

CLAUDIO SMIRAGLIA (*)

IL GHIACCIAIO DELLA VENTINA (VAL MALENCO, ALPI CENTRALI): CONTRIBUTO ALLA CONOSCENZA DEL «TEMPO DI RISPOSTA» (**)

ABSTRACT: SMIRAGLIA C., *The Ventina Glacier (Val Malenco, Central Alps): a contribution to the knowledge of the delay between meteorological causes and snout fluctuations* (IT ISSN 0084-8948, 1986).

The Ventina Glacier is situated in the Disgrazia Massif (Central Alps). Here are examined the fluctuations of its snout from 1924 to 1983. From 1924 to 1970 the snout receded about 950 m, but readvanced 100 m from 1973 to the present. Then the data of the glacier are connected to the thermic and pluviometric data of the meteorological station of Sondrio from 1915 to 1980.

The regressions between the fluctuations of the snout of the glacier and the thermic and pluviometric differences compared to the average of the whole period are considered with special emphasis. By means of the highest correlation coefficient, it follows that the delay between weather causes and snout fluctuations is ten years.

RIASSUNTO: SMIRAGLIA C., *Il Ghiacciaio della Ventina (Val Malenco, Alpi Centrali): contributo alla conoscenza del «tempo di risposta»* (IT ISSN 0084-8948, 1986).

Vengono esaminate le fluttuazioni frontali del Ghiacciaio della Ventina (Gruppo del Monte Disgrazia, Alpi Centrali) fra il 1924 e il 1983 in rapporto ai parametri climatici. Nella dinamica del ghiacciaio viene individuata una fase di continuo regresso, più regolare fino al 1966, dal 1924 al 1970 per un totale di 950 m; dopo una breve stasi, si registra dal 1973 ad oggi un'avanzata di 100 m. Vengono poi presi in considerazione i dati termici e pluviometrici della stazione di Sondrio dal 1915 al 1980 ed elaborati statisticamente. In particolare si calcola la temperatura media da Maggio a Settembre per l'intero periodo (19,25 °C), si determinano gli scarti annuali e si calcolano le medie mobili di ordine cinque. Lo stesso viene fatto per le precipitazioni annuali (dato medio 1008 mm). Successivamente si correlano i dati termici e pluviometrici con le variazioni frontali attraverso un particolare programma di calcolo per individuare il «tempo di risposta» del ghiacciaio rispetto ai parametri climatici.

Risulta che, per quanto riguarda i dati termici, vi è uno sfasamento di dieci anni, mentre non si individuano correlazioni significative con i dati pluviometrici. Risulta infine che con la diminuzione di 1 °C e con l'aumento di 100 mm delle precipitazioni, si verifica per il Ghiacciaio della Ventina un avanzamento della fronte di 19 m.

TERMINI-CHIAVE: Climatologia; Glaciologia; Alpi italiane.

(*) Istituto di Geografia dell'Università Cattolica di Milano.

(**) Il presente lavoro, che s'inserisce nel Programma di Ricerca «Ghiacciaio della Ventina», coordinato dal Comitato Glaciologico Italiano, è stato eseguito e pubblicato con contributi M.P.I. 40% 1982 e 1983. Lo scrivente ringrazia il prof. S. BELLONI per la lettura critica del testo e il dott. G. CATASTA per la collaborazione nella raccolta e analisi dei dati.

INTRODUZIONE

Il Ghiacciaio della Ventina (fig. 1) è situato in alta Val Malenco, sul versante NE del Monte Disgrazia, la cima più elevata (3 678 m) che dà nome all'omonimo sottogruppo delle Alpi Retiche.

Pur non presentando dimensioni particolarmente rilevanti (la sua superficie è circa 2 km²), il Ventina costituisce un tipico esempio di ghiacciaio vallivo ed è stato osservato e studiato sin dalla fine del secolo scorso. Dapprima il MARSON, poi il SANGIORGI, successivamente il NANGERONI, il RIVA e il SAIBENE, seguirono l'evoluzione della sua morfologia e la dinamica della sua fronte (attualmente il ghiacciaio è controllato annualmente da SMIRAGLIA per



FIG. 1. - La lingua del Ghiacciaio della Ventina vista dalla morena laterale ottocentesca in sinistra idrografica. (Foto SMIRAGLIA C., 1981).

conto del Comitato Glaciologico Italiano). In tempi recenti il Ventina è stato oggetto di studi volti a identificare i caratteri variabili della superficie attraverso immagini Landsat multitemporali (DELLA VENTURA, RABAGLIATI, RAMPINI & SERANDREI BARBERO, 1983). Attualmente sono in corso ricerche sul terreno per determinare il bilancio di massa dell'apparato glaciale e la sua velocità di scorrimento, nonché i rapporti della sua dinamica con gli elementi climatici.

Il presente lavoro s'inquadra in questa serie di ricerche e vuole costituire un contributo allo studio dei rapporti fra clima e ghiacciai. Dapprima verrà esaminata la dinamica frontale del Ventina nel nostro secolo, successivamente si evidenzieranno alcuni caratteri del clima, infine si cercherà di individuare i rapporti fra questi due fenomeni, tentando soprattutto di mettere in evidenza il «tempo di risposta» del ghiacciaio di fronte ai fatti climatici.

Per quanto riguarda le metodologie seguite, i cui punti essenziali verranno comunque sinteticamente ripresi, si rimanda ai due recenti lavori di BELLONI, CATASTA & SMIRAGLIA (1985 a; 1985 b).

