

FURIO DUTTO (*) & GIOVANNI MORTARA (*)

RISCHI CONNESSI CON LA DINAMICA GLACIALE NELLE ALPI ITALIANE

Abstract: DUTTO F. & MORTARA G., *Glacial hazards in the Italian Alps*. (IT ISSN 0391-9838, 1992).

Glaciers are dynamically very active physiographic units, in which instability phenomena may take place. They are to be feared owing to the rapidity of their development, sometimes without any easily identified forerunning phase. The consequent danger hazard is to a great extent underestimated, especially during the present phase of generally retreating or stationary glacier snouts. However, recent events (ice fall of the Upper Coolidge Glacier on Monviso, outburst from emptying of englacial water pocket of the Rochefort Glacier, and sudden discharge of the proglacial Locce lake) should draw our attention to these phenomena. Although less common than others of the alpine environment, such as landslides, avalanches, debris flows, they show a local high concentration in very small geographic areas.

In this paper the most significant historical events (about 90) concerning the Italian Alps, are reviewed. On the basis of the case typology thus obtained, the following phenomenon classes have been distinguished:

- 1) ice fall from snout of glaciers;
- 2) supraglacial debris fall/slide outside the lateral moraine;
- 3) landslide involving ice;
- 4) rapid advance of snout of glacier;
- 5) emptying of internal water-pocket;
- 6) emptying of proglacial lake;
- 7) emptying of ice-dammed lake.

For each class a list of the cases taken into consideration is given, listing, when possible, some basic morphometric parameters (involved volume, run distance, and overcome level difference), data concerning the cinematic features (development times) and geomorphologic effects and damages produced. Furthermore, a short description of a phenomenon case for each typology, generally the nearest to us in time,

(*) CNR - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica nel Bacino Padano. Strada delle Cacce 73 - 10135 Torino (Italia).

Comunicazione presentata al VI Convegno Glaciologico Italiano, Gressoney 26-28 Settembre 1991 (Communication presented at the 6th Italian Glaciological Meeting, Gressoney 26-28 September, 1991).

Lavoro pubblicato con il contributo finanziario del C.N.R.-G.N.D.C.I. Gli autori ringraziano Ermanno Dal Molin del Corpo Forestale Valdostano, Alessio Truchet di Courmayeur, Marco Cattaneo della Sezione di Geofisica del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Genova, Alvaro Mazza di Arcore ed i colleghi del C.N.R.-I.R.P.I. Ettore Beretta per la collaborazione nella selezione e raccolta dei dati storici, Pier Giuseppe Trebbò per la fotografia, Edoardo Viola per la grafica.

is given, for which it has been possible to perform a deeper field investigation, referring to the literature for some cases. Finally, the relationship between different typologies and the hazard levels are analyzed.

KEY WORDS: Ice Falls, Glacial bursts, Glacial hazards, Italian Alps.

Riassunto: DUTTO F. & MORTARA G., *Rischi connessi con la dinamica glaciale nelle Alpi italiane*. (IT ISSN 0391-9838, 1992).

I ghiacciai sono unità fisiografiche dinamicamente molto attive dove si possono instaurare fenomeni di instabilità temibili per la rapidità con cui spesso si sviluppano, talora senza una fase preparatoria chiaramente identificabile. La pericolosità che ne deriva è per lo più sottovalutata, soprattutto nell'attuale fase di regresso generalizzato o, quanto meno, di stazionarietà delle fronti glaciali. Recenti eventi (crollo del Ghiacciaio Superiore di Coolidge sul Monviso; rotta glaciale al Ghiacciaio di Rochefort; svuotamento del Lago delle Locce), devono tuttavia richiamare l'attenzione su fenomeni che, anche se meno diffusi in generale di altri nell'ambiente alpino come frane, valanghe e piene torrentizie, assumono una locale elevata concentrazione poiché si sviluppano in un ristrettissimo ambito geografico.

