

MARTA CHIARLE (\*) & GIOVANNI MORTARA (\*)

## ESEMPI DI RIMODELLAMENTO DI APPARATI MORENICI NELL'ARCO ALPINO ITALIANO

**ABSTRACT:** CHIARLE M. & MORTARA G., *Exemples of paraglacial adjustment of moraines in the Italian Alps*. (IT ISSN 0391-9838, 2001).

Recent rainstorms did involve moraines, mostly of the Little Ice Age, inducing modifications sometimes sensible of their shape. These events gave to the authors a chance to investigate the most important natural processes concurring to remodel moraines after their deposition. The study, extended to the whole Italian Alpine arc, has been conducted through analysis of aerial-photos taken in different years, literature examination and direct observations. Water played a decisive role in initiating high-magnitude debris flows (tens or hundreds of thousands of cubic meters) encompassing glacial sediments, on the occasion of severe rainfall events or sudden emptying of englacial or proglacial lakes. One of the most striking effects is moraine downcutting up to tens of meters in the course of a single event. Landslides proved to be further causes of moraines reshaping: they can properly start in the glacial sediments (sometimes resulting in important dislocation of portions of the moraine as unified blocks) or overlap them, obliterating the moraine. Very frequently the internal side of the most recent moraines appears to be gullied, as a consequence of rill erosion, which can proceed up until completely dismantle the glacial deposit. Much more rare, but significant also for the paleoclimatic implications, are cases of rock glaciers overflowing moraine crests laying crossways. Exogenous processes, although being far the most active, are not the only agents of moraines remodeling: tectonics and human interventions can cause sporadic but sometimes heavy changes of moraine shape.

The examined case histories point out that the original structure of a moraine can be modified by processes developing at very diversified rates: they can proceed for hundreds of years but, more frequently, they can be almost instantaneous. The large number of examined case histories can also provide a new key to the genetic interpretation of similar morphologic features which have been produced by unknown processes.

**KEY WORDS:** Moraine, Paraglacial adjustment, Glacial hazards, Italian Alps.

(\*) CNR - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica nel Bacino Padano, strada delle Cacce 73, Torino; Comitato Glaciologico Italiano, Torino (g.mortara@irpi.to.cnr.it).

Gli autori si sono avvalsi dei servizi tecnici del CNR-Irpi, nelle persone di E. Beretta (aerofototeca), P.G. Trebò (riproduzioni fotografiche), E. Viola (grafica).

**RIASSUNTO:** CHIARLE M. & MORTARA G., *Esempi di rimodellamento di apparati morenici nell'arco alpino italiano*. (IT ISSN 0391-9838, 2001).

Recenti eventi alluvionali che hanno coinvolto apparati morenici, in prevalenza della Piccola Età Glaciale, hanno fornito lo spunto per analizzare i principali processi naturali che concorrono al rimodellamento delle morene. L'indagine, estesa all'intero arco alpino italiano, è stata condotta attraverso analisi fotointerpretativa multitemporale, esame della letteratura ed osservazione diretta. Il ruolo dell'acqua è apparso decisivo per l'attivazione di processi di mobilitazione in massa di elevata magnitudo a spese dei sedimenti glaciali, in occasione di eventi pluviometrici intensi o di svuotamenti improvvisi di bacini lacustri glaciali. Effetto tra i più appariscenti è la sovraincisione del corpo morenico per profondità anche di decine di metri nel corso di un singolo evento. Altre cause di rimodellamento sono risultate le frane, che possono impostarsi nei sedimenti glaciali stessi oppure sovrapporsi ad essi con conseguente obliterazione dell'edificio morenico. Molto diffuso è l'aspetto calanchiforme del fianco interno delle morene, conferito da processi erosivi diffusi tipo *rill erosion*. Assai più rari, ma significativi anche per le implicazioni paleoclimatiche, sono i casi di interferenza di *rock glaciers* con gli argini morenici. Pur nell'episodicità della loro manifestazione, anche l'attività tettonica e l'intervento antropico hanno dimostrato un ruolo morfogenetico non trascurabile, se pure subordinato a quello degli agenti esogeni. Da quanto emerso nell'indagine, l'assetto originario di una morena può essere dunque modificato da eventi che procedono con tempi di sviluppo molto diversificati, di durata anche plurisecolare, ma, più frequentemente, di durata pressoché istantanea. L'ampia casistica esaminata può fornire una chiave per l'interpretazione genetica di situazioni morfologiche per le quali non si conoscono i processi che le hanno generate.

**TERMINI CHIAVE:** Morena, Rimodellamento, Rischi glaciali, Alpi Italiane.

### INTRODUZIONE

Recenti eventi alluvionali avvenuti in ambiente alpino hanno indotto sensibili cambiamenti di forma in apparati morenici della Piccola Età Glaciale (PEG). Esempio noto è il grandioso solco, lungo circa 450 m, largo 200 m e profondo fino a 50 m, che si aprì nella morena del Ghiacciaio del Mulinet (Alpi Graie) nel corso del severo episodio pluviometrico del 24 Settembre 1993 (fig. 1). Nell'occasione anche un piccolo arco morenico legato alla pulsa-



FIG. 1 - Incisione di neoformazione nell'apparato morenico latero-frontale del Ghiacciaio del Mulinet (Val di Lanzo, evento alluvionale del 24 Settembre 1993).

FIG. 1 - The Mulinet Glacier, Lanzo Valley, Piemonte, Italy. Strong downcutting on the latero-frontal moraine occurred during a rainstorm on 24 September 1993.

zione degli anni 1920-21 venne completamente demolito (Mortara & alii, 1995).

Questo evento ed altri richiamati nel testo hanno fornito lo spunto per individuare i principali processi morfogenetici che concorrono al rimodellamento delle morene e per descriverne le tappe evolutive allo scopo di pervenire ad una valutazione sia dei tempi necessari ad indurre modificazioni significative, sia dell'incidenza che queste possono rappresentare per il tessuto antropico.

L'indagine ha riguardato tutto l'arco alpino italiano con occasionali sconfinamenti nei settori francese, svizzero ed austriaco, ed è stata condotta attraverso analisi fotointerpretativa multitemporale, esame della letteratura ed osservazione diretta. L'esame ha privilegiato le cerchi moreniche PEG, caratteristiche per l'imponenza delle forme, la spiccata asimmetria dei fianchi ed il generale ottimo stato di conservazione, senza tuttavia trascurare le morene di più antico impianto (Tardiglaciale), meno appariscenti e più frammentate.

## TIPOLOGIA DEI FENOMENI

L'originaria configurazione di una morena viene modificata prevalentemente dai processi modellatori connessi all'acqua e alla gravità che possono agire direttamente sul corpo della morena, oppure, prendere avvio dai versanti adiacenti e svilupparsi, in opportune circostanze, sino ad interferire con la morena stessa. Lo studio ha messo in luce un'ampia variabilità di situazioni che sono state raggruppate in categorie in base al processo morfogenetico prevalente, qui di seguito illustrate.

## AZIONE DELL'ACQUA

La fortissima riduzione areale e volumetrica dei ghiacciai in atto dalla fine della PEG ha liberato ampie superfici antistanti le fronti e messo progressivamente a giorno il fianco interno degli apparati morenici. Da questa nuova configurazione morfologica è derivata un'abbondante disponibilità di depositi glaciali sciolti esposti all'aggressione di acque incanalate e ruscellanti in occasione di forti piogge o di rotte glaciali. In tali frangenti possono realizzarsi modificazioni sensibili delle morene, come avvenne diffusamente, ad esempio, nell'estate 1987 e in anni più recenti (1990, 1993, 1994, 1996) in diversi settori delle Alpi italiane e svizzere per effetto di:

- erosione al piede, sia sul lato interno che esterno della morena; può risultare molto ampia e profonda, sino ad intercettare la cresta sommitale (fig. 2)<sup>1</sup>;

- erosione lineare, per forte concentrazione del flusso superficiale lungo il ripido fianco interno della morena che assume via via l'aspetto calanchiforme a «canne d'organo» (fig. 3), mentre la cresta della morena si frastaglia minutamente perdendo il caratteristico, regolare profilo a lama di coltello. Il procedere del processo erosivo porterà al progressivo arretramento del filo di cresta (con necessità, quindi, di un continuo adeguamento del tracciato dei sentieri sommitali) e alla riduzione della pendenza del fianco interno della morena<sup>2</sup>.

Anche sul lato esterno delle morene il ruscellamento concentrato può dare origine a canali di neoformazione o approfondire solchi preesistenti e, conseguentemente, favorire l'innescio di fenomeni impulsivi di trasporto in massa. Diffuse evidenze di forme di erosione e di sedimentazione prodotte in tempi molto brevi si possono ancora cogliere, ad esempio, in apparati morenici e aree proglaciali della Val Formazza, della Valtellina, della Val Venosta e delle valli svizzere colpite dai nubifragi del Luglio e dell'Agosto 1987 (Smiraglia, 1988; Zimmermann 1990; Mortara & alii, 1995).

