

---

ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI  
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI

# RENDICONTI

---

CLAUDIO SMIRAGLIA

**Valutazione dell'ablazione differenziale sul Ghiacciaio  
Baltoro (Karakorum, Pakistan) e morfologia  
derivante: nota preliminare**

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche,  
Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 80 (1986), n.1-2, p. 17-25.*  
Accademia Nazionale dei Lincei

<[http://www.bdim.eu/item?id=RLINA\\_1986\\_8\\_80\\_1-2\\_17\\_0](http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1986_8_80_1-2_17_0)>

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

---

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma  
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)  
SIMAI & UMI*

<http://www.bdim.eu/>



## SEZIONE II

(Fisica, chimica, geologia, paleontologia e mineralogia)

---

**Geologia.** — *Valutazione dell'ablazione differenziale sul Ghiacciaio Baltoro (Karakorum, Pakistan) e morfologia derivante: nota preliminare.*  
Nota di CLAUDIO SMIRAGLIA, presentata (\*) dal Socio A. DESIO.

SUMMARY. — This work deals with the first results of glaciological researches carried out on the Baltoro Glacier (Karakorum, Pakistan) during a scientific-alpinistic expedition in 1985. The measurements of the differential ablation made near the base camp at 5.150 a.s.l. are here presented (2,8 cm of diurnal ablation on clean ice; 0,7 cm with the cover of 20 cm of coarse debris). The role of the differential ablation in the development of the main features of the supraglacial morphology on the Baltoro Glacier (glacier tables, medial moraines, ice pinnacles) is then briefly exposed.

### INTRODUZIONE

Nei mesi di maggio e giugno 1985 ha operato sul Ghiacciaio Baltoro in Karakorum (Pakistan) la spedizione italiana organizzata dalla Società « Quota 8000 » di Bergamo. Oltre agli scopi prettamente alpinistici (concretizzatisi poi nella scalata del Gasherbrum I e del Gasherbrum II), la spedizione si proponeva finalità di ricerca scientifica, soprattutto nel campo della morfologia glaciale e del glacialismo attuale.

La presente Nota si configura come una prima relazione volta ad illustrare i risultati scientifici della spedizione, in particolar modo per quanto riguarda la valutazione dell'ablazione differenziale.

Il bacino del Baltoro è stato ormai visitato numerose volte, sia con intenti geografico-esplorativi, sia in tempi recenti per finalità esclusivamente alpinistiche. Ricordiamo fra le altre le spedizioni di Godwin Austen del 1861 e di Conway del 1892. Fra gli Italiani, che hanno una grande tradizione di esplorazione e di studio nel Karakorum, si distinsero il Duca degli Abruzzi nel 1909, Giotto Dainelli nel 1913 e in particolare Ardito Desio nel 1929 e soprattutto nel 1954, quando non solo guidò la vittoriosa spedizione alla vetta inviolata del K<sup>2</sup>, la seconda cima per altezza della Terra, ma compì con i suoi collaboratori una vasta serie di ricerche in campo geografico e geologico (Desio, 1977; Desio e Zanettin, 1970).

La spedizione del 1985 ha quindi voluto riallacciarsi a questa grande tradizione, dedicandosi soprattutto a tematiche di tipo geomorfologico ed evi-

(\*) Nella seduta dell'8 febbraio 1986.

denziando problemi che potranno essere affrontati e maggiormente approfonditi nel corso di altre visite al Baltoro.

Il Ghiacciaio Baltoro, che occupa l'alta valle del fiume Biaho, il quale con il nome di Braldo si getta nell'Indo presso Skardu, è uno dei maggiori ghiacciai vallivi della Terra, con una superficie di 754 km<sup>2</sup> e una lunghezza di 53 km (Desio, 1936). Al seguito della spedizione ho potuto risalirlo dalla fronte posta a circa 3.530 m fino al campo base a circa 5.150 m presso la confluenza del Ghiacciaio Meridionale del Gasherbrum con il Ghiacciaio Abruzzi (bacino orientale del Baltoro).