Nel presente lavoro vengono passati in rassegna i più significativi casi storici (circa 90) riguardanti l'arco alpino italiano. Sulla base della casistica così ottenuta sono state distinte le seguenti categorie di fenomeni:

- 1 - crollo di fronte glaciale;
- 2 - caduta di materiale della morena galleggiante all'esterno di cordone morenico;
- 3 - frana in roccia con coinvolgimento di ghiaccio;
- 4 - rapida avanzata di fronte glaciale;
- 5 - svuotamento di serbatoio endoglaciale;
- 6 - svuotamento di lago proglaciale;
- 7 - svuotamento di lago di sbarramento glaciale.

Per ogni categoria viene presentato l'elenco dei casi considerati precisando, ove possibile, alcuni parametri morfometrici fondamentali (volume coinvolto, distanza percorsa, dislivello superato), dati relativi all'aspetto cinematico (tempo di sviluppo) ed effetti prodotti. Inoltre viene data una succinta descrizione di un fenomeno esemplificativo per ogni tipologia, solitamente il più vicino a noi nel tempo, per il quale è stato possibile compiere uno studio più approfondito direttamente sul terreno oppure, per alcuni casi, attingendo dalla letteratura. Vengono infine analizzati i rapporti tra le differenti tipologie dei fenomeni e i relativi livelli di rischio.

TERMINI CHIAVE: Fenomeni di instabilità, Dinamica glaciale, Rischio, Alpi Italiane.

