

CLAUDIO SMIRAGLIA - ORLANDO VEGGETTI

## RECENTI OSSERVAZIONI SUL GHIACCIAIO DEL CALDERONE (GRAN SASSO D'ITALIA, ABRUZZO) (\*)

*Introduzione.* – Il Calderone rappresenta sicuramente uno dei ghiacciai più interessanti e conosciuti dell'Europa. Non sono certo le sue dimensioni (meno di 5 ha) a renderlo tale; si tratta piuttosto della sua unicità e del suo isolamento nella catena appenninica e della sua localizzazione nell'ambito mediterraneo che ne fa il ghiacciaio europeo più meridionale. Si ritiene infatti praticamente estinto il Ghiacciaio di Picado de Veleta nella Sierra Nevada (Paschinger, 1954; Tonini, 1961; Messerli, 1967), che situato a 37° 3' di latitudine nord, si trovava in una posizione più meridionale del Calderone (42° 28' 15" N). Quest'ultimo occupa il fondo e il pendio volto a settentrione di un circo aperto sotto il Corno Grande del Gran Sasso d'Italia, fra le due creste che, partendo dalla Vetta Occidentale (m 2912) si dirigono rispettivamente a nord-est (Vetta Centrale, m 2893, e Vetta Orientale, m 2903) e a nord (Sella dei Due Corni e Corno Piccolo, m 2655) (fig. 1).

---

(\*) Ricerca effettuata e pubblicata con contributi MURST 60%. Sia consentito agli autori ringraziare coloro che in varia misura, con varie modalità e sempre con spirito volontaristico hanno collaborato agli studi sul Ghiacciaio del Calderone: il prof. R. Migliari, il dott. P. Palka e L. Ledonne del Dipartimento di Scienze, Storia dell'Architettura e Restauro della Facoltà di Architettura dell'Università «D'Annunzio» di Pescara per il monitoraggio delle variazioni areali; il dott. A. Fiucci e L. Gigante di Pescara per il sondaggio geoelettrico; M. Filippazzi del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Milano per le analisi granulometriche; l'appuntato scelto B. Palumbo, comandante della Stazione delle Guardie Forestali di Pietracamela per i rilievi nivologici; il prefetto di Teramo Di Bello, il comandante dei Vigili del Fuoco di Pescara S. Colafigli e gli elicotteristi, che hanno permesso il trasporto di uomini e strumenti sul ghiacciaio; il presidente del Club Alpino Italiano di Pescara M. Di Marco; M. Boscoli, B. Brancadoro, M. Buccolini, G. Casartelli, S. D'Ambrosio, G. D'Attilio, F. Di Donato, A. Di Giovanni, F. Di Giovanni, L. Di Martino, M. Dioguardi, M. Labbate, R. Papa, G. Prosperi, R. Rezzolla, F. Scozzese, G. Stella, A. Tansella, M. Terrenzio, che hanno contribuito alla determinazione dell'ablazione; A. Menici, il prof. C. Tobia e il prof. F. Di Donato per la raccolta della documentazione storica e fotografica; L. Mazzoleni per l'ospitalità al Rifugio Franchetti.

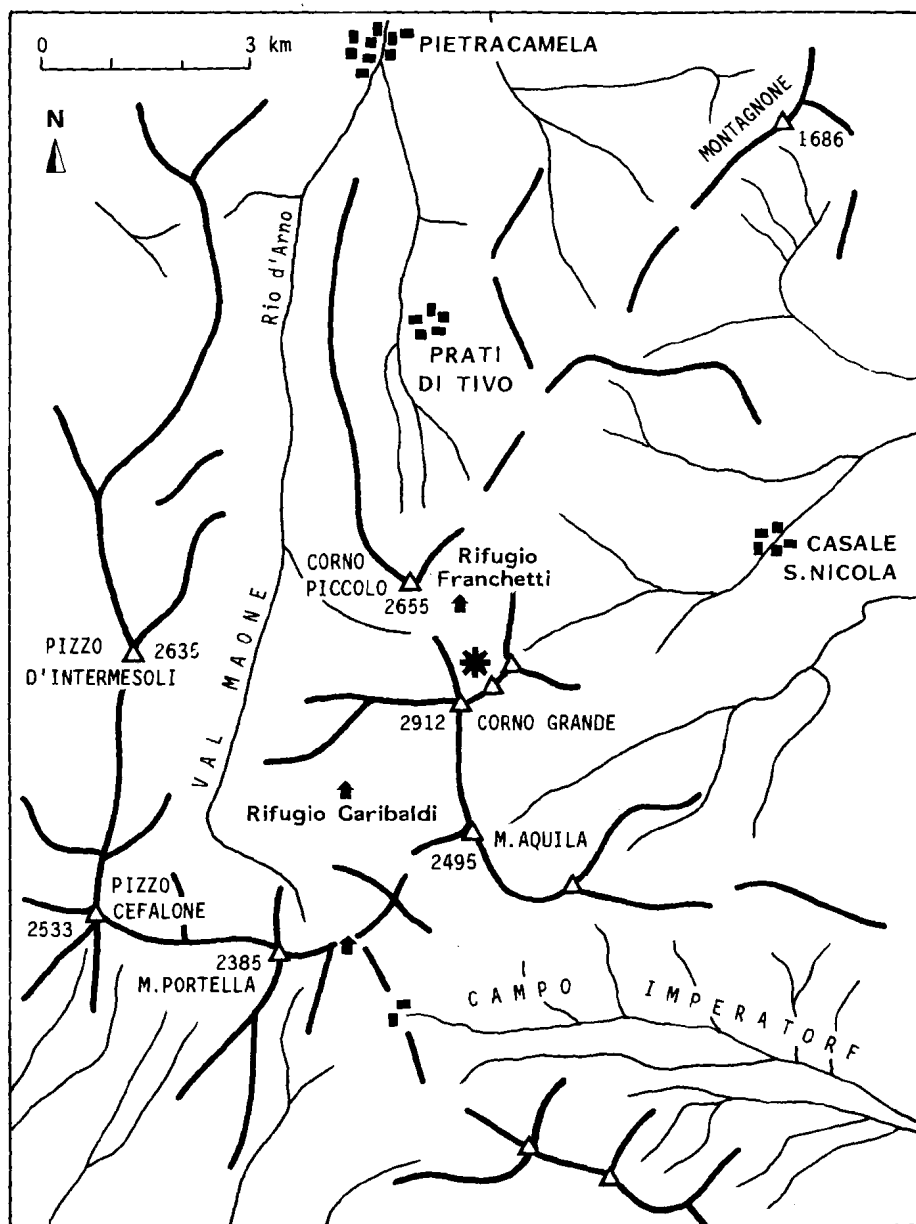


FIG. 1. - IL MASSICCIO DEL GRAN SASSO.

La localizzazione del Ghiacciaio del Calderone è indicata dall'asterisco.

L'esistenza di un ghiacciaio nell'Appennino, e quindi la natura glaciale del Calderone, è stata nel secolo scorso oggetto di controversie scientifiche. D'Amato (1888), ad esempio, afferma che «l'ampia conca, in forma d'anfiteatro, con forte declivio a NE detta il Calderone, è ripiena perennemente di neve, senza formare però un vero ghiacciaio». Saranno Marinelli e Ricci (1916) a definirne chiaramente la natura glaciale, con osservazioni che verranno poi confermate anche da studiosi stranieri come Klebelsberg (1930) e Suter (1939). Il Calderone figurò dunque a pieno titolo nell'*Elenco dei ghiacciai italiani* (Porro, 1925) e nel *Catasto dei Ghiacciai Italiani* del Comitato Glaciologico Italiano (1962), ed è anche inserito nel recentissimo *World Glacier Inventory* (IHAS-UNEP-UNESCO, 1988).

Il Calderone è assurto a vasta notorietà non solo nazionale anche presso i non specialisti durante l'estate 1990; i mezzi d'informazione, specialmente in Abruzzo e nel Lazio, divulgarono infatti notizie sulla sua estinzione con titoli e servizi di stampo sensazionalistico, spesso privi di qualsiasi validità scientifica (*Allarme del mondo scientifico: addio vecchio Calderone, Il Calderone è scomparso: tutta colpa dell'anidride carbonica, Calderone addio: i nuovi dati ne prevedono l'estinzione*).

Tenendo conto da un lato dell'importanza e del significato del Calderone, soprattutto nell'ambito degli studi sull'ambiente mediterraneo (Messerli, 1980) e nelle relazioni fra oscillazioni climatiche e variazioni glaciali, e dall'altro dell'esigenza di una corretta informazione scientifica, è parso opportuno proporre con la presente nota un complesso di osservazioni recenti su tale ghiacciaio. Da alcuni anni, infatti, nell'ambito delle ricerche programmate dalla Cattedra di Geografia dell'Università «D'Annunzio», sede di Pescara, si stanno conducendo studi sulla sua evoluzione, anche in relazione alle oscillazioni climatiche.

*Studi precedenti.* – Le più antiche osservazioni sul Ghiacciaio del Calderone risalgono probabilmente al primo salitore del Corno Grande del Gran Sasso, l'ingegnere militare F. De Marchi che nel 1573 toccò la vetta più elevata del massiccio (Jacobucci, 1931; Esposito, 1938; Tonini, 1961; Clementi, 1973). Nella relazione dell'ascensione egli descrive «un gran vallone tra il Monte di Santo Niccolà (Vetta Orientale del Corno Grande) et il Corno Monte, dove sempre vi è la neve alta quindici o venti piedi, e più in alcun luochio dove la neve e ghiaccio sta perpetuamente. E quest'è una quantità d'un grosso miglio di lunghezza e di larghezza più di mezzo miglio, della qual sempre puoco o assai se ne disfa, e quell'acqua cala giù per diversi precipitii, li quali fanno poi rarissimi Fonti al piede della montagna, dove sono i tre monti». La vista della massa nevosa sollecita nel De Marchi riflessioni sulle possibili relazioni fra ghiacciaio e sorgenti. Egli scrive infatti: «che le fontane vengano dalle piogge io sono rimasto pensoso, essendo in Abruzzo sopra il Corno Monte; sopra vi sta la neve altissima della quale se ne strugge, e l'acqua cola giù per lo monte e fa fonti in vari luoghi. Io sono stato sulla cima di esso Monte e ho veduto il tutto per esperienza».

Dopo il De Marchi si hanno numerose indicazioni sulla presenza di una massa di neve e ghiaccio sotto il Corno Grande del Gran Sasso, ma sempre generiche e sommarie. Ricordiamo fra le altre quelle di O. Delfico, di De Virgiliis (1834), di Saint Robert e Berruti (1871), di D'Amato (1888), di Cacciamali (1892), che confermano la presenza costante del deposito, sulle cui caratteristiche nivali o glaciali non vi è accordo fra gli autori (per un più approfondito esame degli autori dell'Ottocento si rimanda a Tonini, 1930). Come si è detto, saranno Marinelli e Ricci (1916) a riconoscere definitivamente la natura glaciale del Calderone, osservando la presenza di crepacci, il ghiaccio compatto verso la fronte, le foliazioni, le tavole di ghiacciaio, la morena frontale attiva.

Dopo altre osservazioni di Ricci (1917), sarà soprattutto Tonini ad occuparsi dal punto di vista scientifico del Ghiacciaio del Calderone; si tratta di una intensa e proficua attività di ricerca, che durerà per quasi un trentennio nell'ambito delle osservazioni promosse dal Comitato Glaciologico Italiano (Tonini, 1930; 1935; 1936; 1937; 1955; 1961). Nel suo ultimo lavoro, Tonini (1961) evidenzia, attraverso il confronto dei rilievi topografici da lui eseguiti nel 1934, nel 1958 e nel 1960, la progressiva perdita di volume del ghiacciaio e la variabilità dell'alimentazione nevosa invernale (fra il 1934 e il 1960 il volume diminuisce di circa 420.000 m<sup>3</sup>). Tonini esamina poi le caratteristiche climatiche del massiccio del Gran Sasso e correla i dati meteorologici della stazione di Isola del Gran Sasso con i dati glaciologici delle campagne annuali sul Calderone. Attraverso l'utilizzazione di un «coefficiente di glaciazione» e di climogrammi annui, l'autore sottolinea il grande periodo di recessione iniziato nei primi anni '30 e i recenti segni di ripresa del glacialismo.

Successivamente fra il 1962 e il 1979 il ghiacciaio venne visitato una decina di volte da Zanon (1962-1980), che ne pubblicò le relazioni annuali sulle riviste ufficiali del Comitato Glaciologico Italiano. Recentemente Smiraglia e Veggetti (1991), riprendendo le metodologie di Tonini (1961), hanno evidenziato le relazioni tra dinamica climatica e variazioni glaciali fra il 1961 e il 1985. A partire dal 1988 sono poi state compiute numerose osservazioni nell'ambito dei programmi della Cattedra di Geografia dell'Università «D'Annunzio», i cui risultati preliminari sono stati pubblicati da Smiraglia (1990).

