

MARCO GIADA(*) & GIORGIO ZANON(**)

MODIFICAZIONI VOLUMETRICHE SUL GHIACCIAIO DEL CARESÈR (Alpi Centrali, Gruppo Ortles-Cevedale) TRA IL 1967 E IL 1980 (***)

ABSTRACT: GIADA M. & ZANON G., *The variations in volume of the Caresèr Glacier (Central Alps - Ortles-Cevedale Group) between 1967 and 1980* (IT ISSN 0084-8948, 1985)

The variations in volume of the Caresèr Glacier (Ortles-Cevedale Group) over a period of 14 years were determined by means of comparison of two aerial surveys, taken in 1967 and 1980.

The data used for computer processing were altitude values (obtained by evaluation of aerial photographs) on the nodes of a 50 m grid. Two homogeneous groups of digital data on the surface of the glacier were thus obtained, for both surveys.

The point-by-point differences of the digital models gave a matrix of altitude variations, which in turn gave respectively the increases (*net accumulation*) and losses (*net ablation*) of the glacier mass in terms of thickness (m) and volume (m³). The same matrix also provided isovariation curves, allowing the surface to be subdivided into belts representing level variations and, lastly, representation of the phenomena in the form of a thematic map (pl. 1).

The availability of data on the balance of the glacier, calculated by means of direct surveys, also allowed a comparison of the two methodologies. The data compared, expressed as water thickness and water volumes (table 1) for the whole surface of the glacier, with the exception of the inaccessible summit area (above 3 200 m a.s.l.), show good correspondence, with an overall difference in evaluation of 0,41 m of water, equal to 13,5 %, for the whole period 1967-1980.

RIASSUNTO: GIADA M. & ZANON G., *Modificazioni volumetriche sul Ghiacciaio del Caresèr (Alpi Centrali, Gruppo Ortles-Cevedale) tra il 1967 e il 1980* (IT ISSN 0084-8948, 1985).

La disponibilità di due rilievi aerofotogrammetrici del Ghiacciaio del Caresèr (Gruppo Ortles-Cevedale), eseguiti nel 1967 e nel 1980, ha reso possibile, attraverso il loro confronto, la determinazione delle variazioni volumetriche intercorse in tale periodo.

I dati utilizzati per l'elaborazione al calcolatore, sono costituiti da valori di quote, ottenuti per mezzo della fotorestituzione, ai nodi di un reticolo a maglie quadrate di 50 m di lato. Sono stati pertanto realizzati due insiemi omogenei di dati (modelli digitali) della superficie sul ghiacciaio, per ambedue i rilievi.

Dalla differenza punto a punto dei due modelli digitali si è ricavata la matrice delle variazioni di quota, mediante la quale sono stati calcolati rispettivamente gli incrementi (*accumulo netto*) e le perdite (*ablazione netta*) della massa glaciale, in termini di spessore (in m) e di volume (in m³). Dalla stessa matrice sono state ricavate curve di isovariation, tali da suddi-

videre la superficie in fasce significative per la rappresentazione delle variazioni di livello; si è infine proceduto alla rappresentazione del fenomeno in forma di carta tematica (tav. 1).

La contemporanea disponibilità dei dati sul bilancio del ghiacciaio, calcolati attraverso rilievi diretti, effettuati annualmente per lo stesso intervallo 1967-1980, ha reso possibile anche un tentativo di raffronto delle due metodologie. I dati a confronto, espressi come altezza e come volumi d'acqua (tab. 1) per l'intera superficie del ghiacciaio, ad esclusione dell'impervia zona altimetrica sommitale (superiore ai 3 200 m di quota), ha fatto riscontrare una buona corrispondenza, con una differenza complessiva di valutazione di 0,41 m d'acqua, pari al 13,5 %, per l'intero periodo 1967-1980.

TERMINI-CHIAVE: ghiacciaio; bilancio idrologico superficiale; risorse idriche; cartografia automatizzata; Alpi Centrali.