- sovraincisione di morene frontali; rappresenta il caso estremo dell'intensità di un processo erosivo lineare. La forma che ne consegue è generalmente uno squarcio a «V» nel corpo della morena di dimensioni grandiose: nei casi noti, all'azione pressoché istantanea di approfondimento, fece seguito l'innescio di colossali, devastanti colate detritiche torrentizie dell'ordine anche di centinaia di migliaia di metri cubi. Non sempre la causa può essere imputata solo all'intensità della pioggia: condizionamenti

<sup>1</sup> Le aerofotografie riprodotte in questo lavoro non necessariamente sono state orientate verso Nord: in molti casi è stata privilegiata l'orientazione che, per il gioco delle ombre, consentisse la migliore comprensione del soggetto.

<sup>2</sup> In uno studio condotto in Norvegia, Curry (1999) ha riscontrato come i processi erosivi che si instaurano sul mantello morenico che riveste i versanti (*valley-side drift slopes*) portino ad una riduzione della pendenza della scarpata morenica, che tende a convergere verso valori di  $29^\circ \pm 4^\circ$ . In alcuni casi i sistemi «calanchivi» studiati hanno raggiunto una condizione di stabilità nell'arco di alcuni decenni soltanto, con un tasso di abbassamento della superficie pari a circa 90 mm/a.



FIG. 2 - Profonda erosione al piede del fianco interno della morena laterale destra del Ghiacciaio della Presanella (Val di Sole) causata da una piena del torrente glaciale nell'Agosto 1987. (Aerofotografia del 1991, Conc. Aeron. Mil. - R.G.S. n. 385 del 22 Novembre 1999).

FIG. 2 - The Presanella Glacier (Val di Sole, Trentino-Alto Adige, Italy). Deep erosion at the base of the inside wall of the right lateral moraine caused by a flood of the glacial torrent in August 1987 (aerial photo, 1991).

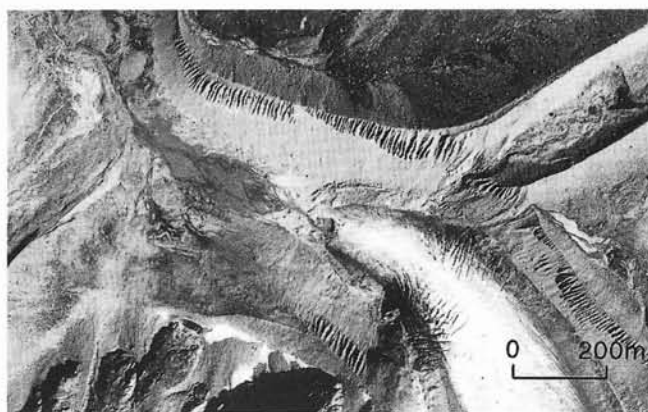


FIG. 3 - Fitte incisioni a «canne d'organo» sul fianco interno delle morene laterali alla confluenza dei ghiacciai di Valsorey e di Sonadon (Mont Velan, Vallese). (Aerofotografia del 1991).

Fig.3 - Closely spaced gully erosions on the glacier-facing walls of the lateral moraines at the merging of the Valsorey and Sonadon Glaciers (Mont Velan, Valais, Switzerland; aerial photo, 1991).

topografici locali o circostanze contingenti (anomali contributi di acqua di fusione nivale e/o di ghiaccio, saturazione dei depositi glaciali, sovrappressione idrostatica) possono svolgere un ruolo predisponente e/o determinante anche in presenza di piogge modeste.

Al recente caso della sovraincisione della morena del Ghiacciaio del Mulinet, segnalato nel capitolo introduttivo (fig. 1), se ne affiancano altri non meno spettacolari, noti in letteratura o direttamente osservati dagli autori di questo lavoro e qui di seguito tratteggiati:

*Morena del Ghiacciaio del Sissone* (Valmalenco, Sondrio, 15.09.1950) - In circa due ore si aprì un solco lungo circa 600 m, largo fino a 200 m e profondo 60 m nella morena latero-frontale; una enorme colata detritica ( $>1 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) impegnò l'alveo del T. Sissone per una lunghezza di oltre 10 km (Mortara & alii, 1995).

*Morena del Ghiacciaio del Dolent* (Val Ferret svizzera, 10.07.1990) - La progressiva saturazione dei depositi glaciali sino al contatto con il substrato roccioso innescò un processo di *solifluxion regressive* (Rouiller, 1997); nel volgere di una decina di ore, una profonda voragine si incise nella morena frontale (fig. 4). Circa 30 000  $\text{m}^3$  di detriti vennero convogliati sul fondovalle sino ad investire un campeggio mobile ed alcune abitazioni.

*Morena del Ghiacciaio di Bodmer* (Sempione, Svizzera, 29.09.1994) - Forti piogge provocarono l'incisione della morena per profondità variabili tra 10 m e 20 m (Anonimo, 1998) e la conseguente mobilitazione in massa di circa 100 000  $\text{m}^3$  di detriti (Rouiller, 1994), con gravi danni a infrastrutture e minaccia al centro abitato di Gabi.

*Morena del Ghiacciaio di Ormelune* (Valgrisanche, Aosta, 24.07.1996) - Nel corso di un forte nubifragio il torrente glaciale approfondì di 20-30 m il proprio alveo lungo il ripido cono fluvioglaciale antistante la fronte del ghiacciaio; dalla voragine prese origine un'imponente colata detritica (circa 300 000  $\text{m}^3$  secondo i rilievi di F. Godone, CNR-Irpi) che invase la piana alluvionale del T. Grand'Alpe (fig. 5).

Forme di erosione non dissimili possono essere generate anche da rilasci improvvisi di ingenti masse d'acqua da un lago proglaciale (rotte glaciali). L'incisione si crea quasi sempre in posizione frontale dell'arco morenico che racchiude lo specchio lacustre e può realizzarsi nel volgere di poche ore, anche senza preavviso. La grande quantità di acqua in gioco (fino a milioni di  $\text{m}^3$ ) scatena solitamente impetuose piene torrentizie con elevatissimo carico solido che possono trasferirsi per distanze chilometriche con conseguenze spesso devastanti.

Le rotte glaciali per sfondamento dell'argine morenico sono un fenomeno temibile, frequente nell'ambiente alpino extraeuropeo (fig. 6) e più raro nelle Alpi. Il caso italiano più noto riguarda il lago proglaciale delle Locce sul versante nord-orientale del Monte Rosa. Gli effetti di morfogenesi erosiva in conseguenza di tre ravvicinati episodi di svuotamento (1970, 1978, 1979) non si manifestarono sulla morena frontale del ghiacciaio omonimo, come



FIG. 4 - Vista prospettica della profonda incisione apertasi il 10 Luglio 1990 nella morena del Ghiacciaio del Dolent (Vallese; foto Rouiller, 1997).

FIG. 4 - Perspective view of the deep incision formed on 10<sup>th</sup> July, 1990 in the Dolent Glacier moraine (Valais, Switzerland; photo by Rouiller, 1997).

ci si sarebbe atteso, bensì sulla morena laterale destra del contiguo Ghiacciaio del Belvedere (fig. 7): un preesistente intaglio subì un sensibile ampliamento e approfondimento a seguito del passaggio delle acque fuoruscite, un chilometro più a monte, dal Lago delle Locce (Dutto & Mortara, 1992; Tropeano & alii, 1999).

Allo svuotamento improvviso di una sacca d'acqua interna al Ghiacciaio della Brenva, avvenuto nel Luglio 1928, si deve il «largo squarcio triangolare, anzi un vero semicono triangolare» (Sestini, 1930) che interrompe tuttora la regolare geometria della morena laterale destra. Anche le vistose sbrecciature nelle morene frontali dei ghiacciai Occidentale del Breuil (fig. 8), Occidentale di Levadé (Adamello), Occidentale del Pasquale (Cevedale), sono da porre presumibilmente in relazione a rotte glaciali.

Per quanto le dimensioni dei fenomeni sopra descritti possano apparire straordinarie, senza paragoni rimane il caso, poco noto, del Rio Casare (bacino del T. Avisio, Trentino). Nel corso del catastrofico evento alluvionale del Settembre 1882 il torrente abbandonò l'alveo originario e si aprì un canale di neoformazione, incidendo fino a 80 m di profondità un potente terrazzo morenico di età pleistocenica: circa 5 milioni di m<sup>3</sup> di sedimenti vennero erosi. Tre anni più tardi, ancora a seguito di un nubifragio, il Rio Casare si approfondì di altri 20 m (Gorfer, 1991; Maraga & Mortara, 1996). Questa grandiosa incisione, a differenza degli altri casi segnalati, non è strettamente collegata a depositi glaciali recenti o tardiglaciali, tuttavia un richiamo in questa sede è parso opportuno quale esempio indicativo dell'imprevedibile intensità che può assumere un processo erosivo.

