

CESARE SAIBENE (†)

## LA RICERCA GLACIOLOGICA: TENDENZE E PROPOSTE (relazione introduttiva al 5° Convegno Glaciologico Italiano)

ABSTRACT: SAIBENE C., *The glaciological research: trends and proposals (Introduction to the 5<sup>th</sup> Italian Glaciological Meeting)* (IT ISSN 0084-8948, 1985).

The main characteristic of the present state of the glaciological research consists of a very analytical approach to single glacial phenomena with large use of the techniques of modelling. As a consequence there is a frequent failure in reproducing nature in laboratories. Glacier models are often steady state instead of dynamic. Physics and Chemistry of ice and snow, mechanics of ice mass sliding, hydrological problems of intraglacial and subglacial water flow are the objects of a very fragmentary analysis, chiefly made on the largest glaciated areas of the World. The lack of « environmental studies » on the glacial phenomenon as a whole get a lower perception of the real behaviour of glaciers as a function of their different location in order to climatic, morphological, lithological assessment.

Italian scientists give a small contribution to glaciological studies, even if their systematic observations in Alpine and Apenninic areas, which began 84 years ago, have furnished a lot of important data on glacier fluctuations. Some improvements for the organisation of the annual observations of glaciers are proposed together with suggestions to enlarge the Italian participation to international working groups on Glaciology.

RIASSUNTO: SAIBENE C., *La ricerca glaciologica: tendenze e proposte (Relazione introduttiva al 5° Convegno Glaciologico Italiano)* (IT ISSN 0084-8948, 1985).

La caratteristica principale dello stato attuale della ricerca glaciologica consiste in un approccio assai analitico nei confronti dei singoli fenomeni glaciali, con un largo ricorso ai modelli. Ne consegue una frequente incapacità a riprodurre la natura in laboratorio. I modelli dei ghiacciai, poi, esprimono sovente condizioni statiche anziché dinamiche.

La Fisica e la Chimica del ghiaccio e della neve, la meccanica del movimento delle masse glaciali, i problemi dell'Idrologia intra e subglaciale, sono l'oggetto di analisi molto frammentarie, condotte principalmente sulle maggiori aree glacializzate del globo. La carenza di « studi ambientali » sui fenomeni glaciali nel loro insieme, fornisce una più ridotta percezione del reale comportamento dei ghiacciai, in funzione della loro situazione rispetto al contesto climatico, morfologico e litologico.

Gli studiosi italiani danno un modesto apporto agli studi glaciologici, sebbene le loro sistematiche osservazioni nella regione alpina e in quella appenninica, iniziate 84 anni fa, abbiano fornito una quantità di dati sulle fluttuazioni glaciali. Vengono qui proposti alcuni miglioramenti nell'organizzazione delle osservazioni annuali sui ghiacciai, oltre a dei suggerimenti per ampliare la partecipazione italiana agli organismi internazionali che operano in campo glaciologico.

TERMINI CHIAVE: Glaciologia.

Motivi e finalità di ogni convegno di studiosi e di questo in particolare, che si apre ad otto anni di distanza dal precedente, sembrano compendiate nella opportunità di un esame collegiale dello stato delle ricerche nel campo scientifico di pertinenza e di una verifica dei risultati raggiunti in termini di progresso della conoscenza, di affinamento dei metodi di indagine, di efficienza delle strutture organizzative, onde identificare e proporre temi di studio, metodologie e tecniche di analisi, problemi di adeguamento dell'apparato operativo. È quindi congruo che a tali istanze si richiamino queste nostre riflessioni introduttive.

Ad indicarne un motivo costante di riferimento appaiono particolarmente adatte alcune espressioni con cui WEEKS W. F., allora presidente della International Glaciological Society, introduceva i lavori del simposio sul telerilevamento nell'indagine glaciologica, tenutosi a Cambridge nel Settembre del 1974. Egli qualificava lo stato della ricerca in quell'epoca come espressione di un interessante momento di transizione, dalla raccolta di dati e informazioni a carattere essenzialmente qualitativo e descrittivo, alla collazione ed elaborazione di dati quantitativi con cui alimentare e convalidare i modelli sviluppati in sede teorica per interpretare il comportamento geofisico dei fatti glaciologici. E concludeva affermando che regola fondamentale (« *tall order* »), per un corretto approccio a molti problemi della disciplina, avrebbe dovuto essere, da allora in poi, la ricerca di una *diagnosi preventiva* dei processi d'ordine geofisico, piuttosto che un' *autopsia* « a posteriori » dei fenomeni presi in esame (1).