IL GHIACCIAIO DELLA VENTINA: DINAMICA FRONTALE RECENTE

Per studiare le oscillazioni dei ghiacciai italiani si dispone, come è noto, unicamente dei dati riguardanti le variazioni frontali, pubblicate in modo sistematico a partire dai primi decenni del Novecento sul «Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano» e successivamente sulla rivista «Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria».

Pur trattandosi di un unico parametro (nella quasi totalità dei casi non si hanno informazioni sulle variazioni di spessore o sulla dinamica dei bacini collettori), si ritiene che serie statistiche sufficientemente lunghe di dati frontali, possano rivestire un notevole interesse per lo studio dei rapporti con il clima.

Per il Ghiacciaio della Ventina i dati più antichi risalgono alle osservazioni del MARSON del 1895; tuttavia, per evitare eccessive interpolazioni e dati medi alquanto ripetuti, si è preferito partire dal terzo decennio del Novecento, da quando cioè le osservazioni glaciologiche divennero sistematiche. Abbiamo così una serie sessantennale pressoché completa di dati annuali dal 1924 al 1983, con due uniche interruzioni: gli anni della seconda guerra mondiale (1940-1945) e il periodo fra il 1966 e il 1970, per i quali si dispone di misure pluriennali ed è stato quindi necessario ricorrere a medie aritmetiche. Per limitare i picchi della serie temporale e ridurre le eventuali inesattezze e disomogeneità nella raccolta dei dati (inevitabili del resto tenendo conto dei numerosi operatori glaciologici che si sono succeduti), si è proceduto ad una prima elaborazione dei dati. Si sono cioè calcolate le medie mobili di ordine cinque, seguendo il metodo di BELLONI & *alii* nei lavori citati.

Le due serie (dati grezzi e dati medi) sono state inserite in un diagramma cartesiano avente in ascissa gli anni e in ordinata gli spostamenti annui della fronte in metri (fig. 2).

Già un primo esame del diagramma consente una serie di osservazioni interessanti: è infatti possibile individuare tre momenti distinti nella dinamica frontale del Ventina. Il primo, dal 1924 al 1963, è il meglio delineabile;

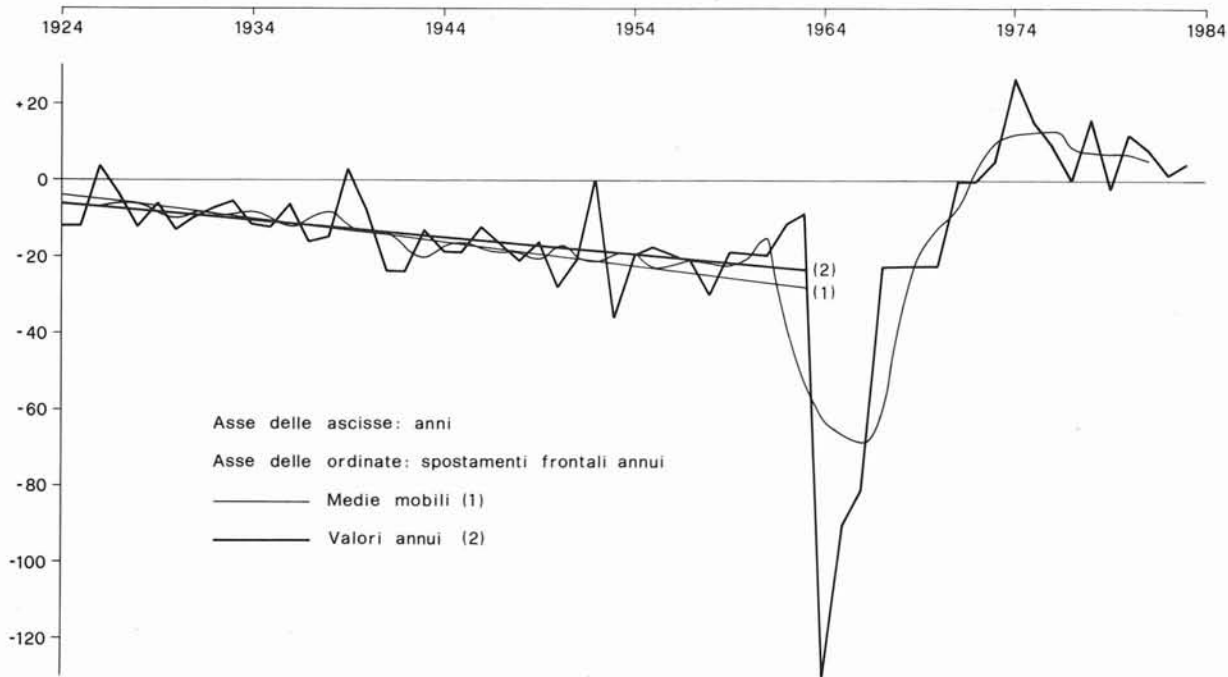


FIG. 2. - Oscillazioni frontali del Ghiacciaio della Ventina dall'anno 1924 all'anno 1983.

vi appare una netta tendenza all'aumento dell'arretramento frontale nel quarantennio indicato con un ritiro totale di 577 m. Il secondo periodo è molto limitato dal punto di vista cronologico (1964-1966), ma estremamente vistoso da quello morfodinamico; si tratta di un arretramento di 302 m che interrompe bruscamente un andamento frontale abbastanza regolare ⁽¹⁾. Il terzo periodo, dal 1967 al 1983, vede dapprima una diminuzione e una stasi nel ritiro e successivamente un'inversione di tendenza: la fronte comincia infatti ad avanzare, seppure in misura non eccessivamente accentuata (si registra un massimo di 27 m nel 1974 con una media annua per il periodo 1973-1983 di 9 m; l'avanzata totale è stata di 100 m).