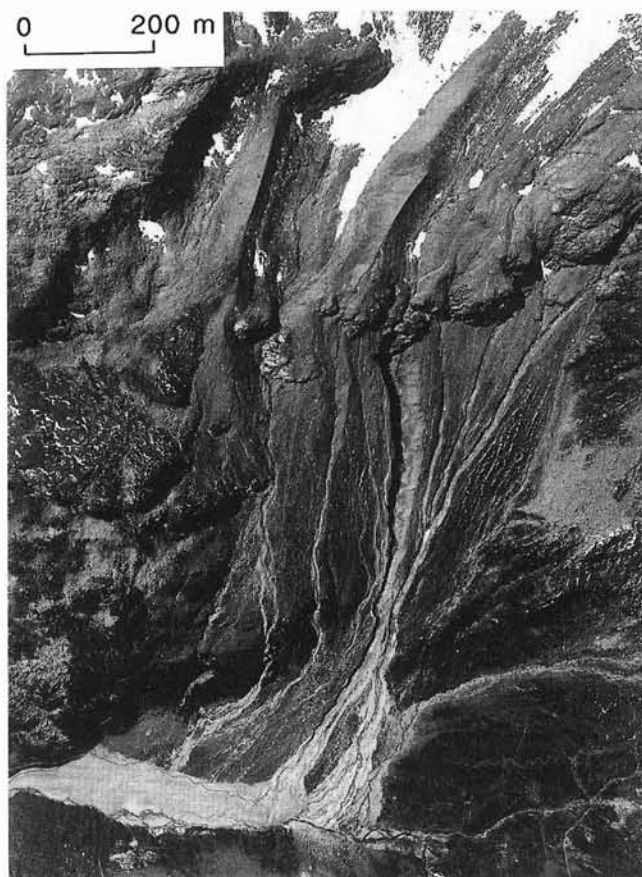


FIG. 5 - Il nubifragio del 24 Luglio 1996 innescò effetti erosivi parossistici sul cono fluvio-glaciale antistante la fronte del Ghiacciaio di Ormelune (Valgrisanche). Si noti il diverso grado di approfondimento dei solchi torrentizi e l'esteso alluvionamento del settore distale del cono e del fondo valle. (Aerofotografia del 1997, Conc. Aeron. Mil. - R.G.S. n. 385 del 22 Novembre 1999).

FIG. 5 - Heavy rainfalls on 24<sup>th</sup> July, 1996 started a paroxysmic erosion activity on the fluvio-glacial fan at the foot of the Ormelune Glacier (Valgrisanche, Valle d'Aosta, Italy). Note the different degree of channels downcutting and the extensive flooding of distal fan portion and valley bottom (aerial photo, 1991).

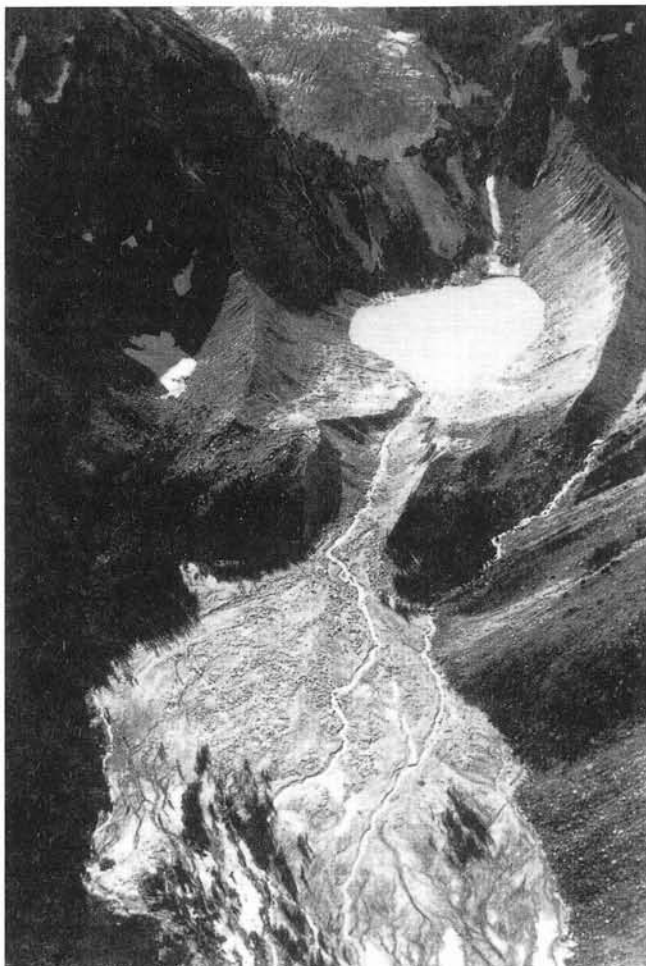


FIG. 6 - Questa immagine, relativa alla rotta del Nostetuko Lake (British Columbia, 1983), documenta la straordinaria intensità dell'azione geomorfologica di uno dei più temibili fenomeni d'instabilità in ambiente glaciale. Nell'occasione  $1,5 \times 10^6$  m<sup>3</sup> di materiale furono asportati dalla morena frontale del Cumberland Glacier (da Evans & Clague, 1994).

FIG. 6 - Nostetuko Lake outburst (British Columbia, 1983). The image attests the extraordinary intensity of the geomorphologic impact of one of the most dangerous instability phenomena in glacial environment. On that occasion,  $1,5 \times 10^6$  m<sup>3</sup> of debris have been carried away from the Cumberland Glacier terminal moraine (from Evans & Clague, 1994).

#### AZIONE DELLA GRAVITÀ

Le frane possono modificare sensibilmente la forma originaria di una morena. La gravità agisce con maggior intensità sul lato interno della morena (*dry wall moraine*), sul quale il processo morfogenetico prende avvio solo quando venga a mancare il sostegno del ghiacciaio. Questo lato della morena può essere sede di crolli delle porzioni più cementate, per altro di modesta entità, e di scioglimenti rotazionali, più frequenti e di maggiori dimensioni. Il lato esterno è invece più esposto a colamenti con forme di transizione a rock glaciers (fig. 9), forme che presuppongono la presenza di ghiaccio all'interno del



FIG. 7 - Morena laterale destra del Ghiacciaio del Belvedere (Macugnaga, Monte Rosa). La sequenza di fotografie consente di apprezzare l'approfondimento dell'insellatura nella morena (a) provocato dalle rotte glaciali del Lago delle Locce nel 1970, 1978 (b) e 1979 (c). Foto C. Somigliana, 1916 (a); L. Tettamanti (b, c).

FIG. 7 - Right lateral moraine of the Belvedere Glacier (Macugnaga, Monte Rosa, Piemonte, Italy). The photographic sequence allows to appreciate moraine incision (a) deepening caused by the Locce Lake glacial outbursts in 1970, 1978 (b) and 1979 (c). Photos by C. Somigliana, 1916 (a); L. Tettamanti (b, c).

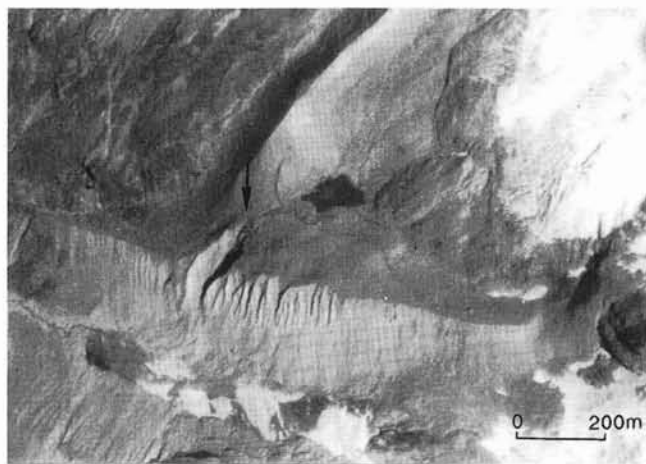


FIG. 8 - Intaglio nella morena frontale del Ghiacciaio del Breuil (Valsavaranche), presumibilmente dovuto ad una rotta glaciale posteriore alla massima avanzata del 1820. (Aerofotografia del 1983, Conc. Aeron. Mil. - R.G.S. n. 385 del 22 Novembre 1999).

FIG. 8 - Incision in the terminal moraine of the Breuil Glacier (Valsavaranche, Valle d'Aosta, Italy), likely due to a glacial outburst following the maximum advance in 1820 (aerial photo, 1983).

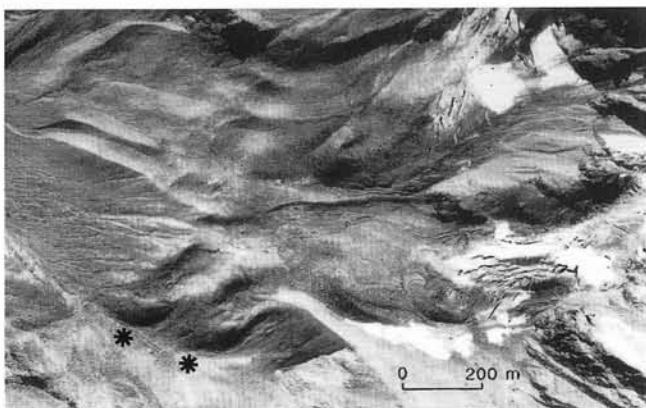


FIG. 9 - Sviluppo di rock glaciers (\*) sul fianco esterno della morena laterale sinistra del Ghiacciaio Occidentale di Lazzana (Val Senales). (Aerofotografia del 1986, Conc. Aeron. Mil. - R.G.S. n. 385 del 22 Novembre 1999).