Val la pena di rilevare che appena tre lustri prima, nel 1958, al simposio di Chamonix sulla Fisica dei movimenti del ghiaccio, l'apporto dei fisici al dibattito risultò così denso di significati da suscitare un'allarmata precisazione da parte di SELIGMAN G. Il quale, pur riconoscendo l'importanza di un approccio teorico ai problemi glaciologici, scriveva che in nessun caso, tuttavia, il glaciologo osservatore doveva cedere il passo al fisico,

(1) Symposium on Remote Sensing in Glaciology, Cambridge, 16-20 September 1974, Journ. Glac., 15 (73), 1975, p. 13.

poiché l'importanza dell'indagine diretta sul terreno risultava semmai aumentata dalla sua acquisita capacità di confermare o confutare le teorie di laboratorio (2).

Due date e due momenti indicativi per ricostruire l'evoluzione degli orientamenti metodici, dei contenuti, se non degli obbiettivi, della nostra, come, del resto, di quasi tutte le scienze, mentre le espressioni citate forniscono la chiave di lettura di quanto negli ultimi decenni è stato detto, scritto e pubblicato in campo glaciologico.

Da una rassegna della letteratura recente riguardante la nostra disciplina, emerge anzitutto la dimensione massiccia del ricorso a tecniche vieppiù progredite e aggiornate, sorrette da un raffinato corredo strumentale, sia per il rilevamento sul terreno, sia per le indagini di laboratorio. Le ricerche e gli studi sono ovviamente condotti da gruppi di lavoro inseriti in organismi specializzati e appositamente costituiti, in sede accademica come in settori pubblici e privati delle strutture produttive o militari.

Una prima importante conseguenza, da far risalire anche all'adozione generalizzata del telerilevamento, soprattutto da satellite, è la accentuazione della tendenza a privilegiare, nelle scelte dell'oggetto geografico di osservazione, le aree più estesamente glacializzate del pianeta: le calotte e le piattaforme polari, i bordi continentali interessati da clima artico e il loro contorno insulare (Groenlandia, Alaska, Canada, Siberia), i massimi sistemi montuosi asiatici (e compare in questi ultimi anni l'apporto degli studiosi cinesi che si affianca a quello tradizionale dei russi), mentre i rilievi andini, una delle aree di elezione degli studi del LLIBOUTRY, ed anche quelli africani e neozelandesi, sono aggrediti in misura minore.

La dimensione e le condizioni di localizzazione di tali masse glaciali svolgono un ruolo determinante nello sviluppo e nell'articolazione degli orizzonti problematici e metodologici della ricerca. Sicché, contestualmente, si assiste al proliferare di prospettive di un approccio al fenomeno glaciale sempre più analitico e differenziato, secondo l'oggetto, gli obbiettivi e i metodi di varie matrici disciplinari. Sviluppo particolarmente accentuato presentano ad esempio le analisi della struttura fisica e chimica del ghiaccio e della neve, fino a livello dei singoli cristalli e delle particelle elementari, studiati nelle diverse condizioni che ne presiedono i mutamenti di stato e ne influenzano i processi di assestamento, nel quadro dell'indagine sulla dinamica delle coltri glaciali e nivali.

Il convegno di Cambridge, del Settembre 1977, che ha annoverato una delle rare partecipazioni italiane a tali raduni scientifici, è una testimonianza del livello analitico raggiunto dagli studi (3), così come lo è quello svoltosi l'anno precedente nella medesima città sulla Glaciologia applicata (4), dal quale è emerso in dimen-

sione fino ad allora ignorata, l'interesse e la vastità della ricerca sul fenomeno delle valanghe (5).

Certo, il tema che polarizza da sempre l'attenzione dei glaciologi è quello della meccanica del flusso glaciale. Su tale argomento è di estremo interesse la lettura degli atti dei due simposi pressoché contemporanei, svoltisi ad Ottawa nel 1978, sulle condizioni fisiche e chimiche al letto glaciale, cioè al livello di contatto tra ghiaccio e superficie di scivolamento, nonché sulla dinamica delle grandi masse glaciali (6).

