

CLAUDIO SMIRAGLIA

## IL GLACIALISMO ATTUALE SUL VERSANTE ITALIANO DEL GRUPPO DEL BERNINA

### Alcuni risultati del Catasto Internazionale dei Ghiacciai

*Premessa.* — La partecipazione italiana al Catasto Internazionale dei Ghiacciai (*World Glacier Inventory*) (1), che si è finora concretizzata nella realizzazione di un cospicuo numero di schede dei settori alpini centrale e orientale, permette di formulare alcune considerazioni sul glacialismo attuale del versante

---

(1) Il progetto del Catasto Internazionale dei Ghiacciai si sviluppò durante il Decennio Idrologico Internazionale 1965-1974. Lo scopo del catasto era di individuare la quantità, la distribuzione e le variazioni di tutte le masse di ghiaccio e di nevi perenni attuali per determinare un bilancio mondiale delle acque disponibili allo stato solido. L'opera si prospettava di notevole importanza economica oltre che scientifica; sono infatti numerosi i casi in cui i ghiacciai si propongono come le maggiori sorgenti di acque non inquinate per le aree antropizzate circostanti. L'International Commission of Snow and Ice, sotto la guida di F. Müller, elaborò i piani per la realizzazione del catasto, predisponendo la scheda-tipo per ogni apparato glaciale (si vedano le istruzioni in UNESCO-IAHS, *Perennial Ice and Snow Masses*, Parigi, 1970). Nel 1976 fu istituito il Temporary Technical Secretariat (TTS), che avrebbe dovuto raccogliere a Zurigo e coordinare i dati provenienti dai diversi Stati. Nel 1978 alcuni paesi (Unione Sovietica, Norvegia, Svezia, Austria e Svizzera) avevano completato il catasto delle rispettive aree glacializzate. In numerosi altri paesi (tra i quali Argentina, Cile, Bolivia, Stati Uniti, Canada, Francia, Turchia, India, Cina) il catasto era in fase di realizzazione. Per l'Italia, che già disponeva di un catasto nazionale, non rispondente però ai requisiti internazionali, il Comitato Glaciologico Italiano decise nel 1974 di partecipare ai lavori. Solo nel 1979 tuttavia fu possibile avviare i rilievi sul terreno accompagnati dall'esame di foto aeree e di carte topografiche aggiornate. L'attività è attualmente suddivisa nei tre settori alpini e coordinata da G. Mortara (Alpi Occidentali), C. Saibene (Alpi Centrali) e G. Zanon (Alpi Orientali). Sono state finora predisposte circa quattrocento schede, che costituiscono il primo nucleo della partecipazione italiana al Catasto Internazionale dei Ghiacciai.

italiano delle Alpi. Ciò soprattutto a livello di verifica della dinamica del glacialismo negli ultimi vent'anni. Esiste infatti, com'è noto, un Catasto dei Ghiacciai Italiani, realizzato in occasione dell'Anno Geofisico Internazionale 1957-58, e pubblicato fra il 1959 e il 1962 (2).

E' dunque possibile un confronto tra la situazione del glacialismo alla fine degli anni '50 e quella attuale, caratterizzata a quanto sembra da una limitata pulsazione positiva che, iniziata nel settore occidentale, si sta attualmente trasferendo in quello centrale e in quello orientale. Tale confronto è tuttavia reso spesso difficoltoso dalle diverse modalità di esecuzione e dalle diverse finalità dei due catasti, che non sempre offrono dati paragonabili. Il Catasto dei Ghiacciai Italiani, più descrittivo (ogni scheda contiene anche uno spezzone di tavoletta I.G.M. e una foto), era destinato a recensire e a elencare i ghiacciai italiani ed era progettato per tale scopo. Le schede dei ghiacciai italiani del Catasto Internazionale, esclusivamente quantitative, si inseriscono nel più vasto contesto mondiale, in cui l'unità di superficie è il chilometro quadrato e non l'ettaro. Nonostante questa diversità di scala e altri problemi cui si accennerà successivamente, ritengo il confronto tra le due serie di dati utile e significativo.

Sul versante italiano del gruppo del Bernina inteso in senso stretto, riferendoci cioè a quell'imponente cresta di roccia e ghiaccio compresa fra il passo del Muretto e il passo Confinale, sono localizzati, secondo il Catasto dei Ghiacciai Italiani, vol. III, tredici apparati glaciali. Per dodici di questi si hanno a disposizione le schede del Catasto Internazionale. Resta escluso il ghiacciaio del Pizzo delle Tre Mogge, un piccolo apparato di circo,

---

(2) Il Catasto dei Ghiacciai Italiani è composto da quattro volumi. Nel primo è raccolta la bibliografia glaciologica (glacialismo attuale), oltre all'elenco completo degli apparati suddivisi in bacini. Il secondo volume presenta, attraverso schede in cui sono inserite foto e carte, i ghiacciai delle Alpi Occidentali (coordinatore M. Vanni); nel terzo volume, coordinato da G. Nangeroni, sono descritti i ghiacciai della Lombardia e dell'Ortles-Cevedale; nel quarto, coordinato da G. Morandini, vengono presentati i ghiacciai delle Tre Venezie e dell'Appennino. In totale sono identificati e descritti 774 individui glaciali per una superficie di circa 540 km<sup>2</sup>, oltre a 190 ghiacciai definiti estinti (si veda anche G. ZANON, *I ghiacciai italiani*, nel vol. *Ghiacciai delle Alpi*, Bologna, 1980, pp. 53-55).

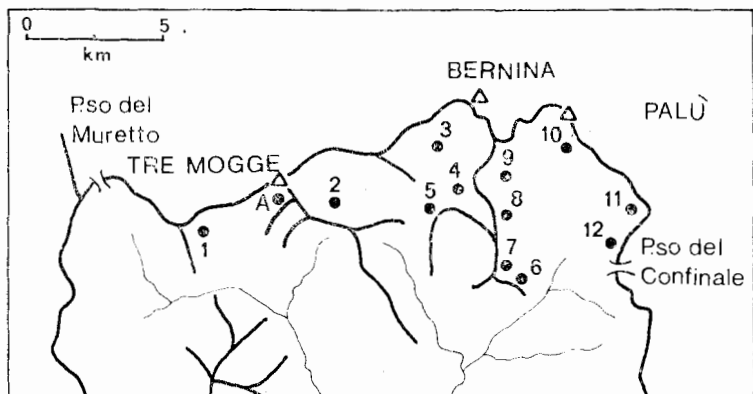


FIG. 1 — I GHIACCIAI DEL GRUPPO DEL BERNINA.