I dati grezzi sugli spostamenti frontali sono stati poi correlati con gli anni, onde verificare se esistesse una tendenza ben delineata attraverso il tempo e fosse possibile tracciare una retta di regressione significativa. Il coefficiente di correlazione che ne è risultato è del tutto indifferente ($r = 0,05$) e non permette quindi di individuare una tendenza lineare della dinamica frontale, a differenza di quanto è stato osservato per altri ghiacciai italiani i quali, limitatamente però al periodo 1950-1982, evidenziavano dapprima la tendenza ad arretrare sempre meno, successivamente una tendenza all'avanzamento con uno o più cicli di oscillazione attorno ai valori medi della retta di regressione (BELLONI, CATASTA & SMIRAGLIA, 1985 b). Dal diagramma della fig. 2 si può evidenziare, soprattutto attraverso l'andamento delle medie mobili, una tendenza a un incremento del ritiro dal 1924 al 1963; ciò è confermato dalla correlazione negativa, non elevatissima ma sufficientemente significativa ($r = -0,51$), fra lo spostamento in metri della fronte e gli anni, e dalla retta di regressione ($y = 706,17 - 0,37 x$).

Utilizzando le medie mobili i valori sono naturalmente più elevati: il coefficiente di correlazione diventa $-0,91$, mentre $r^2 = 0,83$ e la retta di regressione corrispondente è $y = 890,64 - 0,47 x$.

Nel complesso la dinamica frontale del Ghiacciaio della Ventina ben s'inquadra nell'evoluzione recente del glacialismo delle Alpi italiane, che ha visto a partire dal terzo decennio del Novecento un lungo periodo di deglaciazione, protrattosi, pur con notevoli sfasamenti cronologici in rapporto ai vari settori del sistema alpino, almeno fino al-

la fine degli Anni Cinquanta. Successivamente si è delineata un ripresa del glacialismo, che si è rafforzata negli anni recenti fino a divenire prevalente (si vedano, ad esempio: SMIRAGLIA, 1982; ZANON, 1985).

I PARAMETRI CLIMATICI

Per quanto riguarda i parametri climatici e la scelta delle stazioni più adatte per uno studio dei rapporti fra clima e ghiacciai, ci si è scontrati, come è avvenuto in altre ricerche di questo tipo, con esigenze inconciliabili per una stessa stazione (almeno per il territorio che ci interessa): da un lato la necessità di disporre di una serie statistica la più lunga possibile, dall'altro una localizzazione a quote sufficientemente elevate, oltre naturalmente a una posizione geografica abbastanza prossima all'apparato glaciale oggetto di studio.

In Val Malenco non esiste una stazione meteorologica che assommi in sé tutti questi caratteri. Le stazioni a quote più elevate, come quella di Campo Moro (1906 m) o del Lago Palù (2100 m) sono infatti attive da un numero limitato di anni (rispettivamente dal 1968 e dal 1975; per quella del Lago Palù vengono però effettuati solo rilievi termometrici ed esclusivamente da Dicembre a Maggio, quando sono in funzione gli impianti di risalita). Per altre stazioni, come Lanzada (983 m), la serie storica presenta lacune non colmabili.

Si è quindi preferito scegliere la stazione di Sondrio che, pur essendo posta a una quota molto bassa (298 m), è collocata esattamente allo sbocco della Val Malenco nel solco principale della Valtellina, ad una distanza in linea d'aria di circa 12 km dal Ghiacciaio della Ventina. La stazione di Sondrio è in funzione dalla fine del secolo scorso e a partire dal 1915 i dati pluviometrici e termometrici sono stati pubblicati dapprima sui Bollettini Idrografici Mensili del Servizio Idrografico Centrale, poi sugli Annali Idrologici dell'Ufficio Idrografico del Po, Sezione di Parma, infine sugli Annuari di Statistiche Meteorologiche dell'ISTAT. Per il presente lavoro sono stati utilizzati i dati mensili raccolti nei volumi sopra citati dal 1915 al 1980, che formano una serie sessantacinquennale pressoché continua. Per quanto riguarda i dati termici mensili, si sono scelte le temperature medie dei mesi da Maggio a Settembre, seguendo le metodologie già utilizzate nei lavori di BELLONI & alii.

Con i dati della stazione di Sondrio è stata calcolata la temperatura media da Maggio a Settembre per l'intero periodo considerato (1915-1980), che è risultata di $19,25^{\circ}\text{C}$, e si sono calcolati per ogni anno gli scarti rispetto a questa temperatura media. Infine con gli scarti annuali sono state calcolate le medie mobili di ordine cinque per il periodo 1917-1978. Analogamente si è proceduto per le precipitazioni, utilizzando i totali annui; si è determinato l'importo medio annuo dell'intero periodo di osservazione (1008 mm) e sono stati calcolati per ogni anno gli scarti rispetto a quell'importo medio. Successivamente sono state calcolate le medie mobili di ordine cinque di tali scarti. Gli scarti grezzi e le loro medie mobili delle temperature