Si tratta di una serie di interventi orientati a prospettare il problema da diversi punti di vista, poiché l'indagine è costantemente condotta nell'intento di individuare i fattori che concorrono a promuovere, a condizionare, a differenziare tali processi dinamici e conseguentemente ad elaborare un modello matematico che ne ricuperi il singolo apporto al fenomeno globale. A configurare lo stato della ricerca, oltre agli interventi su vari problemi analitici, tra i quali spiccano quelli di LLIBOUTRY, MORRIS, FOWLER, BREPSON, BUDD (7), appare significativo quello di WEERTMAN J., uno dei più assidui studiosi di tali processi accanto a NYE, BOULTON, LLIBOUTRY, MORRIS, tanto per citare alcuni tra i maggiori. Egli intitola la sua relazione: « *The unsolved general glacier sliding problem* » (un problema, dunque, tuttora insoluto) (8), e vede nella assenza di studi sugli effetti del contatto del ghiaccio con un letto deformabile, con tutte le implicazioni sui processi di fusione e di ablazione a quel livello, i motivi della mancata soluzione.

Ma poi, anche il dibattito a conclusione dei rispettivi convegni è estremamente indicativo, sia nel presentare le questioni ancora aperte, sia nel delineare le perplessità sulla idoneità dei metodi di analisi. Val la pena di menzionare alcune osservazioni di ORHEIM O. che qualifica come « *strange results* » quanto è stato esposto e si chiede se ciò è dovuto ad errori nell'impostazione o nell'input dei modelli elaborati; e quelle di THOMAS R. H. (9) che nega validità ai risultati di laboratorio finché questi non riprodurranno dati di esperienze concrete ricavati direttamente dall'osservazione di oggetti reali di studio. Ed infine è di grande significanza l'intervento di KEMMIS T. J. (10), quaternarista, che afferma di aver ascoltato una serie di relazioni di studi estremamente specifici su processi altrettanto particolari, senza

(5) Symposium on snow in motion, Colorado, 2-17 August 1979, Journ. Glac., 26 (94), 1980.

(6) Symposium on Dynamics of large ice masses, Ottawa, 21-25 August 1978, Journ. Glac., 24 (90), 1979; Symposium on glacier beds: the ice-rock interface, Ottawa, 15-19 August 1978, Journ. Glac., 23 (89), 1979.

(7) LLIBOUTRY L., *Local friction laws for glaciers: a critical review and new openings*, Journ. Glac., 23 (89), 1979, 67-95; MORRIS E. M., *The flow of ice treated as a newtonian viscous liquid, around a cylindrical obstacle near the bed of a glacier*, id. id., 117-129; FOWLER A. C., *A mathematical approach to the theory of glacier sliding*, id. id., 131-142; BREPSON R., *Simulated glacier sliding over an obstacle*, id. id., 143-156; BUDD W. F. & KEAGE P. L., *Empirical studies of ice sliding*, id. id., 157-170.

(8) WEERTMAN J., *The unsolved general glacier sliding problem*, Journ. Glac., 23 (89), 1979, 97-115.

(9) ORHEIM O., Journ. Glac., 24 (90), 1979, p. 469; THOMAS R. H., id. id., p. 470.

(10) KEMMIS T. J., Journ. Glac., 23 (89), 1979, p. 387.

(2) Symposium on the Physics of the movement of ice, Chamonix, 16-24 September 1952, Journ. Glac., 3, 1979, p. 337.

(3) Symposium on the Physics and Chemistry of Ice, Cambridge, 12-16 September 1977, Journ. Glac., 21 (85), 1978.

(4) Symposium on applied Glaciology, Cambridge, 13-17 September 1976, Journ. Glac., 19 (81), 1977.

che ne siano emersi i meccanismi che presiedono a ciascuno di tali processi e ne condizionano le manifestazioni.

In realtà, pur senza sostanziali modifiche nella tematica, si assiste ad una esasperata frammentazione e segmentazione degli argomenti di indagine e, contemporaneamente, non essendo ancora superate le difficoltà, non soltanto naturali, di accesso agli apparati glaciali, ad una sensibile sostituzione del loro rilevamento diretto con l'analisi di laboratorio, mediante modelli di simulazione a supporto di interpretazioni essenzialmente teoriche delle realtà effettuali. Sfuma così gradualmente la percezione, oltre che la concezione, degli individui glaciali come fenomeni singolari anche per i caratteri fisicamente complessi della materia di cui sono costituiti, e peculiari, oltre che accentuatamente differenziati, in funzione dei loro intimi rapporti con le condizioni ambientali di localizzazione e ubicazione.