PREMESSA

Nel quadro del programma di ricerche sul regime del Ghiacciaio del Caresèr, intrapreso dal Comitato Glaciologico Italiano con l'attivo concorso dell'ENEL, a partire dal 1966, si sono rese disponibili tre riprese aerofotogrammetriche del ghiacciaio, con restituzione in scala 1 : 5 000, eseguite dall'IRTA s.p.a. di Milano, rispettivamente nel 1967, 1970 e 1980.

L'esecuzione di tali rilievi si è resa necessaria per poter disporre di un valido e aggiornato supporto cartografico per i rilievi di campagna sul bilancio glaciale e per i relativi calcoli, date anche le sensibili modificazioni del ghiacciaio intercorse in tale intervallo.

La contemporanea disponibilità dei dati annuali sulle variazioni di massa e dei tre sopraccitati rilievi aerofotogrammetrici, ha reso auspicabile, in particolare, il confronto delle situazioni dedotte dai rilievi del 1967 e del 1980. Nel corso del presente studio questi ultimi sono stati utilizzati come materiale di base per l'individuazione, il calcolo e la rappresentazione in forma di carta tematica (tav. 1), delle variazioni di quota rilevabili dal confronto delle foto aeree.

Generalmente, per studi di questo tipo si opera direttamente sulle carte a curve di livello, individuando dapprima le zone di variazione di quota e planimetrando poi le superfici per il relativo calcolo dei volumi. Queste operazioni hanno lo svantaggio di basarsi su un sup-

(*) GEOCOMP, Noale (VE).

(**) Dipartimento di Geografia dell'Università di Padova.

(***) Ricerca effettuata con il contributo finanziario dell'ENEL.

porto cartografico che può non riprodurre in modo assolutamente fedele la morfologia reale, o, addirittura, gli stessi prodotti cartografici possono essere di differente qualità. Da ultimo, le operazioni manuali di planimetria delle zone di variazione e di valutazione dei volumi ad esse pertinenti, sono legate a fattori di soggettività (LESCA, 1971).

Si è pertanto stabilito di adottare una metodologia diversa che, a partire dai dati aerofotogrammetrici desunti dai voli effettuati nel 1967 e nel 1980, conducesse all'individuazione ed al tracciamento delle variazioni di quota della superficie del ghiacciaio ed al confronto dei volumi delle variazioni stesse (LESCA, 1971).

Il lavoro è stato quindi sviluppato nelle seguenti fasi:

a) *Calcolo dei modelli digitali del ghiacciaio a partire dai dati aerofotogrammetrici del 1967 e del 1980.*

Per ambedue i voli si è proceduto alla determinazione delle coordinate lastra di una serie di punti che, sulla superficie del ghiacciaio, individuano i nodi di un reticolo a maglie regolari di 50 m di lato. A questi insiemi distinti di dati ne sono stati associati altri due, relativi alle coordinate lastra e terreno dei punti di controllo necessari all'orientamento assoluto (ALBERTZ & KREILING, 1974).

Mediante un apposito programma di calcolo ⁽¹⁾ si è quindi proceduto alla determinazione delle coordinate terreno di tutti i punti ai vertici del reticolo a maglie regolari, che costituiscono, per ogni volo aerofotogrammetrico, una matrice delle quote di sessanta righe ed ottanta colonne, che è appunto il modello digitale (INGHILLERI, 1974).

b) *Calcolo delle variazioni di quota della superficie del ghiacciaio e bilancio volumetrico complessivo e per fasce altimetriche.*

Dalla differenza punto a punto tra il modello digitale relativo al 1980 e quello relativo al 1967, si è ricavata la matrice delle variazioni di quota, mediante la quale si sono calcolati i volumi rispettivamente di incremento di massa (*accumulo netto*) e di perdita di massa (*ablazione netta*), assegnando al centro di ciascuna maglia un valore di quota ottenuto come valore medio dei quattro valori nodali, se di segno concorde, o suddividendo la maglia, rispettivamente in zona di accumulo e in zona di ablazione, nel caso in cui la maglia stessa sia attraversata dalla linea di isovariazione zero.