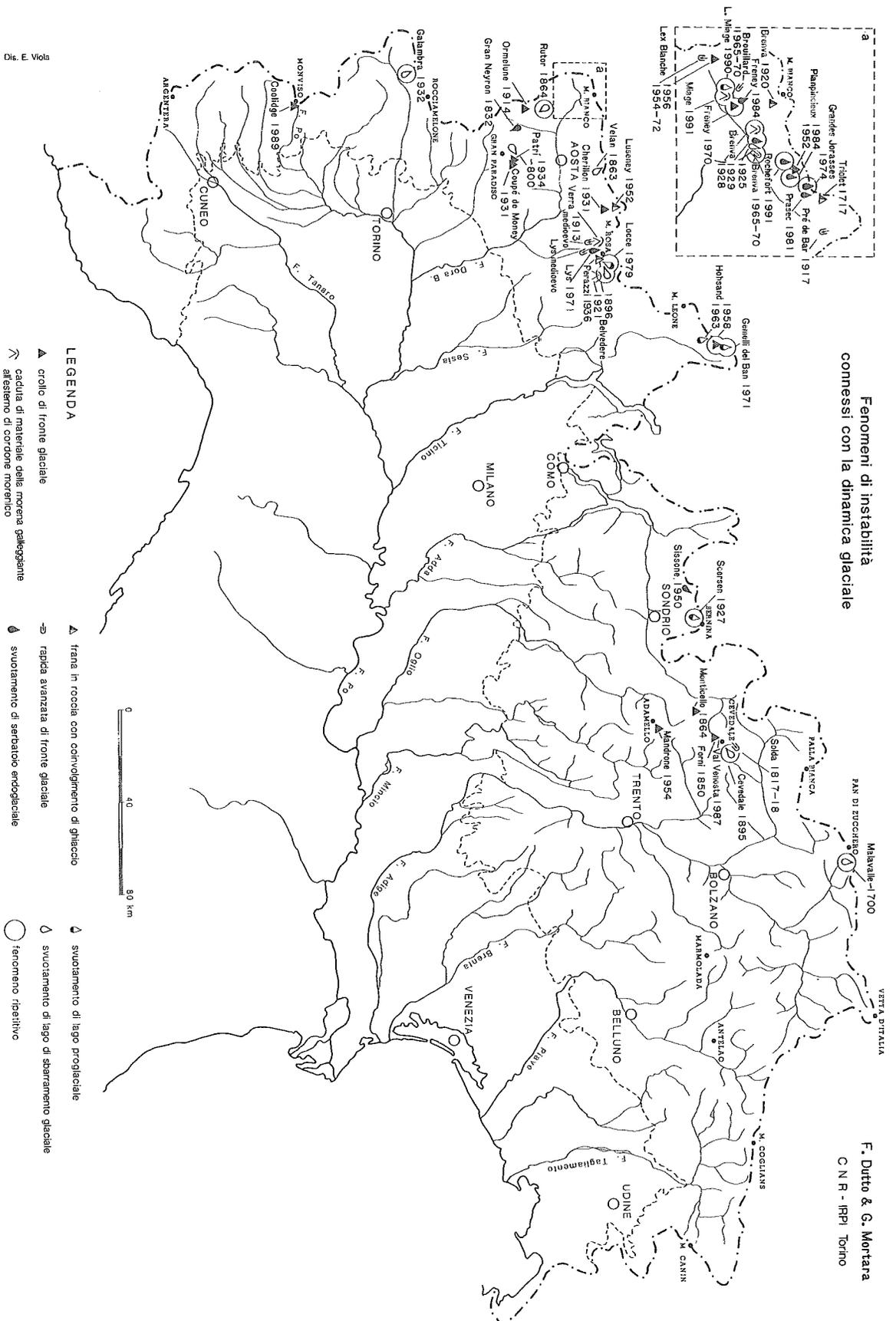


FIG. 1 - Quadro d'insieme dei fenomeni di instabilità connessi con la dinamica glaciale nell'arco alpino italiano. La data si riferisce sempre all'evento più recente avvenuto nello stesso sito.

FIG. 1 - Sketch map of historical glacier related hazards in the Italian Alps (dates refer to the most recent even occurred).

PREMESSA

Il paesaggio alpino è fortemente segnato dalla potentissima azione modellatrice esplicata dai ghiacciai nel corso degli avvicendamenti climatici pleistocenici. Valli ad «U», laghi di sovraescavazione, edifici morenici, ecc. sono aspetti morfologici certamente familiari a chi frequenta l'ambiente montano. Parimenti conosciuta è la funzione del ghiacciaio quale riserva idrica di inestimabile valore.

Forse non altrettanto noti, e pertanto spesso sottovalutati, sono i pericoli per l'attività dell'uomo derivanti dalla presenza di masse glaciali. Al più, si ritiene che queste, ubicate in luoghi solitamente poco accessibili, costituiscano un pericolo oggettivo solo per gli alpinisti. In realtà la risposta di un ghiacciaio ad una variazione climatica può tradursi in radicali mutamenti di forma e di dimensione della massa glaciale stessa, predisponenti a situazioni di pericolo a valle della fronte, con minaccia per strutture antropi-

che permanenti o per siti ad elevata frequentazione, sia pure stagionale. A questo proposito si richiamano, a titolo d'esempio, il disastro provocato dal crollo della fronte del Ghiacciaio Allalin a Mattmark nel Vallese, con 88 vittime (VIVIAN, 1966) o le catastrofiche inondazioni nella valle di La Thuile (AO), conseguenti ai periodici svuotamenti del lago di sbarramento del Rutor avvenuti nei secoli passati (BARETTI, 1880), e, più recentemente, il crollo del Ghiacciaio Superiore di Coolidge sul Monviso (DUTTO & *alii*, 1991).

I ghiacciai sono agenti morfogenetici dinamicamente molto attivi, sedi di fenomeni di instabilità spesso temibili per la rapidità con cui si sviluppano, talora senza una fase preparatoria chiaramente identificabile ai fini dell'allerta. Da tali considerazioni ha preso spunto questa ricerca che si è concretizzata in una carta della distribuzione e della ricorrenza di eventi glaciologici avvenuti in tempi storici sull'arco alpino italiano (fig. 1), ottenuta sia per di-