1, del Sasso di Fora; 2, Inferiore di Scerscen; 3, Superiore di Scerscen; 4, Marinelli; 5, Caspoggio; 6, Nord-orientale del Sasso Moro; 7, Nord-occidentale del Sasso Moro; 8, della Bocchetta di Caspoggio; 9, Occidentale di Fellaria; 10, Orientale di Fellaria; 11, del Pizzo Varuna; 12, della Cima Fontana; A, del Pizzo delle Tre Mogge.

tributario del bacino del Mallero. Ritengo tuttavia che la mancata presenza di questo ghiacciaio non possa inficiare la validità delle osservazioni compiute, in quanto si tratta di un apparato la cui superficie corrisponde, secondo il Catasto dei Ghiacciai Italiani, allo 0,25% della superficie totale della copertura glaciale del Bernina. Le schede del Catasto Internazionale, da cui ho tratto i dati più recenti, sono state compilate da due soli operatori glaciologici, G. Catasta e C. Smiraglia, i quali hanno proceduto insieme ai rilievi, la qual cosa assicura una sufficiente omogeneità ai dati raccolti. La base cartografica per entrambi i catasti è rappresentata dalle vecchie tavolette I.G.M. al 25.000 *Passo del Muretto, Pizzo Bernina, Chiesa e Pizzo Palù*, il cui rilievo risale al 1935. L'aggiornamento di tali carte per il Catasto Internazionale è stato compiuto, oltre che con sopralluoghi sul terreno, anche con l'esame mediante stereoscopio di foto aeree del 1975 alla scala approssimativa 1:33.000. Dei dodici ghiacciai considerati, due sono di tipo vallivo (Occidentale e Orientale di Fellaria), nove di tipo pirenaico (del Sasso di Fora, Inferiore e Superiore di Scerscen, Marinelli, Caspoggio, Nord-orientale e

Nord-occidentale del Sasso Moro, della Bocchetta di Caspoggio, del Pizzo Varuna), mentre il dodicesimo è un glacio-nevato (ghiacciaio della Cima Fontana).

Un problema affiora immediatamente per quanto riguarda la morfologia dei ghiacciai pirenaici. Nel Catasto dei Ghiacciai Italiani, infatti, veniva utilizzata un'ampia serie di termini che permetteva di meglio identificare la morfologia dei singoli ghiacciai. Oltre alla denominazione « circo » (ghiacciaio della Bocchetta di Caspoggio, del Pizzo Varuna), troviamo « pendio » (ghiacciaio del Sasso di Fora, Marinelli, Nord-orientale del Sasso Moro), « circo di valle, spianata » (Inferiore e Superiore di Scerscen), « vallone » (Caspoggio), « pendio-valletta » (Nord-orientale del Sasso Moro). Per il Catasto Internazionale, la cui classificazione morfologica sembra approntata per le grandi aree glacializzate extraeuropee o comunque non italiane, tali suddivisioni non sono previste. Per sette dei nove ghiacciai di tipo pirenaico è stato utilizzato il semplice termine « circo », senza la possibilità di ulteriori precisazioni. Già per quanto riguarda la semplice elencazione e classificazione è interessante osservare come nel Catasto dei Ghiacciai Italiani tre ghiacciai, su dodici descritti, venissero indicati come estinti (Marinelli, Nord-orientale del Sasso Moro, della Cima Fontana). Nel Catasto Internazionale i primi due vengono denominati « ghiacciai pirenaici », mentre il terzo mantiene la denominazione di « glacio-nevato ».

*La dinamica del glacialismo del Bernina tra il 1960 e il 1980.* — Per quanto attiene ai caratteri morfometrici dei ghiacciai del gruppo del Bernina, il primo parametro preso in esame è la quota della cima più alta sovrastante il ghiacciaio, la cui importanza è ben nota nel calcolo dell'altezza media dei ghiacciai quando non si possano utilizzare altri metodi. E' un dato che la scheda del Catasto Internazionale non richiede; del resto, non essendo stata aggiornata la cartografia di base, le quote restano invariate. I valori oscillano fra i 3068 m della Cima Fontana, che sovrasta il ghiacciaio omonimo, e i 4021 m dell'anticima del Pizzo Bernina (ghiacciaio Superiore di Scerscen). La media delle quote è di 3466 m, con una *standard deviation* di 371,98. Pur

essendo evidente che i caratteri dei ghiacciai alpini sono in larga misura influenzati da fattori morfologici, a loro volta legati a elementi strutturali (3), può essere tuttavia interessante osservare come i quattro ghiacciai più lunghi e più estesi del versante italiano del Bernina (Inferiore e Superiore di Scerscen, Occidentale e Orientale di Fellaria), siano sovrastati dalle quattro cime più elevate (rispettivamente Piz Glüschaint, 3594 m; Anticima del Pizzo Bernina, 4021; Pizzo Zupò, 3996; Pizzo Palù, 3906).

Un confronto è possibile tra i dati di altri quattro parametri particolarmente significativi: la quota più alta del ghiacciaio, la quota più bassa (fronte), la lunghezza massima e la superficie. Bisogna premettere che l'affidabilità non è completa per tutti i dati presenti. Infatti, mentre per i grandi apparati, specialmente vallivi, le misure riguardanti aree, lunghezza e quote possono essere compiute con buona approssimazione e con la certezza che l'anno del rilievo costituisca un campione attendibile, per gli altri ghiacciai (e particolarmente per i glacio-nevati) ciò non è altrettanto vero. E' talora difficile, ad esempio, data la persistente copertura nevosa di questi ultimi anni, stabilire i limiti esatti dell'apparato e determinare la vera fronte. Sono elementi di cui si è potuta constatare la notevole variabilità in concomitanza con i diversi caratteri climatici delle varie annate.