(1) Il vistosissimo arretramento della fronte verificatosi fra il 1964 e il 1966 costituisce chiaramente un episodio anomalo rispetto alla dinamica del Ghiacciaio della Ventina nel nostro secolo, come appare con evidenza anche dalle figg. 1 e 8. La motivazione di tale evento va ricercata nel superamento di un ripido gradino roccioso e nel conseguente distacco di una parte della lingua, con la formazione di una grande placca di ghiaccio morto (SAIBENE, 1969). Si tratta quindi di un fatto legato a caratteristiche morfologiche locali, che non si è tuttavia potuto trascurare nell'analisi statistica dei dati. Per avere un'indicazione del peso che l'evento abbia potuto esercitare sui risultati numerici complessivi, si sono correlati i dati ufficiali delle variazioni frontali pubblicati sul «Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano» per la fase di ritiro 1924-1970 con gli anni; la stessa correlazione è stata poi ripetuta utilizzando per il periodo 1964-1966 i dati extrapolati dalla retta (2) della fig. 2. Nel primo caso si è avuto $r = -0,50$ con $\sigma_y = 23,06$, mentre nel secondo caso $r = -0,60$ e $\sigma_y = 8,35$.

e delle precipitazioni sono presentati nei diagrammi delle figg. 3 e 4.

Come appare dalla fig. 3, le medie mobili degli scarti termici evidenziano tre oscillazioni principali attorno alla media: due positive e una negativa. Nel periodo compreso

fra il 1918 e il 1938 si hanno infatti scarti costantemente positivi rispetto alla media con valori piuttosto notevoli (si raggiunge il massimo scarto nel 1929 con 2,5 °C), mentre fra il 1942 e il 1952 si ha un'altra serie di scarti positivi con valori inferiori ai precedenti (i massimi sono infatti

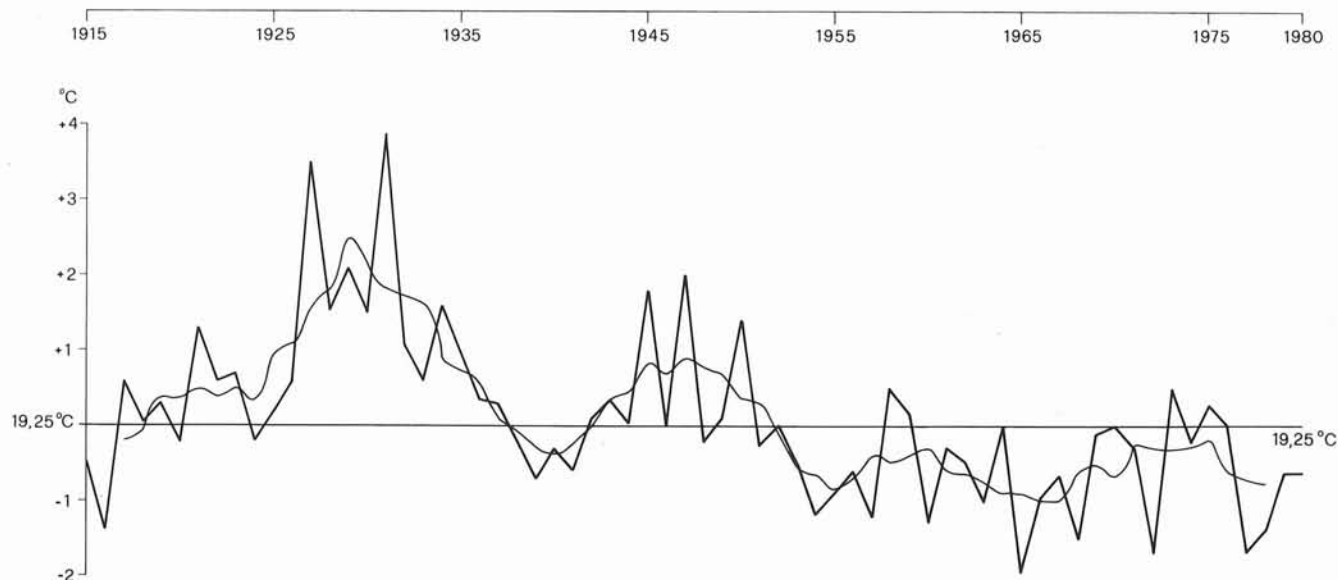


FIG. 3. - Diagramma degli scarti termici alla stazione di Sondrio rispetto alla media 1915-1980 (con il tratto più sottile sono indicate le medie mobili degli scarti).