FIG. 9 - Rock glaciers (\*) developing from the external wall of the left lateral moraine of the Western Lazzana Glacier (Val Senales, Trentino-Alto Adige, Italy; aerial photo, 1986).

corpo morenico (Vere & Matthews, 1985). La fusione progressiva di lenti di ghiaccio può portare anche ad un apparente raddoppio della cresta morenica (fig. 10), a simulazione degli ordini multipli di morene s.s., che sono invece geneticamente legati ad avanzate glaciali di intensità decrescente.

Meritevoli di segnalazione sono i distacchi in blocco di due cospicue porzioni della grande morena laterale destra del Ghiacciaio del Belvedere (Valle Anzasca, gruppo del Monte Rosa). La sorprendente unitarietà dei tronconi di morena presuppone che i sedimenti glaciali fossero notevolmente cementati (*ice-cemented moraine*).

Presso l'Alpe Pedriola il regolare profilo sommitale della morena presenta un'accentuata risega cui corrisponde, sul fianco interno, una ripida scarpata fortemente erosa, non inerbata. A questo iato nella morena, lungo circa 200 m, si adatta perfettamente un troncone rettilineo che una aerofotografia del 1951 mostra appoggiato al ghiacciaio, all'epoca in forte contrazione volumetrica e pertanto discosto dall'argine morenico. È interessante rilevare come questo troncone si sia staccato dal corpo della morena con un movimento a compasso, facendo perno sull'estremità di monte. L'accumulo si conservò integro almeno fino al 1954, periodo di scarsa attività dinamica del ghiacciaio; la decisa avanzata di fine anni 1960, conferendo nuovo turgore e mobilità al ghiacciaio, portò al completo smembramento del troncone (fig. 11).

Poche centinaia di metri più a valle, un'ampia porzione di morena, addossata al ghiacciaio e perfettamente conservata, testimonia un altro distacco unitario, avvenuto in epoca anteriore al 1889, essendo già raffigurato in un accurato disegno d'epoca (Ratti, 1889). La zolla scivolò lungo una superficie inclinata di circa 40° con ribassamento di 10-20 m rispetto alla collocazione originaria (Haerberli, 1985). A seguito del collasso si formò una curiosa vallecchia intermorenica, lunga quasi 300 m, con versanti fortemente asimmetrici (cfr. fig. 11).

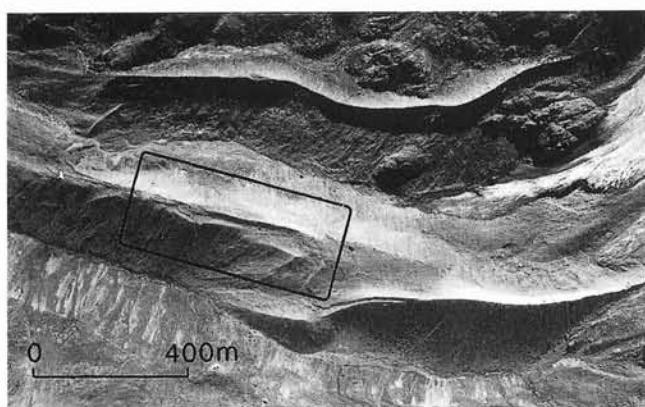


FIG. 10 - Sdoppiamento della cresta morenica per lento cedimento del fianco esterno (Ghiacciaio de La Mare, Ortles-Cevedale). (Aerofotografia del 1959, Conc. Aeron. Mil. - R.G.S. n. 385 del 22 Novembre 1999).

FIG. 10 - Moraine crest splitting due to slow failure of the external wall (La Mare Glacier, Ortles-Cevedale, Trentino-Alto Adige, Italy; aerial photo, 1959).

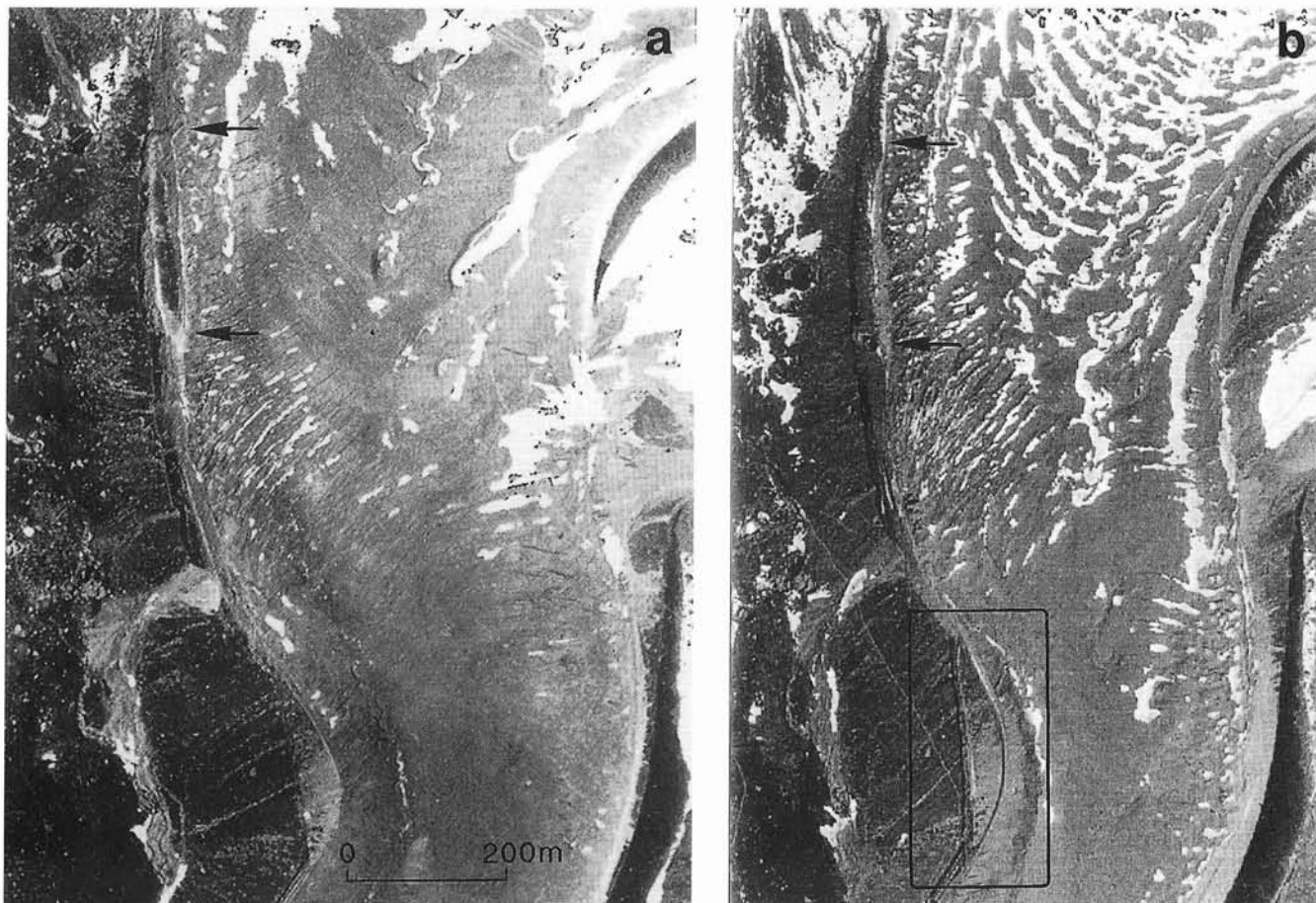


FIG. 11 - Morena laterale destra del Ghiacciaio del Belvedere (Macugnaga, Monte Rosa). Le frecce in (a) individuano una porzione di morena scivolata unitariamente sul ghiacciaio, in epoca anteriore al 1951. Il troncone, rimasto integro almeno fino al 1954, non è più visibile in una foto del 1968 (b) essendo stato, nel frattempo, smantellato dai movimenti del ghiacciaio. Tuttora perfettamente conservata è invece un'altra porzione di morena scivolata in blocco prima del 1889, ben riconoscibile in (b) per la forma arcuata e il netto, rettilineo ciglio di frana (riquadro). (Aerofotografie del 1951 e del 1968, Conc. Aeron. Mil. - R.G.S. n. 385 del 22 Novembre 1999).