---

(3) I ghiacciai vallivi, e in genere i più estesi, del gruppo del Bernina occupano solchi vallivi, ampie spianate e circhi di valle scavati in corrispondenza di evidenti linee di contatto tettonico, che, accostando litotipi differenziati e cataclastici, hanno favorito un'intensa azione erosiva degli agenti geomorfici. Le grandi spianate e i circhi di valle dei due ghiacciai di Scerscen si aprono in corrispondenza di linee di sovrascorrimento che pongono in contatto le dioriti e le granodioriti erciniche della Falda Bernina (Australpino Inferiore) con le filladi cloritiche della Falda Sella (Pennidico superiore) e queste ultime con i micascisti e gli gneiss muscovitici della Falda Margna (anch'essa del Pennidico superiore). Anche il bacino che accoglie il ghiacciaio Occidentale di Fellaria si pone al contatto Falda Bernina-Falda Sella. Il collettore del ghiacciaio Orientale di Fellaria si allarga su un ripiano localizzato in corrispondenza del contatto fra due litotipi della Falda Bernina: i graniti e le granodioriti fortemente cataclastiche del Pizzo Palù e le dioriti cataclastiche del Sasso Rosso, mentre il solco vallivo che ospita la lingua del ghiacciaio è inciso lungo linee tettoniche che accostano gli gneiss occhialdini cloritici e i micascisti della Falda Bernina alle filladi e agli gneiss occhialdini e granitoidi della Falda Sella. Per ulteriori osservazioni sui lineamenti geologici del gruppo del Bernina e per i rapporti fra struttura e morfologia si vedano: G. NANGERONI, *La morfologia dei monti di Val Malenco in rapporto alla struttura geologica*, in « Boll. Soc. Geogr. Ital. », Roma, 1931, pp. 814-828; G. BONSIGNORE e altri, *La geologia del territorio della provincia di Sondrio*, Sondrio, 1970.



FIG. 2 — IL GHIACCIAIO DEL SASSO DI FORA VISTO DA SAN GIUSEPPE (VALMALENCO).

È un piccolo apparato di pendio che copre attualmente un'area di 0,1 km<sup>2</sup>. Caratterizzato da una notevole pendenza, si estende sul versante orientale della cresta del Sasso di Fora.

(dat. G. Catasola, 1981)

Per i ghiacciai minori i dati, pur rispecchiando la situazione del 1980, tengono conto anche della realtà degli anni precedenti, approfittando del fatto che i due rilevatori hanno operato per sei anni di seguito (1975-1980) sugli stessi ghiacciai.

Per il primo dei quattro parametri precedentemente indicati (quota più alta del ghiacciaio), dal confronto dei dati non sono apparse variazioni di rilievo. Si potrebbe forse ricavarne un indizio di una lieve espansione dei bacini collettori, visto che la quota media più elevata è passata da 3275 m con una *standard deviation* di 263,6 a 3290 m con una distribuzione più dispersa ( $\sigma = 276,5$ ). Non è possibile individuare un comportamento uniforme sia a livello dei maggiori ghiacciai, sia nell'ambito degli apparati più piccoli. Cinque ghiacciai hanno mantenuto la stessa quota massima, per i restanti si sono registrate limitate varia-

Il ghiacciaio occupa il grande circo di valle formata a destra dalle pareti monzonitiche del Piz Glischaiat (3594 m) e a sinistra dalla cresta Sasso d'Eniova-Pizzo Malenco-Pizzo delle Tre Magge. Si distinguono le due lunghe lingue coperte in morenico, talora in neve fillosa; quella centrale, a punta di lancia, s'incunea nella stretta faglia al ruscetto microssisti-calcarei; quella sulla sinistra topografica s'appiattisce sotto il bastione Glischaiat-Rella.



FIG. 3 - IL GHIACCIAIO INFERIORE DI SCERSCEN VISTO DAL RIFUGIO MARINELLI (2813 m).

(for. G. Smorgolin, 1980)



FIG. 4 - IL GHIACCIAIO SUPERIORE DI SCERSCEN.

(for. G. Smorgolin, 1980)

Posto sull'ampio pianoro sotto le pareti granodioritiche del Roseg, del Scerscen e del Bernina, è caratterizzato da tre brevi lingue, la maggiore delle quali, interamente crepacciata, scende fino a 2530 m. In quel punto si vieta della distendersi fronte le appese stazionarie; ma mancano misure recenti a causa della pericolosità dell'area proglaciale per le avarie di massi e le cadute di seracchi.



FIG. 5 — IL GHIACCIAIO CASOGGIO VISTO  
DAL CIPPO DELL'ELICOTTERO (2610 m).

(fot. C. Smiraglia, 1980)

La fronte, molto appiattita e frangiata, s'arresta attualmente a 2630 m. Le misurazioni hanno fatto registrare un continuo lieve arretramento frontale.

zioni positive. La variazione più sensibile è quella del ghiacciaio Occidentale di Fellaria, la cui quota massima è salita da 3600 a 3700 metri.

Analoghe osservazioni sono possibili per quanto riguarda le quote frontali, la cui media non ha subito variazioni di rilievo (si è passati da 2746 m con  $\sigma = 185,1$  secondo il Catasto dei Ghiacciai Italiani a 2749 m con  $\sigma = 197,3$  per il Catasto Internazionale). La quota frontale più bassa è quella del ghiacciaio Occidentale di Fellaria, che è scesa da 2600 a 2505 m. Anche il gemello (Orientale di Fellaria) ha fatto registrare un abbassamento del limite frontale da 2550 a 2470 m. Molto difforme appare il comportamento degli altri apparati.

Per quanto riguarda la lunghezza massima, è constatabile una lieve riduzione; la media è infatti variata da 1,81 km con una *standard deviation* di 1,72 a 1,75 km con minore dispersione ( $\sigma = 1,62$ ). Incrementi nella lunghezza massima si sono verificati per i due ghiacciai vallivi: l'Occidentale di Fellaria ha avuto



FIG. 4 — I DUE GHIACCIAI DEL SASSO MORO  
VISTI DALL'ALPE FELLARIA (NO).