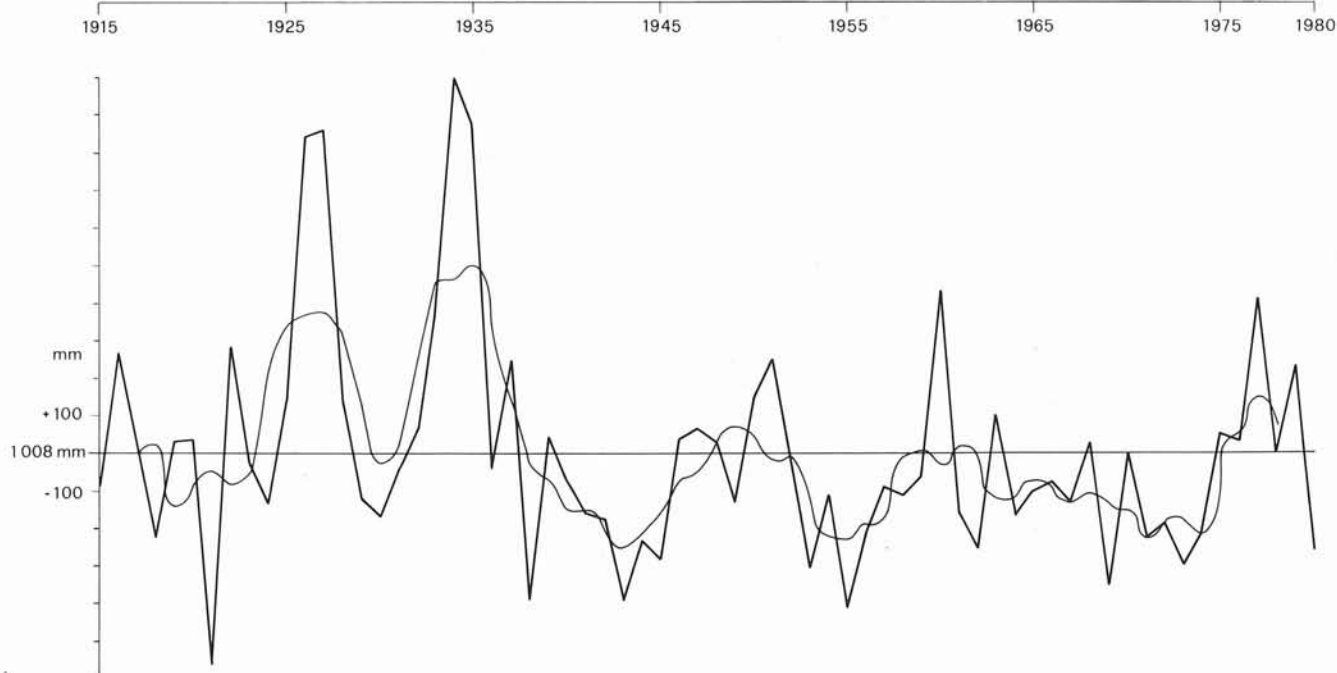


FIG. 4. - Diagramma degli scarti pluviometrici alla stazione di Sondrio rispetto alla media 1915-1980 (con il tratto più sottile sono indicate le medie mobili degli scarti).

al di sotto di 1 °C). Dal 1953 in avanti i valori degli scarti si mantengono nettamente e costantemente al di sotto della media. Si potrebbe dunque individuare una fase sfavorevole allo sviluppo del glacialismo fino all'inizio degli anni Cinquanta con due oscillazioni termiche superiori alla media, la prima delle quali con ampiezza d'onda elevata, e una fase favorevole all'espansione glaciale nel periodo successivo con ampiezza d'onda minore e maggiore sviluppo nel tempo.

La distribuzione cronologica degli scarti delle precipitazioni appare molto più complessa; non è infatti possibile indicare tendenze costanti per un elevato numero di anni. Nel diagramma della fig. 4 appaiono infatti numerose oscillazioni attorno alla media. Due di queste, positive, fra il 1924 e il 1938, presentano una notevole ampiezza; successivamente si distinguono almeno tre altre fluttuazioni di minore entità, che restano in gran parte al di sotto della media. Si potrebbe quindi ritenere che dal punto di vista pluviometrico la fase favorevole al glacialismo sia stata quella del terzo e quarto decennio del secolo, mentre nel periodo successivo l'alimentazione nei bacini di accumulo potrebbe ritenersi più limitata.

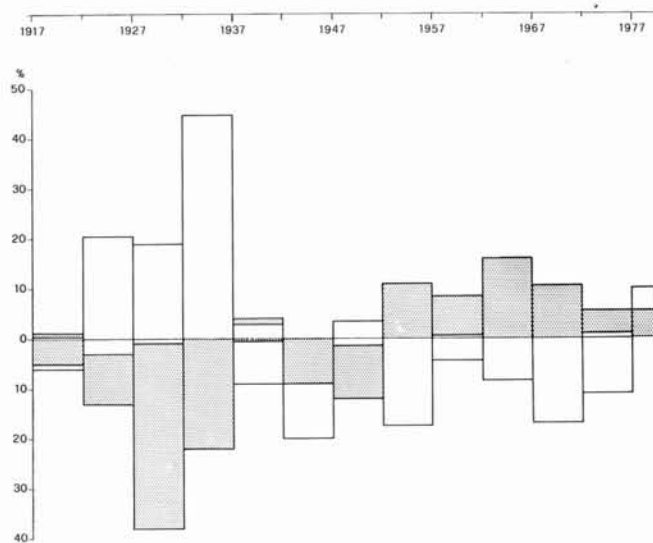


FIG. 5. - Sovrapposizione degli effetti favorevoli e degli effetti sfavorevoli al glacialismo alla stazione di Sondrio fra il 1917 e il 1978. Al di sopra dello 0 sono indicate le percentuali degli scarti pluviometrici positivi e degli scarti termici negativi; al di sotto dello 0 le percentuali degli scarti pluviometrici negativi e degli scarti termici positivi (si veda il testo).

Come è noto, l'evoluzione del glacialismo, anche a livello di semplice dinamica frontale, così come il «tempo di risposta» di un ghiacciaio, sono legati al sovrapporsi degli effetti climatici. Si è quindi tentato un primo approccio al problema ponendo nello stesso diagramma gli scarti termici e quelli pluviometrici (fig. 5). Come dimensione cro-

nologica si è scelto il quinquennio, già utilizzato con favorevoli risultati nello studio di altri gruppi montuosi, come il Monte Bianco (CERUTTI, 1975).