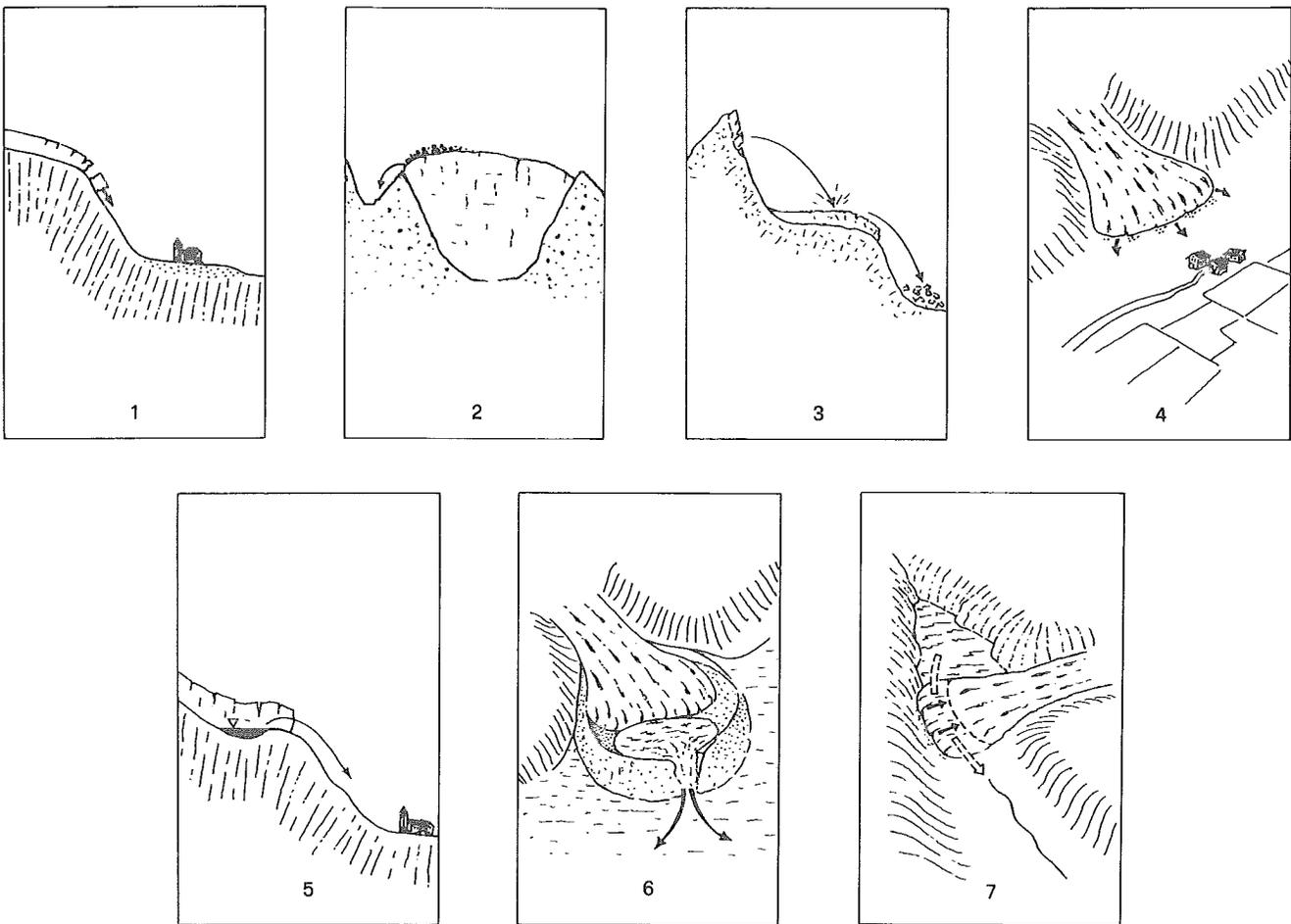


FIG. 2 - Rappresentazione schematica delle tipologie dei fenomeni di instabilità connessi con la dinamica glaciale. Legenda: 1) crollo di fronte glaciale; 2) caduta di materiale della morena galleggiante all'esterno di cordone morenico; 3) frana in roccia con coinvolgimento di ghiaccio; 4) rapida avanzata di fronte glaciale; 5) svuotamento di serbatoio endoglaciale; 6) svuotamento di lago proglaciale; 7) svuotamento di lago di sbarramento glaciale (da TUFNELL, 1984, modificato).