I due piccoli apparati di pendio hanno origine dalla sommità del Sasso Moro (3106 m).  
(fot. G. Cernato, 1980)

un incremento in lunghezza del 10,4%, mentre per l'Orientale la variazione è stata del 3%; decrementi si sono verificati per gli altri due maggiori ghiacciai (Inferiore e Superiore di Scerscen), mentre per il resto degli apparati il comportamento è al solito difforme. Si tenga comunque presente che il parametro della lunghezza massima, oltre alle difficoltà oggettive del riconoscimento della fronte, presenta una notevole soggettività nei metodi di calcolo.

Dal confronto fra i due catasti appare che anche l'area glacializzata è pressoché stabile. Il dato totale del Catasto dei Ghiacciai Italiani è infatti di 23,41 km<sup>2</sup> ( $\sigma = 2,43$ ), mentre nel 1980 la superficie glaciale complessiva è di 23,63 km<sup>2</sup> ( $\sigma = 2,36$ ), con un incremento dello 0,9%. Lievi sono le variazioni dei due Fellaria (+1,8% per l'Occidentale, +2,8% per l'Orientale): più marcate quelle dei ghiacciai minori: il ghiacciaio del Sasso di



FIG. 7 - I GHIACCIALI DI FELLARIA

(dal C. Rothli, 1979)

In primo piano la parte terminale della lingua dell'Occidentale, che s'allarga a coda di vipera fino alla quota minima di 2505 m. Dopo un ritiro di oltre 200 m (1958-75), la fronte è ora in lieve espansione. Oltre il ripiano coperto da morenicci e terrazzato da torrenti senglaciali, è la lingua, frammentata da crepacci e seracchi, dell'Orientale, che s'arresta su un ripido gradino roccioso a 2470 m, sovrastante l'invaso artificiale di Alpe Grea. E' visibile la sella da cui scende il ghiacciaio del Varuna, sulla cui attività frontale mancano dati recenti. In alto, a destra, le numerose placche che formano il glacio-nevato della Cima Fontana.

Fora avrebbe fatto registrare un incremento areale del 114%, quello della Bocchetta di Caspoggio si sarebbe ampliato del 100%. Si tenga comunque conto di quanto precedentemente osservato sulle difficoltà di riconoscere i limiti esatti degli apparati glaciali in annate di notevole innevamento. Per quanto riguarda i ghiacciai minori del Bernina sono state computate nell'area anche le masse di neve vecchia, la cui presenza è stata verificata per almeno tre anni.

Può essere utile a questo punto esaminare l'influenza dell'esposizione sulle variazioni di lunghezza e di superficie. Per quantificare questo parametro ho seguito, seppur con modifiche, la metodologia suggerita da P. Kasser (4), sia per le variazioni

(4) P. KASSER (194) *The effect of topographic orientation on the variations of glacier length*, in: *International Workshop on World Glacier Inventory*, Aletsch Centre Switzerland, 1978, pp. 51-62) ha esaminato i rapporti tra Formentatione di crevassette glaciali svizzeri e le loro variazioni in lunghezza e superficie, utilizzando i dati e le osservazioni della Commissione Ghiacciai dell'Accademia Svizzera delle Scienze. I segni positivi e negativi di ciascun apparato glaciale in annate a un ritmo sono stati distribuiti secondo otto settori di orientamento di 90°

TAB. 1

## DISTRIBUZIONE DEI QUOZIENTI LUNGHEZZA/AREA NEI VARI QUADRANTI

| settore                    | N    | NE   | E    | SE   | S    | SO   | O    | NO   |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Rapporto $L+/L-$           | 0,25 | 0,50 | 1,25 | 2    | 2,50 | 0,66 | 0,25 | 0,50 |
| Rapporto $L+/L-$ ponderato | 0,25 | 0,50 | 1,26 | 2,02 | 2,52 | 0,67 | 0,25 | 0,50 |
| Rapporto $A+/A-$           | 0,75 | 1    | 2,50 | 7    | 3,50 | 5    | 1,50 | 1,66 |
| Rapporto $A+/A-$ ponderato | 0,26 | 0,35 | 0,87 | 2,45 | 1,22 | 1,75 | 0,52 | 0,58 |
| Rapporto $(A+/A-) + A$     | 0,84 | 1    | 4,88 | 12   | 6,88 | 5    | 1,67 | 1,72 |

della lunghezza massima, sia per le variazioni areali (tab. 1). Per quanto riguarda la lunghezza vi è un'evidente variazione in rapporto all'esposizione con valori maggiori (e quindi con variazioni positive delle lunghezze) per quei quadranti che dovrebbero essere i meno favoriti dal punto di vista del glacialismo. Infatti i quadranti da E a SO raccolgono un valore complessivo di 6,41 su un totale di 7,91. Una conferma si ha dalle variazioni di area. Anche il rapporto  $A+/A-$  è nettamente maggiore per i quadranti da E a SO (18 su 22,91). La tab. 1 presenta anche le distribuzioni ponderate, dividendo il valore di ciascun settore per la media di tutti i valori. Si noti come in alcuni quadranti (soprattutto N, NO, SE) vi sia un accordo sufficientemente significativo tra i valori delle variazioni di lunghezza e delle variazioni di area. Nella suddivisione dei valori  $A+/A-$  non è però dato nessun peso alla dimensione areale dei ghiacciai. Si sono quindi ponderati i valori  $A+/A-$  aggiungendo in ciascun quadrante la media delle aree degli apparati glaciali del settore corrispondente tratta dal Catasto dei Ghiacciai Italiani. Si è ottenuto un indice,  $(A+/A-) + A$ , che

ciascuno, che si sovrappongono e vengono indicati con la direzione della linea centrale: ad esempio, il settore N comprende anche i settori NO e NE. Al segno indicante la variazione di ciascun ghiacciaio del settore centrale è attribuito il valore 1, mentre per quelli dei due settori laterali il valore è 0,5. Il totale dei valori positivi viene diviso per quello dei valori negativi ottenendo così il rapporto  $+/-$  distribuito secondo otto quadranti.

