesta, invece, con una velocità tipica per ognuno di essi e con tempi di risposta entro i 5 anni.

I tempi di risposta rispetto alle precipitazioni appaiono di grandezza almeno doppia rispetto alla temperatura e paragonabili all'entità degli sfasamenti calcolati da BELLONI & *alii* (1985, 1990), dato che le massime precipitazioni in periodo di accumulo si sono verificate ben prima del 1970 e il decennio 1970-1980, in cui si verifica l'avanzata delle fronti, è caratterizzato da precipitazioni invernali nettamente inferiori alla media.

Dal 1983-84 i ghiacciai appaiono dunque, pur con diverse modalità, nuovamente in regresso e le temperature in aumento. Anche negli anni '30 i ghiacciai in esame appaiono in regresso, con velocità (fig. 3) simili alle attuali: ma le temperature degli anni '30, in diminuzione, sono nettamente superiori ai valori degli ultimi decenni mentre le precipitazioni invernali sono, come le odierne, prevalentemente inferiori alla media. Solo la concomitanza tra abbondanti precipitazioni invernali e basse temperature estive sembra quindi tradursi in una avanzata delle fronti. E pur essendo l'attuale condizione termometrica non lontana dai valori che precedettero l'avanzata attorno al 1980, il deficit delle precipitazioni invernali in atto dal 1970 sembra precludere la possibilità di una prossima ripresa del glacialismo.

CONCLUSIONI

Sui ghiacciai delle Alpi Aurine e Pusteresi dagli anni '20 è in corso un generale regresso interrotto negli anni '70 da una breve fase di avanzata innescata da bassi valori della temperatura estiva preceduti da abbondanti precipitazioni invernali. Questa avanzata, la prima dopo la modesta ripresa del glacialismo esauritasi negli anni '20, appare in discreta sintonia con la debole periodicità circa cinquantennale dei dati pluviometrici. Entrambe le avanzate di que-

sto secolo appaiono quindi riconducibili alla ciclicità delle precipitazioni, mentre il regresso degli anni '30 appare legato a condizioni termometriche affatto diverse rispetto a quelle che controllano il regresso recente.

L'andamento degli spostamenti frontali non appare correlato con le oscillazioni di breve durata della temperatura e delle precipitazioni; il ritiro in atto dal 1925 (ZANON, 1985) appare estrapolabile all'intero intervallo privo di misure dato che, con i valori di temperatura e precipitazioni verificatisi, nessun ghiacciaio di dimensioni almeno pari al più piccolo tra quelli in esame può aver registrato un'avanzata prima degli anni '70.

L'unicità dell'avanzata manifestatasi negli anni '70 e il riconoscimento di una dinamica propria di ciascun ghiacciaio, consente, per i ghiacciai caratterizzati da spostamenti annui costanti, di quantificare, con le dovute approssimazioni, l'entità complessiva del regresso.

Per il Ghiacciaio del Gran Pilastro, per cui si dispone della serie di misure più lunga, la velocità media dello spostamento è di 10,5 m anno⁻¹ con scarto quadratico medio di $\pm 6,8$ m che, per il periodo 1930-94, si traduce in un ritiro complessivo attorno ai 680 m. Nel 1929 la fronte si trovava ad una quota di 2 300 m (PERETTI, 1930), cioè a circa 750 m dalla quota della posizione attuale, distanza che, nell'ambito dell'incertezza statistica data dallo scarto quadratico medio, appare compatibile con questo valore.

Per il Ghiacciaio di Lana la velocità media degli spostamenti è di $11,6 \pm 9$ m negli anni '30 e di $3,3 \pm 4,6$ m dal 1983 al 1994; esclusi gli anni dal 1977 al 1982, il ritiro medio di 6,2 m anno⁻¹ indica per il 1929 una distanza dalla fronte attuale di 360 m circa: che coincide, con buona approssimazione, con il pianoro di m 2 200, quota della fronte nel 1930 (C.G.I., 1931).

BIBLIOGRAFIA

- ATTARDO C., DELLA VENTURA A., RABAGLIATI R., RAMPINI A. & SERANDREI BARBERO R. (1988) - *I ghiacciai delle Alpi Breonie, Aurine e Pusteresi nell'immagine Landsat TM del 7/9/85*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 12, 3-17.