#### VALUTAZIONE DELL'ABLAZIONE DIFFERENZIALE

L'ablazione, la cui entità appare molto diversa sul ghiaccio coperto da detriti rispetto al ghiaccio pulito, è attualmente considerata il processo essenziale, anche se non esclusivo, per spiegare l'origine e l'evoluzione delle forme più evidenti della morfologia epiglaciale, in particolare delle morane mediane galleggianti e delle *tavole del ghiacciaio* (Østrem, 1959; Loomis, 1970; Small e Clark, 1974, 1976; Eyles e Rogerson, 1978; Small, Clark e Cawse, 1979; Smiraglia, 1984; Smiraglia, in stampa). Numerosi sono stati i tentativi per valutare direttamente e per quantificare i rapporti fra l'ablazione su ghiaccio protetto da detriti e quella che avviene su ghiaccio nudo.

Østrem (1959) constatò sull'Isfallglaciären che l'ablazione del ghiaccio coperto da detrito raggiungeva solo il 66% di quella su ghiaccio vivo, mentre Loomis (1970) trovò per il Kaskawulsh Glacier in Alaska un valore del 74%. Sulle Alpi valutazioni di questo tipo sono state effettuate a più riprese nel Vallese e in Alta Valtellina. Nel 1972 sul Ghiacciaio di Tsidjiore Nouve nel Vallese (Svizzera) veniva osservata in settembre un'ablazione media sul ghiaccio senza protezione di 2,14 cm giornalieri, che si riducevano a 1,57 cm (corrispondenti al 73,3%) con una copertura detritica superiore a 2 cm di spessore (Small e Clark, 1974). Nell'estate 1984 si è proceduto a una verifica sul Ghiacciaio dei Forni (Alta Valtellina) a circa 2.650 m di quota. Si è constatato che sul ghiaccio pulito si era prodotta un'ablazione di circa 3 cm al giorno, che salivano a 3,7 cm (123,3%) con la copertura di 1 cm di limo e di ciottoli minuti. Lo spessore di ghiaccio fuso si riduceva a 2 cm (66,7%) con la protezione di 5 cm di ciottoli (Smiraglia, 1984).

Si poneva dunque l'interessante problema di verificare su uno dei più vasti ghiacciai asiatici le differenze fra l'ablazione del ghiaccio pulito e l'ablazione del ghiaccio protetto da detriti e soprattutto di individuare la soglia al di sotto della quale si ha l'inversione del fenomeno. Al di sotto di un determinato spessore di detrito, soprattutto minuto, si constata infatti un ampliamento degli effetti dell'ablazione invece di una protezione sul ghiaccio sottostante.

Sul Ghiacciaio Baltoro nei pressi del campo base sono state inserite nel ghiaccio vivo, dopo avere praticato con una trivella a mano un foro di circa un metro di profondità, 14 paline alte 150 cm di materiale plastico (Tav. I, a).