*Le osservazioni 1988-1990.* – I principali obiettivi della ricerca sul Calderone consistevano nella determinazione delle variazioni areali e volumetriche rispetto agli ultimi rilievi del Tonini, nella valutazione del bilancio di massa annuale per individuare lo «stato di salute» del ghiacciaio in relazione alle recenti tendenze climatiche, nell'individuazione dei caratteri morfologici dell'apparato, della loro dinamica e dei processi morfogenetici da cui questi ultimi derivano. Si è operato durante le estati 1988-1989-1990, compiendo almeno una visita all'inizio dell'estate (prima settimana di luglio), e una alla fine dell'estate (prima settimana di ottobre), con date variabili in relazione

alle condizioni meteorologiche. Durante l'estate 1990 si sono compiute sette visite al ghiacciaio. Alla ricerca, oltre ai due autori del presente articolo, hanno collaborato enti e persone che verranno via via indicati.

Le osservazioni nivologiche - All'inizio di ognuna delle tre estati, si sono raccolti dati sui caratteri della copertura nevosa presente sul ghiacciaio, in particolare sugli spessori e su parametri fisici, come densità e temperatura. Nella prima settimana di luglio del 1988 e del 1989, il Calderone si presentava completamente ricoperto di neve residua; è il classico aspetto che lo ha caratterizzato, con poche eccezioni (ad esempio nella tarda estate del 1946, del 1954 e del 1974), fino al termine degli anni '70, come ben emerge dalla documentazione di Tonini (1961) e dalle relazioni di Zanon (1962-1980) (fig. 2). Il 6 luglio 1988 si è effettuato un rilievo degli spessori della copertura nevosa su tutto il ghiacciaio mediante sonda a mano. I valori puntiformi ricavati sono stati poi estrapolati a tutta la superficie e si è compilata la carta della fig. 3 A. Gli spessori della neve variano da minimi di pochi decimetri nella grande concavità appena a monte della imponente morena frontale fino ad un massimo di 3,5 m nel settore centrale in sinistra idrografica; appare evidente in questa fascia del ghiacciaio, dove gli spessori non scendono al di sotto di 2 m, la protezione esercitata dalle alte e ripide pareti rocciose del circo allungato che contiene il Calderone. Lo spessore medio della neve su tutto il ghiacciaio può essere valuta-



FIG. 2. - IL GHIACCIAIO DEL CALDERONE ALL'INIZIO DI LUGLIO DEL 1988.

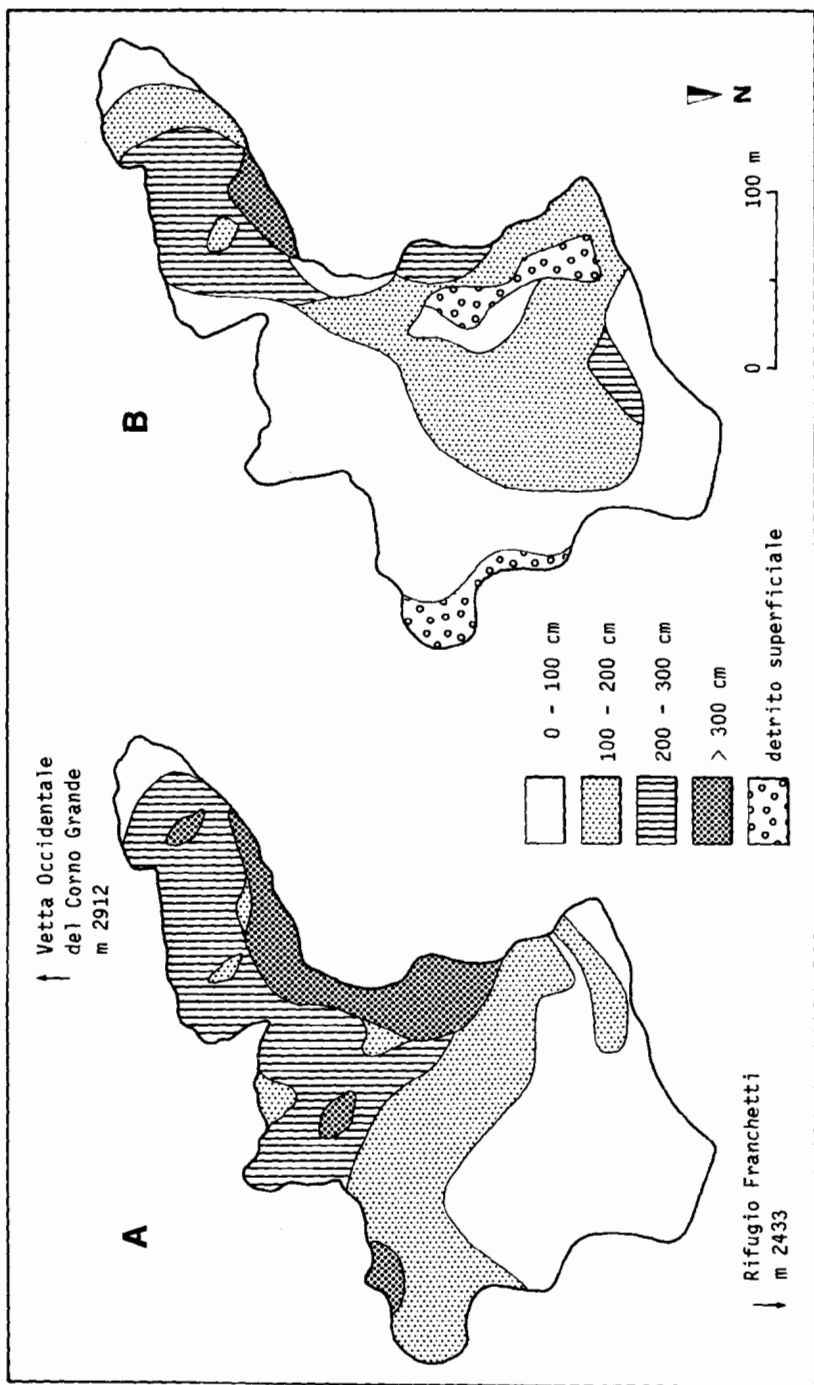


FIG. 3. - SPESSORI DELLA NEVE RESIDUA MISURATI IL 7 LUGLIO 1988 (A) E IL 7 LUGLIO 1989 (B).

TAB. 1

## CARATTERISTICHE DELLO STRATO SUPERFICIALE DELLA NEVE

|                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| temperatura della neve | 0°                     |
| densità                | 0,60 g/cm <sup>3</sup> |
| umidità                | neve bagnata           |
| forma della superficie | erosa irregolarmente   |
| forma dei cristalli    | granulari di nevato    |
| diametro medio         | da 0,5 a 1 mm          |
| compattezza            | neve dura              |

to attorno ai due metri. Si sono anche compiute mediante termometro digitale numerose misure superficiali (a 10 cm di profondità) delle temperature della neve e misure a 2 m di profondità. Con temperature dell'aria varianti fra +13,3 °C e +17,7 °C si sono registrate temperature superficiali comprese fra 0 °C e 0,4 °C; a 2 m di profondità le temperature variano fra -0,1 °C e -0,8 °C.

Il 7 luglio 1988 sono stati raccolti anche altri dati su vari parametri fisici della neve ad opera di B. Palumbo, del Corpo Forestale, stazione di Pietracamela. E' stato effettuato uno scavo della profondità di 1,30 m ai piedi del versante interno della morena frontale nel settore sinistro idrografico del ghiacciaio. Le caratteristiche dello strato superficiale della neve con una temperatura dell'aria di 17 °C sono presentate nella tab. 1.

La temperatura interna diminuisce da 0 °C a 10 cm di profondità fino a -0,8 °C a 40 cm di profondità, per poi risalire fino a -0,2 °C alla profondità di un metro. La resistenza alla penetrazione, misurata con sonda penetrometrica portatile, presenta valori massimi (66 kp) nel settore centrale dello strato nevoso fra 55 cm e 65 cm di profondità.

All'inizio di luglio del 1988 è stata osservata anche la presenza del Laghetto Sofia (fig. 4). Questo minuscolo specchio d'acqua, situato alla base del versante interno della grande morena frontale nel punto più depresso del ghiacciaio, era stato segnalato per la prima volta nel settembre 1946 da Tonini (1961). In quell'occasione il laghetto aveva un diametro di 60 m e le sue sponde erano costituite da ghiaccio ricoperto da morenico. Secondo Tonini (1961), l'origine del laghetto è da attribuirsi all'intasamento, ad opera dei materiali fini trasportati in sospensione dalle acque di fusione, dell'inghiottitoio che alla base della morena frontale drena le acque ruscellanti. La presenza del laghetto sarebbe dunque il sintomo di una intensa fusione e quindi di una fase di regresso del ghiacciaio, quando l'afflusso



FIG. 4. - IL LAGHETTO SOFIA ALL'INIZIO DI LUGLIO DEL 1988.

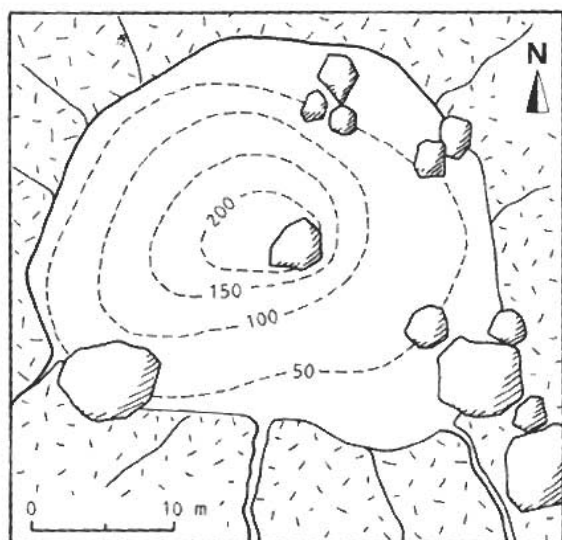


FIG. 5. - SCHIZZO TOPOGRAFICO SPEDITIVO DEL LAGHETTO SOFIA ESEGUITO L'8 LUGLIO 1988.

Le profondità sono espresse in centimetri.

delle acque è eccedente rispetto al deflusso che avviene attraverso la morena e che può anche ridursi in modo sensibile. Il Laghetto Sofia viene segnalato in modo continuativo dal 1947 al 1951 e successivamente solo nel 1955 con dimensioni molto ridotte. Nel luglio 1988 il lago ha una forma grossolanamente circolare (fig. 5), con un diametro di poco superiore ai 30 m; le sponde sono in ghiaccio vivo con detriti e una copertura nevosa quasi continua, la temperatura dell'acqua varia da +0,7 a +1,1 °C. Intenso è il ruscellamento superficiale che si organizza in rivoli radiali, con due veri e propri torrenti superficiali che alimentano il laghetto da sud. Un rilievo batimetrico speditivo ha messo in evidenza una profondità massima di 2 m verso il centro del lago, dove affiorano grossi massi di frana, con sponde più ripide verso nord-est in corrispondenza dell'inghiottitoio di maggiori dimensioni.

Un rilievo degli spessori del manto nevoso è stato effettuato anche all'inizio del luglio 1989. Rispetto all'anno precedente gli spessori sono minori (fig. 3 B); solo in limitate aree del ghiacciaio si superano i tre metri e a differenza dell'anno precedente affiorano fasce di detriti nel settore sinistro idrografico inferiore. Mediamente lo spessore si può valutare attorno al metro. Per evidenziare i caratteri della copertura nevosa sono stati effettuati due scavi. Nel primo scavo, di un metro di profondità, aperto nel settore superiore del ghiacciaio a 2795 m, si è osservata un'alternanza regolare di strati decimetrici di neve «dura» (resistenza alla penetrazione 50-100 kp, densità fra 0,60 e 0,62 g/cm<sup>3</sup>, temperatura costante di 0 °C), e livelli centimetrici di ghiaccio di rigelo. Nel secondo scavo, aperto nel settore inferiore poco più a monte della zona frontale più depressa, la neve «dura» (densità variante fra 0,52 e 0,62 g/cm<sup>3</sup>, temperatura costante di 0 °C) appare irregolarmente attraversata da livelli di ghiaccio di rigelo di un centimetro di spessore che si intersecano in modo caotico formando talora struttura a «T», a «lente» e a «ghianda». Lo strato più profondo è per una decina di centimetri completamente imbevuto di acqua e appoggia su un velo di acque ruscellanti (temperatura +0,2 °C) sorretto da ghiaccio di ghiacciaio.