FIG. 11 - Right lateral moraine of the Belvedere Glacier (Macugnaga, Monte Rosa, Piemonte, Italy). The arrows in (a) locate a moraine segment slid as a unit on the glacier, before 1951. Moraine stump remained integral at list until 1954, while it is not any more visible in an aerial photo taken in 1968 (b), having been dismantled, in the meantime, by glacier movements. Instead, still perfectly preserved is another moraine portion slid as a unified block before 1889, well recognizable (inset in b) for the arched shape and the sharp, straight failure scar (aerial photos, 1951 and 1968).

#### PROCESSI DI VERSANTE

L'obliterazione del corpo morenico può procedere, oltre che attraverso il suo smantellamento ad opera degli agenti fisici, per sovrapposizione ad esso delle forme di modellamento dei versanti sul cui piede insistono i depositi glaciali. L'elemento morfologico che per primo viene annullato è il vallo tra morena e versante, che intercetta i materiali detritici in movimento verso il fondovalle (fig. 12a). Nella grande maggioranza dei casi, a colmare il vallo sono i coni misti detritico-alluvionali che raccolgono i materiali provenienti dal disfacimento dei versanti e quelli mobilizzati dalle colate detritiche (figg. 12b, 13), con il concorso anche degli accumuli di valanga. Quando, con il

progredire della deposizione, l'unghia del conoide raggiunge la cresta del cordone morenico, al processo di accumulo si somma, nel rimodellare la morena, l'erosione. Le acque di ruscellamento incanalate, non più intercettate dal vallo, incidono l'unghia del cono e la porzione sommitale del cordone morenico per poi restituire il materiale preso in carico al piede della morena, così da ricreare un nuovo profilo di equilibrio nel raccordo versante-superficie del ghiacciaio, o versante-fondovalle alla completa scomparsa del ghiacciaio (figg. 12c, 14).

I diversi stadi evolutivi riscontrati nel corso dell'indagine fotointerpretativa testimoniano delle differenti velocità alle quali il processo descritto può svilupparsi. In funzione delle dimensioni del vallo, dell'apporto di materiale

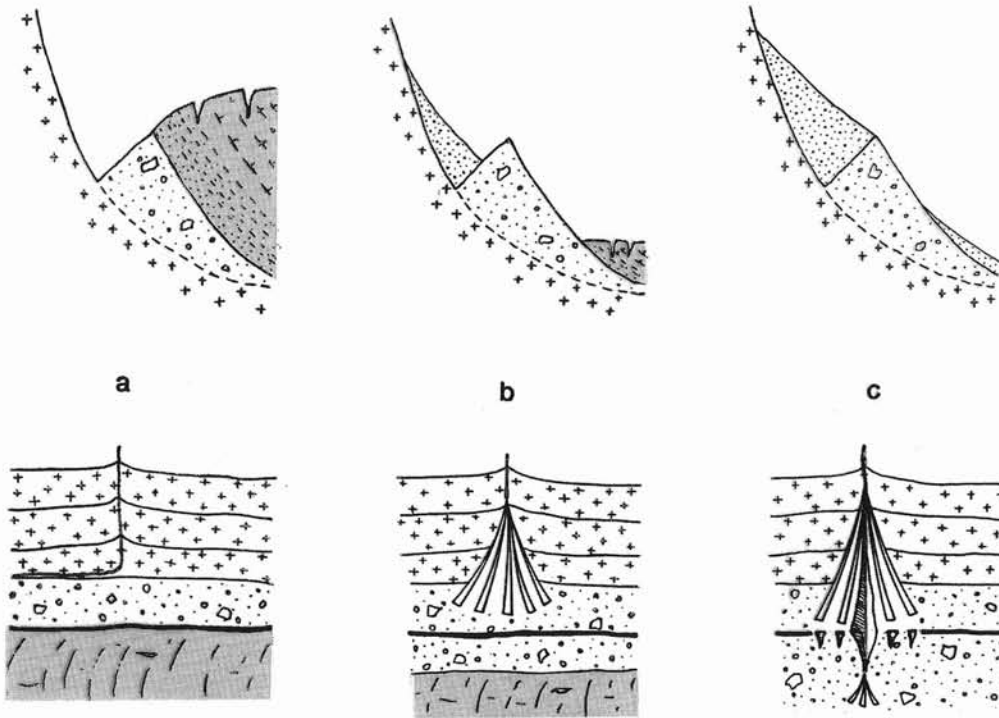


FIG. 12 - Schema evolutivo (in sezione e in pianta) delle fasi di colmamento del vallo interposto tra versante e morena laterale (in grigio il ghiacciaio).

FIG. 12 - Stages (cross-sectional and plane views) in the filling of the hollow interposed between valley wall and lateral moraine (glacier are shown in gray).



FIG. 13 - Coni detritici colmano il vallo tra versante e morena laterale sinistra del Ghiacciaio di Pré de Bar (Val Ferret, Monte Bianco).

FIG. 13 - Prè de Bar Glacier (Val Ferret, Monte Bianco, Valle d'Aosta, Italy). Talus cones fill the depression between the valley flank and the left lateral moraine.

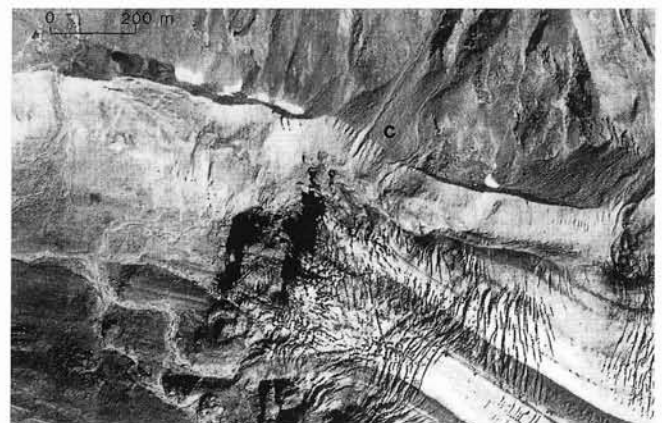


FIG. 14 - Ghiacciaio dei Forni (Valtellina, Ortles-Cevedale). Il canale (c), inciso nel grande cono che ha sigillato il vallo tra versante e morena laterale destra, consente il trasferimento diretto di apporti detritici e liquidi alla superficie del ghiacciaio. (Aerofotografie del 1975, Conc. Aeron. Mil. - R.G.S. n. 385 del 22 Novembre 1999).

FIG. 14 - The Forni Glacier (Valtellina, Ortles-Cevedale, Lombardia, Italy). The channel (c), incised in the large cone which sealed the depression between valley side and right lateral moraine, allows the direct transfer of solid and liquid contributions to the glacier surface (aerial photo, 1975).

dal versante nonché della dinamicità geomorfologica del sito, l'obliterazione del corpo morenico può essere completa<sup>3</sup>, oppure procedere con estrema gradualità.

<sup>3</sup> In questa chiave può forse essere interpretata l'asimmetria di alcune valli glaciali nelle quali solamente una delle morene laterali è conservata (cfr. fig. 22).

Con sporadicità, nello spazio e nel tempo, contribuiscono al colmamento del vallo versante-morena anche episodi franosi con provenienza esterna all'apparato glaciale: per quanto riguarda gli areali presi in esame, questi



FIG. 15 - Una netta differenziazione granulometrica consente di riconoscere l'accumulo di una frana a grandi blocchi (F) caduta sulla morena frontale (m) del Ghiacciaio Caprera (Val Varaita, Monviso) dopo la conclusione della Piccola Età Glaciale.

FIG. 15 - A clear granulometric differentiation allows to recognise a rockfall accumulation with large blocks (F) fell on the terminal moraine (m) of the Caprera Glacier (Val Varaita, Monviso, Piemonte, Italy), after the end of the Little Ice Age.

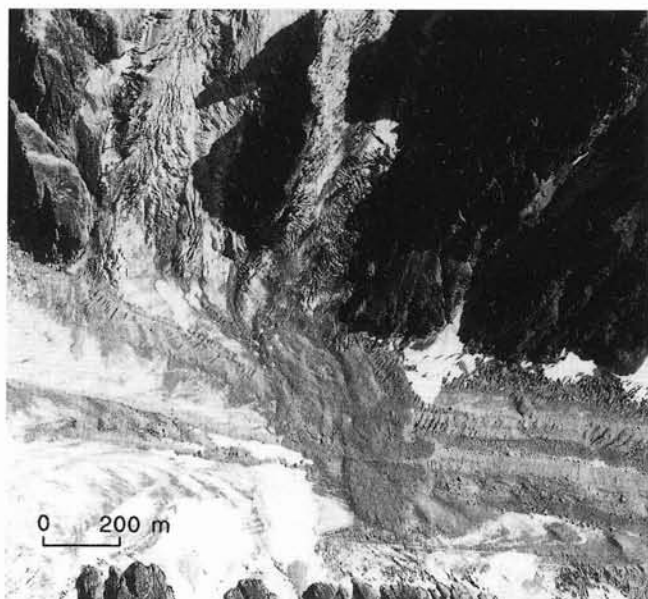


FIG. 16 - Ghiacciaio del Miage (Val Veni, Monte Bianco). Accumulo di frana (Primavera 1991) proveniente dal versante sinistro oblitera le due grandi morene mediane con nucleo in ghiaccio. (Aerofotografie del 1991, Conc. Aeron. Mil. - R.G.S. n. 385 del 22 Novembre 1999).