FIG. 2 - Types of glacier hazard. 1) ice fall from snout of glacier; 2) supraglacial debris fall/slide outside the lateral moraine; 3) landslide involving ice; 4) rapid advance of snout of glacier; 5) emptying of internal water-pocket; 6) emptying of proglacial lake; 7) emptying of ice-dammed lake (after TUFNELL, 1984, modified).

rette conoscenze professionali che attraverso un'ampia consultazione della letteratura e di numerose fonti storico-bibliografiche.

DESCRIZIONE DEI FENOMENI

Sulla base della casistica così ottenuta sono state distinte le seguenti categorie di fenomeni (fig. 2):

- 1 - crollo di fronte glaciale;
- 2 - caduta di materiale della morena galleggiante all'esterno di cordone morenico;
- 3 - frana in roccia con coinvolgimento di ghiaccio;
- 4 - rapida avanzata di fronte glaciale;
- 5 - svuotamento di serbatoio endoglaciale;
- 6 - svuotamento di lago proglaciale;
- 7 - svuotamento di lago di sbarramento glaciale.

Per ogni categoria viene presentato l'elenco dei casi considerati precisando, ove possibile, alcuni parametri fondamentali (volume coinvolto, distanza percorsa, dislivello superato), dati relativi all'aspetto cinematico (tempo di sviluppo) ed effetti prodotti (tavv. 1-2). Inoltre viene data una succinta descrizione di un fenomeno esemplificativo per ogni tipologia, solitamente il più vicino a noi nel tempo, per il quale è stato possibile compiere uno studio più approfondito direttamente sul terreno oppure, per alcuni casi, attingendo dalla letteratura.

Non sono stati considerati i fenomeni per l'insacco dei quali sono necessari tempi di sviluppo per lo più lunghissimi, pur risultando non secondario il ruolo destabilizzante del ghiacciaio. Ci si riferisce, cioè, a quelle diffuse situazioni di instabilità dei versanti che si sono instaurate per intensi fenomeni di scarico tensionale delle masse rocciose, a seguito del generalizzato ritiro dei ghiacciai würmiani dalle aste vallive, attuatosi circa 10 000-12 000 anni fa.

Non sono stati analizzati anche gli eventi di piena eccezionali per i quali può essere ipotizzato un consistente contributo derivante dalle acque di fusione glaciale. I rapporti tra precipitazioni e contributi glaciali nella formazione delle portate di piena, di difficile valutazione per il carenza numero di strumenti in quota, sono stati finora oggetto di sporadici studi quantitativi (REY & DAYER, 1990). Pur tenuto conto della scarsità di dati conoscitivi su questi fenomeni, vengono ricordati, a titolo d'esempio, gli eventi di piena del 18-19 Luglio 1987 nei bacini della Valtellina (SMRAGLIA, 1987) e del 23-24 Agosto 1987 nell'alta Val d'Ossola in occasione dei quali sono stati osservati intensi fenomeni erosivi e di dilavamento dei corpi glaciali e degli apparati morenici e fenomeni di trasporto in massa lungo le aste dei torrenti glaciali.

CROLLO DI FRONTI GLACIALI

Il termine crollo è stato qui utilizzato in senso allargato, riferendosi a tutti i fenomeni gravitativi che spaziano da crolli veri e propri (caduta libera di fronti sospese) a fenomeni misti di crollo-scivolamento o ribaltamento in stretta dipendenza con la morfologia del substrato roccio-

so su cui è impostata la fronte glaciale. Sovente, per lo meno quando i volumi coinvolti sono di una certa entità, questi fenomeni evolvono in valanghe di ghiaccio miste a materiale detritico-morenico (ALEAN, 1985).

Ghiacciaio Superiore di Coolidge - Il 6 Luglio 1989 sulla parete nord del Monviso (alta Valle Po), a quota 3 195 m, si verificava il distacco improvviso di circa 2/3 della massa del ghiacciaio, pari ad un volume di 200 000 m³ circa (fig. 3).