I volumi sono stati ottenuti come sommatoria del volume dei prismi retti aventi area di base corrispondente alla maglia intera o ad una porzione di questa, e altezza come valore medio delle differenze di quota associate a tutta la maglia od alla relativa parte (tab. 1).

c) *Rappresentazione sotto forma di carta tematica delle variazioni di superficie del ghiacciaio, avvenute nel periodo 1967-1980.*

Dalla matrice delle variazioni di livello si sono ricava-

vate curve di isovariazione, scelte in modo da suddividere la superficie del ghiacciaio in fasce significative per la rappresentazione delle variazioni di volume. Si è quindi proceduto alla rappresentazione grafica in forma di carta tematica (tav. 1), mantenendo costante, entro una fascia, il modulo grafico prescelto.

ANALISI DELLA DISTRIBUZIONE DELLE VARIAZIONI DI LIVELLO TRA IL 1967 E IL 1980

La carta tematica a curve di isovariazione del livello della superficie del ghiacciaio (tav. 1) denota, già ad un primo sguardo, il complessivo perdurare, anche nell'intervallo 1967-1980, della fase di riduzione che ha interessato il bacino in esame nel corso dell'ultimo mezzo secolo ⁽²⁾. Le variazioni di livello, raggruppate nelle classi riportate nella legenda, indicano anzitutto diminuzioni superiori a 10 m in una fascia della larghezza massima di 200-250 m che, ampiamente allargata nella zona frontale, si sviluppa lungo il profilo mediano sino quasi all'isoipsa 3 075. Questa classe di variazione negativa si riscontra con evidenza anche in un'area del settore occidentale compresa tra 3 025 e 3 075 m, per un'ampiezza di circa 6 ha, interessata in tempi recenti da ingenti affioramenti rocciosi. Riduzioni da 5 a 10 m costituiscono a loro volta la classe più estesamente rappresentata sulla carta tematica; essa riguarda la parte centrale sino ad un'altitudine di 3 100 m, spingendosi in direzione Nord sino anche a quota 3 250, verso lo spartiacque situato in corrispondenza delle propaggini orientali della Cima Gina (3 356 m).

La classe interessa ampiamente anche il settore sud-occidentale, al cui margine l'isolinesa di 5 m, come pure le successive, assume un andamento non più zonale, bensì taglia le curve di livello, ad indicare la prevalenza dei fattori locali, come l'esposizione e il riparo orografico, sugli effetti della stessa altitudine.

Accanto ad una complessiva, forte riduzione nei settori meridionale, centrale ed occidentale, ad eccezione di aree isolate e di ristrette fasce che accompagnano i rilievi a Nord-Ovest ed a Sud-Ovest, nel settore orientale si può invece osservare un'ampia zona caratterizzata da un incremento di spessore, occupata prevalentemente dalla classe da 2 a 5 m; essa si estende, insieme con le minori classi a variazione positiva, da una quota minima di 3 030-3 035 m sino alla base del recinto roccioso che, dalla Cima Rossa di Saént, si sviluppa sino alla Cima Caresèr e si spinge poi verso Sud-Est sino alla Cima Campisòl. A questo andamento molto regolare ed omogeneo, fa eccezione a Nord un caratteristico settore che, in condizioni di sfavorevole esposi-

⁽²⁾ Dal 1923, anno d'inizio di regolari misure, al 1966, la fronte del ghiacciaio ha fatto riscontrare un ritiro di 1 200 m, e dal 1966 al 1983, di altri 84 metri. La quota frontale è passata a sua volta da 2 645 m nel 1923 e 2 840 m nel 1967, agli attuali 2 860. La superficie, da 5,4415 km² del rilievo terrestre UIMA del 1933, è passata a 4,7205 km² in base al rilievo aerofotogrammetrico IRTA del 1967 ed ai 4,8290 km² dell'analogo rilievo del 1980. Nell'intervallo 1967-1980, a fronte della notevole riduzione di volume, si è pertanto verificato un lieve incremento nella superficie totale, dovuto a modificazioni avvenute in taluni settori dell'area di alimentazione.