Il giorno 8 luglio 1989, alle ore 10, a monte della morena, dove l'anno precedente era situato il Laghetto Sofia, viene osservato un intenso flusso di acqua di fusione che imbeve la neve residua. L'acqua è drenata da un inghiottitoio principale subcircolare scavato nella neve e da numerosi piccoli inghiottitoi secondari. Alle ore 16 dello stesso giorno il Laghetto Sofia appare di nuovo formato nella zona più depressa; l'inghiottitoio non riesce più a smaltire l'accresciuto flusso delle acque di fusione, che raggiungono una profondità di 1,5 m. Il giorno seguente il laghetto presenta un diametro di circa 25 m e una profondità massima vicino all'inghiottitoio di 1,8 m.

All'inizio di luglio del 1990 la copertura di neve residua appare arealmente molto più ridotta e di minore spessore rispetto agli anni precedenti. Il settore inferiore del ghiacciaio è quasi completamente sgombrato di neve, che si raccoglie solo nel bacino superiore sulla sinistra idrografica, mentre sulla destra affiora il ghiaccio vivo; gli spessori massimi non superano 1,3 m. Il resto del ghiacciaio assume l'aspetto che lo ha caratterizzato nella

tarda estate di questi ultimi anni, una superficie detritica variamente ondulata che ricopre il ghiaccio.

Le osservazioni morfologiche – Privo di copertura nevosa il Calderone si presenta come un *debris covered glacier* in miniatura, ospitato in uno stretto circo-vallone, nel quale il ghiaccio vivo affiora solo nel quarto superiore (fig. 6). Il settore centrale è formato da uno stretto e ripido scivolo di ghiaccio quasi completamente ricoperto da detrito, che nel settore terminale diminuisce di inclinazione, allargandosi in una vasta depressione. Questa è sbarrata verso valle da un'imponente morena fronto-laterale, che sovrasta per qualche decina di metri di dislivello il fondo della depressione e chiude il bordo del circo, appoggiandosi verso est alla parete della Vetta Orientale del Corno Grande (fig. 7). La morena, già osservata da Saint Robert e Berruti (1871) e da Cacciamali (1892), fu ampiamente descritta da Marinelli e Ricci (1916). Questi distinguono dall'interno verso l'esterno tre fasce: la prima, ancora attiva, con nucleo di ghiaccio; la seconda, già deposta, ma priva di vegetazione; la terza, più antica e stabilizzata, con tracce di vegetazione fanerogama (durante le osservazioni del luglio 1988 sono state identificate *Arabis alpina* L., *Aubrieta columnae* Guss., *Cerastium tomento-*

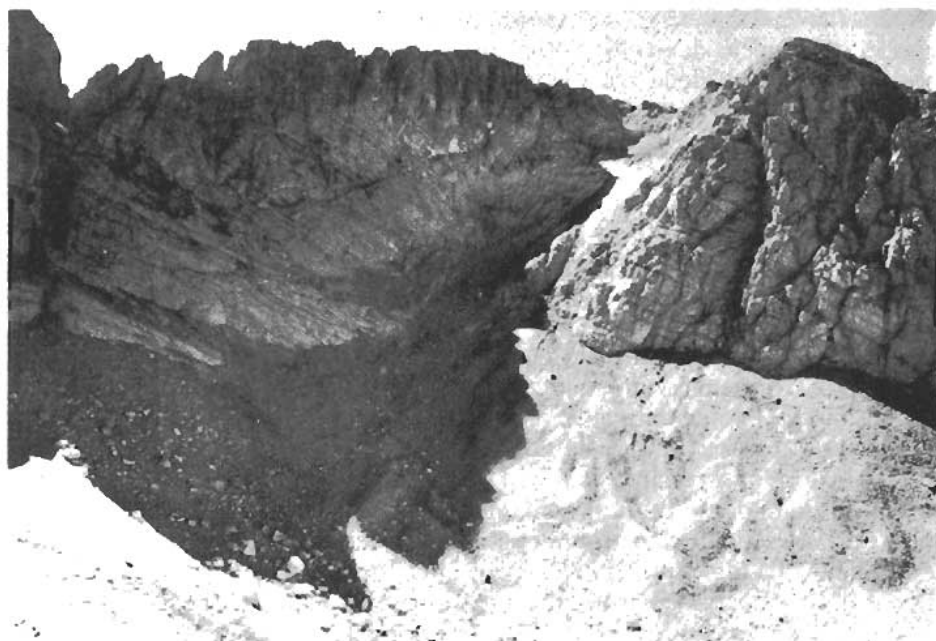


FIG. 6. - IL GHIACCIAIO DEL CALDERONE ALLA METÀ DI OTTOBRE DEL 1990  
RIPRESO DALLA SOMMITÀ DESTRA DEL CORDONE MORENICO FRONTALE.

sioni). Una cronologia assoluta del deposito, che potrebbe essere genericamente attribuito alle varie fasi della Piccola Era Glaciale, si presenta estremamente ardua. Anche le sue relazioni cronologiche con l'arco morenico più colonizzato dalla vegetazione, situato a circa 2500 m poco a monte del Rifugio Franchetti, ai piedi del ripido pendio detritico che scende dalla soglia del Calderone, sono ancora da definire con esattezza. In effetti, come scrive Federici (1979), riferendosi ad una cronologia più globale e alla presenza al di sotto del Rifugio Franchetti del ripidissimo Vallone delle Cornacchie e dell'altrettanto ripido Fosso S. Nicola, «mancano quelle condizioni di continuità necessarie per ritrovare un collegamento sicuro fra i vari avvenimenti würmiani, tardo-würmiani e postglaciali». Di certo la presenza della morena frontale del Calderone viene più volte segnalata nelle relazioni della seconda metà del secolo scorso: nella cartografia dello stesso periodo (si veda ad esempio la Carta Topografica *Gran Sasso d'Italia* pubblicata nel 1887 dal CAI di Roma a cura di G.E. Fritzsche, scala 1:25.000), il ghiacciaio appare racchiuso all'interno del circo ove è localizzato attualmente.



FIG. 7 - PARTICOLARE DEL CORICINE MORENICO FRONTALE (VISTO DA MONTE) CHE CHIUDE IL CIRCO-VALLONE ENTRO CUI È CONTENUTO IL GHIACCIAIO.

Al centro dell'immagine si osserva l'inghiottitoio con fenomeni di collasso del morenico ed affioramento del nucleo di ghiaccio.

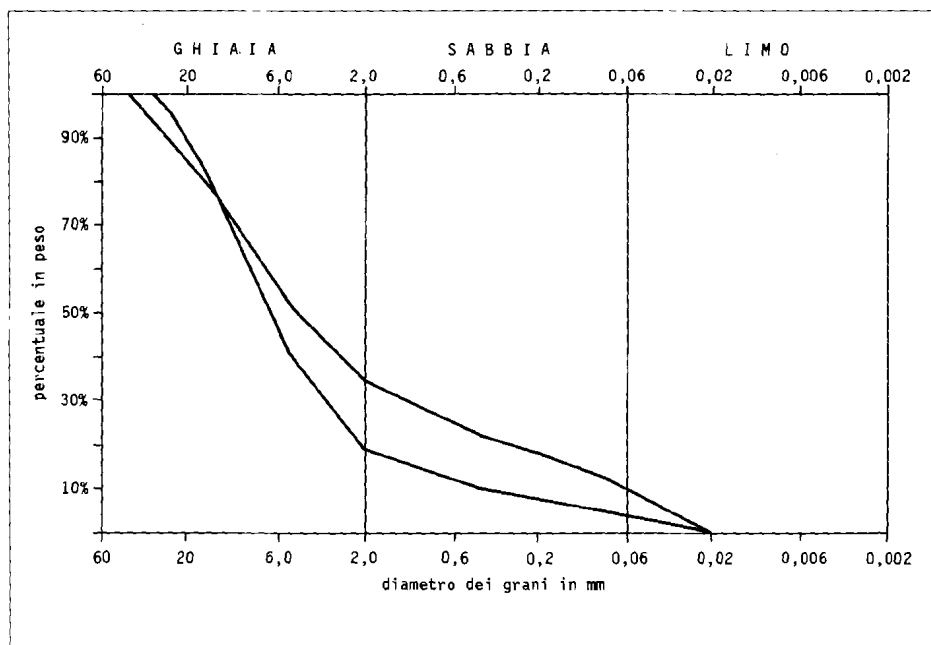


FIG. 8. - CURVE GRANULOMETRICHE SU DIAGRAMMA SEMILOGARITMICO DEL MATERIALE FINE CAMPIONATO SUL CORDONE MORENICO FRONTALE.

In ascissa è espresso il diametro dei grani in millimetri, in ordinata le percentuali in peso.

L'imponente cordone morenico si allunga trasversalmente sulla soglia del circo per almeno 300 m con una larghezza che varia da 50-60 m a ovest fino a 100-130 m verso est; i suoi limiti non sono comunque nettamente individuabili, in quanto i clasti di grigio calcareo liassico, grossolani e spigolosi, di cui è prevalentemente costituito, si uniscono senza soluzione di continuità ad ovest e ad est con i detriti di falda. Un'analisi granulometrica effettuata su due campioni di materiale fine superficiale con asse maggiore inferiore a 64 mm, raccolto sul versante interno della morena e sul detrito che copre il ghiacciaio a monte della morena stessa, ha mostrato che in entrambi i casi il sedimento è prevalentemente ghiaioso (per i due campioni le percentuali in peso della frazione ghiaiosa sono dell'80% sul detrito superficiale e del 65% sul cordone morenico); nettamente in subordine sono le frazioni sabbiose (rispettivamente 16% e 24%) e limose (4% e 11%) (si vedano nella fig. 8 le curve granulometriche corrispondenti). Per meglio caratterizzare il detrito che costituisce il cordone morenico frontale si sono effettuate analisi morfometriche su un vasto campione di clasti. Per ciascuna delle tre sezioni indicate nelle figg. 9 e 14 si sono raccolti 100 clasti con lunghezza compresa fra 40 e 60 mm; su ognuno di questi si sono misurati con un calibro di precisione la lunghezza ( $a$ ), cioè il diametro massimo; la

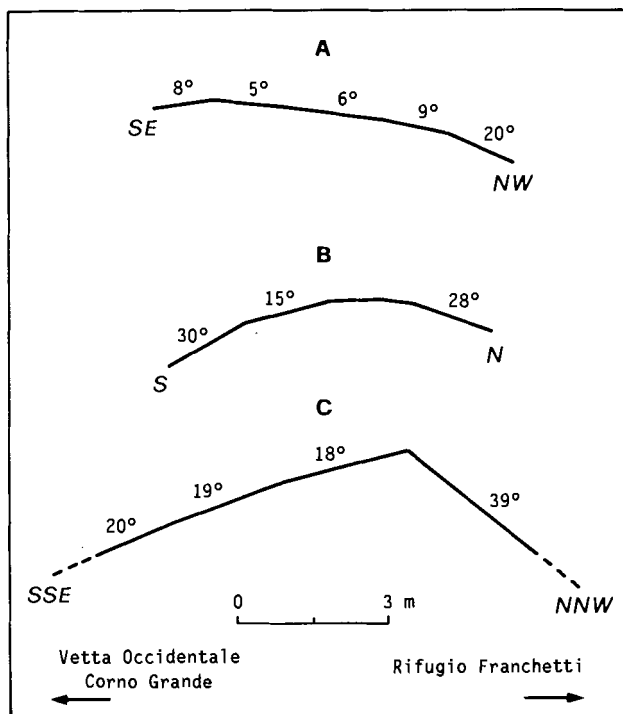


FIG. 9. - SEZIONI TRASVERSALI DEL CORDONE MORENICO FRONTALE CON INCLINAZIONI ESPRESSE IN GRADI.

La localizzazione delle sezioni è visibile nella fig. 14.

larghezza ( $b$ ), cioè il diametro massimo perpendicolare ad ( $a$ ); lo spessore ( $c$ ), misurato perpendicolarmente al piano ( $a$ ) ( $b$ ); il raggio del cerchio che si adatta al contorno del clasto nel punto di massima curvatura ( $r$ ). Con i valori ottenuti si sono calcolati l'indice di smussamento dato dalla formula  $S = 2r/a \times 1000$  e l'indice di appiattimento dato dalla formula  $A = a + b / 2c$  (Cailleux e Tricart, 1959).

I risultati sono presentati nelle tabelle 2 e 3, dove sono indicati per ogni sezione il valore minimo, massimo, medio, mediano, oltre alla distribuzione percentuale in classi.

Come appare dalla tab. 2, i valori dell'indice di smussamento sono estremamente bassi (le mediane non superano 10 e la quasi totalità dei clasti non va oltre 150); anche per quanto riguarda l'indice di appiattimento i valori si collocano ai livelli più bassi (le mediane non superano 2 e quasi tutti i clasti non vanno oltre 3). La maggior parte dei clasti che formano la morena frontale è da molto spigolosa a spigolosa e pochissimo appiattita.