Il fenomeno, evolutosi in valanga mista di ghiaccio e detrito che raggiungeva il sottostante Lago Chiaretto (m 2 265), veniva registrato da una vicina stazione sismografica. Dall'analisi del segnale, in cui sono distinguibili fasi di differente emissione di energia probabilmente collegate ad altrettanti stadi evolutivi del fenomeno, si può ipotizzare che la valanga abbia raggiunto una velocità compresa tra 90 e 130 km/h.

Nell'area di invasione si poterono osservare importanti, seppure effimere, modificazioni morfologiche mentre i danni risultarono modesti, data la mancanza di strutture antropiche di una certa rilevanza. È invece da sottolineare come in questa zona ad alta frequentazione turistica, solo la fortunata coincidenza dell'ora serale (22.45) in cui avvenne la caduta del ghiacciaio evitò gravi conseguenze per le persone.



FIG. 3 - Versante settentrionale del Monviso (Alpi Occidentali). Area di espansione (linea nera) della valanga di ghiaccio caduta il 6 Luglio 1989 (circa 200 000 m³) dal Ghiacciaio Superiore di Coolidge a quota 3 195 (nel cerchio) ed arrestatasi nel Lago Chiaretto (m 2 265).

FIG. 3 - View of the northern side of Monviso (Western Alps) showing the 1989 ice avalanche path. The avalanche (about 200 000 m³), starting from Upper Coolidge Glacier (m 3 195, see circle), reached the Chiaretto Lake (m 2 265).

TAVOLA 1 - Casi storici presi in considerazione, divisi per tipologia secondo l'ordine indicato a pag. 88.

PLATE 1 - Case histories of glacier hazards.

1	Ghiacciaio	data	volumi (m ³)	tempo	dist. (m)	disliv. (m)	effetti/danni	rif. bib.
	Sup. Coolidge	6.7.1989	200 000	< 1 min	1200	950		DUTTO & <i>alii</i> 1991
	Freney	11.1970						LESCA 1971
	Hohsant Merid.	9.1958	400-450				ondata nel lago e tracimazione	SILVESTRI 1967
	Lex Blanche	9.8.1956			500	200		CAPELLO 1959a, b
	Freney	24-25.6.1956			1300	730		CAPELLO 1959a, b
	Mandrone	29.8.1954	alcune cent.					MARCHETTI 1955
	Hohsant Merid.	13-14.11.1953	300 000					SILVESTRI 1967
	Planpincieux	21.12.1952	«enorme»		4000	3000	abitazioni danneggiate	CERUTTI 1953
	Patrè	1933 o 1934						PERETTI 1935c
	Freney	8.8.1933						CAPELLO 1934
	Coupé di Money	1931					formazione lago	PERETTI 1935c
	Cherillon	1931	«grandiosa valanga»		100			VANNI 1932
	Ormelune	26.3.1914					18 abitazioni distrutte	LAVOYER 1977
	Cima Monticello	20.8.1864					abitazioni distrutte	COMANDINI & MONTI 1929
	Forni	1850-60?						STOPPANI 1881
2	Ghiacciaio	data	volumi	tempo	dist. (m)	disliv. (m)	effetti/danni	rif. bib.
	Miage	1991 e preced.	grossi blocchi	secondi	120	80	strada dann.	MORTARA & SORZANA 1987
	Miage	1972						LESCA 1972c
	Miage	1931	materiale eterogeneo					CAPELLO 1932
	Brenva	1928	grossi blocchi					SESTINI 1930
	Belvedere	1921	ghiaccio e blocchi				costruzione conoide di ghiaccio	GILI-BORGHET 1963
	Miage	1918	grossi blocchi					SACCO 1918
	Verra	1913						MONTERIN 1914
	Miage	1820					distruzione bosco	MONTERIN 1936
3	Ghiacciaio	data	volumi (m ³)	tempo	dist. (km)	disliv. (m)	effetti/danni	rif. bib.
	Becca di Lusency (glacionevato)	8.6.1952	≥ 1*10 ⁶	estr. rap.	≥ 3	1450	formazione lago 4 vittime	STRAGIOTTI & PERETTI 1953
	Perazzi	4.8.1936	200 000	rapido	> 3	1250	abitaz. dannegg.	MONTERIN 1937
	Brenva	14.11.1920	6-7*10 ⁶	2-3 min	5	2890	formazione lago	VALBUSA 1921
	Triolet	7.9.1717	16-20*10 ⁶	< 4 min	7,2	1860	7 vittime	PORTER & OROMBELLI 1980
4	Ghiacciaio	data	volumi (m ³)	tempo (anni)	dist. (m)		effetti/danni	rif. bib.
	Brenva	1965-70	20*10 ⁶	1	50			LESCA 1972a, 1986
	Brouillard	1965-70		5	560			LESCA 1972b
	Lex Blanche	1954-72		18	650			LESCA & ARMANDO 1972
	Pré de Bar	Estate 1917			(0.5/g)			SACCO 1918
	Solda	1817-18		1	1200		sgombero abit.	BACHMANN 1984
	Brenva	1810-18		8	1000			CERUTTI 1977
	Brenva	XVI sec.					distruz. abitato	VIRGILIO 1883
	Lys	Medioevo					distruz. abitato?	MONTERIN 1915
	Grande di Verra	Medioevo					distruz. abitato?	MONTERIN 1936