TAB. 2

## MATRICE DI CORRELAZIONE SU ALCUNE VARIABILI ALTIMETRICHE, DIMENSIONALI E MORFOLOGICHE DEL GLACIALISMO DEL BERNINA

|    | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | -0,55 | -0,68 | 0,90  | 0,95  | —     | —     | —     | 0,80  | 0,89  | -0,26 |
| 2  |       | 0,96  | -0,80 | -0,77 | -0,85 | -0,86 | 0,53  | -0,68 | -0,71 | 0,52  |
| 3  |       |       | -0,82 | -0,84 | -0,85 | -0,89 | 0,49  | -0,23 | -0,78 | 0,41  |
| 4  |       |       |       | 0,98  | 0,94  | 0,97  | -0,48 | 0,60  | 0,87  | -0,53 |
| 5  |       |       |       |       | 0,95  | 0,61  | -0,36 | 0,65  | 0,94  | -0,44 |
| 6  |       |       |       |       |       | 0,99  | -0,45 | 0,43  | 0,93  | -0,48 |
| 7  |       |       |       |       |       |       | -0,42 | 0,45  | 0,55  | -0,48 |
| 8  |       |       |       |       |       |       |       | 0,23  | -0,32 | 0,75  |
| 9  |       |       |       |       |       |       |       |       | —     | —     |
| 10 |       |       |       |       |       |       |       |       |       | -0,34 |

1, quota più alta del ghiacciaio; 2, quota più bassa CGI; 3, quota più bassa CI; 4, lunghezza massima CGI; 5, lunghezza massima CI; 6, superficie CGI; 7, superficie CI; 8, inclinazione media; 9, altezza mediana; 10, quota della cima più alta sovrastante; 11, variazione percentuale dell'area tra CGI e CI.

(CGI = Catasto dei Ghiacciai Italiani; CI = Catasto Internazionale dei Ghiacciai. I trattini indicano correlazioni inferiori a  $\pm 20$ ).

tiene conto non solo del numero dei ghiacciai secondo le varie esposizioni e delle variazioni areali positive o negative, ma anche della dimensione areale di partenza. Si rileva così una distribuzione normale, con valori più elevati nelle quattro classi centrali (E, SE, S, SO), che raccolgono l'84,6% del valore totale. Emerge da quanto riportato che l'esposizione non gioca un ruolo fondamentale nella dinamica recente del glacialismo sul versante italiano del Bernina e che devono essere chiamati in causa anche altri fattori.

Per evidenziare i rapporti tra alcuni fattori ritenuti significativi e per individuarne il reciproco peso, è stata predisposta la matrice di correlazione della tab. 2, che comprende undici

variabili di tipo altimetrico, dimensionale e morfologico. I dati sono stati tratti dai due catasti, talora con ulteriori elaborazioni. Particolarmente significative appaiono le correlazioni tra la variabile 11 (variazione percentuale dell'area fra i due catasti) e altre variabili dimensionali. Anche se i valori non sono molto elevati emerge la tendenza per i ghiacciai del Bernina a una variazione areale tanto più ampia quanto minore era la lunghezza e quanto più ridotta era la superficie iniziale. Che gli apparati minori abbiano subito le modifiche più sensibili è confermato anche dalla correlazione tra variazione dell'area e inclinazione ( $r = 0,75$ ). E' infatti evidente che questa seconda variabile presenta i valori più elevati per i piccoli ghiacciai. Dall'esame della matrice è possibile trarre altre interessanti osservazioni sui caratteri del glacialismo del Bernina. L'area, ad esempio, appare strettamente correlata con la quota della fronte ( $r = -0,86$ ) e con la lunghezza massima ( $r = 0,94$ ; si veda in fig. 8 la retta di regressione corrispondente). Per quanto riguarda i rapporti con la morfologia del gruppo, possono essere significative le correlazioni con la variabile 10 (quota della cima più alta sovrastante il ghiacciaio). I ghiacciai più lunghi ( $r = 0,94$ ) e più vasti ( $r = 0,93$ ) appaiono essere sovrastati dalle cime più elevate (si vedano in fig. 9 le corrispondenti rette di regressione).

Nelle schede del Catasto Internazionale si trova un altro parametro della dinamica glaciale, cui viene solitamente attribuita notevole importanza: l'attività della lingua. Appare tuttavia chiaramente l'impossibilità di tenerne conto a livello di analisi globale. Per sette apparati infatti tale attività viene definita incerta (sono tutti quei ghiacciai che il Catasto dei Ghiacciai Italiani denomina « di pendio » o « di circo », per i quali da molti anni non è possibile compiere misurazioni attendibili); per due ghiacciai (Superiore di Scerscen e Orientale di Fellaria) l'attività della lingua è stazionaria; per altri due si parla di contrazione ridotta (Inferiore di Scerscen, Caspoggio), mentre per un ghiacciaio (Occidentale di Fellaria) la lingua è in espansione ridotta.

Tra i fattori che influenzano la dinamica glaciale si è prece-

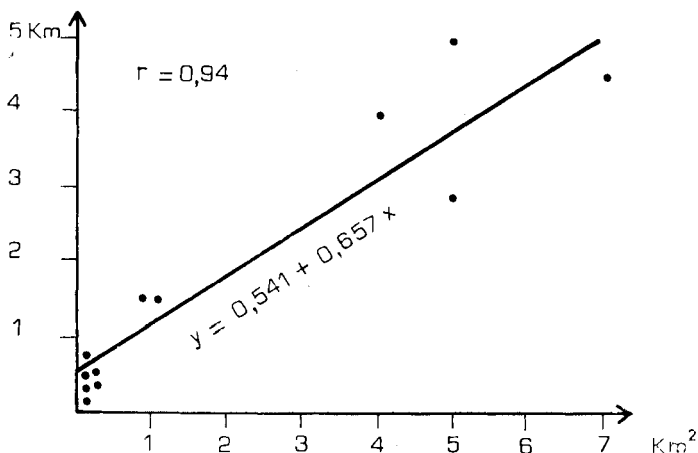


FIG. 8 -- CORRELAZIONE TRA AREA E LUNGHEZZA MASSIMA.