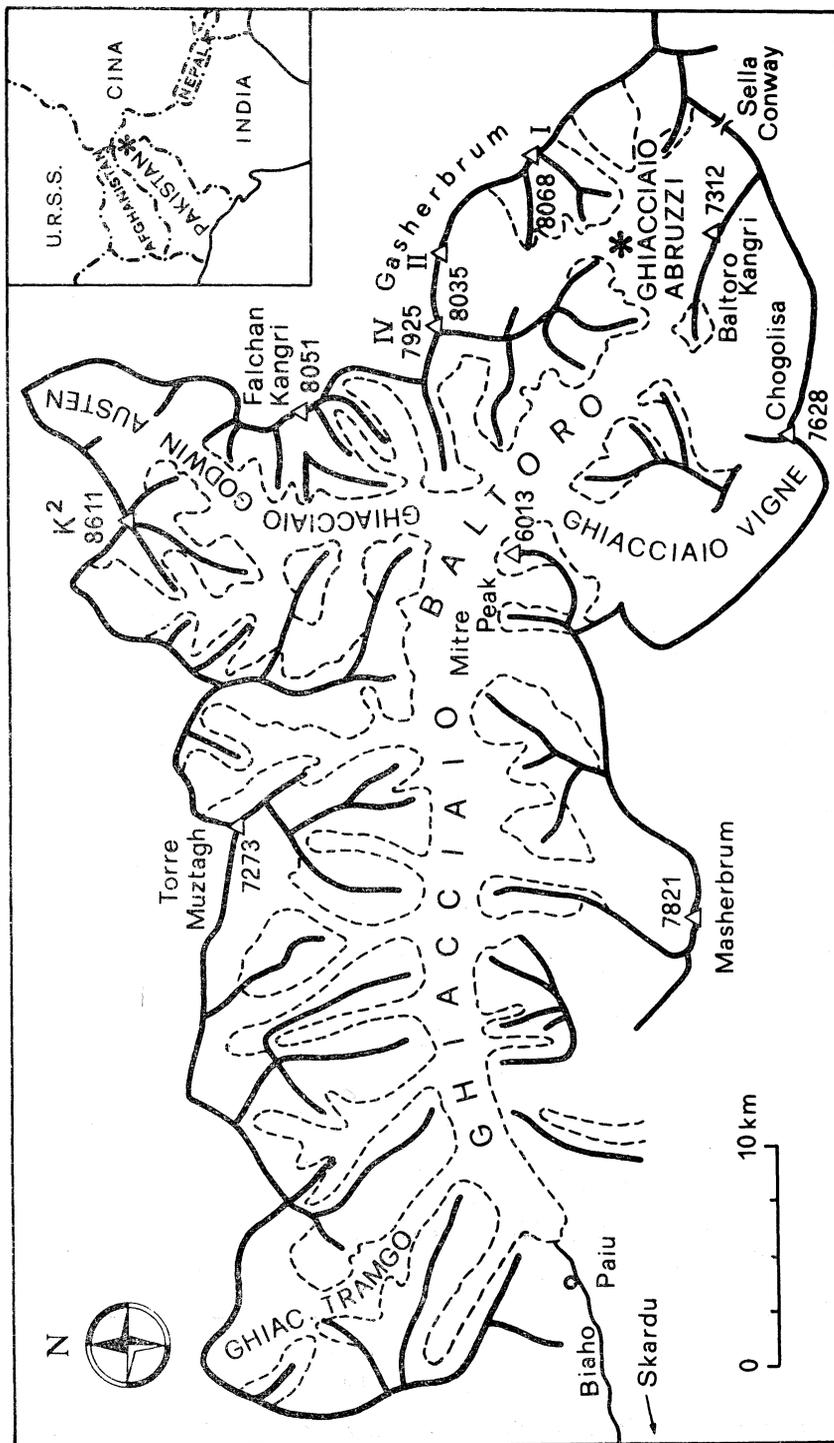


Fig. 1. - Carta schematica del Ghiacciaio Baltoro. L'asterisco indica la localizzazione del campo base e del complesso di paline utilizzate per lo studio dell'ablazione differenziale.