A fine estate 1990 si è raccolta un'altra serie di campioni di materiali fini sulla superficie del ghiacciaio, sul cordone morenico frontale e all'interno del nucleo di ghiaccio presente nel cordone stesso.

TAB. 2

## INDICE DI SMUSSAMENTO

| sezioni | A   | B   | C   | media |
|---------|-----|-----|-----|-------|
| min.    | 40  | 30  | 40  | 37    |
| max.    | 670 | 330 | 500 | 500   |
| media   | 120 | 100 | 110 | 110   |
| mediana | 80  | 90  | 100 | 90    |

| classi  | frequenze percentuali % |    |    |
|---------|-------------------------|----|----|
| 0-150   | 90                      | 88 | 88 |
| 150-300 | 5                       | 11 | 11 |
| 300-450 | 0                       | 1  | 0  |
| 450-600 | 0                       | 0  | 1  |
| 600-750 | 5                       | 0  | 0  |

TAB. 3

## INDICE DI APPIATTIMENTO

| sezioni | A   | B   | C    | media |
|---------|-----|-----|------|-------|
| min.    | 1,2 | 1,3 | 41,1 | 1,2   |
| max.    | 3,0 | 4,3 | 4,5  | 3,9   |
| media   | 1,9 | 2,1 | 2,1  | 2,0   |
| mediana | 1,9 | 2,0 | 2,0  | 2,0   |

| classi | frequenze percentuali % |    |    |
|--------|-------------------------|----|----|
| 1-2    | 55                      | 48 | 54 |
| 2-3    | 45                      | 43 | 36 |
| 3-4    | 0                       | 8  | 8  |
| 4-5    | 0                       | 1  | 2  |

L'analisi granulometrica, effettuata presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Milano (operatore M. Filipazzi), ha dato i risultati presentati nella tab. 4. da questa si ha la conferma che nel sedimento campionato vi è la netta prevalenza delle frazioni grossolane (ciottoli e sabbie). Anche i valori dei materiali inglobati nel ghiaccio non si discostano in misura avvertibile da quelli campionati sulla superficie del ghiacciaio. Si ripresenta tuttavia qualche differenza rispetto al deposito che forma il grande cordone morenico frontale; si osserva infatti che in questo caso i ciottoli, pur essendo ancora prevalenti, presentano percentuali inferiori rispetto a

quelle degli altri campioni, mentre aumentano le frazioni sabbiose e limose.

Attraverso questa analisi si constata dunque da un lato l'altissima percentuale di clasti della morena frontale che non presentano smussamento o arrotondamento, dell'altro si osserva la limitata presenza di materiali fini (anche se più abbondante rispetto al detrito che copre il ghiacciaio a monte del cordone frontale). Da questi elementi emerge un trasporto glaciale prevalentemente passivo con una modestissima frammentazione subglaciale del detrito che costituisce la morena frontale (Boulton, 1978).

Questo grande deposito sarebbe dunque formato in massima parte da crioclasti, caduti per gravità o ad opera di valanghe sulla superficie del ghiacciaio e trasportati in questa posizione (oppure inglobati all'interno del ghiaccio, ma si tratta di una quantità esigua) fino alla fronte. Solo una limitatissima percentuale dell'alimentazione della morena frontale deriverebbe da materiale subglaciale.

A occidente il cordone morenico frontale presenta una scarsa evidenza morfologica, mentre nel settore centrale e soprattutto verso oriente tende ad assumere una netta morfologia a dorsale con un versante interno meno ripido ( $18^{\circ}$ - $20^{\circ}$ ) e uno esterno più inclinato ( $30^{\circ}$ ), che si fonde con il ripidissimo pendio detritico al di sopra del Rifugio Franchetti (si vedano le sezioni trasversali della fig. 9). Il versante interno è in parte appoggiato su rocce in posto lisce e montonate che sembrano formare un piccolo *verrou*.

Alla fine dell'estate, con la totale fusione della neve residua, appare chiaramente il nucleo di ghiaccio che, soprattutto nel settore centrale, sostiene il versante interno della morena. Il ghiaccio, esposto per uno spessore di circa 2 m, è nettamente stratificato con livelli decimetrici di ghiaccio più chiaro che si alternano a livelli centimetrici più scuri ricchi di frammenti

TAB. 4

#### SUDDIVISIONE IN CLASSI GRANULOMETRICHE DEI MATERIALI FINI RACCOLTI SUL CALDERONE (\*)

|                                                 | ciottoli | sabbie | limi e argille |
|-------------------------------------------------|----------|--------|----------------|
| superficie del ghiacciaio                       | 85,33    | 14,56  | 0,11           |
| morena frontale                                 | 64,16    | 27,22  | 8,62           |
| inglobato nel ghiaccio<br>della morena frontale | 58,04    | 30,67  | 11,29          |
| inglobato nel ghiaccio<br>della morena frontale | 83,78    | 14,08  | 2,14           |
| inglobato nel ghiaccio<br>della morena frontale | 81,72    | 13,74  | 4,54           |

\* I valori sono espressi in percentuale del peso totale di ogni campione.

di calcare spigolosi con dimensioni millimetriche; frequenti sono i clasti lunghi qualche centimetro (massimo 5 cm), più rari quelli con lunghezza superiore al decimetro. Sulla parete di ghiaccio, i cui strati si immergono verso nord con una inclinazione compresa fra 45° e 50°, è stata raccolta una decina di campioni sui quali effettuare analisi isotopiche.

L'esposizione del nucleo di ghiaccio ha provocato fenomeni di collasso sul versante interno della morena, con scivolamenti di clasti anche grossolani, particolarmente accentuati durante le estati 1989 e 1990; massi di alcuni metri cubi che sul ciglio della morena segnalavano l'itinerario verso la Vetta Orientale del Corno Grande, appaiono spostati, inclinati e attualmente collocati a circa metà del versante interno del cordone morenico. A monte della morena, senza soluzione di continuità per quanto riguarda la copertura detritica e il nucleo di ghiaccio, si stende il ghiacciaio, che è quindi privo di una fronte vera e propria ed è di difficile delimitazione nel suo settore inferiore. Questa parte costituisce una vasta depressione grossolanamente semicircolare, nel cui punto più basso si apre l'inghiottitoio principale, ed è sovrastata per alcune decine di metri dal cordone morenico terminale (si veda lo schizzo morfologico nella fig. 10). In destra idrografica sulla copertura morenica spiccano massi anche di molti metri cubi derivanti da frane recenti. Nei settori più ripidi di questa zona inferiore, poco discosti dalle pareti rocciose che rinserrano il ghiacciaio, si osservano numerose forme di mobilitazione e di scivolamento del detrito superficiale (fig. 11). Si tratta di strutture arcuate, semilunari, con la convessità verso valle e con una sezione trasversale asimmetrica; il versante più ripido è infatti quello verso monte, dove è visibile anche il nucleo di ghiaccio e dove si osserva una depressione circolare, al cui approfondimento contribuiscono con ogni probabilità anche le acque di fusione derivanti dalle placche di neve che vi stazionano a lungo. In questo settore inferiore le acque ruscellanti appaiono incanalate in torrenti epiglaciali, il cui alveo è inciso nel ghiaccio per qualche decimetro (al massimo 50 cm); numerose sono anche a stagione avanzata le «tavole di ghiacciaio», il cui sostegno di ghiaccio raramente supera 20-30 cm di altezza. Nel settore centrale del ghiacciaio, più ripido, la copertura morenica è lievemente più discontinua. La morfologia superficiale presenta il tipico aspetto a cordoni longitudinali e depressioni che caratterizza i «ghiacciai neri». Il ghiaccio affiora soprattutto sui fianchi più ripidi dei cordoni e dei con (fig. 12), che sono talora separati da *bédières* meandriformi; queste ultime terminano spesso in inghiottitoi quasi perfettamente circolari. Nelle zone laterali, poco discoste dalle pareti rocciose, si sono osservati anche crepacci trasversali della lunghezza di qualche metro (fig. 13). Nel settore superiore, il più ripido del ghiacciaio, la copertura detritica, alimentata da incessanti scariche di sassi, diventa gradualmente meno estesa e decresce di spessore, fino a lasciare affiorare completamente il ghiaccio, lievemente inciso da solchi longitudinali di ruscellamento e con una evidentissima foliazione ad archi concentrici con convessità verso valle. Netto è lo stacco fra il settore superiore del ghiacciaio e il detrito accumulato ai piedi

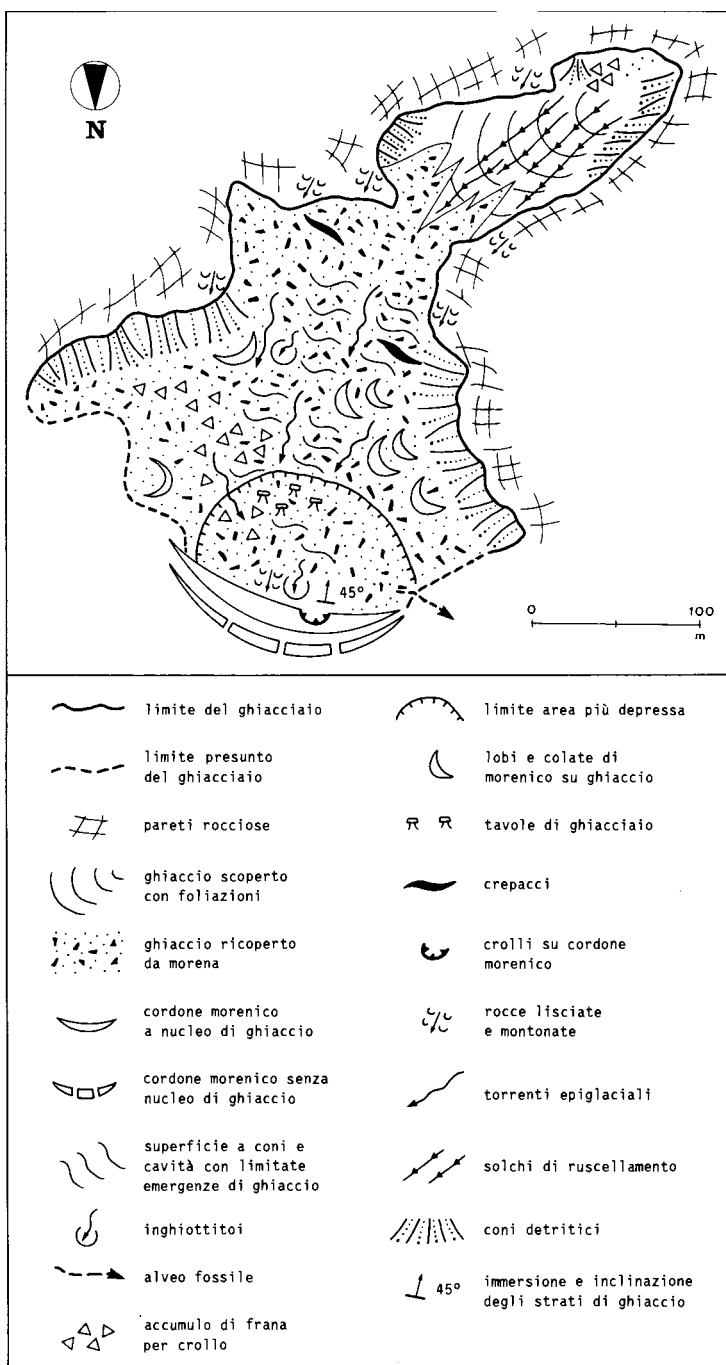


FIG. 10. - SCHIZZO DELLA MORFOLOGIA SUPERFICIALE DEL GHIACCIAIO DEL CALDERONE.



FIG. 11. - SETTORE INFERIORE DEL GHIACCIAIO.

Sulla sinistra sono visibili lobi di flusso del morenico superficiale.



FIG. 12. - PARTICOLARE DEL SETTORE INFERIORE DEL GHIACCIAIO.

Si osservi la copertura morenica di varia granulometria e il ghiaccio affiorante nelle zone più ripide.