⁽¹⁾ Allo scopo è stato fatto uso di un elaboratore Data General - Eclipse S/140.

zione e in posizione sottovento, contrasta a sua volta con una lunga e ristretta fascia a forte aumento di spessore; questa ultima fa capo all'ampio intaglio posto tra la Cima Rossa e la Cima Gina, in corrispondenza al quale si notano normalmente ingenti sovraccumuli nevosi che costituiscono una caratteristica configurazione nella distribuzione dell'accumulo sulla Vedretta del Caresèr, ben evidente nei rilievi sul terreno per la determinazione del bilancio annuale.

Il passaggio dai valori negativi del settore centrale a quelli positivi ad Est è molto netto, spaziando uniformemente nelle diverse classi di variazione e mostrando nell'insieme di essere più aderente alle condizioni altimetriche che non altrove, in accordo con la complessiva regolarità morfologica e topografica, e del più scarso influsso dell'orografia in questa parte del ghiacciaio. Una situazione molto difforme si può invece osservare nella parte della vedretta che è sovrastata dalla linea di cresta Cima Gina - Cime Venezia - Cima Marmotta; la presenza di ripide pareti rocciose che facilitano l'alimentazione da parte delle valanghe, lo stretto alternarsi di superfici glacializzate con affioramenti rocciosi che suddividono minutamente la massa glaciale, creano qui una gamma di situazioni a netta prevalenza di condizioni locali. Ciò si risolve, nella carta tematica, in un passaggio, anche su brevissimi spazi, da una classe all'altra, e da variazioni di un segno a quelle dell'altro. Le frequenti condizioni di forte pendenza rendono inoltre ancora più difficilmente valutabili ed interpretabili, oltre che restituibili sulla carta, tali variazioni.

Nell'unità tab. 1 sono riportate le variazioni in spessore ed in volume (in m e $m^3 \times 10^6$) verificatesi dal 1967 al 1980 per le zone di 50 m di dislivello nelle quali è stato suddiviso altimetricamente il ghiacciaio.

Nella fascia frontale, tra 2 860 e 2 900 m, si riscontra, com'è da aspettarsi, la massima variazione negativa, pari ad 11,78 metri. Valori di circa 10 m si riscontrano ancora nella successiva fascia altimetrica 2 900-2 950 m, totalmente situata nella zona centrale, in completa esposizione a Sud; le perdite assumono poi un andamento

TABELLA 1

GHIACCIAIO DEL CARESÈR - MODIFICAZIONI VOLUMETRICHE DAL CONFRONTO DEI RILIEVI AEROFOTOGRAMMETRICI IRTA 1967 E 1980. (I valori sono espressi come variazioni di spessore [m] e di volume [$10^6 m^3$] della massa glaciale, nonché nei corrispondenti equivalenti in acqua [HW])

altitudine (m s.m.)	spessori (m)	spessori HW (m)	volumi ($10^6 m^3$)	volumi HW ($10^6 m^3$)
2860-2900	- 11,78	- 10,60	- 0,7070	- 0,6365
2900-2950	- 9,80	- 8,82	- 2,2725	- 2,0455
2950-3000	- 6,99	- 6,29	- 2,9110	- 2,6210
3000-3050	- 6,15	- 5,53	- 5,5725	- 5,0155
3050-3100	- 3,50	- 3,15	- 3,5610	- 3,2050
3100-3150	+ 0,13	+ 0,10	+ 0,1645	+ 0,1235
3150-3200	- 0,31	- 0,23	- 0,1475	- 0,1105
> 3200	+ 0,90	+ 0,67	+ 0,3565	+ 0,2675
2860-3350	- 3,04	- 2,74	- 14,6505	- 13,2430