- BELLONI S., CATASTA G. & SMIRAGLIA C. (1985) - *Parametri climatici e variazioni glaciali nel periodo 1950-1982*. Atti 5° Conv. Glac. It., Geogr. Fis. Dinam. Quat., 8, 97-123.
- BELLONI S., PELFINI M. & SMIRAGLIA C. (1990) - *Parametri climatici e variazioni glaciali*. Mem. Soc. Geol. It., 45, 867-875.
- CA' ZORZI F., DALLA FONTANA G. & FATTORELLI S. (1984) - *Simulazione idrologica del bacino del Cordevole*. Regione Veneto, Dip. Foreste, Centro Sperim. Valanghe, Quaderni di Ricerca, Padova, 106 pp.
- COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO (1927-80) - *Relazioni delle campagne glaciologiche 1925-79*. Boll. Com. Glac. It., ser. 2, 7-25, Geogr. Fis. Dinam. Quat., 1-3.
- CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE - COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO (1959-62) - *Catasto dei Ghiacciai Italiani*. 4 Voll., Torino.
- CORBEL J. (1963) - *Glaciers et climats dans le Massif du Mont-Blanc*. Rev. Geogr. Alp., 51, 321-360.
- DAVIS J.C. (1986) - *Statistics and Data Analysis in Geology*. 2° Ed., Wiley & Sons, New York, 646 pp.
- FINSTERWALDER S. (1888) - *Der Gletscherferner*. Zeitschr. D. u. Oe. Alpen Verein, 19, 42-49.
- JOHANNESSEN T., RAYMOND C.F. & WADDINGTON E.D. (1989) - *A simple method for determining the response time of glaciers*. In: OERLAMENS J. (ed.), *Glacier Fluctuations and Climatic Change*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 343-352.
- KUHN M. (1993) - *Methods of assessing the effects of climatic changes on snow and glacier hydrology*. IAHS Publ. n. 218, Oxfordshire, 135-144.
- MATTANA U. (1983) - *La recente evoluzione del glacialismo nel Gruppo di Tessa (Alpi Venoste)*. «Materiali» dell'Ist. Geografia, Università di Padova, 11 pp.
- PERETTI L. (1930) - *Osservazioni glaciologiche in Val di Vizze*. Boll. Comit. Naz. Geod. Geof., 21, 2-42.
- PERETTI L. (1934) - *Morfologia glaciale e ghiacciai della Valle di Selva (Alto Adige)*. Boll. Comit. Glac. Ital., 14, ser. 2, 53-102.
- POSAMENTIER H.W. (1977) - *A new climatic model for glacier behaviour of the Austrian Alps*. Journ. Glaciol., 18, 57-65.
- PRESS W.H., TEUKOLSKY S.A., VETTERLING W.T. & FLANNERY B.P. (1992) - *Numerical Recipes*. University Press, Cambridge, 963 pp.
- PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO, UFFICIO IDROGRAFICO (1982) - *Catasto dei Ghiacciai della Provincia di Bolzano*.
- RABAGLIATI R. & SERANDREI BARBERO R. (1982) - *I ghiacciai delle Alpi Giulie dal 1920 al 1979. Spostamenti delle fronti e variazioni climatiche*. St. Trent. Sc. Nat., 59, Acta Geologica, 105-126.
- REYNAUD L. (1977) - *Glaciers fluctuations in the Mont Blanc area (French Alps)*. Zeit. Gletscherk. Glazialgeol., 13, 155-166.
- Richter R. (1988) - *Die Gletscher der Ostalpen*. Engelhorn, Stuttgart, 306 pp.
- SERANDREI BARBERO R., RABAGLIATI R. & ZECCHETTO S. (1989) - *Analisi delle misure alle fronti dei ghiacciai delle Alpi Giulie e correlazioni con i dati climatici*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 12, 139-149.
- SERANDREI BARBERO R., RABAGLIATI R., ATTARDO C., DELLA VENTURA A. & RAMPINI A. (1992) - *Le variazioni biennali di superficie dei ghiacciai delle Alpi Breonie, Aurine e Pusteresi nei dati Landsat TM del 13 settembre 1987*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 15, 177-188.
- SMIRAGLIA C. (1986) - *Il Ghiacciaio della Ventina (Val Malenco, Alpi Centrali): contributo alla conoscenza del tempo di risposta*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 9, 49-55.
- SONKLAR K. (1872) - *Die Zillertaler Alpen*. Perthes, Gotha.
- ZANON G. (1985) - *L'attuale tendenza evolutiva dei ghiacciai delle Alpi Italiane*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 8, 89-96.
- ZANON G. (1991) - *Settore Triveneto* in: COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO, *Relazioni della Campagna Glaciologica 1990*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 14, 297-298.