In buona sostanza, la congerie di risultati analitici su singole manifestazioni del fenomeno, assai spesso ottenuti solo in sede teorica e non raramente contraddittori, non ha ancora promosso quella sintesi che consenta di ricondurre il glacialismo e le sue manifestazioni alla sua configurazione di fenomeno unitario, espressione, piuttosto che di una sommatoria di fatti distinti, del tessuto di relazioni tra tali fatti, per di più in incessante dinamica. Proprio tale carenza di studi globali e coordinati, che chiameremmo « ambientali », del fenomeno glaciale, mi sembra ulteriormente testimoniata, tra l'altro, dal limitato approfondimento del problema degli effetti indotti dal comportamento della coltre nevosa, considerata come fenomeno stagionale, con ritmi di accumulo e di fusione accelerati, e quindi con manifestazioni idrologiche, per entità e concentrazione temporale, particolarmente incisive sulla morfodinamica dei singoli apparati, sui processi che presiedono alla loro mobilità, sulla morfogenesi del territorio che li avviluppa. Il lavoro del COLBECK (1976), l'unico che mi sovvien attualmente, riguarda più che altro il processo di fusione come fenomeno idrologico.

Peraltro, l'osservazione e lo studio di singoli fenomeni che riguardino la struttura interna, l'assetto di superficie, e del margine periferico degli individui glaciali, connessi a vario livello con i loro processi dinamici e con la loro azione erosiva e di deposito, ha conseguito progressi di rilievo in sede descrittiva come interpretativa. Sul fenomeno dei « surges », di cui la compianta prof. ALIVERTI (1970) aveva trattato nel I Convegno Glaciologico Italiano a Bormio, si perviene con i lavori del BUDD (1975) e del BINDSCHADLER (1977) alla elaborazione di modelli globali dei processi che presiedono al loro manifestarsi. Così si dica degli ultimi studi di POSAMENTIER sulle « ogive » (1978), di HOOKE & HUDLESTON (1978) sulla « fogliettatura » nelle porzioni terminali degli apparati; di MENZIES (1979), KORROW & SMALLEY (1981) sui « drumlins »; di BOULTON (1976), MORRIS & MORLAND (1976) e di WIBJÖRN KARLÉN (1981) sui cordoni paralleli di detrito (« glacial flutes ») e ancora di EHLERS & STEPHAN (1979) sul modellamento al letto delle morene di fondo (ne distinguono cinque tipi) come indicatore della direzione del movimento del ghiaccio, cui va aggiunto il lavoro analitico

di GRAY (1981) sulle striature e scannellature glaciali in roccia che si affianca a quello di BOULTON, presentato al simposio di Ottawa (1978).

Ed ancora le analisi di SMALL, CLARK & CAWSE (1979) sui processi di formazione delle morene mediane sui ghiacciai alpini (di cui si identificano quattro tipi); di MATTHEWS ed altri sulle singolari formazioni moreniche a denti di sega (1979); di BIRNIE sulla costruzione periodica di ondulazioni micromoreniche da spinta di masse nevose alla fronte dei ghiacciai (1977). Le citazioni potrebbero continuare, anche elencando precisazioni e osservazioni di dettaglio sulla congerie di singoli fenomeni già largamente noti e studiati, che ogni glaciologo rileva, peregrinando sopra e intorno ad un ghiacciaio: coni di ghiaccio (SMIRAGLIA, 1979), laghetti periglaciali (MOTTERSHEAD & COLLIN, 1976); marmitte in depositi sciolti (MEIZELS, 1977); rock glaciers (CORTE, 1976; WAYNE, 1981); ecc.

Un capitolo a parte richiederebbero le ricerche sui fenomeni crionivali, in merito ai quali si svolgono pressoché annualmente convegni e conferenze anche con rilevante partecipazione di studiosi italiani. Ma si tratta, a mio parere, di argomenti di un settore specifico della Geomorfologia, così come quelli sul glacialismo e la sua azione morfogenetica nel passato geologico.

D'altra parte, ed abbiamo già adombrato tale situazione, gli studi di Glaciologia, per legittima coerenza con l'accezione strettamente lessicale del termine, si collocano in un'area di ricerca scientifica che coinvolge, come scriveva l'ALIVERTI nel 1964, « parecchi campi della Scienza ».