quasi costante nell'omogenea fascia 2 950 - 3 050 m, con una diminuzione di spessore tra 7 e 6 m, che si dimezza tra 3 050 e 3 100 metri. In termini di volumi dissipati nell'intervallo 1967-1980⁽³⁾, si registra la massima perdita, pari a $5,5725 \times 10^6 m^3$, nell'intervallo 3 000-3 050 m, seguita da $3,5610 \times 10^6 m^3$ in quello 3 050-3 100 metri. In questi due intervalli altimetrici la riduzione di volume raggiunge quindi ben il 62,5 % del totale di $14,6505 \times 10^6 m^3$ sull'intero ghiacciaio.

Le variazioni assumono segno positivo, seppure quantitativamente di minima entità (0,13 m per l'intero periodo 1967-1980, ciò che significa virtuale stazionarietà) nella zona altimetrica 3 100-3 150 metri. Questo dato appare di particolare significato in quanto la linea di equilibrio, calcolata attraverso i rilievi sul bilancio di massa del ghiacciaio, in base alle elaborazioni condotte sino al 1980, decorre appunto verso il limite inferiore di questa fascia. La variazione torna ad essere leggermente negativa (0,31 m per i 13 anni) ancora nell'intervallo 3 150-3 200 m, dove, come si può riscontrare anche sulla carta tematica, è evidente il peso esercitato da variazioni negative anche alle alte quote, superiori alla stessa linea di equilibrio. Ciò avviene, come già si è visto, nelle aree sottostanti il contorno roccioso nord-occidentale, dove la massa glaciale risente maggiormente di fattori negativi, come l'effetto di asportazione della neve da parte del vento e soprattutto l'irraggiamento di calore da parte delle rocce scoperte, come causa di accresciuta ablazione.

I valori tornano ad essere positivi nella zona altimetrica sommitale, 3 200-3 350 m, dove l'altitudine evidentemente prevale sui fattori appena ricordati. La variazione è comunque assai ridotta e pari a poco meno di 1 m, per un volume di $0,3565 \times 10^6 m^3$.

Convertendo ora le variazioni di spessore e di volume nei corrispondenti equivalenti in acqua (HW) ed assumendo per il ghiaccio un valore di densità di 0,9 gr/cm³ sino all'intervallo 3 050-3 100 m incluso (tab. 1), la massima variazione negativa si ha nell'intervallo 2 860-2 900 m, con 10,60 m di altezza d'acqua; i valori decrescono nelle successive zone altimetriche, proporzionalmente a quanto si è visto per gli spessori. Pertanto, la perdita massima in volumi d'acqua si riscontra nelle zone 3 000-3 100 m, dove, ad una riduzione come lama d'acqua rispettivamente di 5,53 e 3,15 m, corrispondono perdite di 5,0155 e $3,2050 \times 10^6 m^3$, su di un totale volume in acqua dissipato di $13,2430 \times 10^6 m^3$.

Per la conversione degli spessori in equivalenti in acqua in zona di alimentazione, cioè per le altitudini superiori alla linea di equilibrio, a partire dall'intervallo 3 100-3 150 m, si deve tener conto che le variazioni registrate e riportate nella tab. 1 hanno interessato materiali (*nevato*) a densità variabile, esistenti in questa parte del ghiacciaio. Assumendo per questi ultimi una densità media di 0,75 gr/cm³, si ottengono nelle zone alte incrementi di massa che oscillano tra 0,10 (3 100-3 150 m) e 0,67 m (3 200-3 350 m), con una perdita di 0,23 m nella zona subterminale 3 150-3 200 metri.

(3) I dati volumetrici qui riportati sono ricavati come sommatoria del volume dei prismi retti, di cui a pag. 11.