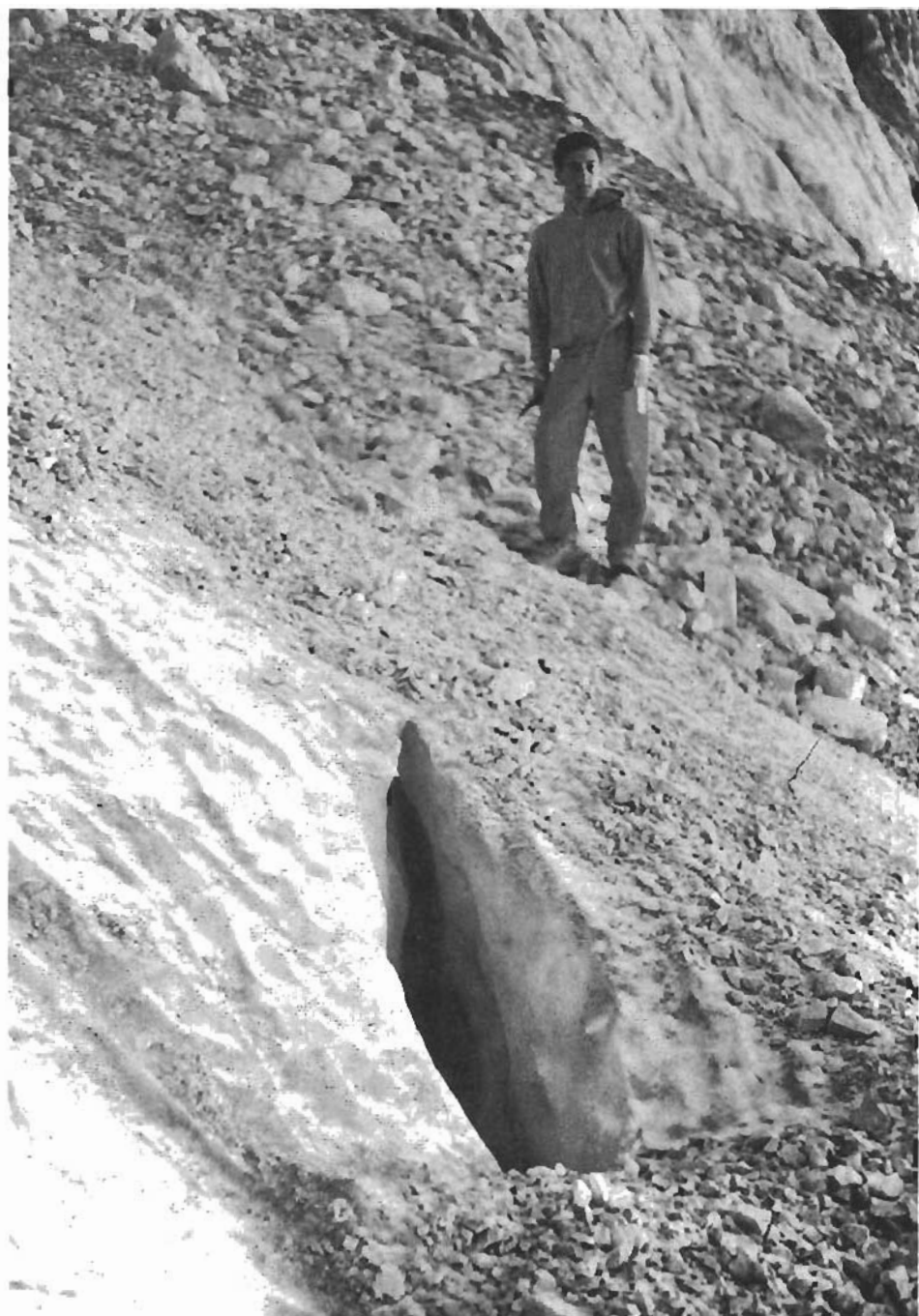


FIG. 13. - CREPACCIO TRASVERSALE NEL SETTORE INTERMEDIO DEL GHIACCIAIO.

della cresta che porta alla Vetta Centrale del Corno Grande; anche questo detrito copre tuttavia lembi di ghiaccio.

**Le variazioni areali** – Il primo rilievo specifico, seppure speditivo, del Ghiacciaio del Calderone fu quello di Marinelli e Ricci (1916), eseguito il 4 settembre 1916. Il ghiacciaio era ricoperto da neve residua per i tre quarti superiori e mostrava nella parte terminale una copertura detritica molto discontinua; il punto più basso risulta a 2689 m con un dislivello di 29 m rispetto al settore centrale della morena frontale. L'area viene valutata in circa 7 ha. L'8 e il 9 settembre 1934 viene eseguito il primo fondamentale rilievo topografico di Tonini (1935). Risulta scoperta dalla neve residua solo una piccola zona centrale; il punto più basso del ghiacciaio si trova a 2690 m, coincidente in pratica con quello indicato da Marinelli e Ricci (1916). L'area è di 6 ha. Un successivo rilievo topografico viene programmato in occasione dell'Anno Geofisico Internazionale 1958-59 e viene eseguito nell'ultima decade di agosto del 1958. Risultano scoperti da neve residua il settore centrale e quello laterale destro; la quota minima del ghiacciaio è di 2678 m. Problemi di percorribilità limitano l'esattezza del lavoro, specialmente nel settore centrale. Due anni dopo, il 30 agosto 1960, viene realizzato un rilievo fotogrammetrico alla scala 1:1000, ritenuto attendibile e preciso (Tonini, 1961). Il ghiacciaio è completamente innevato, ma non si hanno notizie sullo spessore della neve residua. I dati morfometrici del ghiacciaio risultano i seguenti:

|                                              |        |
|----------------------------------------------|--------|
| Quota del punto più alto:                    | 2867 m |
| Quota del punto più basso:                   | 2676 m |
| Lunghezza massima:                           | 390 m  |
| Larghezza massima:                           | 230 m  |
| Pendenza media:                              | 26°    |
| Pendenza massima (settore superiore destro): | 50°    |
| Area:                                        | 6 ha   |

Dati quasi identici vengono presentati a proposito del Calderone nel Catasto dei Ghiacciai Italiani (Cons. Naz. Ric. – Com. Glac. It., 1962); l'unica lieve differenza è quella della superficie, indicata in 6,2 ha. Nel recente *World Glacier Inventory* (IAHS-UNEP-UNESCO, 1989), la superficie del Calderone risulta 4,5 ha.

Alla fine dell'estate 1990 si è effettuata, in collaborazione con la Facoltà di Architettura dell'Università «D'Annunzio», sede di Pescara, una serie di rilievi preliminari per determinare la superficie attuale del Calderone. I lavori sono stati diretti dal prof. R. Migliari del Dipartimento di Scienze, Storia dell'Architettura e Restauro della Facoltà sopra indicata, con i tecnici P. Palka e L. Ledonne. Una delle maggiori difficoltà è stata l'individuazione dei limiti inferiori il più possibile esatti del ghiacciaio, che a causa della coper-

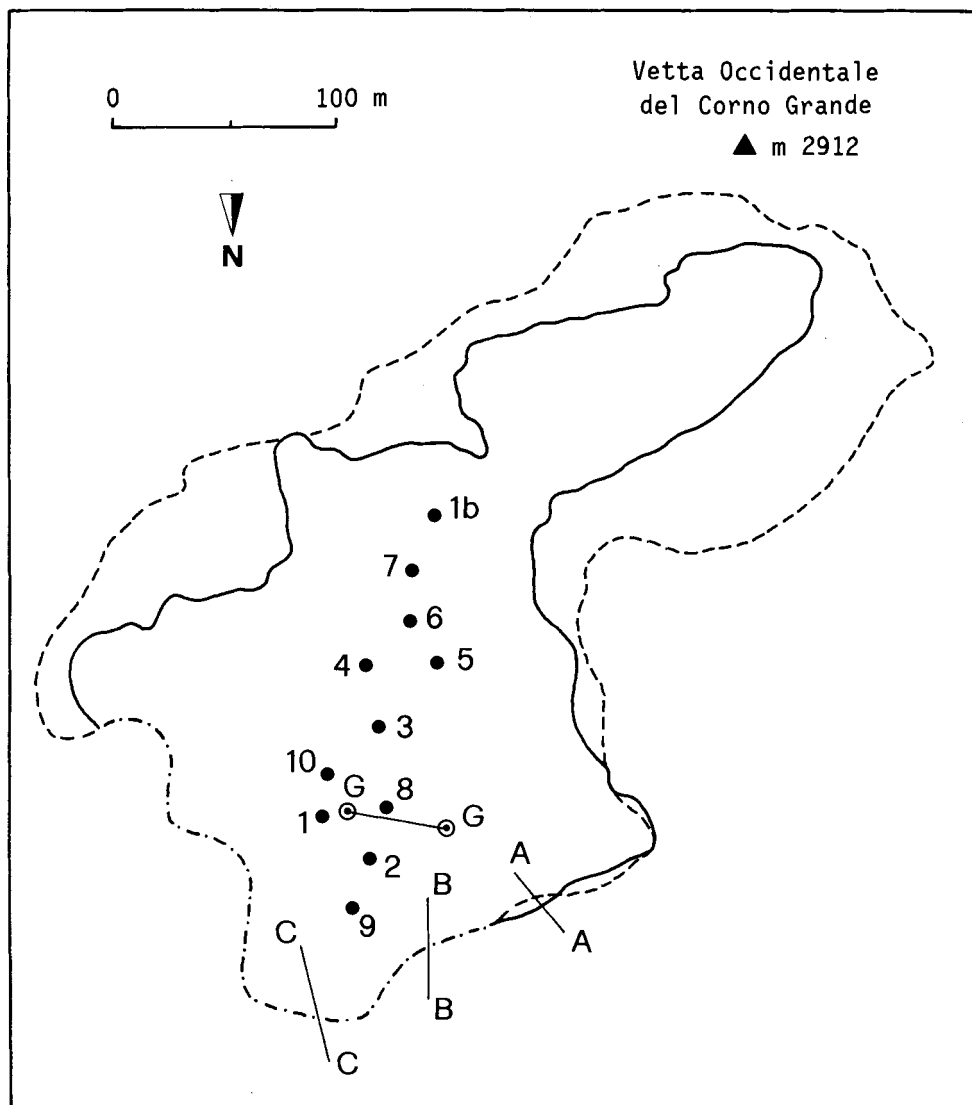


FIG. 14. - GHIACCIAIO DEL CALDERONE.

La linea a tratto continuo indica il limite attuale del ghiacciaio, il tratteggio evidenzia i limiti del 1960, mentre con punti e trattini è segnato il limite ipotizzato nel settore inferiore. Sono anche indicate le sezioni trasversali sul cordone morenico frontale della fig. 9 (A-A; B-B; C-C); G-G indica la localizzazione del sondaggio geoelettrico; i punti neri evidenziano la posizione delle paline per la misura dell'ablazione.

tura morenica continua, non sono immediatamente identificabili. Fin dove è stato possibile, tenendo conto dello spessore detritico e della pericolosità oggettiva dell'area, si è proceduto a scavi nel morenico profondi da pochi decimetri a oltre un metro fino al raggiungimento del ghiaccio sepolto. Dopo avere collocato una base longitudinale sul cordone morenico frontale, sugli estremi della quale sono stati posti due teodoliti, si è proceduto con il metodo dell'individuazione di un punto spaziale con coordinate vettoriali. E' inoltre stata scattata una serie di coppie fotografiche stereoscopiche con basi comprese fra 10 e 50 m; le stereocoppie sono poi state analizzate con il restitutore fotogrammetrico del laboratorio cartografico del dipartimento sopra indicato. I risultati qui presentati devono considerarsi ancora preliminari, tenendo conto anche del cattivo tempo che ha caratterizzato una parte dei lavori sul terreno. La determinazione dei limiti del ghiacciaio (fig. 14), permette un confronto con i rilievi precedenti e il calcolo dell'area attuale in proiezione orizzontale. Quest'ultima, sottolineando le incertezze sopra indicate, risulta di 4,5 ha; la riduzione, particolarmente evidente nel settore superiore dove la protezione morenica è più ridotta, risulterebbe rispetto all'ultimo rilievo di Tonini (1961) del 25%. Il confronto fra i vari rilievi permette anche di determinare le variazioni di dislivello fra il punto più basso del ghiacciaio (coincidente con l'inghiottitoio, senza quindi tenere conto del ghiaccio sepolto nella morena, sicuramente a quota superiore), e la sommità del settore sinistro del cordone morenico terminale. Tale dislivello passa da 11 m secondo il rilievo di Marinelli e Ricci del 1916 a 10 m con il rilievo di Tonini del 1934, a 24 m con quello del 1960, fino a 68 m secondo il rilievo del 1990; il settore terminale avrebbe dunque avuto dal secondo decennio del nostro secolo una diminuzione di spessore superiore a 50 m.