La distribuzione dei punti attorno alla retta interpolante permette di visualizzare le tre tipologie morfologiche dei ghiacciai del Bernina: 1) gli apparati maggiori (i due Scerscen e i due Fellaria), caratterizzati da ampi bacini collettori, che occupano i circhi di valle, e da notevole estensione in lunghezza; 2) i due tipici apparati di circo di Caspoggio e del Varuna; 3) il gruppo compatto dei ghiacciai minori, che si raccolgono tutti entro le coordinate 0,5-1.

dentemente accennato all'altezza mediana. Il dato, calcolato tramite la curva ipsografica, appare solo nelle schede del Catasto Internazionale. L'altezza mediana per i ghiacciai del Bernina è di 3034 m con una *standard deviation* di 154,75. I valori appaiono particolarmente elevati per i due Fellaria (3450 per l'Orientale, 3090 per l'Occidentale) e per il ghiacciaio Superiore di Scerscen (3060). Un confronto fra i due catasti è invece possibile se si calcola l'altezza media con il vecchio metodo Hofer, che dimezza la somma della quota più elevata e di quella meno elevata. Dai calcoli emerge una situazione di stabilità che riproduce evidentemente quella della quota più alta del ghiacciaio e della quota frontale cui si è precedentemente accennato. L'altezza media secondo i dati del Catasto dei Ghiacciai Italiani è infatti di 3010 m con una *standard deviation* di 113,63, mentre per il Catasto Internazionale il valore medio è di 3012 m con una distribuzione meno dispersa ( $\sigma = 98,06$ ).

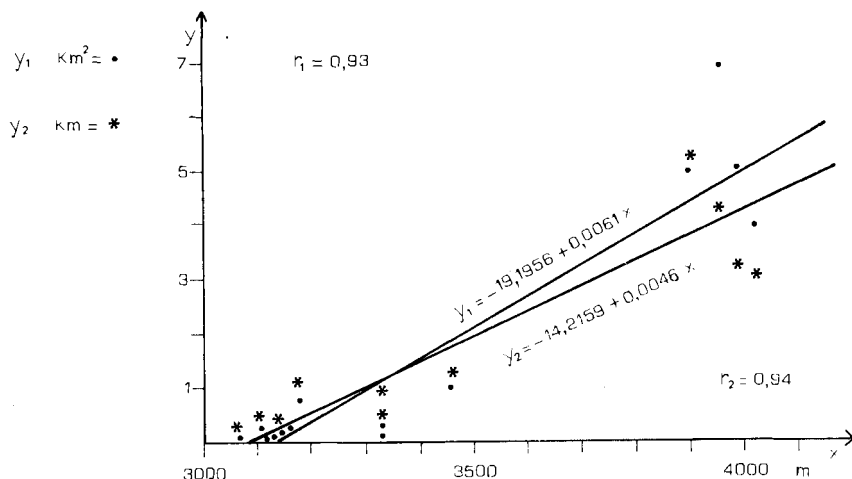


FIG. 9 — CORRELAZIONE TRA QUOTA DELLA CIMA PIU' ALTA SOVRASTANTE IL GHIACCIAIO, AREA (punti) E LUNGHEZZA MASSIMA (asterischi).

Dalla distribuzione dei punti attorno alle rette interpolanti emerge un significativo legame fra le variabili indicate. Pur non essendovi una stretta relazione causa-effetto tra la quota della cima più alta sovrastante e i caratteri dimensionali dei ghiacciai, si nota che gli apparati glaciali più cospicui sono sovrastati dalle cime più alte. Ciò è dovuto alla particolare struttura del gruppo, dominata da una tettonica a falde. Vengono infatti posti a contatto tettonico litotipi differenziati e cataclastici sui quali gli agenti geomorfici hanno operato un'erosione selettiva, determinando una morfologia a ripiani che ha favorito l'impostazione dei grandi bacini collettori.

Più interessanti appaiono altri parametri richiesti dalla scheda del Catasto Internazionale, per i quali non è però possibile un confronto con situazioni precedenti. Si tratta dell'altezza della linea del nevato e del fattore AAR. Il primo parametro è disponibile solo per cinque ghiacciai, i più vasti e i più frequentemente visitati (oltre ai Fellaria e agli Scerscen, vi è anche il Caspoggio). La linea del nevato (5) si colloca a una quota media

(5) Secondo le istruzioni del Catasto Internazionale (cfr. F. MÜLLER, T. CAF-LISCH e G. MÜLLER, *Instructions for Compilation and Assemblage of Data for a World Glacier Inventory*, Zurigo, 1977, pp. 18-19), la quota della linea del nevato deve riferirsi esclusivamente all'anno di effettuazione del rilievo e deve indicare l'altezza minima della neve di nevato alla conclusione del periodo di ablazione. Non è quindi possibile tenere conto delle variazioni di tale quota, spesso notevoli, avvenute negli anni precedenti.

di 2846 m ( $\sigma = 154,75$ ) con un valore particolarmente elevato per l'Orientale di Fellaria (3000 m). Il fattore AAR (6) è disponibile solo per i ghiacciai maggiori e presenta i seguenti valori: 93 per l'Occidentale di Fellaria, 83 per il Superiore di Scerscen, 75 per l'Orientale di Fellaria e 74 per l'Inferiore di Scerscen.

Un altro dato reperibile sulle schede del Catasto Internazionale è quello dello spessore medio. Si tratta di valori che presentano una larga approssimazione, soprattutto per gli apparati minori. Non sono stati compiuti sondaggi particolari per stabilire lo spessore dei ghiacciai e si è quindi utilizzata la formula impiegata per i ghiacciai svizzeri (7). Lo spessore medio dei ghiacciai italiani del Bernina si aggirerebbe sui 20 m, con massimi di 43 e 41 m per i due Scerscen e di 40 m per entrambi i Fellaria.