Sorgono piuttosto, a questo punto, gli interrogativi sulla presenza italiana negli studi glaciologici. Dal punto di vista quantitativo se ne rileva una progressiva e recentemente rapida rarefazione. In ordine ai temi si nota una modesta differenziazione e articolazione degli oggetti trattati, anche se le difficoltà di reperimento dei vari interventi a stampa, dispersi nelle più varie sedi di pubblicazione, mi fa temere di non possedere documentazione completa della produzione nazionale. In ogni caso, se si trattasse di opere di rilevante impegno, se ne avrebbe traccia nelle rassegne internazionali.

Il nostro unico periodico specializzato, peraltro, e cioè il Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano, che dal 1978 ha mutato titolo di testata, denuncia una diminuzione del materiale specificamente glaciologico da pubblicare, se si eccettua la sistematica presentazione dei risultati della campagna annuale di rilevamento delle variazioni topografiche dei ghiacciai nazionali. Dal 1976 ad oggi gli studi di Glaciologia pubblicati nella nostra rivista sono stati sei ed hanno riferito: sulle relazioni tra variazioni climatiche, alimentazione ed oscillazioni frontali dei ghiacciai del Monte Bianco (CERUTTI, 1976); sui complessi ad argini e coni di ghiaccio come forme di deposito sul Ghiacciaio Pisgana Occidentale e sul rilevamento del Ghiacciaio Lewis in Kenia (SMIRAGLIA, 1979; 1982), sulle possibilità di utilizzazione del « remote sensing » da satellite nel controllo dei ghiacciai (RABAGLIATI & SERANDREI BARBERO, 1979) sul bilancio di massa del Ghiacciaio del Caresèr (ZANON, 1982), sulle fluttuazioni del Ghiacciaio della Brenva (OROMBELLI & POR-

TER, 1982). La ricerca sembra privilegiare gli studi sui fenomeni crionivali (su cui si è svolto un convegno nazionale a Bologna nel 1980) e sulla morfogenesi glaciale quaternaria.

I motivi di tale riduzione degli interessi scientifici per la Glaciologia sono elementari e noti. Mi voglio riferire soprattutto alla carenza di quella dotazione strumentale che altrove è supporto essenziale anche per la promozione e l'articolazione delle ricerche e per il loro affinamento metodologico. Lo sparuto manipolo di valorosi operatori nostrani non è dunque né invogliato né attrezzato per tali ricerche.

Eppure, il controllo di un'area glacializzata come quella alpina, della quale disponiamo del versante più differenziato e tipico per condizioni climatiche, oltre che litologiche, tettoniche, morfologiche e, aggiungiamo anche, umane, per l'apporto, nell'area montuosa più popolata della Terra, di influssi e interventi artificiali sull'ambiente naturale, conferirebbe significato insostituibile ai risultati di nostre eventuali ricerche empiriche nel campo della Glaciologia pura ed applicata. Inoltre, il rilevamento dell'assetto topografico dei nostri ghiacciai, condotto con estrema sistematicità ormai da quasi ottant'anni, fornisce ad eventuali programmi particolari di ricerca, una serie di dati quantitativi preziosa, anche se talvolta non omogenea, oltre ad una gamma di osservazioni qualitative, cui la non infrequente soggettività non toglie peraltro il significato documentario.

Il « Catasto dei Ghiacciai Italiani », pubblicato in occasione dell'Anno Geofisico Internazionale e il suo rifacimento ed aggiornamento in atto, come collaborazione al Catasto Mondiale, sono il risultato, pure importante, di tali ricerche e costituiscono dunque una cospicua base informativa su cui impostare una ripresa degli studi.

Certo, per le carenze sopra menzionate, non è pensabile un rapido allineamento nostro ai livelli internazionali, anche perché i risultati ottenuti all'estero sono frutto del lavoro di gruppi di ricercatori, maturati in esperienza e competenza con anni di attività sistematica.