**Determinazione dello spessore** – Alla fine dell'estate 1990 è stato realizzato anche un rilievo geofisico per la determinazione dello spessore del ghiacciaio. Si è trattato di un sondaggio elettrico verticale (S.E.V.) eseguito da A. Fiucci di Pescara (cui si devono le note tecniche seguenti). Il principio fisico del metodo è quello di analizzare le variazioni di conducibilità elettrica (o meglio del suo reciproco, cioè la resistività) di una parte limitata del sottosuolo, tenendo conto del fatto che ogni formazione rocciosa sepolta, e quindi anche il ghiaccio, possiede una conducibilità specifica che è all'incirca costante nel suo ambito, ma è molto diversa rispetto alle formazioni soprastanti e sottostanti. Nell'esecuzione del S.E.V. sul Calderone si è adottato il dispositivo quadripolare simmetrico di Schlumberger. Con questo metodo si misura la resistività elettrica apparente del sottosuolo attraverso un circuito di immissione di corrente facente capo a due elettrodi A e B (elettrodi energizzanti) e un circuito potenziometrico con due elettrodi impolarizzabili di misura M e N disposti sullo stesso allineamento di A e B. I quattro elettrodi sono disposti simmetricamente rispetto al centro del sondaggio. La dimensione fisica della resistività apparente

viene espressa in  $\text{ohm} \times \text{m}^2/\text{m}$  (da cui semplificando,  $\Omega \times \text{m}$ ) e viene determinata applicando la formula:

$$Ra = K V/I,$$

dove  $V$  è la differenza di potenziale misurata,  $I$  è l'intensità della corrente assorbita dal circuito amperometrico chiuso attraverso il terreno e  $K$  è un fattore costante che dipende dalle reciproche distanze fra gli elettrodi.

Misurando l'intensità della corrente che circola nel circuito amperometrico energizzato e la differenza di potenziale che si stabilizza fra gli elettrodi potenziometrici M e N, conoscendo il valore del fattore  $K$ , si ricava applicando la formula precedente il valore della resistenza apparente della porzione di terreno compresa fra M e N, avente spessore variabile da un mezzo a un quarto della distanza interelettrodica  $AB/2$ .

Con il dispositivo di Schlumberger gli elettrodi potenziometrici M e N vengono mantenuti in posizioni sempre prossime al centro di sondaggio; variando invece sensibilmente la distanza progressiva degli elettrodi energizzanti A e B, le linee di corrente penetrano a profondità sempre maggiori, consentendo di indagare spessori sempre più rilevanti di terreno. Ad ogni posizionamento dell'assetto elettrodico corrisponde una misura di resistività. Le varie misure ottenute sono riportate su scala bilogaritmica, in cui in ordinata sono espressi i valori di resistività apparente e in ascissa la semidistanza fra gli elettrodi portacorrente, che si può all'incirca far coincidere con la progressiva profondità di indagine raggiunta. L'interpretazione dei diagrammi così ottenuti viene effettuata mediante il confronto con diagrammi standard (del tipo «Olandese», Orellana-Mooney, etc.).

Queste metodologie geoelettriche, comunissime nelle indagini geofisiche per ricerche minerarie, per lo studio delle litologie, per la ricerca idrica nel sottosuolo, sono state usate sui ghiacciai alpini solo in tempi relativamente recenti (seconda metà degli anni '50) (Cagniard, 1959; Andrieux, 1967; Röthlisberger e Vogtli, 1967). Si sono poi diffuse anche per lo studio della struttura interna dei *rock glaciers* (King e altri, 1987; Evin e Favre, 1990). La resistività del ghiaccio di ghiacciaio è elevatissima (si misura infatti in  $\text{M}\Omega \times \text{m}$ ) e nettamente superiore a quella del nevato, del *permafrost*, dei vari tipi di roccia che formano il letto dei ghiacciai; è così possibile non solo distinguere le varie formazioni, ma anche determinare lo spessore dei ghiacciai stessi. In Italia queste tecniche sono state usate molto raramente, sul Ghiacciaio della Marmolada (Iliceto e Andrieux, 1965) e più recentemente sul Ghiacciaio della Sforzellina (Resnati e Smiraglia, 1989). Sul Calderone il sondaggio è stato effettuato il 12 ottobre 1990 da parte di A. Fiucci con l'assistenza di B. Gigante, utilizzando uno strumento geoelettrico per S.E.V., tipo PASI mod. E 2 DIGIT (fig. 15); si è operato lungo un unico allineamento trasversale nella depressione immediatamente a monte della morena frontale, ad una quota variante fra 2635 m e 2650 m.

Pur trattandosi di un unico sondaggio e pur essendo necessaria un'ulteriore elaborazione dei dati di campagna, i risultati preliminari qui presenta-



FIG. 15. - ESECUZIONE DEL RILIEVO GEOELETTICO SUL SETTORE INFERIORE DEL GHIACCIAIO.

TAB. 5

# RISULTATI DEL SONDAGGIO GEOELETTICO

| strato<br>n. | resistività<br>ohm x m | spessore<br>m | profondità tetto<br>m |
|--------------|------------------------|---------------|-----------------------|
| 1            | 56.160                 | 0,49          | 0,00                  |
| 2            | 11.326.540             | 8,69          | -0,49                 |
| 3            | 2.192.000              | 1,49          | -9,18                 |
| 4            | 5.200                  | 1,00          | -10,68                |
| 5            | 3.500                  | inf.          | -11,68                |

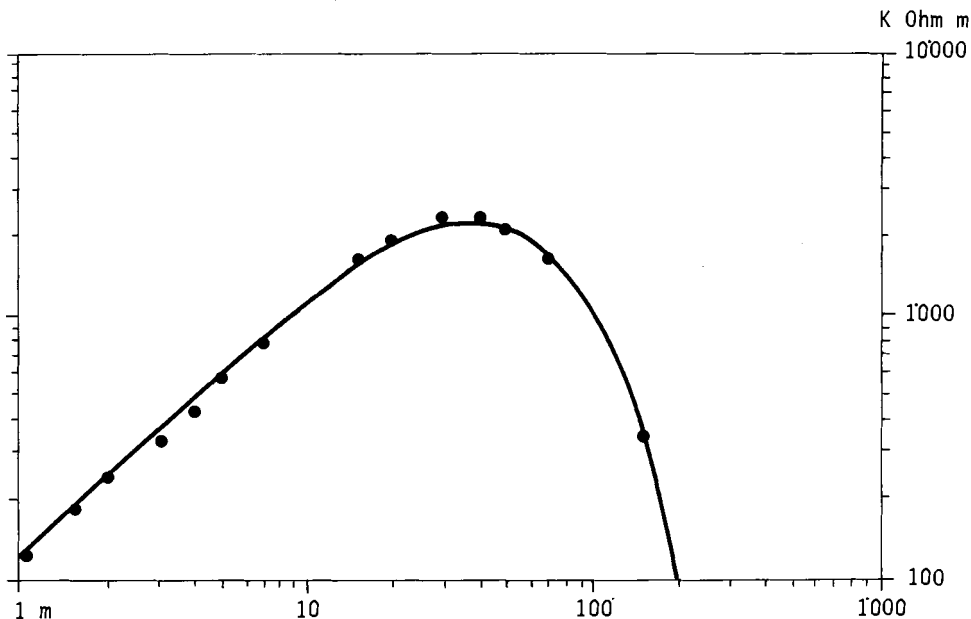


FIG. 16. - CURVA DELLE RESISTIVITÀ APPARENTI MISURATE SUL GHIACCIAIO DEL CALDERONE.

Nel grafico bilogaritmico sono indicate in ascissa in m le semidistanze fra gli elettrodi portacorrente, in ordinata i valori della resistività in migliaia di ohm  $\times$  m.

ti sono senz'altro interessanti in quanto evidenziano la presenza di un corpo glaciale con uno spessore ancora relativamente cospicuo.

Nella fig. 16 è presentata la curva della resistività misurata sul Ghiacciaio del Calderone. E' un diagramma bilogaritmico, dove in ascissa sono espresse in metri le semidistanze fra gli elettrodi energizzanti A e B, mentre in ordinata sono espressi i valori di resistività in  $k\Omega \times m$ .

Nella tabella 5 vengono indicati gli strati individuati in base alle differenze di resistività con il relativo spessore.

E' particolarmente evidente la differenza degli strati 2 e 3 (che raggiungono valori superiori a  $2M\Omega \times m$ ) rispetto agli altri strati, che hanno una resistività nettamente inferiore. Dai dati riportati in letteratura (si veda ad esempio King e altri, 1987), emerge che per il ghiaccio di ghiacciaio la resistività si misura in  $M\Omega \times m$ , con valori che arrivano a 10, 50 e anche 100  $M\Omega \times m$  secondo i diversi autori. L'insieme degli strati 2 e 3, con uno spessore di 10,18 m, dovrebbe quindi rappresentare il vero e proprio corpo del ghiacciaio, costituito da ghiaccio diagenetico puro e compatto. Più difficile si presenta l'interpretazione dei valori di resistività per gli altri strati. Pur tenendo conto che l'analisi dei dati è ancora in corso, si potrebbe ipotizzare che lo strato superiore sia costituito da ghiaccio particolarmente ricco di acqua, mentre i due strati inferiori potrebbero essere formati da sedimenti calcarei non gelati e dal *bedrock* calcareo (infatti la resistività dei calcari

non supera in genere i 4000  $\Omega \times m$ ).

Emerge comunque come dato di fatto la presenza, almeno nell'area del rilievo, di una massa di ghiaccio con uno spessore di una decina di metri. Lo spessore massimo del ghiacciaio è tuttavia sicuramente maggiore; poco a monte della depressione terminale dove è stato effettuato il rilievo geoelettrico, nel settore intermedio con inclinazione più accentuata, si sono osservati alcuni inghiottitoi subverticali incisi nel ghiaccio vivo dalle acque di fusione incanalate. Si sono misurate con bindella metrica le profondità di due inghiottitoi, senza toccare il fondo roccioso a causa della variazione di inclinazione della cavità, ottenendo valori di una quindicina di metri. Si ritiene comunque che una stima dello spessore medio del ghiacciaio attorno ai 10 m, nel settore inferiore, possa essere considerata attendibile.

**Le variazioni volumetriche 1989-90** – Dalle osservazioni pluridecennali di Tonini e Zanon, era emersa con chiarezza l'impossibilità di utilizzare per il Calderone le tradizionali tecniche di misura delle variazioni frontali diffuse sui ghiacciai alpini. Per alcuni si impiegavano segnali posti ai bordi del ghiacciaio che, a causa della loro localizzazione, non fornivano le variazioni lineari, ma quelle di spessore.

Attualmente la rete dei punti di misura è scarsamente efficiente, anche a causa della difficoltà e del rischio di raggiungere alcuni segnali, in seguito alla riduzione del livello del ghiacciaio. Per avere indicazioni sulla situazione complessiva del Calderone alla fine di ogni periodo di ablazione, si era pensato di realizzare il cosiddetto «bilancio di massa», che avrebbe portato alla conoscenza quantitativa dei parametri di acquisizione (accumulo) e di perdita (ablazione) o almeno della loro risultante (bilancio netto). Si tratta di metodologie ampiamente utilizzate sui ghiacciai di numerose catene montuose anche extraeuropee (per una trattazione completa si rimanda a Zanon, 1965 e a Østrem e Stanley, 1966), ma applicate sistematicamente in Italia solo su due ghiacciai alpini (Zanon, 1982; Catasta e Smiraglia, 1988). In pratica si colloca una rete di punti di misura sulla superficie del ghiacciaio, costituiti da aste o paline inserite in fori praticati nel ghiaccio, alla cui base si determinano le variazioni di spessore a periodi fissi. I valori misurati presso i singoli punti vengono estrapolati a tutta l'area del ghiacciaio; conoscendo la densità media del ghiaccio, quella della neve e del nevato, che viene appositamente misurata, nonché la superficie del ghiacciaio stesso, si può conoscere il volume dell'equivalente in acqua acquisito o perso dalla massa glaciale.

Le osservazioni e i rilievi compiuti sul Calderone durante le estati 1988, 1989 e 1990 hanno evidenziato le particolari caratteristiche e le difficoltà di applicazione di queste metodologie. E' emersa ad esempio l'estrema pericolosità del settore superiore del ghiacciaio, esposto a fine estate a incessanti scariche di sassi. A fine estate 1988 si è collocata una decina di paline nel settore medio-inferiore del Calderone. Di queste solo due sono state ritrovate alla fine dell'estate 1989; si è constatato che lo spessore di fusione è stato

di 70 cm di ghiaccio per quella posta a quota più elevata e di 100 cm per quella a quota inferiore. In quell'occasione, con la collaborazione di numerosi soci del Club Alpino Italiano – Sezione di Pescara guidati dal presidente M. Di Marco, la rete di paline è stata rinnovata collocando aste di metallo più resistenti, sempre nel settore medio-inferiore da una quota di 2630 m nei pressi dell'inghiottitoio fino a 2750 m ai piedi dello scivolo superiore (fig. 14). Attraverso numerose visite effettuate durante tutta l'estate 1990 si sono sistemate altre paline e si è constatata la progressiva perdita di spessore del Calderone, fenomeno sintetizzato nella fig. 17 e nella tab. 6.

In questa sono indicati i periodi di osservazione, il numero delle singole paline e le diminuzioni di spessore in centimetri. La mancanza del valore di diminuzione indica che la palina in quell'intervallo di tempo non era stata ancora collocata oppure era stata rimossa; il trattino indica che per quella palina, già collocata, non è stato possibile effettuare la misurazione (perché ad esempio completamente ricoperta da neve residua).