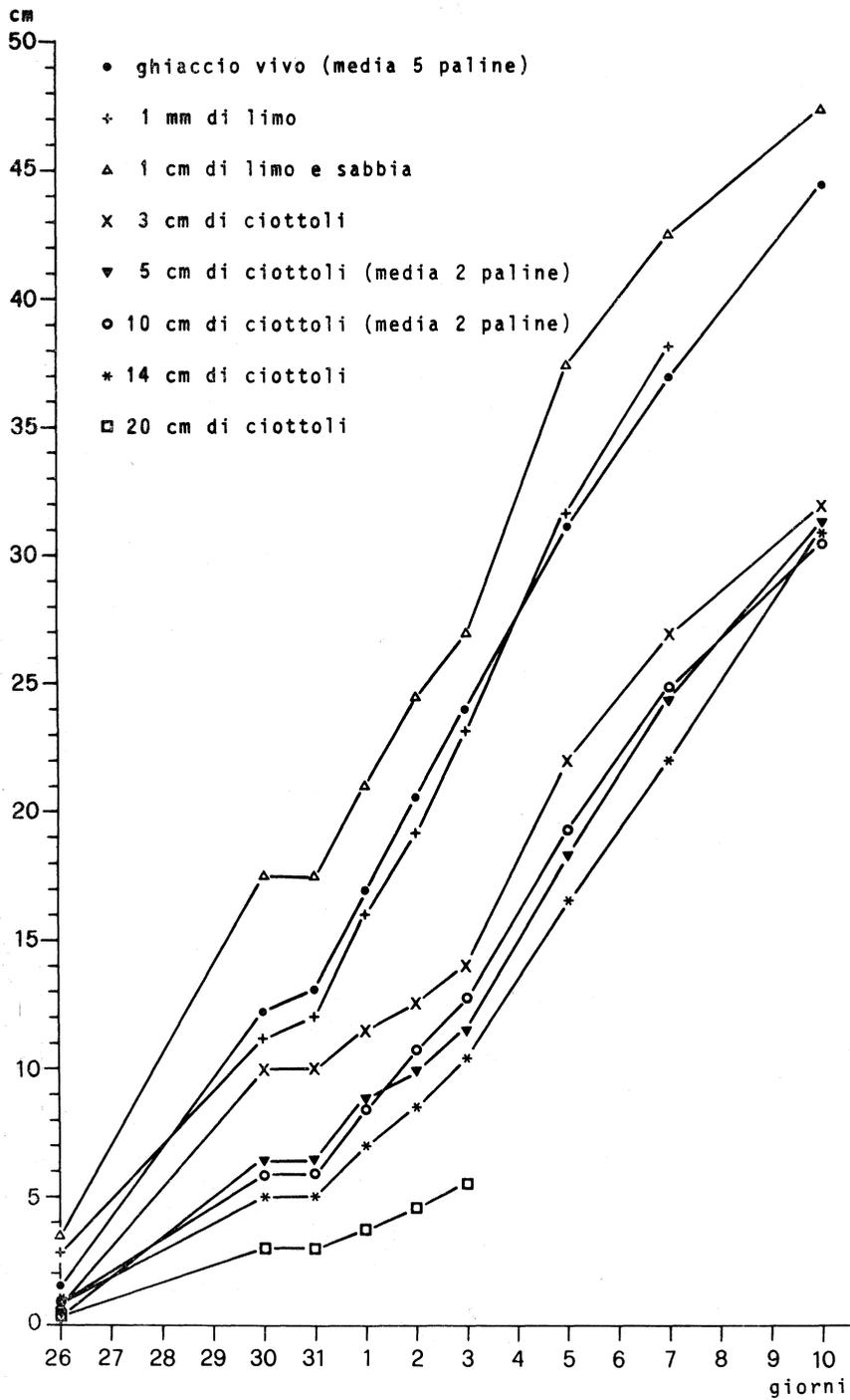


Fig. 2. - Ablazione sul Ghiacciaio Baltoro presso il campo base. In ascissa sono indicati i giorni (dal 26 maggio 1985 al 10 giugno 1985), in ordinata l'entità dell'ablazione in centimetri.

Al contatto palina-superficie del ghiacciaio sono stati accumulati detriti di varia granulometria per formare coperture di spessore diverso. In particolare alla base di 9 paline si sono collocati spessori di limo, sabbia e ciottoli varianti fra 1 mm e 20 cm, mentre per le altre 5 si è lasciato il ghiaccio scoperto. L'entità dell'ablazione (e cioè lo spessore di ghiaccio fuso) è stata verificata quasi quotidianamente dal 26 maggio al 10 giugno. I risultati sono sintetizzati nella Tabella I e nella fig. 2. Nella Tabella sono indicati, oltre ai numeri delle paline, gli spessori di detrito per ogni palina, l'ablazione giornaliera in centimetri e la

TABELLA I.

*Transetto di ablazione, ghiacciaio Balto, m. 5.150.*

Numero palina	Descrizione	Ablazione media giornaliera in cm	% dell'ablazione media giornaliera del ghiaccio vivo
1	ghiaccio vivo	2,50	—
2	5 cm ciottoli	1,86	67,3
3	1 mm limo	2,92	105,0
4	ghiaccio vivo	3,08	—
5	10 cm ciottoli	1,78	64,0
6	ghiaccio vivo	2,15	—
7	5 cm ciottoli	2,00	71,9
8	1 cm limo e sabbia	2,96	106,5
9	14 cm ciottoli	1,93	69,4
10	ghiaccio vivo	3,09	—
11	3 cm ciottoli	2,00	71,9
12	20 cm ciottoli	0,68	24,5
13	10 cm ciottoli	2,12	76,2
14	ghiaccio vivo	3,06	—

Media giornaliera per le cinque paline su ghiaccio vivo: cm 2,78.

I dati si riferiscono al periodo 26 maggio–10 giugno 1985.