Da queste constatazioni sembrano nascere indicazioni per formulare alcune proposte preventive, di ordine organizzativo. Occorrerebbe iniziare con l'istituzione, presso alcune facoltà universitarie (Scienze e Ingegneria), per iniziativa e sotto gli auspici del Comitato Glaciologico Italiano e col patrocinio del CNR, di corsi residenziali di durata limitata, per la preparazione di operatori che continuino, con adeguata competenza e dotazione strumentale, il rilevamento annuale del glacialismo alpino. Occorrerebbe tuttavia modificare l'impostazione di tale rilevamento affiancandovi l'osservazione su alcuni individui glaciali, scelti in base a criteri di evidente rappresentatività, e affidandone il compito a gruppi di lavoro permanenti, che assicurino continuità e omogeneità metodologica nella rilevazione analitica della dinamica dei singoli apparati. La durata dei corsi sopra menzionati dovrebbe in seguito diventare annuale con programmi di studio, integrati da campagne di rilevamento sul terreno, che assicurino la formazione di esperti rilevatori glaciologici. Ciò dovrebbe consentire l'introduzione della Glaciologia nei piani di studio dei corsi di laurea di per-

tenenza, il che garantirebbe la polarizzazione di interessi scientifici sul nostro campo di studi e di conseguenza la possibilità di concretare iniziative per l'avvio di programmi di ricerca più impegnativi con personale preparato e con strumenti adeguati. Sarebbe il preludio alla istituzione di una o più scuole di specializzazione in Glaciologia. Alla promozione e al finanziamento di tali iniziative, oltre a quello del CNR per i progetti finalizzati di ricerca, sarebbe legittimo il concorso di Enti pubblici (Regioni, ENEL, ecc.) e privati, e ciò per i risvolti applicativi, sia nel campo della tutela ambientale, come in quello geotecnico e idrologico, che tali programmi implicitamente offrono.

Il Comitato Glaciologico Italiano dovrebbe assumere in prima persona, potenziandola, la gestione delle relazioni e dei collegamenti scientifici con gli analoghi centri di studio stranieri. Come intervento immediato dovrebbe promuovere l'inserimento di una nostra rappresentanza qualificata almeno in un « *working group* » di Glaciologia già a partire dal prossimo Congresso Geografico Internazionale del 1984, il cui tema è appunto: « Le Alpi ».

Si tratta di un complesso di iniziative e di interventi che richiedono certamente convinta partecipazione di molti, impegno costante e, consentitemi, un pizzico di passione per quell'ambiente delle nostre montagne e dei loro ghiacciai pieno di fascino e di inconsuete suggestioni. La presenza numerosa a questo convegno più che auspici sembra suggerire certezze.

#### BIBLIOGRAFIA

- ALIVERTI G. (1964) - *Glaciologia*. Suppl. Boll. CGI, ser. 2, 11, 49.
- ALIVERTI G. (1970) - « *Surges* » dei ghiacciai della regione alpina. Boll. CGI, ser. 2, 18, 35-41.
- BERNER W. & alii (1977) - *Dynamic glacier flow model and the production of internal meltwater*. Zeitsch. Gletsch. Glazialgeol., 13, 209-217.
- BINDSCHADLER R. A. (1977) - *Geometry and Dynamics of a surge-type glacier*. Journ. Glac., 18 (79), 181-194.
- BINDSCHADLER R. A. (1982) - *A numerical model of temperate glacier flow applied to the quiescent phase of a surge-type glacier*. Journ. Glac., 28 (99), 239-265.
- BIRNIE R. V. (1977) - *A snow bank push mechanism for the formation of some « anormal » moraine ridges*. Journ. Glac., 18 (78), 77-85.
- BOULTON G. S. (1975) - *Processes and patterns of subglacial sedimentation: a theoretical approach*. In: « WRIGHT A. & MOSELEY F. ed., Ice ages: ancient and modern, Liverpool », 77-85.
- BOULTON G. S. (1976) - *The origin of glacially fluted surfaces: observations and theory*. Journ. Glac., 17 (76), 287-309.
- BOULTON G. S. (1978) - *Boulder shapes and grain size distribution of debris as indicators of transport paths through a glacier and till genesis*. Sedimentology, 25, 773-779.
- BOULTON G. S. (1979) - *Processes of glacier erosion on different substrata*. Journ. Glac., 23 (89), 15-38.
- BUDD W. F. (1975) - *A first simple model for periodically self-surging glaciers*. Journ. Glac., 14 (70), 3-21.
- BUDD W. F. (1979) - *Empirical studies of ice sliding*. Journ. Glac., 23 (89), 157-170.