FIG. 16 - The Miage Glacier (Val Veni, Monte Bianco, Valle d'Aosta, Italy). A rockfall accumulation (dating Spring 1991), coming from the left valley side, obliterates the two big ice-cored medial moraines (aerial photo, 1991).

processi non hanno avuto magnitudo tali da compromettere l'evidenza delle forme glaciali. Nei casi più frequenti si tratta di crolli in massa i cui accumuli si sovrappongono all'edificio morenico, quasi a simulare un normale processo di accrezione. Elementi discriminanti sono la diversa tessitura dei depositi (fig. 15), la diversa orientazione spaziale delle due forme, quasi sempre ortogonali tra loro, il grado di lichenizzazione, talvolta la litologia.

*Morene del Ghiacciaio del Miage.* Nella Primavera 1986 una grossa frana proveniente dal versante destro della Val Veni risalì parzialmente sul fianco esterno della morena laterale destra (Mortara & Sorzana, 1987). Uno spiccato contrasto cromatico consente la delimitazione precisa dell'area di interferenza essendo di colore ocraceo i clasti di frana (gessi e carnirole), grigiastri i sedimenti glaciali (scisti cristallini). Sempre a riguardo del Ghiacciaio del Miage, nella Primavera 1991 una frana in roccia fuoruscita da un bacino tributario attraversò per l'intera larghezza il ghiacciaio collettore, scavalcando lungo il suo percorso due morene mediane (fig. 16).

Effetti confrontabili si raggiungono anche nel caso di scavalcamento di morene da parte di rock glaciers, sia pure con tempi incomparabilmente più lunghi. Spettacolari esempi si osservano in valli tributarie della Val d'Aosta, a riguardo di apparati morenici recenti e tardiglaciali (fig. 17).

Le frane esterne agli apparati morenici sono per lo più occasionali, ma nel caso della morena laterale destra del Ghiacciaio della Brenva, Deline (in questo volume) ha riconosciuto una successione di apporti per frana (del Gennaio 1997 la più recente) che hanno progressivamente diminuito la pendenza della scarpata esterna della morena.

Se le frane appena ricordate hanno concorso ad una sorta di «accrescimento» delle morene, altre hanno avuto effetti manifestamente demolitori. A titolo di esempio si ricorda quanto avvenne a seguito del distacco della frana di Felix (Giugno 1936, alta Val d'Ayas): la massa di roccia coinvolta (circa 200 000 m<sup>3</sup>), dopo essere precipitata sul sottostante Ghiacciaio Perazzi, proseguì la sua corsa incanalata tra le due morene laterali sino ad andare a urtare contro l'arco morenico frontale che venne sfondato (Dutto & Mortara, 1991).

Il rilascio tensionale dei versanti conseguente ad una fase di deglaciazione può far sì che apparati morenici vengano coinvolti in processi di deformazione gravitativa profonda: è il caso, ad esempio, della morena tardiglaciale del Laghetto dei Forni in Valfurva (gruppo Ortles-Cevedale) che risulta dislocata, nella sua porzione più orientale, da un lento ed esteso scivolamento (Pozzi & alii, 1991). In Nuova Zelanda sono documentate deformazioni gravitative complesse, attribuite all'accelerazione dei processi di fusione delle masse glaciali negli ultimi 20 anni, che coinvolgono morene della PEG unitamente a porzioni del substrato roccioso (Blair, 1994).



FIG. 17 - I rock glaciers, quando attivi, sono talora in grado di sormontare argini morenici trasversali alla direzione di flusso: a) morena laterale sinistra deposta dal Ghiacciaio del Gran Neyron durante la PEG (Valsavaranche, Gran Paradiso); b) morena laterale destra del Tardiglaciale (versante NW Punta Palettaz, Val di Rhêmes), scavalcata posteriormente a  $3965 \pm 140$  anni C<sup>14</sup> B.P., secondo la datazione di un suolo sepolto (Mortara & alii, 1992). Foto di M. Bois.

FIG. 17 - Active rock glaciers can sometimes surmount moraine ridges transversal to their flow direction: a) left lateral moraine deposited by the Gran Neiron Glacier (Valsavaranche, Gran Paradiso, Valle d'Aosta, Italy) during the Little Ice Age; b) late glacial right lateral moraine (northwestern side of Punta Palettaz, Val di Rhêmes, Valle d'Aosta, Italy), overflown after  $3965 \pm 140$  years C<sup>14</sup> B.P., following a buried soil dating (Mortara & alii, 1992). Photo by M. Bois.

## ALTRE CAUSE DI RIMODELLAMENTO

Gli agenti esogeni sono di gran lunga i più attivi e comuni nel modificare l'assetto originario delle morene, ma l'indagine ha messo in luce che anche l'attività tettonica e l'intervento dell'uomo svolgono un ruolo morfogenetico non trascurabile, sia pure più episodico.

### TETTONICA

Il pronunciato profilo a «dente di sega» delle creste di alcuni apparati morenici tardiglaciali è stato riconosciuto

come l'espressione in superficie di sforzi tettonici recenti. Esempi spettacolari si possono osservare in Svizzera, presso le sorgenti del F. Ticino (fig. 18) e a Bodmen (Briga) dove un sistema di faglie subparallele disseca i depositi glaciali con rigetti di 5-10 m (Streckeisen, 1965). Sul versante italiano vengono attribuite ad attività tettonica recente le scarpate in contropendenza in alcune morene tardiglaciali della Valfurva e del Foscagno dell'alta Valtellina (Forcella & Orombelli, 1984; Guglielmin & Notarpietro, 1991; Tibaldi, 1998).

### INTERVENTO DELL'UOMO

L'esigenza di mitigare gli effetti distruttivi di fenomeni naturali che prendono origine in aree glacializzate richiede, talora, l'esecuzione di opere ingegneristiche sul corpo delle morene (Haeberli, 1992). Il ricorso a mezzi meccanici è generalmente causa di pesanti alterazioni morfologiche e ambientali: emblematici sono i casi degli apparati morenici del Ghiacciaio Settentrionale delle Locce (versante orientale del Monte Rosa) e del Ghiacciaio di Chérillon (Cervino).

*Morena frontale del Ghiacciaio Settentrionale delle Locce.* Per mantenere depresso il livello del lago proglaciale delle Locce, soggetto ai già citati pericolosissimi svuotamenti nel periodo 1970-1979 (Tropeano & alii, 1999), venne costruito uno sfioratore a soglia fissa nella morena frontale. L'impianto del cantiere comportò dapprima il gradonamento del fianco interno della morena fino a bordo lago, operazione che obliterò in parte le testimonianze della pulsazione degli anni 1920. Successivamente, per la realizzazione dell'opera, venne scavata una grande trincea a «V» lunga circa 200 m, approfondendo di alcune decine di metri un'insellatura naturale della morena.

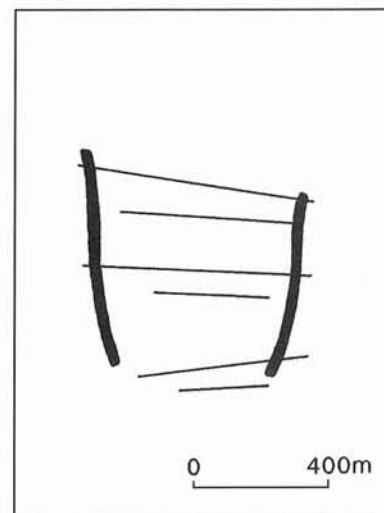
*Apparato morenico del Ghiacciaio di Chérillon.* La parte settentrionale dell'abitato di Cervinia (AO) è minacciata dalle grandi valanghe che si originano dai ghiacciai di Chérillon e di Mont Tabel. Per la sicurezza del fondo valle, negli anni 1985 fu costruito un gigantesco argine paravalanghe all'interno dello splendido apparato morenico della PEG (fig. 19). L'ancoraggio del manufatto, lungo circa 150 m e alto 12 m, richiede lo sbancamento in profondità del fianco interno delle due morene laterali, in particolare della morena sinistra che subì anche la parziale demolizione dell'affilata cresta sommitale. Le scarpate artificiali, ricavate in sedimenti scarsamente coesivi, presentano pendenza sensibilmente superiore a quella originaria: una tale configurazione espone pertanto l'edificio morenico ad un'accentuazione dei processi erosivi e di frana.

Lo sfruttamento degli alti bacini glaciali per uso idroelettrico richiede solitamente impianti di grande impatto ambientale, non di rado con diretta interferenza con apparati morenici, come nel caso di costruzione di dighe in prossimità di fronti glaciali.