percentuale rispetto all'ablazione media giornaliera su ghiaccio vivo. Come appare dalla Tabella, la media giornaliera globale di ghiaccio fuso è di poco superiore a 2 cm di spessore con scarti però notevoli fra paline protette con vari spessori di detrito e paline su ghiaccio vivo. Si passa infatti da un minimo di 0,68 cm con uno spessore di 20 cm di detrito a un massimo di 2,96 cm con 1 cm di limo e sabbia. Le paline su ghiaccio vivo si collocano all'interno di questo intervallo con una media di 2,78 cm per cinque paline (massimo di 3,09 cm e minimo di 2,15 cm con uno scarto quadratico medio di 0,38 mentre per tutte le paline lo scarto è di 0,66). Dalle percentuali riportate nella Tabella si evidenzia chiaramente la funzione protettrice della copertura detritica; si può constatare infatti che la percentuale di ablazione tende a diminuire con l'aumento dello spessore di detriti. Con 5 cm di ciottoli si ha infatti una fusione

variante fra il 67,3% e il 71,9% di quella che avviene sul ghiaccio vivo; con 10 cm di copertura la percentuale varia fra il 64% e il 76,2%, mentre con 14 cm si scende al 69,4% e con 20 cm addirittura al 24,5%. In questa correlazione inversa fra spessore del detrito e spessore di ghiaccio fuso appaiono due eccezioni. La palina n. 3 e la n. 8 fanno registrare un fenomeno inverso: la copertura detritica provoca un incremento dell'ablazione rispetto a quella che avviene sul ghiaccio pulito. Con un sottilissimo strato di limo si ha infatti una percentuale del 105%, mentre con 1 cm di limo e sabbia si sale al 106,5%. Si è quindi dimostrato che al di sopra di una determinata soglia che dovrebbe aggirarsi attorno a 1-2 cm di spessore detritico, l'ablazione viene rallentata con modalità che dipendono dallo spessore stesso, mentre al disotto l'ablazione viene incrementata. Questo fenomeno è ben visibile anche nel grafico della fig. 2, che porta in ascissa il tempo (dal 26 maggio al 10 giugno) e in ordinata l'entità dell'ablazione giornaliera cumulata. Nel caso di più paline che presentavano le stesse caratteristiche di protezione si sono utilizzati i valori medi. Per le cinque paline su ghiaccio pulito si è verificata un'ablazione media globale di circa 44 cm in 16 giorni con un valore medio giornaliero di 2,78 cm di ghiaccio fuso. Come appare dal grafico, la retta che riguarda la palina con una copertura di 1 mm di limo si intreccia con quella delle paline su ghiaccio pulito senza particolari scarti, facendo però registrare nel complesso un lieve incremento dello spessore medio di fusione (2,92 cm giornalieri). Si stacca invece nettamente la retta che indica una protezione di 1 cm di sabbia e limo (in totale più di 47 cm di ablazione). Tutte le altre rette sono situate al di sotto di quella riguardante le paline su ghiaccio vivo e indicano quindi una diminuzione dello spessore di ablazione, che nel complesso resta inferiore a 35 cm nell'arco di tempo considerato, con medie giornaliere che si aggirano attorno a poco meno di 2 cm, senza massicce variazioni in rapporto allo spessore del detrito. Un salto notevole si registra invece con una copertura di 20 cm con la quale si ha un'ablazione giornaliera di meno di 1 cm. È anche interessante osservare che in determinate condizioni meteorologiche l'ablazione cessa completamente se vi è una sufficiente copertura detritica. Come appare a proposito del 31 maggio, caratterizzato da cielo completamente coperto e da precipitazioni nevose, per la maggior parte delle paline venne registrata un'ablazione praticamente nulla, mentre sul ghiaccio vivo oppure ricoperto da limo il fenomeno è continuato, seppure con ritmi ridottissimi.

#### PRINCIPALI FORME DERIVANTI DALL'ABLAZIONE DIFFERENZIALE

Uno studio completo dell'ablazione e delle sue differenziazioni in rapporto allo spessore detritico, avrebbe naturalmente richiesto la sistemazione di numerosi transetti di paline a quote diverse lungo il Ghiacciaio Baltoro. In tal caso si sarebbe potuto anche verificare il gradiente cui è sottoposta l'ablazione. Ritengo tuttavia che anche l'unico transetto di quota 5.150 abbia potuto fornire interessanti indicazioni sulla morfogenesi delle principali forme epiglaciali,

in particolare le *tavole del ghiacciaio*, i cordoni morenici mediani, le guglie di ghiaccio (« *vele latine* » del Baltoro). Dai dati sopra riportati appare chiaro che l'ablazione differenziale è il processo base per la differenziazione morfologica della superficie del ghiacciaio. Se, tenendo conto dei valori trovati per l'alto Baltoro, ipotizziamo che verso i 5.000 m il ghiaccio pulito subisce un'ablazione di circa 3 cm al giorno e che il ghiaccio protetto da un ciottolo dello spessore di 5-10 cm ha un'ablazione di circa 2 cm, ne deriva che il ciottolo resta sopraelevato di 1 cm al giorno rispetto alla superficie del ghiacciaio. È del resto un fenomeno ben noto nei campi base delle varie spedizioni, dove, dopo qualche settimana, le tende rimangono elevate rispetto al ghiaccio circostante.