- CALKIN P. E. & ELLIS J. M. (1981) - *A cirque glacier chronology based on emergent lichens and mosses*. Journ. Glac., 27 (97), 511-515.
- CERUTTI A. V. (1977) - *Variazioni climatiche, alimentazione ed oscillazioni glaciali sul Massiccio del Monte Bianco*. Boll. CGI, ser. 2, 25, 53-86.
- COLBECK S. C. (1974) - *A study of glacier flow*. Journ. Glac., 13 (69), 401-414.
- COLBECK S. C. (1976) - *On the use of tensiometers in snow Hydrology*. Journ. Glac., 17 (75), 135-140.
- CORTE A. E. (1976) - *Rock glaciers*. Biuletyn Peryglacjalny, 26, 175-197.
- DOWDESWELL J. A. (1982) - *Supraglacial resedimentation from meltwater stream on to snow overlying glacier ice in Iceland*. Journ. Glac., 28 (99), 365-375.
- EHLERS J. & STEPHAN H. J. (1979) - *Forms at the base of till strata as indicators of ice movement*. Journ. Glac., 22 (87), 345-355.
- EYLES N. (1979) - *Facies of supraglacial sedimentation on Icelandic and Alpine temperate glaciers*. Canad. Journ. Earth Sc., 16, 1341-1361.
- FAGIOLI A. (1975) - *Telerilevamento da satellite per il livello della neve sulle Alpi*. Riv. Meteor. Aeron., 35, 329-339.
- FOWLER A. C. (1979) - *A mathematical approach to the theory of glacier sliding*. Journ. Glac., 23 (89), 131-142.
- GLEN J. W. (1954) - *The stability of ice-dammed lakes and other water filled holes in glaciers*. Journ. Glac., 2 (15), 315-318.
- GRAY J. M. (1982) - *Unweathered glaciated bedrocks on an exposed lake bed in Wales*. Journ. Glac., 28 (100), 483-497.
- GRIFFEY N. J. (1978) - *Lichen growth on supraglacial debris and its implication for lichenometric studies*. Journ. Glac., 20 (82), 163-172.
- HOOKE R. & HUDLESTON P. J. (1978) - *Origin of foliation in glaciers*. Journ. Glac., 20 (83), 285-299.
- KAMB W. B. (1970) - *Sliding motion of glaciers: theory and observation*. Rev. Geoph. Space Physics, 8, 673-728.
- KAMB W. B. & ALII (1979) - *The ice-rock interface and basal sliding process as revealed by direct observation in bore holes and tunnels*. Journ. Glac., 23 (89).
- KARROW P. F. (1981) - *Till texture in drumlins*. Journ. Glac., 27 (97), 497-502.
- LLIBOUTRY L. A. (1968) - *General theory of subglacial cavitation and sliding of temperate glaciers*. Journ. Glac., 7 (49), 21-58.
- LLIBOUTRY L. A. (1971) - *The glacier theory*. Advances in hydro-science, 7, 81-167.
- LLIBOUTRY L. A. (1976) - *Physical processes in temperate glaciers*. Journ. Glac., 16 (74), 151-158.
- LLIBOUTRY L. A. (1981) - *«Global dynamics» of a temperate valley glacier, Mer de Glace, and past velocities deduced from «forbes» bands*. Journ. Glac., 27 (96), 207-226.
- LLIBOUTRY L. A. (1983) - *Modification to the theory of intraglacial waterways for the case of subglacial ones*. Journ. Glac., 29 (102), 216-226.
- MAIZELS J. K. (1977) - *Experiments on the origin of kettle-holes*. Journ. Glac., 18 (79), 291-303.
- MATTHEWS J. A., CORNISH R. & SHAKESBY R. A. (1979) - *«Sawtooth» moraines in front of Bodalsbreen, Southern Norway*. Journ. Glac., 22 (88), 535-546.
- MENZIES J. (1979) - *The Mechanics of drumlin formation with particular reference to the change in pore water content of the till*. Journ. Glac., 22 (87), 373-384.
- MENZIES J. (1979) - *A review of the literature on the formation and location of drumlins*. Earth Sc. Rev., 14, 315-359.
- MORLAND L. W. (1976) - *Glacier sliding down an inclined wavy bed*. Journ. Glac., 17 (77), 447-462 e 463-477.
- MORRIS E. M. & MORLAND L. W. (1976) - *A theoretical analysis of the formation of glacial «flutes»*. Journ. Glac., 17 (76), 311-323.
- MOTTERSHEAD D. N. & COLLIN R. L. (1976) - *A study of glacier-dammed lakes over 75 years - Brimkjelen, Southern Norway*. Journ. Glac., 17 (77), 491-505.