L'entità degli scarti termici e pluviometrici, sia positivi sia negativi, è stata percentualizzata nei confronti del rispettivo totale degli scarti. In ascissa sono stati posti i quinquenni, in ordinata al di sopra dello 0 sono indicati i fattori favorevoli al glacialismo, cioè gli scarti in percentuale positivi per le precipitazioni e negativi per le temperature (queste ultime sono individuabili nel disegno con il puntinato); al di sotto dello 0 appaiono i fattori sfavorevoli, cioè gli scarti negativi per le precipitazioni e positivi per le temperature. È agevole constatare come nel periodo fra il 1922 e il 1937 si raccolga circa l'86% degli scarti positivi delle precipitazioni; nello stesso periodo si registra però anche il 71% degli scarti positivi delle temperature. In tutto il diagramma non appare un periodo in cui vi sia nettamente la sovrapposizione dei fattori favorevoli termici e pluviometrici. Dal 1952 in avanti si registrano infatti fattori termici positivi e fattori pluviometrici negativi. Il fatto che proprio in tempi successivi agli anni Cinquanta il Ghiacciaio della Ventina abbia avuto una pulsazione positiva, potrebbe far pensare ad un'influenza più sensibile e avvertibile della temperatura rispetto alle precipitazioni.

RAPPORTI FRA PARAMETRI CLIMATICI E OSCILLAZIONI FRONTALI: IL «TEMPO DI RISPOSTA»

Per avere una conferma e per quantificare quanto sopra affermato, nonché per evidenziare lo scarto cronologico fra causa ed effetto, si è ricorsi alle metodologie già impiegate da BELLONI & *alii* nei lavori già citati.

Le medie mobili delle oscillazioni frontali sono state messe a confronto con le medie mobili degli scarti termici, poi degli scarti pluviometrici e infine con entrambi. Nei primi due casi si sono determinati i coefficienti di correlazione e le regressioni lineari relative; nel terzo caso si è calcolata l'equazione della regressione lineare multipla. Per determinare il «tempo di risposta» in tutti e tre i confronti si è proceduto a uno sfasamento da 0 a 20 anni fra i dati climatici e le variazioni frontali (2).

In pratica, con lo sfasamento 0 si è ipotizzato l'immediato effetto dei parametri climatici sulla dinamica frontale; i dati termici e pluviometrici riguardanti il 1926 sono stati correlati con la variazione frontale del 1926, quelli del 1927 con la variazione frontale del 1927 e così via per tutta la serie. Con lo sfasamento di un anno i dati climatici del 1926 sono stati correlati con il dato del ghiacciaio del 1927, quelli del 1927 con quello del 1928, ecc. Nell'ipotesi di uno scarto ventennale le correlazioni hanno riguardato i dati climatici del 1926 con quello frontale

(2) È stato utilizzato un calcolatore SPERRY UNIVAC 1100 con il programma predisposto da BERTOLINI A.; per maggiori dettagli sul programma di calcolo si veda BELLONI, CATASTA & SMIRAGLIA, 1985 a.

del 1946, quelli del 1927 con quello del 1947 e così via. Si sono così ottenute ventuno correlazioni con relative equazioni delle regressioni lineari semplici per il confronto fra temperature e ghiacciaio; in queste la variabile dipendente y rappresenta la variazione frontale annua del ghiacciaio in metri, mentre la variabile indipendente x è lo scarto termico in gradi centigradi.

Anche dal confronto fra precipitazioni e ghiacciaio si sono ottenute ventuno correlazioni e ventuno equazioni, in cui la variabile dipendente y è sempre la variazione frontale del ghiacciaio e la variabile indipendente x rappresenta lo scarto pluviometrico in millimetri. Si sono infine ottenuti ventuno coefficienti di determinazione e altrettante equazioni delle regressioni lineari multiple, nelle quali la variabile dipendente t rappresenta la variazione frontale annua del Ghiacciaio della Ventina, la variabile x lo scarto termico e la variabile y lo scarto pluviometrico.

Il numero dei dati delle serie statistiche che sono stati correlati, varia da 54 per uno sfasamento di 3 anni a 43 per uno sfasamento di 20 anni. I coefficienti di correlazione e di determinazione più elevati dovrebbero quindi evidenziare lo sfasamento in anni che rappresenta meglio gli effetti dei fattori termici e pluviometrici, sia separati sia sovrapposti, sulle oscillazioni frontali del ghiacciaio.

Nei diagrammi della fig. 6 è indicato l'andamento dei coefficienti di correlazione in funzione dello sfasamento. In a) si hanno le correlazioni fra scarti termometrici e dinamica frontale. Le correlazioni sono tutte negative e indicano che, se nella variabile indipendente si ha una dimi-

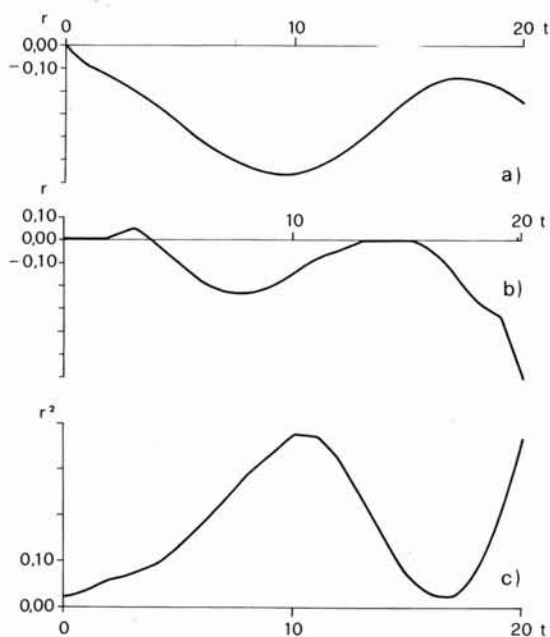


FIG. 6. - Variazione dei coefficienti di correlazione (r) e di determinazione (r^2) in funzione dello sfasamento in anni (t).
a) correlazione fra scarti termici e dinamica frontale;
b) correlazione fra scarti pluviometrici e dinamica frontale;
c) correlazione fra scarti pluviometrici, scarti termici e dinamica frontale.