È chiaro comunque che a quote inferiori i valori saranno diversi in confronto a quelli indicati più sopra e provocheranno un'accelerazione del fenomeno. Sulla superficie del Baltoro ciò è particolarmente evidente a monte di Urdukas (4.100 m), dove la copertura detritica comincia a divenire meno continua. Lungo il mio itinerario, effettuato in salita verso la metà di maggio e in discesa nella prima settimana di giugno, ho potuto constatare che quasi ogni ciottolo da' origine a una *tavola del ghiacciaio* dalle dimensioni più svariate. Rispetto alle Alpi la trasformazione delle *tavole* è però molto più rapida; l'assottigliamento del gambo di ghiaccio e lo scivolamento del blocco protettore avvengono infatti in tempi più brevi (siamo a una latitudine di poco superiore ai 35° N) e lasciano dei pinnacoli di ghiaccio che divengono sempre più sottili. La presenza di queste gugliette di ghiaccio, la cui altezza raramente supera il metro, costituisce una delle caratteristiche più appariscenti della morfologia superficiale del Baltoro in questo tratto. Sono gruppi di pinnacoli che si alternano a *tavole del ghiacciaio* (Tav. I, *b*) e che ricordano, pur con dimensioni minori, i *penitentes* delle montagne tropicali andine. La rapidità della loro evoluzione è testimoniata anche dalle numerose gugliette bifide. Si tratta di due steli di ghiaccio molto ravvicinati, che rappresentano i resti di due *tavole del ghiacciaio* formatesi in tempi successivi con la protezione dello stesso masso. A causa dell'ablazione differenziale si ha infatti la formazione di una *tavola* costituita da gambo di ghiaccio e da masso protettore; successivamente si ha l'assottigliamento del gambo e lo scivolamento del masso, il quale protegge una seconda volta il ghiaccio con la formazione di una nuova *tavola*. Il fenomeno dello scivolamento si ripete, cosicché si scorgono numerose guglie di ghiaccio bifide con un masso alla loro base.

Anche le caratteristiche morene mediane del Baltoro sono strettamente legate all'ablazione differenziale. Appaiono come cordoni detritici con un nucleo di ghiaccio (Tav. II, *a*) che dai bacini superiori si allungano per il ghiacciaio ben evidenti fino a Gore (4.450 m), in rilievo anche accentuato (20-50 m) rispetto al livello del ghiacciaio stesso. Il processo morfogenetico da cui derivano questi cordoni morenici è simile a quello delle *tavole del ghiacciaio*. I detriti sopragliaciali a causa del movimento delle varie colate di ghiaccio assumono una struttura a setto longitudinale, che si allunga per decine di chilometri; a causa dell'ablazione differenziale la cresta morenica rimane elevata rispetto al livello del ghiacciaio.

Più complessa appare la genesi delle guglie di ghiaccio, dette anche *vele*; anche i rapporti di queste forme con l'ablazione differenziale sono stati poco studiati (Roch, 1954; Zanon, 1977). Si tratta di forme talora gigantesche non esistenti sui ghiacciai delle Alpi, costituite da guglie e pinnacoli di ghiaccio vivo, che si innalzano sulla superficie del ghiacciaio per decine di metri (anche 30-40) (Tav. II, b).

Sul Baltoro le più grandiose sono visibili a monte di Gore, al di sopra di 4.450 m, dove si allineano in lunga schiera sul versante idrografico sinistro. Più numerose, anche se di minori dimensioni (non superano i 10 m di altezza), si rinvengono sulle due colate confluenti del Godwin Austen e dell'alto Baltoro. La loro distribuzione in lunghe file longitudinali e la localizzazione di quelle poste alle quote più elevate alla base delle seraccate, fanno pensare che le guglie derivino dal crollo di seracchi. Su queste strutture caotiche, dove si alternano ghiaccio, neve e materiali detritici fini, l'ablazione agisce in modo differenziale. Le depressioni fra i blocchi si approfondiscono, mentre la parte superiore assume una forma affilata, favorita dalla sublimazione del ghiaccio.