- NAKAWO M. & YOUNG G. I. (1982) - *Estimate of glacier ablation under a debris layer from surface temperature and meteorological variables*. Journ. Glac., 28 (98), 29-34.
- NYE J. F. (1976) - *Water flow in glaciers: Jökulblaus, tunnels and veins*. Journ. Glac., 17 (76), 181-207.
- OROMBELLI G. & PORTER S. C. (1982) - *Late Holocene fluctuations of Brenva Glacier*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 5, 14-37.
- POSAMENTIER H. W. (1977) - *A new climatic model for glaciers behaviour of the Austrian Alps*. Journ. Glac., 18 (78), 57-66.
- POSAMENTIER H. W. (1978) - *Thoughts on ogive formation*. Journ. Glac., 20 (82), 218-220.
- RABAGLIATI R. & SERANDREI BARBERO R. (1979) - *Possibilità d'impiego del «remote sensing» da satellite per il controllo annuale dei ghiacciai*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 2, 35-40.
- RASSMUSSEN L. A. & CAMPBELL W. J. (1973) - *Comparison of three contemporary flow laws in a three-dimensional, time dependent glacier model*. Journ. Glac., 12 (66), 361-374.
- REYNAUD L. (1975) - *Mouvement du glacier en surface sur une courte échelle de temps*. Bull. Sc. Hydrol., 20, 329-339.
- ROBIN G. & WEERTMAN J. (1973) - *Cyclic surging of glaciers*. Journ. Glac., 12 (64), 3-18.
- ROBIN G. (1976) - *Is the basal ice of a temperate glacier at the pressure melting point?* Journ. Glac., 16 (74), 183-196.
- SHOEMAKER E. M. (1976) - *Temperature gradient induced mass instability: theory of glacier surge*. Journ. Glac., 17 (77), 433-445.
- SMALL R. J., CLARK M. J. & CAWSE T. J. P. (1979) - *The formation of medial moraines on alpine glaciers*. Journ. Glac., 22 (86), 42-52.
- SMALLEY J. J. & UNWIN D. J. (1968) - *The formation and shape of drumlins and their distribution and orientation in drumlin fields*. Journ. Glac., 51 (68), 377-390.
- SMALLEY J. J. (1981) - *Conjectures, hypotheses and theories of drumlin formation*. Journ. Glac., 27 (97), 503-505.
- SMIRAGLIA C. (1979) - *Particolari forme di deposito glaciale nell'area terminale del Ghiacciaio del Pisgana (Alpi Retiche, Gruppo dell'Adamello)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 2, 167-172.
- SMIRAGLIA C. (1982) - *Nota preliminare sull'evoluzione del Ghiacciaio Lewis (Monte Kenya, Africa Orientale) fra il 1974 e il 1978. Considerazioni su una nuova carta a grande scala*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 5, 179-182.
- THORP P. W. (1981) - *An analysis of the spatial variability of glacial striae and friction cracks in part of the Western Grampians of Scotland*. Quat. Studies, 1, 71-94.
- VIVIAN R. A. & ZUMSTEIN J. (1973) - *Hydrologie sousglaciaire au Glacier d'Argentière (Mont Blanc, France)*. Ass. Int. Hydrol. Scient., 95, 53-64.
- VIVIAN R. A. (1980) - *The nature of ice-rock interface: the results of investigation on 20 000 m<sup>2</sup> of the rock bed of temperate glacier*. Journ. Glac., 25 (92), 267-277.
- WALDER J. & HALLET B. (1979) - *Geometry of former subglacial water channels and cavities*. Journ. Glac., 23 (89), 335-346.
- WAYNE W. J. (1981) - *Ice segregation as an origin for lenses of non-glacial ice in «ice-cemented» rock glaciers*. Journ. Glac., 27 (97), 506-510.
- WEERTMAN J. (1972) - *General theory of water flow at the base of a glacier or in sheet*. Rev. Geoph., 10, 287-333.
- WHITE S. E. (1976) - *Rock glaciers and block fields: review and new data*. Quat. Res., 6, 77-97.
- WIBJÖRN KARLEN (1981) - *Flutes on bare bedrock*. Journ. Glac., 27 (93), 190-192.
- ZANON G. (1982) - *Recent glaciological research in the Ortles-Cevedale region (Italian Alps)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 5, 75-81.