Come appare dai dati della tab. 6, per sole sei paline si dispone dei valori completi dell'ablazione dal 16 settembre 1989 al 12 ottobre 1990 (si veda anche il grafico della fig. 17). I totali oscillano fra 174 cm e 123 cm con un valore medio di 147,7 cm (utilizzando per il ghiaccio una densità media di 0,917 g/cm<sup>3</sup>, avremmo valori di ablazione di equivalente in acqua di 1595,6 mm, 1127,9 mm e 1354,1 mm). L'entità giornaliera dell'ablazione

TAB. 6

DIMINUZIONI DI SPESSORE DEL GHIACCIAIO DEL CALDERONE 1989-1990  
(in cm)

| periodi<br>di osservazione     | numero delle paline |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |
|--------------------------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|
|                                | 1                   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7  | 8  | 9  | 10 | 1b |
| 16/9/89-<br>07/7/90            | 39                  | 32  | 32  | 15  | -   | -   | 35 | 39 |    |    |    |
| 07/7/90-<br>25/8/90            | 45                  | 64  | 73  | 96  | 73  | 85  | 79 | 78 |    |    |    |
| 25/8/90-<br>15/9/90            | 22                  | 24  | 25  | 23  | 24  | 19  | -  |    |    |    |    |
| 15/9/90-<br>29/9/90            |                     | 36  | 20  | 13  | 16  | 12  | 25 |    | 13 | 21 |    |
| 29/9/90-<br>12/10/90           |                     | 18  | 12  | 13  | 10  | 8   | 4  |    | 20 | 13 | 3  |
| totali<br>16/9/89-<br>12/10/90 | 174                 | 162 | 160 | 123 | 124 | 143 |    |    |    |    |    |

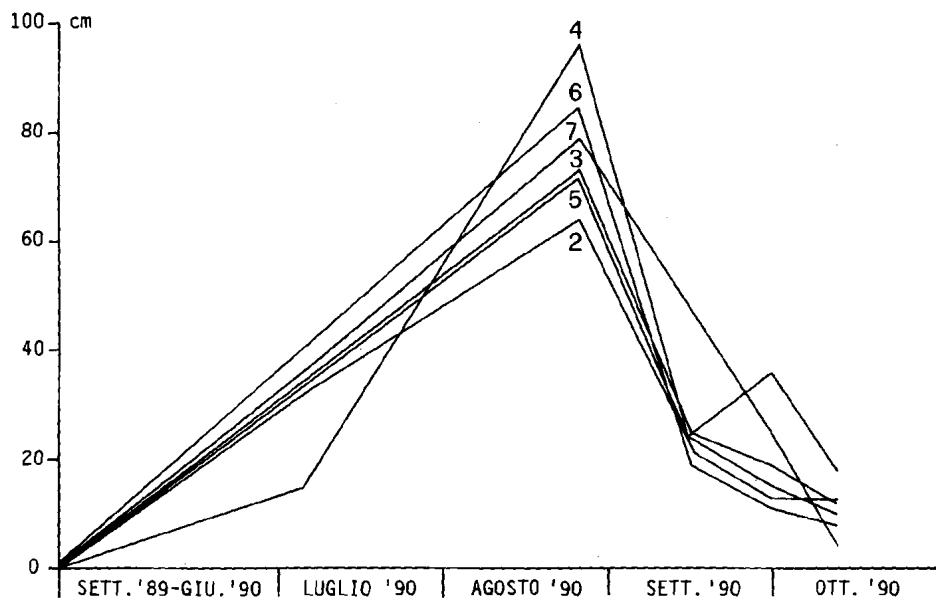


FIG. 17. - ENTITÀ DELL'ABLAZIONE SUL GHIACCIAIO DEL CALDERONE IN CENTIMETRI MISURATA PRESSO LE SEI PALINE PER LE QUALI SI DISPONE DEI VALORI TOTALI.

(In ascissa la suddivisione cronologica non è esattamente in scala).

oscilla fra 0,44 cm e 0,31 cm di ghiaccio. Dall'inizio di luglio alla fine di agosto l'ablazione totale è oscillata fra 45 cm e 96 cm, con un valore medio giornaliero compreso fra 0,93 cm e 2 cm. Dal grafico della fig. 17 emerge anche la sostanziale omogeneità di comportamento dei sei punti di misura. Tutti presentano infatti un picco nell'ablazione nel periodo luglio-agosto con una diminuzione negli altri periodi; l'unica eccezione è costituita dalla palina n. 2, che fa registrare anche un picco secondario nella seconda metà di settembre. Numerosi sono i fattori che dovrebbero influire sull'entità dell'ablazione misurata presso le singole paline e determinarne le differenze; fra questi la diversa esposizione, la protezione delle pareti rocciose circostanti, lo spessore del detrito, il gradiente termico, nonché le variabilità nel tempo di alcuni di questi fattori. Per quanto riguarda la protezione esercitata dal detrito, che è sicuramente un elemento essenziale nella sopravvivenza del ghiacciaio, non è stato possibile collocare le paline in aree con coperture detritiche molto diversificate, né in aree di ghiaccio scoperto; lo spessore del detrito alla base delle paline varia infatti secondo limiti molto ristretti (fra 3 cm e 10 cm). Non si può quindi stabilire con quali modalità operi l'ablazione differenziale, che, come si è constatato su altri ghiacciai (si

vedano ad esempio Small e Clark, 1974 e Smiraglia, 1986), costituisce uno dei processi morfogenetici fondamentali nei bacini ablatori. La persistenza di ghiaccio all'interno della morena frontale e al di sotto dei coni detritici sui fianchi del Calderone (dove gli spessori di detrito sono particolarmente elevati) e l'evidenza morfologica che la morena stessa e i coni assumono rispetto al resto del ghiacciaio, ben testimoniano la riduzione dell'ablazione ad opera della copertura detritica.

Per quanto riguarda il gradiente termico, è pur vero che le paline a quote inferiori hanno fatto registrare i valori più elevati di ablazione; i dislivelli in gioco sono tuttavia molto ridotti (poco più di 100 m fra la palina più bassa e quella più alta), per cui si ritiene che le differenze di temperatura dovute al gradiente abbiano scarsa rilevanza. Bisognerà quindi tenere conto di altri fattori, come la durata dell'insolazione, la riflessione del calore da parte di grossi blocchi di frana, il ruscellamento delle acque di fusione.

Il limitato numero di punti di misura (concentrati fra l'altro nel settore medio-inferiore), la morfologia particolarmente accidentata della superficie del Calderone e la diversificazione degli spessori del morenico, non permettono di determinare un vero e proprio bilancio di massa per fasce altimetriche. Come si è visto, l'entità media dell'ablazione misurata presso le paline risulta di poco inferiore al metro e mezzo di ghiaccio (1354 mm di equivalente in acqua). Tenendo conto che tutte le paline sono situate nei pressi dell'asse longitudinale del ghiacciaio e che sui bordi vi sono i maggiori spessori di detrito, riteniamo (approssimando per difetto), che l'entità dell'ablazione media su tutta la superficie del ghiacciaio, sia di poco superiore al metro di ghiaccio e che lo spessore medio della lama d'acqua equivalente non sia inferiore a 1000 mm. Dal settembre 1989 all'ottobre 1990 il Ghiacciaio del Calderone avrebbe dunque perduto circa 50.000 m<sup>3</sup> di ghiaccio e almeno 45.000 m<sup>3</sup> di equivalente in acqua.

*Conclusioni.*— Come sintesi delle osservazioni e dei dati sopra presentati, viene proposta, a pag. 299, una scheda riassuntiva conclusiva.

Il Ghiacciaio del Calderone esiste dunque tuttora, non ha senso parlare di sua avvenuta estinzione, né per il momento (tenendo conto di *flow patterns* come le foliazioni e i crepacci e della sua massa ancora relativamente cospicua) è il caso di proporre una declassazione a *glacieret* (Müller e altri, 1977). Certamente il Calderone risente della fase sfavorevole che caratterizza l'evoluzione dei ghiacciai di altre catene montuose come le Alpi nella seconda metà degli anni '80 e che dovrebbe derivare non solo da una lieve accentuazione delle temperature estive, ma anche da una diminuzione delle precipitazioni solide. Date le sue dimensioni, la sua distribuzione altimetrica e la sua localizzazione, il Calderone reagisce in misura accentuata e in tempi rapidi a modificazioni anche lievi dei parametri climatici. Di fronte a un volume totale che si può stimare in circa 300.000 m<sup>3</sup> di ghiaccio, il Calderone avrebbe perso più del 15% solo durante l'estate 1990. La diminuzione dell'entità delle precipitazioni solide durante gli ultimi inverni degli anni

'80 ha sicuramente giocato un ruolo essenziale nella cospicua recente riduzione volumetrica del ghiacciaio. La presenza della neve da precipitazione diretta, da trasporto eolico e da valanghe, se da un lato, attraverso i processi diagenetici, alimenta la massa glaciale, dall'altro, con il fenomeno dell'albedo, rallenta la fusione del ghiaccio sottostante. L'entità dell'ablazione dipende dunque anche dalla durata dell'innevamento sulla superficie del ghiacciaio. Come si è precedentemente osservato, già all'inizio dell'estate 1990 la copertura di neve residua sul Calderone era esigua come superficie e come spessore e a fine estate era del tutto scomparsa, insieme al nevato degli anni precedenti. Non era quindi possibile individuare né un limite delle nevi, né una linea di equilibrio. Del resto già precedenti autori, in particolare Tonini (1961), hanno messo in evidenza l'anomalia della presenza del Calderone nel Gruppo del Gran Sasso (e quindi nell'Appennino), dove l'isoterma 0 °C e il limite climatico delle nevi si collocano ad un'altitudine variante fra 2900 e 3000 m, praticamente al di sopra delle cime più elevate. La presenza e la sopravvivenza del Calderone sono dovute, come ha sottolineato Assier (1987) a proposito dei piccoli ghiacciai delle Alpi Meridionali italo-francesi, a una serie di fattori topoclimatici. Per il Calderone questi si possono sintetizzare nella favorevole esposizione NE, nei contributi all'alimentazione da parte delle valanghe e del vento, nella protezione e nell'ombra delle pareti rocciose che circondano il ghiacciaio, nell'estesa copertura morenica. Grazie a questi fattori la quota dell'isoterma 0 °C e il limite delle nevi subiscono in condizioni climatiche «normali» un abbassamento locale, che secondo Tonini (1961) arriva a 2800 m, fino a coincidere con l'altezza mediana del ghiacciaio. Il futuro del Calderone è dunque soprattutto legato alle complesse interazioni delle temperature estive e delle precipitazioni invernali. Se i tassi di ablazione continueranno ad essere così elevati, proseguirà gradualmente la perdita di massa del ghiacciaio; questo si trasformerà dapprima in un *glacieret* coperto da morenico e successivamente si frammenterà in una serie di lenti di ghiaccio sepolto che potranno sopravvivere per decenni. Se vi saranno nuovamente abbondanti nevicate invernali e la coltre nevosa residua persisterà per buona parte dell'estate, i tassi di ablazione si ridurranno e il Calderone riprenderà l'aspetto che lo aveva caratterizzato ancora nella seconda metà degli anni '70.