*Osservazioni conclusive.* — Dai dati presentati e dalle considerazioni sopra riportate si potrebbe trarre la conclusione che nel ventennio 1960-1980 il glacialismo sul versante italiano del Bernina non abbia fatto registrare variazioni di rilievo. In effetti, sia la quota media delle fronti sia la superficie media degli apparati non hanno subito modifiche sensibili. Si è però già fatta rilevare la notevole diversità tipologica e comportamentale fra i ghiacciai del Bernina, nonché la differenziata attendibilità dei dati disponibili. Un discorso di media, che accomuna vasti apparati vallivi, come i Fellaria, ed esigui glacio-nevati, come quello di Cima Fontana, non rivela tali differenziazioni. E' invece più utile a mio parere, per meglio delineare la situazione attuale del glacialismo nel gruppo del Bernina, nonché la sua dinamica nel

---

(6) Il fattore AAR, o fattore d'area di accumulo (*Accumulation Area Ratio*), si ricava dalla formula  $\frac{Ac}{At} \cdot 100$ , dove  $Ac$  è l'area di accumulo e  $At$  l'area totale (si veda C. LESCA, *La partecipazione italiana al « World Inventory of perennial ice and snow masses »*, in « Boll. Comit. Glaciol. Ital. », Torino, 1974, pp. 127-142; cfr. pp. 133-136).

(7) Nel Catasto dei Ghiacciai Svizzeri, per i ghiacciai minori di 0,5 km<sup>2</sup> è stato assunto il valore unico di m 5. Per i ghiacciai compresi fra 0,5 e 23 km<sup>2</sup> si applica la formula seguente:  $profondità = 5,2 + 15,4 \times \sqrt{\text{area}}$ . Per i ghiacciai superiori a 23 km<sup>2</sup>, caso non riscontrabile nel gruppo del Bernina, la valutazione dovrebbe essere compiuta singolarmente.

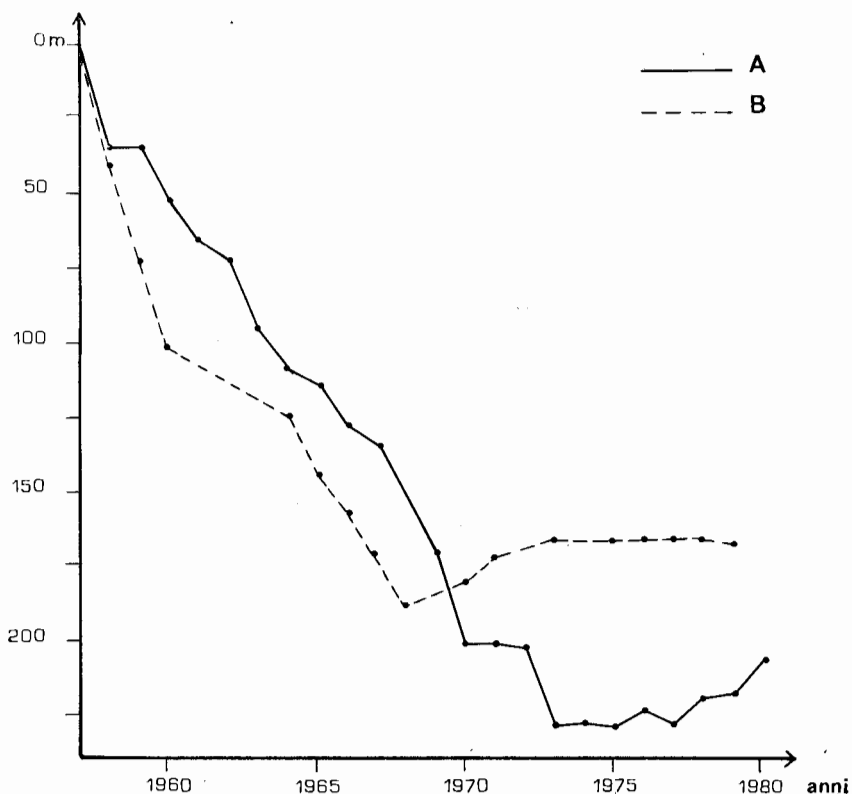


FIG. 10 — CONFRONTO TRA LE VARIAZIONI FRONTALI DEL GHIACCIAIO OCCIDENTALE DI FELLARIA (A) E DEL GHIACCIAIO DI TZA DE TZAN (B).

ventennio indicato, tenere nel debito conto due fatti indiscutibili: 1) la presenza di placche di nevato in aree precedentemente scoperte; 2) l'attività frontale degli apparati maggiori. Per quanto riguarda il primo punto, un controllo costante del gruppo del Bernina negli ultimi anni ha mostrato che vi è stata la presenza continua di placche di nevato sia alla fronte di molti ghiacciai sia in aree che al tempo del Catasto dei Ghiacciai Italiani ne apparivano del tutto prive (per esempio alla Forcella di Fellaria). E' chiaro che tali masse di nevato presentano una notevole variabilità di superficie e di spessore, registrando in modo

molto rapido le variazioni anche limitate dei parametri climatici. Per quanto riguarda l'attività frontale dei ghiacciai maggiori (soprattutto vallivi), è noto che solo dopo un lasso di tempo, che può essere anche cospicuo, si ha la « risposta » della fronte al sovraccarico del bacino di alimentazione. Per il gruppo del Bernina vi è un solo ghiacciaio per il quale si dispone di dati completi sulla dinamica frontale, il ghiacciaio Occidentale di Fellaria. Esaminando tali dati è possibile constatare come l'inversione di tendenza delle oscillazioni frontali, che indica un avvenuto accrescimento volumetrico delle masse nel bacino collettore, si manifesti verso la metà degli anni '70. Dopo essersi infatti ritirata di circa 230 m tra il 1958 e il 1975, la fronte del ghiacciaio Fellaria ha fatto registrare fino al 1980 un progresso di circa 20 m. Può essere utile confrontare tale dinamica con quella di un ghiacciaio vallivo delle Alpi Occidentali, il ghiacciaio di Tza de Tzan nell'alta Valpelline, un apparato che presenta caratteri dimensionali e morfologici sufficientemente vicini a quelli del Fellaria (l'area, ad esempio, è di 4,5 km contro 5 km) (8). Anche la fronte del ghiacciaio di Tza de Tzan ha invertito la propria tendenza all'arretramento, ma tale fenomeno si è verificato sette anni prima. Il ritiro infatti è durato fino al 1968 (150 m tra il 1957 e il 1968); successivamente si è avuta un'avanzata di circa 20 m e attualmente si osserva una fase di stazionarietà.

Credo che si possa in conclusione affermare che sul versante italiano del gruppo del Bernina si sta verificando una piccola oscillazione positiva nella dinamica del glacialismo, modesta finora come entità, una variazione di tendenza le cui cause andrebbero ricercate non solo nei mutamenti climatici insorti nel periodo in cui tale oscillazione è stata rilevata, ma anche in quelli degli anni precedenti.