Come appare da queste brevi note, molti sono ancora i problemi da approfondire per quanto riguarda le forme della morfologia superficiale del Baltoro e i loro legami con l'ablazione differenziale.

#### *Ringraziamenti.*

L'Autore ringrazia il prof. Ardito Desio per la costante assistenza nelle varie fasi del lavoro e per la lettura critica del testo.

Si ringraziano inoltre gli alpinisti di « Quota 8.000 » che hanno contribuito alla ricerca, in particolare Pierangelo Zanga, che ha provveduto alla collocazione delle paline al campo base, dott. Giovanna Gaffuri e Angelo Todisco che hanno collaborato alla raccolta dei dati.

#### BIBLIOGRAFIA

- DESIO A. (1977) - *The work of the Italians in the scientific exploration of the Karakorum (Central Asia)*. « Accad. Naz. Lincei », Quaderno n. 231, pp. 1-22, Roma.
- DESIO A. e SAVOIA AOSTA A. (1936) - *La Spedizione Geografica Italiana nel Karakorum (1929)*. *Storia del viaggio e risultati geografici*, 568 pp., Arti Grafiche Bertarelli, Milano-Roma.
- DESIO A. e ZANETTIN B. (1970) - *Geology of the Baltoro Basin. Italian Expedition to the Karakorum and Hindu Kush*, « Scientific Reports ». III, 2, 308 pp., Brill, Leiden.
- EYLES N. e ROGERSON R.J. (1978) - *A framework for the investigation of medial moraine formation: Austedalsbreen, Norway, and Berendon Glacier, British Columbia, Canada*. « Journ. of Glaciology », 20 (82), 99-113, Cambridge.
- LOOMIS S.R. (1970) - *Morphology and structure of an ice-cored medial moraine, Kaskawulsh Glacier, Yukon*. Arctic Institute of North America. Research Paper n. 57, 1-65.
- ØSTREM G. (1959) - *Ice melting under a thin layer of moraine, and the existence of ice cores in moraine ridges*. « Geografiska Annaler », 41 (4), 228-230.



a) Perforazione del ghiaccio mediante trivella a mano nei pressi del campo base per l'inserimento delle paline. Sullo sfondo è visibile la Sella Conway, m 5.973 (foto G.C. Corbellini - Quota 8.000).



b) Aspetto della superficie del Ghiacciaio Baltoro a circa 4.100 m di quota. Si osservino le *tavole del ghiacciaio* e i numerosissimi minuscoli pinnacoli (foto C. Smiraglia - Quota 8.000).



a) Morena mediana nei pressi del campo base alla confluenza del Ghiacciaio Meridionale del Gasherbrum e del Ghiacciaio Abruzzi (foto C. Smiraglia - Quota 8.000).



b) Grandi guglie di ghiaccio (*vele latine*) sul Ghiacciaio Baltoro a circa 4.400 m di quota. Si confrontino le dimensioni della *vela* con quelle dei portatori (foto C. Smiraglia - Quota 8.000).

- ROCH A. (1954) – *The glaciers, snow and avalanches of Mount Everest*. « Journ. of Glaciology », 16, 428-430, Cambridge.
- SMALL R.J. e CLARK M.J. (1974) – *The medial moraine of the lower Glacier de Tsidjiore Nouve, Valais, Switzerland*. « Journ. of Glaciology », 13 (68), 255-263, Cambridge.
- SMALL R.J. e CLARK M.J. (1976) – *Morphology and development of medial moraines*. « Journ. of Glaciology », 17 (75), 162-164, Cambridge.
- SMALL R.J., CLARK M.J. e CAWSE T.J.P. (1979) – *The formation of medial moraines on alpine glaciers*. « Journ. of Glaciology », 22, (86), 43-52.
- SMIRAGLIA C. (1984) – *Le tavole di ghiacciaio della Vedretta dei Forni (Gruppo Ortles-Cevedale). Osservazioni morfologiche*. « Natura », 75, (1-4), 91-100, « Soc. Ital. Sci. Nat. », Milano.
- SMIRAGLIA C. (in corso di stampa) – *Morphology and origin of the medial moraines of the Ghiacciaio dei Forni (Alta Valtellina, Italy)*.
- ZANON G. (1977) – *Glaciologia*. In: « Lhotse '75. Spedizione alpinistico-scientifica del C.A.I. all'Himalaya del Nepal. Le osservazioni scientifiche. A cura di G. Nange-roni », 113-125.