In conclusione si può affermare che le notizie di tipo catastrofistico divulgate dai mezzi di comunicazione sullo «stato di salute» del Calderone hanno almeno avuto l'effetto positivo di richiamare l'attenzione su questo *unicum* geografico di eccezionale interesse. Vanno comunque ridimensionati i timori di certi amministratori pubblici che paventavano una massiccia riduzione delle risorse idriche abruzzesi in relazione alla presunta estinzione del Calderone. A fronte di una portata totale media annua delle sorgenti del massiccio del Gran Sasso che ammonta a oltre 800 milioni di m<sup>3</sup> (Adamoli, 1990), la riserva idrica del Calderone valutabile in meno di 300.000 m<sup>3</sup> appare ben esigua. L'importanza del ghiacciaio va piuttosto ricercata nella sua significatività scientifica e nella sua capacità di polarizzare flussi turisti-

# GHIACCIAIO DEL CALDERONE

Codice internazionale: 4L00A-A1

Nome: Calderone

Localizzazione: Appennino Abruzzese, Gran Sasso d'Italia, Valle Vomano

Bacino idrografico: Fosso Gravone, Mavone, Vomano

Area totale: 0,045 km<sup>2</sup> (il dato è reso impreciso dalla completa copertura detritica del settore inferiore)

Lunghezza: 400 m

Larghezza massima: 250 m

Alimentazione: diretta ed eolica

Esposizione: NNE

Quota della cima più elevata a monte del ghiacciaio: Vetta Occidentale del Corno Grande, 2912 m

Quota più elevata del ghiacciaio: 2850 m

Quota più bassa: 2630 m

Classificazione: ghiacciaio montano di circo

Attività della fronte: non identificabile

Moräne: frontale a nucleo di ghiaccio

Limite delle nevi: inesistente a fine estate 1990

Spessore medio: 10 m nel settore inferiore (valutato in base a un unico sondaggio geoelettrico e a considerazioni morfologiche)

Note: unico ghiacciaio dell'Appennino e il più meridionale d'Europa. Durante l'estate 1990 il settore medio-inferiore ha perso uno spessore di ghiaccio variante fra 120 e 170 cm (pari ad un equivalente in acqua di 1100 mm e di 1559 mm).

ci. Per quanto riguarda il primo aspetto, basti sottolineare che il Calderone costituisce un elemento essenziale nello studio delle variazioni climatiche e ambientali dell'area mediterranea (durante l'estate 1990 è stato visitato anche da colleghi inglesi e giapponesi). A proposito dell'aspetto turistico, la sua unicità nell'ambito appenninico lo rende una risorsa paesaggistica di notevole importanza, che trascende gli aspetti alpinistici ed escursionistici di questo versante del Gran Sasso. Le decine di sacchi di rifiuti raccolti dai soci del Club Alpino Italiano e di associazioni ambientaliste sul versante settentrionale della montagna, durante benemerite opere di ripulitura, dimostrano tuttavia quanto cammino ci sia ancora da compiere per giungere ad un corretto rapporto con l'ambiente montano. Fra l'altro è utile sottolineare come la copertura morenica del settore inferiore del Calderone sia costituita non solo da clasti calcarei, ma vi abbondino anche «sedimenti» antropici di vario tipo e dimensione (dalle lattine ai sacchetti di plastica riempiti di rifiuti), più o meno accuratamente occultati fra i detriti. E' dunque necessario riprogettare un approccio turistico corretto e guidato al Calderone, che ne valorizzi e contemporaneamente ne salvaguardi i caratteri di unicità e di specificità. A questo proposito riteniamo che gli inviti più o

meno pressanti diffusi la scorsa estate ad evitare di compiere escursioni sul ghiacciaio per non accentuarne il deterioramento abbiano esclusivamente un valore simbolico o positivamente provocatorio. E' altresì necessario che le ricerche scientifiche iniziate in questi ultimi anni proseguano e vengano ampliate sia dal punto di vista tematico sia da quello metodologico e che a questo scopo ci si possa appoggiare a risorse economiche anche locali. In tal modo potrà essere dato un ulteriore contributo ad una più approfondita conoscenza di questo straordinario lembo d'Abruzzo e a una sua corretta valorizzazione.

## BIBLIOGRAFIA

- ADAMOLI L., *Idrogeologia del massiccio carbonatico del Gran Sasso e conseguenze idrogeologiche degli scavi autostradali*, in «Geol. tecnica», Roma, 1990, pp. 3-15.
- ANDRIEUX P., *Les méthodes électriques de prospection appliquées à l'étude de la glace et des glaciers - Résultats obtenus de 1962 à 1965* (Diplôme d'Ingénieur Géophysicien), Parigi, 1967.
- ASSIER A., *Essai d'évaluation des conditions d'alimentation des petits glaciers des Alpes du Sud franco-italiennes*, Grenoble, Soc. Hydrotechnique de France, Section de Glaciologie, 1987, pp. 6.
- BOULTON G.S., *Boulder Shapes and Grain-size Distribution as Indicators of Transport Paths through a Glacier, and till Genesis*, in «Sedimentology», Oxford, 1978, pp. 773-799.
- CACCIAMALI G.B., *Formazione geologica del Teramano*, vol. I, Teramo, 1892.
- CAGNIARD L., *Abaque pour sondages électriques sur glace*, in «Ann. de Géophysique», 1959.
- CAILLEUX A. e TRICART J., *Initiation à l'étude des sables et des galets*, Parigi, CDU, 1959, 3 voll.
- CATASTA G. e SMIRAGLIA C., *Primi risultati delle ricerche sul bilancio di massa al Ghiacciaio della Sforzellina (Gruppo del Cevedale, Alpi Centrali)*, in «Geogr. Fis. e Dinam. Quat.», Torino, 1988, pp. 25-30.
- CLEMENTI A. (a cura di), *Francesco De Marchi, ingegnere militare da Bologna. Il Corno Monte. Cronaca della prima ascensione sulla vetta del Gran Sasso d'Italia effettuata il 19 agosto 1573 dal versante aquilano*, L'Aquila, Club Alpino Italiano, 1973.
- COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO – CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE, *Catasto dei ghiacciai italiani – Ghiacciai delle Tre Venezie e dell'Appennino*, Torino, 1962.
- D'AMATO F., *Il Gran Sasso d'Italia. Ascensioni al Monte Corno. Relazione sulla topografia e flora del Monte Corno con altri cenni di storia naturale*, Teramo, Scalpelli, 1888.
- DE VIRGILIIS P., *Una gita al Gran Sasso d'Italia e descrizione di esso*, Napoli, Porcellini, 1834.
- ESPOSITO M., *La prima ascensione sul Gran Sasso d'Italia e l'esplorazione della*

- Grotta Amare (agosto 1573) secondo il racconto inedito di Francesco de Marchi da Bologna*, in «Boll. R. Soc. Geogr. Ital.», Roma, 1938, pp. 178-205.
- EVIN M. e FABRE D., *The Distribution of Permafrost in Rock Glaciers of the Southern Alps (France)*, in «Geomorphology», Amsterdam, 1990, pp. 57-71.
- FEDERICI P.R., *Una ipotesi di cronologia glaciale würmiana, tardo e post-würmiana nell'Appennino centrale*, in «Geogr. Fis. Dinam. Quat.», Torino, 1979, pp. 196-202.
- IAHS-UNEP-UNESCO, *World Glacier Inventory - Status 1988*, Teufen, 1989.
- ILICETO V. e ANDRIEUX P., *Mesures electriques sur le glacier de la Marmolada (Alpes Orientales)*, in «Boll. Com. Glac. Ital.», Torino, 1965, pp. 71-90.
- JACOBUCCI M., *Chi ha salito per primo il Gran Sasso d'Italia?*, in «Riv. Mens. CAI», Torino, 1931, pp. 14-16.
- KING L. e altri, *Comparison of Resistivity and Radio-echo Soundings on Rock Glaciers Permafrost*, in «Zeitschr. Gletscherk. Glazialgeol.», 1987, pp. 77-97.
- (von) KLEBELSBERG R., *Gletscher and Schneegrenze am Gran Sasso d'Italia*, in «Zeitschr. Gletscherk.», Berlino, 1930, pp. 234-236.
- MARINELLI O. e RICCI L., *Alcune osservazioni sul ghiacciaio del Gran Sasso*, in «Riv. Geogr. Ital.», Firenze, 1916, pp. 399-405.
- MESSERLI B., *Die eiszzeitliche und die gegenwärtige Vergletscherung im Mittelmeerraum*, in «Geogr. Helv.», Innsbruck, 1967, pp. 105-228.
- MESSERLI B., *Mountain Glaciers in the Mediterranean Area and in Africa*, in «World Glacier Inventory-Proceedings of the Riederalp Workshop», Innsbruck, IAHS, 1980, 197-211.
- MÜLLER F., CAFLISCH T. e MÜLLER G., *Instructions for Compilation and Assemblage of Data for a World Glacier Inventory*, Zurigo, TTS-WGI, 1977.
- ØSTREM G. e STANLEY A., *Glacier Mass Balance Measurements: a Manual for Field Work*, Ottawa, Dept. Mines Technical Surveys-Glaciological Section, 1966.
- PASCHINGER H., *Der Südlichste Gletscher Europas*, in «Zeitschr. Gletscherk. Glazialgeol.», Innsbruck, 1954, pp. 39-46.
- PORRO C., *Elenco dei ghiacciai italiani*, Parma, Uff. Idr. del Po, 1925.
- RESNATI C. e SMIRAGLIA C., *Ghiacciaio della Sforzellina. Determinazione dello spessore tramite sondaggi geoelettrici*, in «Riv. CAI», Torino, 1988, pp. 70-75.
- RÖTHLISBERGER H. e VOGTLI K., *Recent D.C. Resistivity Soundings on Swiss Glaciers*, in «Journ. Glac.», Cambridge, 1967, pp. 607-621.
- RICCI L., *Sul ghiacciaio del Gran Sasso*, in «Riv. Geogr. Ital.», Firenze, 1917, pp. 68-69.
- SAINT ROBERT P. e BERRUTI G., *Gita al Gran Sasso d'Italia*, in «Boll. CAI», Torino, 1871.
- SMALL R.J. e CLARK M.J., *The Medial Moraines of the Lower Glacier de Tsidiore Noue, Valais, Switzerland*, in «Journ. Glac.», Cambridge, 1974, pp. 255-263.
- SMIRAGLIA C., *Morfologia e genesi delle morene mediane del Ghiacciaio dei Forni (Alta Valtellina)*, in «Boll. Soc. Geogr. Ital.», Roma, 1986, pp. 221-240.
- SMIRAGLIA C., *Il ghiacciaio del Calderone nel Gran Sasso d'Italia. Recenti ricerche*, in «Boll. CAI», L'Aquila, 1990, pp. 49-53.
- SMIRAGLIA C. e VEGGETTI O., *Il Ghiacciaio del Calderone nel Gran Sasso d'Italia*.

- Variazioni recenti e relazioni con il clima*, nel vol. *Le variazioni climatiche recenti e le prospettive per il XXI secolo*, in «Mem. Soc. Geogr. Ital.» XLVI, Roma, 1991, pp. 183-198.
- SUTER K., *Die eiszeitliche Vergletscherung der Zentralapennins*, «Vierteljahr. Naturforsch. Gesell.», Zurich, 1939.
- TONINI D., *Sul ghiacciaio del Calderone nel Gran Sasso d'Italia*, in «Boll. Com. Glac. Ital.», Torino, 1930, pp. 193-210.
- TONINI D., *Appunti sul ghiacciaio del Calderone del Gran Sasso d'Italia*, in «Boll. Com. Glac. Ital.», Torino, 1934, pp. 185-194.
- TONINI D., *Il ghiacciaio del Calderone del Gran Sasso d'Italia*, in «Boll. CAI», Roma, 1936, pp. 188-201.
- TONINI D., *Gruppo del Gran Sasso d'Italia*, in «Boll. Com. Glac. Ital.», Torino, 1937, pp. 226-228.
- TONINI D., *Il Ghiacciaio del Calderone del Gran Sasso d'Italia*, in «Boll. Com. Glac. Ital.», Torino, 1955, pp. 19-31.
- TONINI D., *Il ghiacciaio del Calderone del Gran Sasso d'Italia*, in «Boll. Com. Glac. Ital.», Torino, 1961, pp. 71-134.
- ZANON G., *Relazioni delle campagne glaciologiche - Ghiacciaio del Calderone*, in «Boll. Com. Glac.» e «Geogr. Fis. Dinam. Quat.», Torino, 1962-1980.
- ZANON G., *Ricerche sul bilancio di massa glaciale con applicazione al Ghiacciaio della Marmolada (Alpi Orientali)*, in «Boll. Com. Glac. Ital.», Torino, 1965, pp. 23-69.
- ZANON G., *Recent glaciological research in the Ortles-Cevedale region (Italian Alps)*, in «Geogr. Fis. Dinam. Quat.», Torino, 1982, pp. 75-81.

RECENT OBSERVATIONS ON THE GHIACCIAIO DEL CALDERONE (GRAN SASO D'ITALIA, ABRUZZI). – Numerous observations were made in the summers of 1988, 1989, and 1990 on the Ghiacciaio del Calderone, the only glacier in the Apennines and the southernmost glacier in Europe. Surveys revealed the thickness of the old snow on the glacier to be two meters at the beginning of the summer of 1988, one meter at the beginning of the summer of 1989, and very limited at the start of the summer of 1990. Without snow cover, the Ghiacciaio del Calderone appears as a small debris covered glacier blocked downvalley by an imposing ice-cored moraine, attributable to the Little Ice Age. The area of the glacier has decreased by about 20% with respect to 1960 and at present it consists of 4.7 ha. A thickness of about 10 m was determined in the lower sector by means of an electrical resistivity survey. From 1989 to 1990, ablation varied between 120 and 170 cm, as recorded along a series of measurement points. It is held that in the same period the Calderone lost about 50,000 m<sup>3</sup> of ice. Though it is undergoing marked reduction, the glacier is not extinct, as confirmed by data collected. It continues to be of considerable importance for climatic-environmental studies and as tourist attraction.

*Università «G. D'Annunzio» - Sede di Pescara, Facoltà di Lingue e letterature straniere, Cattedra di Geografia.*