---

(8) Le oscillazioni frontali del ghiacciaio di Tza de Tzan sono state esaminate da C. SMIRAGLIA (*Note sull'evoluzione del glacialismo dell'alta Valpelline*, in « Boll. Comit. Glaciol. Ital. », Torino, 1975, pp. 119-130), che ha messo in evidenza il costante ritiro dal 1908 al 1960, la separazione in due colate distinte (Tza de Tzan e Grandes Murailles), la continuazione della fase di ritiro fino al 1968-1970 e la successiva inversione di tendenza.

## BIBLIOGRAFIA

- BONSIGNORE G., BRAVI C. E., NANGERONI G. e RAGNI U., *La geologia del territorio della provincia di Sondrio*, Sondrio, Ammin. Prov., 1970.
- BUZZETTI L., *Relazioni delle campagne glaciologiche 1975 e 1976: ghiacciai Inferiore di Scerscen, Caspoggio, Occidentale di Fellaria*, in «Boll. Comit. Glaciol. Ital.», Torino, 1976, pp. 118-119, e 1977, p. 124.
- CATASTA G., *Relazioni delle campagne glaciologiche 1978 e 1979: ghiacciaio Occidentale di Fellaria*, in «Geogr. Fis. e Din. Quatern.», Torino, 1979, pp. 145-146, e 1980, p. 109.
- CATASTA G., Schede del Catasto Internazionale dei Ghiacciai: del Sasso di Fora, Marinelli, Nord-orientale del Sasso Moro, Nord-occidentale del Sasso Moro, della Bocchetta di Caspoggio, Occidentale di Fellaria, del Pizzo Varuna (in corso di stampa).
- COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO, *Catasto dei Ghiacciai Italiani*, Torino, 1959-1962, 4 voll.
- KASSER P., *On the effect of topographic orientation on the variations of glacier length*, in «International Workshop on World Glacier Inventory, Aletsch Centre, Switzerland, 1978», pp. 51-52.
- LESCA C., *La partecipazione italiana al «World Inventory of perennial ice and snow masses»*, in «Boll. Comit., Glaciol. Ital.», Torino, 1974, pp. 127-142.
- MÜLLER F., CAFLISCH T. e MÜLLER G., *Instructions for Compilation and Assemblage of Data for a World Glacier Inventory*, Zurigo, TTS-WGI, 1977.
- MÜLLER F. e SCHERLER K., *Report on World Glacier Inventory. Status December 1978*, Zurigo, TTS-WGI, 1979.
- NANGERONI G., *La morfologia dei monti di Val Malenco in rapporto alla struttura geolitologica*, in «Boll. Soc. Geogr. Ital.», Roma, 1931, pp. 814-828.
- SAIBENE C., *Relazioni delle campagne glaciologiche 1962, 1963, 1964, 1965, 1966, 1967, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974: ghiacciai Inferiore di Scerscen, Caspoggio, Occidentale e Orientale di Fellaria*, in «Boll. Comit. Glaciol. Ital.», Torino: 1963, p. 116; 1966, pp. 91-92; 1967, p. 151; 1969, p. 163; 1970, pp. 20, 74 e 104-105; 1971, p. 131; 1972, pp. 163-164; 1973, pp. 109-110.
- SAIBENE C., *Relazioni della campagna glaciologica 1977: ghiacciaio Occidentale di Fellaria*, in «Geogr. Fis. e Din. Quatern.», Torino, 1978, p. 89.
- SMIRAGLIA C., *Note sull'evoluzione recente del glacialismo dell'alta Valpelline*, in «Boll. Comit., Glaciol. Ital.», Torino, 1975, pp. 119-130.
- SMIRAGLIA C., *Relazioni della campagna glaciologica 1975: ghiacciaio Occidentale di Fellaria*, in «Boll. Comit. Glaciol., Ital.», Torino, 1976, pp. 119-120.

- SMIRAGLIA C., Relazioni delle campagne glaciologiche 1977, 1978, 1979: ghiacciai Inferiore e Superiore di Scerscen, Caspoggio, Orientale di Fellaria, in «Geogr. Fis. e Din. Quatern.», Torino: 1978, pp. 88-89; 1979, pp. 144-145; 1980, pp. 108-109.
- SMIRAGLIA C., Schede del Catasto Internazionale dei Ghiacciai: Inferiore di Scerscen, Superiore di Scerscen, Caspoggio, Orientale di Fellaria, della Cima Fontana (in corso di stampa).
- TEMPORARY TECHNICAL SECRETARIAT-WORLD GLACIER INVENTORY, «International Workshop on World Glacier Inventory, Aletsch Centre, Switzerland, 1978», Programme-Abstracts.
- UNESCO-IAHS, *Perennial Ice and Snow Masses. A guide for compilation and assemblage of data for a World Inventory*, Parigi, 1970.
- ZANON G., *I ghiacciai italiani*, nel vol. *Ghiacciai delle Alpi*, a cura di R. C. BACHMANN, Bologna, Zanichelli, 1980, pp. 53-55.

THE PRESENT GLACIATION ON THE ITALIAN SLOPE OF THE BERNINA GROUP: SOME ACHIEVEMENTS OF THE WORLD GLACIER INVENTORY. — The Author, after comparing the data collected in the records of the World Glacier Inventory with the ones available in the Italian Glacier Inventory, published between 1959 and 1962, analyzes the evolution of the glaciation of the Bernina group, in the Rhaetian Alps, between 1960 and 1980.

Particular attention was paid to the examination of the morphological variations of twelve glaciers, namely two valley glaciers and ten cirque glaciers, and it was observed that the total area of the icecap actually remained unchanged i.e. about 23 square kilometres. The Author then points out the different evolution of the valley glaciers and of the small cirque glaciers. Furthermore he takes into examination the frontal activity of the Western Glacier of Fellaria, the only one for which a full series of data and information is available. He concludes by stating that most likely a positive phase of glaciation, though of proportions up to now limited, is progressing in the Bernina group.

*Milano, Istituto di Geografia dell'Università Cattolica.*