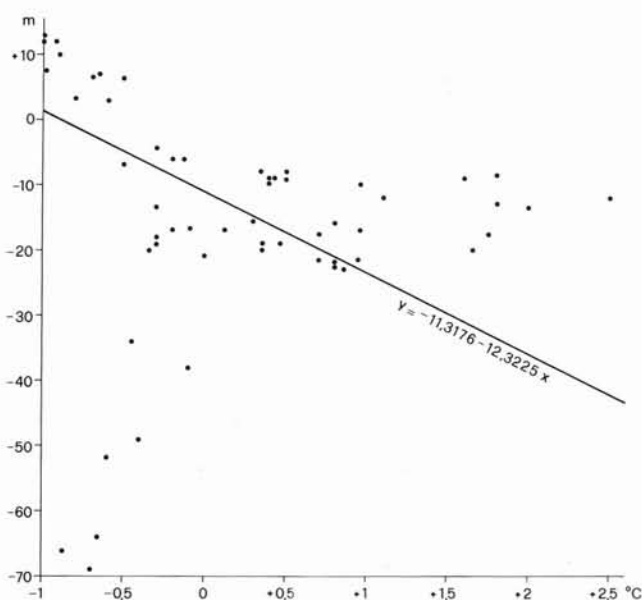


FIG. 7. - Relazione fra gli scarti termici alla stazione di Sondrio e le variazioni frontali del Ghiacciaio della Ventina con lo sfasamento di dieci anni.

nuzione degli scarti negativi e un aumento di quelli positivi, nella variabile dipendente si ha una diminuzione degli scarti positivi e un aumento di quelli negativi; in altre parole l'aumento degli scarti positivi della temperatura rispetto alla media provoca un arretramento della fronte del ghiacciaio. Il coefficiente di correlazione diventa via via più elevato all'aumentare dello sfasamento fino a raggiungere il livello massimo ($r = -0,5622$) con uno scarto di dieci anni; si ha poi una riduzione con andamento simmetrico alla crescita e un ultimo incremento con sfasamento di venti anni.

Nella fig. 7 sono stati posti in relazione gli scarti termometrici (in ascissa) e le variazioni frontali (in ordinata) ed è anche stata indicata la retta di regressione corrispondente, la cui equazione è $y = -11,3176 - 12,3225 x$. Come si osserva nel diagramma le maggiori irregolarità nella distribuzione dei punti attorno alla retta interpolante sono comprese nel settore racchiuso fra le coordinate -50 m e $-0,5$ °C; si tratta di quell'episodio avvenuto negli anni 1964-1966, che portò la fronte del Ghiacciaio della Ventina ad arretrare di circa 300 m, un fatto che si colloca quindi al di fuori di un regolare trend della dinamica frontale.

L'interpretazione degli sfasamenti riguardanti gli scarti pluviometrici presenta maggiori difficoltà. Come appare infatti dalla fig. 6b, l'andamento dei coefficienti di correlazione in funzione dello sfasamento presenta valori positivi estremamente ridotti con uno scarto di tre anni, poi i valori diventano costantemente negativi con punte massime verso gli otto anni e con tendenza continua all'aumento nella parte terminale della curva.

La stazione di Sondrio non sembra dunque offrire dal punto di vista pluviometrico un contributo utile per l'in-

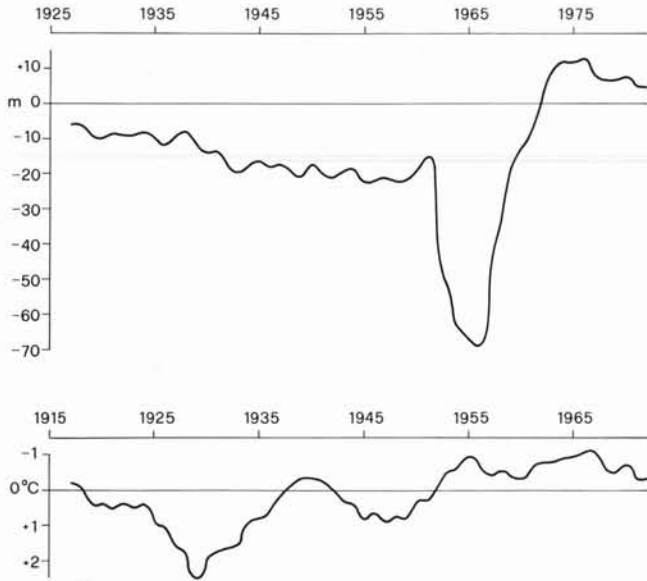


FIG. 8. - Variazioni frontali del Ghiacciaio della Ventina fra il 1927 e il 1982 e scarti termici alla stazione di Sondrio fra il 1917 e il 1972.

interpretazione della dinamica frontale del Ghiacciaio della Ventina; le correlazioni costantemente negative indicherebbero infatti una diminuzione dei valori positivi e un aumento di quelli negativi del movimento frontale del ghiacciaio in rapporto a una riduzione dei valori negativi degli scarti pluviometrici e a un incremento di quelli positivi.