La perdita come lama d'acqua per il periodo 1967-1980, ricavata con i criteri di conversione degli spessori in equivalenti in acqua di cui sopra, risulta quindi pari ad un totale di 2,74 m, corrispondenti a $13,2430 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Per una comparazione con i risultati delle annuali misure sul bilancio glaciale, calcolata per le annate idrologiche dal 1967 al 1980, ed escludendo da tale confronto l'impervia fascia sommitale oltre i 3 200 m, sulla quale la valutazione delle variazioni risulta estremamente difficoltosa e i risultati poco attendibili per le ragioni esposte a pag. 12 ⁽⁴⁾, i valori come equivalente in acqua ⁽⁵⁾ risultano pari ad una perdita totale di $13,3345 \times 10^6 \text{ m}^3$ e cioè di 3,03 contro 2,62 m ricavati attraverso le misure di bilancio (ZANON, 1982; e dati inediti), con una differenza del 13,5 %.

CONCLUSIONI

Il raffronto tra i due risultati si può quindi ritenere soddisfacente, soprattutto se si tiene conto delle vie attraverso le quali si è giunti ad essi. Nel caso del bilancio di massa, ricavato da misure di superficie ed espresso come differenza tra accumulo nevoso ed ablazione, si tratta di un valore ottenuto da una serie di singole valutazioni annue, il cui grado di precisione è legato ad un insieme di fattori spesso interdipendenti, che interessano in varia misura le diverse parti del ghiacciaio, come si può del resto vedere nella carta tematica allegata.

⁽⁴⁾ La superficie di questa zona altimetrica è pari soltanto all'8,9 % della superficie totale (1980).

⁽⁵⁾ Per rendere questi dati omogenei e comparabili, i volumi di equivalente in acqua sono stati ricavati dalle superfici del rilievo IRTA 1980.

D'altra parte, i dati ricavati dal confronto volumetrico tra i due rilievi aerofotogrammetrici risentono a loro volta di elementi di imprecisione di altro genere, dovuti alla diversa qualità dei due rilievi, alla particolarità della metodologia adottata e, pertanto, anche alla carenza dei necessari affinamenti che sono indispensabili nel caso dello studio di un fatto fisico così complesso come un ghiacciaio alpino, in condizioni ambientali particolari.

Il metodo qui adottato, senza sostituire gli elementi di dettaglio sul comportamento di un apparato glaciale che si ottengono attraverso i rilievi sul bilancio di massa, può quindi fornire nel medio periodo un utilissimo e valido *test* per i risultati ottenuti sul terreno e per una loro più valida interpretazione.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ALBERTZ J. & KREILING V. (1974) - *Photogrammetrisches Taschenbuch*. Wichmann, Karlsruhe.
- INGHILLERI G. (1974) - *Topografia generale*. UTET, Torino, 1019 pp.
- SECCHIERI F. (ined.) - *La Vedretta del Caresèr (Alpi Centrali) nei suoi caratteri geografico fisici*. Tesi di laurea in Sc. Geol., Ist. Fis. Terr., Geod. Geogr. Fis., Univ. Padova, 1975, 202 pp.
- ZANON G. (1970) - *Studi sul bilancio di massa del Ghiacciaio del Caresèr (Alpi Centrali). Risultati per le annate 1966-67 e 1967-68*. Atti Mem. Acc. Patav. Sc., Lett. Arti, 82, parte 2^a, 457-494.
- ZANON G. (1982) - *Recent glaciological research in the Ortles-Cevedale Region (Italian Alps)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 5, 75-81.
- LESCA C. (1971) - *Metodo generalizzato per la determinazione di variazioni volumetriche con impiego della fotogrammetria e del calcolatore elettronico*. Boll. CGI, ser. 2, 19, 281-298.
- TONINI M. & ROSSI G. (1965) - *Il Ghiacciaio della Marmolada. Variazioni della massa glaciale dopo 15 anni*. Boll. CGI, ser. 2, parte prima, 9-21.