*Morena mediana del Ghiacciaio di Hobsand (o del Sabbione).* La costruzione della diga del Sabbione in Val d'Ossola (1952) portò alla graduale sommersione della zo-

FIG. 18 - Apparato morenico del Tardiglaciale dissecato da un fitto sistema di faglie neotettoniche (versante destro della Val Bedretto presso le sorgenti del Ticino). (Aerofotografia del 1977).

FIG. 18 - Late glacial moraine dissected by a closely-spaced fault system (Val Bedretto right side, nearby Ticino sources, Switzerland; aerial photo, 1977).



na proglaciale e frontale dei ghiacciai Meridionale e Settentrionale di Hohsand, separati da una morena mediana con nucleo in ghiaccio (fig. 20). Ne conseguì, nel volgere di pochi anni, un attivissimo processo di frammentazione delle porzioni di ghiacciaio sommerso (*calving*) che coinvolse anche la morena mediana (Mazza & Mercalli, 1992).

*Morene dei ghiacciai d'Avio e del Venerocòlo.* Sul versante settentrionale dell'Adamello le acque dei laghi di sbarramento creati con la costruzione di due dighe (1954-56)

sommersero la parte distale dell'apparato morenico latero-frontale del Ghiacciaio d'Avio e il piede del fianco esterno della morena laterale destra del vicino Ghiacciaio del Venerocòlo<sup>4</sup>.

La realizzazione di piste, strade di servizio, impianti di risalita per la pratica dello sci estivo in alta quota costituisce un'ulteriore occasione di manomissione ambientale a discapito degli apparati morenici. Emblematico, a tal proposito, è il profondo rimaneggiamento delle morene storiche del Ghiacciaio dello Scorluzzo operato per ampliare il complesso turistico del Passo Stelvio (Galluccio & Cola, 1998). È peraltro interessante segnalare che già nella prima metà del sec. XIX la costruzione del tracciato stradale per il Passo aveva richiesto il taglio delle morene tardiglaciali dello stesso ghiacciaio.

Anche l'apertura di cave per la coltivazione di depositi glaciali recenti comporta talora alterazioni morfologiche, seppur modeste, nelle morene: ne sono esempi il vasto impianto estrattivo alla fronte del Ghiacciaio di Z'mutt nel Vallese e la «sabbiera» alla base della morena laterale destra del Ghiacciaio della Brenva.

#### OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

Gli apparati morenici della Piccola Età Glaciale denotano generalmente un ottimo stato di conservazione, sottolineate soprattutto dalla caratteristica forma a sezione

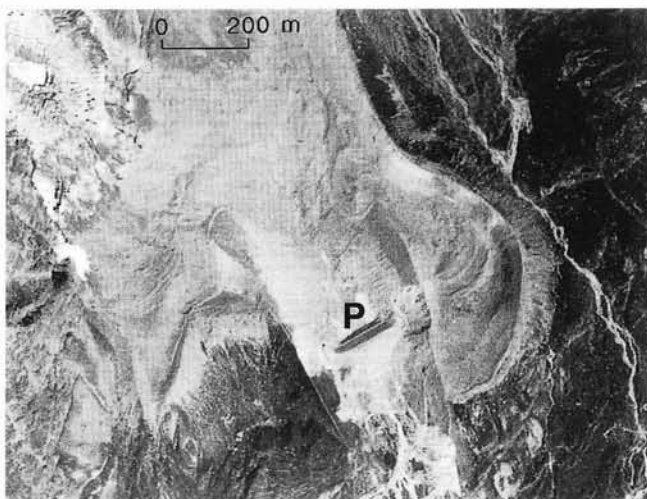


FIG. 19 - Grande argine paravalanghe (P) a difesa dell'abitato di Cervinia (Valtournanche) ancorato nel fianco interno delle morene del Ghiacciaio di Chérillon con consistenti lavori di sbancamento. (Aerofotografia del 1991, Conc. Aeron. Mil. - R.G.S. n. 385 del 22 Novembre 1999).

FIG. 19 - The Chérillon Glacier (Valtournanche, Valle d'Aosta, Italy). Grand snow avalanche barrier (P), protecting the Cervinia built-up area, anchored to the internal moraine wall with important excavation works (aerial photo, 1991).

<sup>4</sup> Saibene (1958) osserva che nel 1956 «il paesaggio della parte frontale di questa colata [glaciale] è completamente obliterato dagli imponenti impianti per la cattura delle acque del torrente subglaciale e la sistemazione a bacino artificiale della palude del Venerocòlo». Interessanti documenti iconografici sulla trasformazione del paesaggio a seguito della costruzione dell'imponente sistema idroelettrico dell'alta Val d'Avio compaiono in Baroni & Carton (1986).



FIG. 20 - La morena mediana (*m*) del Ghiacciaio del Sabbione (Val Formazza) si protende nel lago creato nel 1952 con la costruzione della diga (aerofotografia del 1977). Per la prolungata immersione in acqua la massa glaciale e la morena con nucleo in ghiaccio subirono un accentuato processo di disfacimento. In tratteggio la posizione della fronte del ghiacciaio nel 1952. (Conc. Aeron. Mil. - R.G.S. n. 385 del 22 Novembre 1999).

FIG. 20 - The Sabbione Glacier (Val Formazza, Piemonte, Italy). The medial moraine (*m*) leans forward in the lake created in 1952 with dam building (aerial photo taken in 1977). Because of the prolonged immersion in water, the ice body and the ice-cored moraine underwent a marked disruption. Dashed lines shows glacier front position in 1952.

triangolare e cresta a lama di coltello. Tuttavia, ad un'analisi più particolareggiata, l'integrità di questi corpi sedimentari di recente deposizione risulta sovente compromessa da processi morfogenetici di varia natura.

Scopo di questo lavoro è stato individuare quali siano questi processi, con quale intensità agiscono e quali siano i tempi necessari per indurre modificazioni significative. Per disporre della più ampia casistica possibile sono stati presi in considerazione le diverse centinaia di apparati morenici storici che punteggiano l'arco alpino italiano.

Il ruolo dell'acqua è apparso decisivo per l'attivazione fenomeni di mobilitazione in massa di sedimenti talora imponenti (dell'ordine di decine o centinaia di migliaia di metri cubi), in occasione di eventi pluviometrici intensi o di svuotamenti improvvisi di bacini lacustri glaciali. Effetto tra i più appariscenti è la sovraincisione del corpo morenico per profondità anche di decine di metri nel corso di un singolo evento.

Frequenti sono i cedimenti gravitativi su entrambi i fianchi delle morene. Si tratta di fenomeni per lo più len-



FIG. 21 - Alto bacino del T. Prebec in Val di Susa. La «Gran Gorgia», spettacolare incisione in depositi glaciali quaternari lunga circa 700 m, larga 150 m e profonda 30 m. È indubbia l'analogia morfologica con i solchi di neoformazione in morene recenti illustrati nelle pagine precedenti. (Aerofotografie del 1973, Conc. Aeron. Mil. - R.G.S. n. 385 del 22 Novembre 1999).

FIG. 21 - Upper basin of the Prebec torrent (Val di Susa, Piemonte, Italy). The «Gran Gorgia»: spectacular incision in quaternary glacial deposits, about 700 m long, 150 m wide and 30 m deep. It's undoubted the morphological analogy with the neoformation incisions in recent moraines illustrated in the previous pages. (Aerial photo taken in 1973).

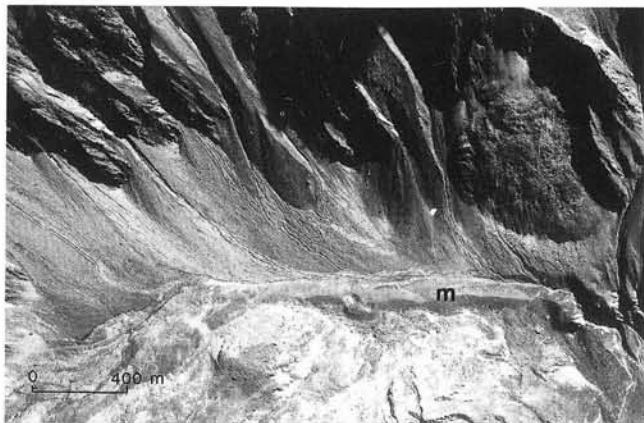


FIG. 22 - Alto Vallone di Menouve (Valpelline). La morena laterale destra tardiglaciale (*m*) non ha la corrispondente simmetrica sul versante opposto. È presumibile che la morena sinistra sia stata progressivamente sepolta dagli apporti solidi che si sono accumulati alla base del versante. (Aerofotografie del 1975, Conc. Aeron. Mil. - R.G.S. n. 385 del 22 Novembre 1999).