Sempre nella fig. 6c è infine mostrato l'andamento dei coefficienti di determinazione che legano le tre variabili in funzione dello sfasamento. I valori di r^2 tendono ad incrementarsi con l'aumento dello scarto, raggiungendo il massimo di 0,3689 con uno sfasamento di dieci anni. Si ha poi una riduzione dei valori, che raggiungono quelli iniziali dopo 17 anni e un ulteriore rapido incremento da 18 a 20 anni di sfasamento. L'equazione della regressione lineare multipla a tre variabili che pone le variazioni frontali in rapporto sia con gli scarti termici sia con gli scarti pluviometrici è la seguente: $t = -10,5291 - 16,1402 x + 0,0284 y$. Dal rapporto fra i due coefficienti dell'equazione si ricava che la diminuzione di 1°C degli scarti termici positivi del periodo Maggio-Settembre equivale all'aumento degli scarti pluviometrici positivi annui di 568 mm. Risulta inoltre che la variazione frontale per l'effetto simultaneo della diminuzione di 1°C e dell'aumento di 100 mm delle precipitazioni è rappresentato da un avanzamento frontale di 18,98 m.

Tenendo conto dei dati e delle osservazioni sopra riportate, si può concludere che sulla dinamica frontale del Ghiacciaio della Ventina un'influenza molto sensibile è stata esercitata dalle temperature di Maggio-Settembre e che il loro effetto si è manifestato con un ritardo di dieci anni,

dimensione temporale confermata anche dallo sfasamento (sempre decennale) degli effetti sovrapposti di temperatura e precipitazioni.

Nella fig. 8 sono riportate con sfasamento di dieci anni le curve delle variazioni frontali (1927-1982) e degli scarti termici (1917-1972). Se si eccettua la notevole discordanza fra la dinamica del ghiacciaio negli anni 1963-1967 e quella delle temperature fra il 1953 e il 1957, le due curve, ad un attento esame, rivelano molti settori abbastanza simili nelle loro oscillazioni; ciò vale soprattutto per i periodi di variazioni frontali 1927-1936, 1953-1962 e 1970-1982.

Come si è visto, le correlazioni fra le precipitazioni alla stazione di Sondrio e le variazioni frontali del Ghiacciaio della Ventina non hanno fornito elementi significativi, come già verificato nel lavoro di BELLONI, CATASTA & SMIRAGLIA, (1985 a), dove solo per tre casi (Ghiacciaio dei Vitelli, Ghiacciaio di Lagol, Vedretta Lunga) su quattordici si avevano correlazioni significative con le precipitazioni di Sondrio.

I risultati ottenuti con il presente lavoro confermano quindi quanto emerso in precedenti ricerche sul «tempo di risposta» dei ghiacciai e sulla maggiore efficacia del parametro temperatura nei riguardi della dinamica frontale, come i già citati studi di BELLONI & *alii*, dove si evidenziava per i ghiacciai italiani uno sfasamento medio di 8,5 anni, e quello di RABAGLIATI & SERANDREI BARBERO (1982), dove, con ghiacciai di dimensioni molto minori rispetto al Ventina (si tratta dei ghiacciai delle Alpi Giulie), veniva rilevato uno sfasamento di cinque anni.

BIBLIOGRAFIA

- BELLONI S., CATASTA G. & SMIRAGLIA C. (1985 a) - *Parametri climatici e oscillazioni frontali dei ghiacciai italiani nell'ultimo sessantennio*. In: «Contributi di Climatologia, a cura di M. PINNA, Mem. Soc. Geogr. It., 39», 169-193.
- BELLONI S., CATASTA G. & SMIRAGLIA C. (1985 b) - *Parametri climatici e variazioni glaciali nel periodo 1950-1982*. Atti 5° Convegno Glaciologico Italiano, Bolzano 30 Settembre - 2 Ottobre 1983, Geogr. Fis. Dinam. Quat., 8, 97-123, 27 ff., 6 tabb.
- CERUTTI A. (1975) - *Le condizioni termometriche e nivometriche del periodo 1936-1970 sul versante meridionale del Monte Bianco e le variazioni di volume delle precipitazioni nevose nei bacini glaciali*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 23, 31-50.
- DELLA VENTURA A., RABAGLIATI R., RAMPINI A. & SERANDREI BARBERO R. (1983) - *Glacier monitoring by satellite*. Il Nuovo Cimento, ser. 1, 6C, 211-222.
- 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.
- SAIBENE C. (1969) - *Relazioni della Campagna Glaciologica 1965. Gruppo Bernina-Disgrazia-Scalino*. Boll. CGI ser. 2, 15, 163.
- SMIRAGLIA C. (1982) - *Il glacialismo attuale sul versante italiano del Gruppo del Bernina. Alcuni risultati del Catasto Internazionale dei Ghiacciai*. Boll. Soc. Geogr. It., ser. 10, 11, 95-114.
- ZANON G. (1985) - *L'attuale tendenza evolutiva dei ghiacciai delle Alpi italiane*. Atti 5° Convegno Glaciologico Italiano, Bolzano 30 Settembre - 2 Ottobre 1983, Geogr. Fis. Dinam. Quat., 8, 89-96, 5 ff.