FIG. 22 - Upper Menouve Valley (Valpelline, Valle d'Aosta, Italy). The right lateral late-glacial moraine (*m*) lacks the correspondent on the opposite side. Likely, the left lateral moraine has been progressively buried by debris accumulated at the valley wall foot (aerial photo, 1975).

ti, probabilmente connessi alla fusione di masse di ghiaccio interne al corpo morenico, con forme di transizione a rock glaciers. Frane più rapide possono riguardare il fianco interno delle morene allorché questo, per erosione concentrata, assume il caratteristico aspetto calanchiforme a canne d'organo, situazione predisponente al crollo di interi pinnacoli o di porzioni cementate di più modesto volume.

Rari, ma significativi anche per le implicazioni morfoclimatiche, sono i casi di lento, progressivo sormonto di argini morenici da parte di rock glaciers. Istantaneo è invece il modellamento di morene collegabile a faglie attive, evento poco comune nelle Alpi Italiane.

La conservazione degli apparati morenici dipende anche dalla distanza di questi dai versanti circostanti: più questa distanza è ridotta, più alta è la probabilità che apporti solidi esterni, dovuti a frane, valanghe o attività torrentizia, sigellino il vallo esistente tra versante e fianco esterno della morena.

Anche l'uomo, per esigenze economiche o di difesa da calamità naturali, può incidere sensibilmente sulla geometria delle morene con cospicui lavori di sbancamento e riporto.

La casistica esaminata mette in luce che l'assetto originario di una morena può essere modificato da eventi che procedono con tempi di sviluppo molto diversificati, di durata anche plurisecolare, ma non di rado di durata pressoché istantanea. A fenomeni con evoluzione molto rapida possono associarsi effetti morfologici di particolare

intensità e pericolosità: è il caso, ad esempio, della sovraincisione impulsiva di morene e delle colate detritiche che ne conseguono. Fenomeni come questi sono segnalati in aumento nei domini glaciali di tutto il mondo e vengono collegati all'attuale fase di riscaldamento globale che sembra accelerare il ritiro dei ghiacciai, in atto dalla fine della Piccola Età Glaciale, e a rendere metastabili le morene e i corpi detritici geneticamente connessi al permafrost (Evans & Clague, 1994; Wegmann & alii, 1998).

Le considerazioni qui esposte possono risultare un utile strumento d'indirizzo per la gestione di aree che ricadono non solo nel dominio glaciale e periglaciale, ma anche nei sottostanti fondovalli dove maggiore è la presenza umana. L'ampia variabilità di casi illustrata in questo lavoro può altresì fornire una chiave di interpretazione genetica di forme o situazioni per le quali non si conoscono i processi che le hanno generate (figg. 21, 22).

#### BIBLIOGRAFIA

- ANONIMO (1998) - *Bodmer glacier flood/mudflow*. In: Haeberli W., Hoelzle M., Suter S. & Frauenfelder R. (eds): *Fluctuations of glaciers 1990-1995 (vol. VII) - Special events*. IAHS-UNEP-UNESCO, p. 51.
- BARONI C. & CARTON A. (1986) - *Geomorfologia della Valle d'Avio (Gruppo dell'Adamello)*. Natura Bresciana, 23, 3-48.
- BLAIR R.W. (1994) - *Moraine and valley wall collapse due to rapid deglaciation in Mount Cook National Park, New Zealand*. Mountain Res. Develop., 14, 347-358.
- CURRY A.M. (1999) - *Paraglacial modification of slope form*. Earth Surf. Process. Landforms, 24, 1213-1228.
- DELIN P. (2001) - *Recent Brenva rock avalanches (Valley of Aosta): new chapter in an old story?* Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 5 (in stampa).
- DUTTO F. & MORTARA G. (1991) - *Grandi frane storiche con percorso su ghiacciaio in Val d'Aosta*. Rev. Valdôtaine Hist. Nat., 45, 21-35.
- DUTTO F. & MORTARA G. (1992) - *Rischi connessi con la dinamica glaciale nelle Alpi Italiane*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 13, 85-99.
- EVANS S.G. & CLAGUE J.J. (1994) - *Recent climatic change and catastrophic geomorphic processes in mountain environments*. Geomorphology, 10, 107-128.
- FORCELLA F. & OROMBELLI G. (1984) - *Holocene slope deformations in Valfurva, Central Alps (Italy)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 7, 41-48.
- GALLUCCIO A. & COLA G. (1998) - *Passo dello Stelvio: breve storia recente di un ghiacciaio estinto (Ghiacciaio dello Scorzuzzo)*. Annuario Club Alpino Italiano - Sez. Valtellinese, 15, 152-162.
- GUGLIELMIN M. & NOTARPIETRO A. (1991) - *Morfologie glaciali e periglaciali in alta Valtellina*. Boll. Club Alpino It., 92, 91-93.
- GORFER G. (a cura di) (1991) - *Per una difesa del territorio. La sistemazione dei bacini montani in provincia di Trento attraverso i secoli*. Prov. Autonoma di Trento, 237 pp.
- HAEBERLI W. (a cura di) (1985) - *Studi sul comportamento del Ghiacciaio del Belvedere, Macugnaga, Italia*. VAW/ETH, Relaz. n. 97.3, inedita, 156 pp.
- HAEBERLI W. (1992) - *Construction, Environmental Problems and natural Hazards in Periglacial Mountain Belts*. Permafrost Periglac. Proc., 3, 11-124.
- MARAGA F. & MORTARA G. (1996) - *Fenomeni impulsivi di erosione e sedimentazione dei corsi d'acqua nella morfodinamica attuale del territorio*. Il Quaternario, 9, 221-226.

- MAZZA A. & MERCALLI L. (1992) - *Il Ghiacciaio Meridionale dell'Hob-sand (Alta Val Formazza). Un secolo di evoluzione climatica e rapporti con la produzione idroelettrica*. Oscellana, 22 (1), 30-44.
- MORTARA F. & SORZANA P.F. (1987) - *Situazioni di rischio idrogeologico connesse all'espansione recente del ghiacciaio del Miage ed all'instabilità dei versanti in alta Val Veni (Massiccio del Monte Bianco)*. Rev. Valdôtaine Hist. Nat., 41, 111-147.
- MORTARA G., DUTTO F. & GODONE F. (1995) - *Effetti degli eventi alluvionali nell'ambiente proglaciale. La sovraincisione della morena del Ghiacciaio del Mulinet*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 18, 295-304.
- MORTARA G., OROMBELLI G., PELFINI M. & TELLINI C. (1992) - *Suoli e suoli sepolti olocenici per la datazione di eventi geomorfologici in ambiente alpino: alcuni esempi tratti da indagini preliminari in Val d'Aosta*. Il Quaternario, 5, 135-146.
- POZZI R., BOLLETTINARI G. & CLERICI A. (1991) - *Studio geomorfologico e geologico applicato dell'Alta Valtellina*. Quaderni Aem Milano, 1, 151 pp.
- RATTI A. (1889) - *Al Monte Rosa (Punta Dufour) da Macugnaga e prima traversata del Colle Zumstein*. Boll. Club Alpino It., 56, 1-29.
- ROUILLER J.D. (1994) - *Murgang Lauigrabe/Bodmergletscher (Gemeinde Simplon)*. Baudepartement Kantons Wallis, Sion, (rapporto inedito).
- ROUILLER J.D. (1997) - *Solifluxion de la moraine du Dolent. Effondrement du 10 juillet 1990*. Départ. Transports, Equipement, Environnement, Sion, (rapporto inedito).
- SAIBENE C. (1958) - *Relazione campagna glaciologica 1956*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 8 (1), 208.
- SESTINI A. (1930) - *Osservazioni e ricerche sulle Valli di Courmayeur*. Mem. Geol. Geogr. di Giotto Dainelli, 1, 217-290.
- SMIRAGLIA C. (1988) - *Relazione generale campagna glaciologica 1987, settore lombardo*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 11, 151-153.
- STRECKEISEN A. (1965) - *Junge Bruchsysteme im nördlichen Simplon-Gebiet (Wallis, Scheiz)*. Eclogae Geol. Helv., 58, 407-416.
- TIBALDI A. (1998) - *Effects of topography on surface fault geometry and kinematics: examples from the Alps, Italy and Tien Shan, Kazakistan*. Geomorphology, 24, 225-243.
- TROPEANO D., GOVI M., MORTARA G., TURITTO O., SORZANA P., NEGRI G. & ARATTANO M. (1999) - *Eventi alluvionali e frane nell'Italia Settentrionale. Periodo 1975-1981*. CNR-GNDICI, pubbl. n. 1927, 279 pp.
- VERE D.M. & MATTHEWS J.A. (1985) - *Rock glacier formation from a lateral moraine at Bukkeholbreen, Jotunheimen, Norway: a sedimentological approach*. Zeit. Geomorph. N.F., 29 (4), 397-415.
- WEGMANN A.M., GUDMUNDSSON G.H. & HAEBERLI W. (1998) - *Permafrost Changes in Rock Walls and the Retreat of Alpine Glaciers: a Thermal Modeling Approach*. Perm. Periglac. Process., 9, 23-33.
- ZIMMERMANN M. (1990) - *Debris flow 1987 in Switzerland: geomorphological and meteorological aspects*. IAHS Public. n. 194, 387-393.