TAVOLA 2 - Casi storici presi in considerazione, divisi per tipologia secondo l'ordine indicato a pag. 88.

PLATE 2 - Case histories of glacier hazards.

5	Ghiacciaio	data	volumi (m ³)	tempo	dist. (km)	effetti/danni	rif. bib.
	Rochefort	12.7.1991	> 100 000	minuti	> 3	ponte e strada dannegg.	C.N.R.-I.R.P.I. 1991
	Planpincieux	8.1984				ponte e strada dannegg.	DAL MOLIN (com. pers.)
	Freney	20.4.1984				ponte e strada dannegg.	DAL MOLIN (idem)
	Prasec	1.8.1981				campeggio distrutto	DAL MOLIN (idem)
	Grandes Jorasses	22.8.1974					DAL MOLIN (idem)
	Lys	9-12.12.1971	480 000	2-3 gg			ALIVERTI & alii 1973
	Sissone	15.9.1950		3 ore		distruzione abitazioni	NANGERONI 1951
	Planpincieux	17.6.1929			≈ 13	strada danneggiata	SESTINI 1930
	Brenva	23-24.7.1929				distruzione abitazioni	SESTINI 1930
	Brenva	7.1928					SESTINI 1930
	Grandes Jorasses	1920 circa					DAL MOLIN (com. pers.)
	Belvedere	8.1896					LA VOCE 4/8/1896
	Belvedere	8.1868					STOPPANI 1881
	«Velan»	1863				abitazioni danneggiate	CANZIO & alii 1899
	Gran Neyron	19-20.8.1832				vittime	ZANOTTO 1983
	Patri	800 circa				distruzione abitazioni	DRUETTI 1897
6	Ghiacciaio	data	volumi (m ³)	tempo	dist. (km)	effetti/danni	rif. bib.
	Miage	9.8.1990		1 notte			TRUCHET (com. pers.)
	Miage	8.7.1986					TRUCHET (idem)
	Settentr. Locce	19.7.1979	300 000	2 ore	> 3	seggiovia distrutta	C.N.R.-I.R.P.I. 1979
	Settentr. Locce	2.8.1978			> 3		C.N.R.-I.R.P.I. 1979
	Gemelli di Ban	10.1971					SILVESTRI 1971
	Settentr. Locce	13.7.1970			> 3	seggiovia danneggiata	SERV. GEOL. IT. 1970
	Miage	Est. 1964		lento			CAPELLO 1964
	Miage	8.1963		lento			CAPELLO 1963
	Miage	Est. 1962		lento			CAPELLO 1962b
	Miage	Aut. 1961		lento			CAPELLO 1962a
	Miage	6.1956		alcuni gg			CAPELLO 1959b
	Miage	20.7.1955		3 gg			CAPELLO 1956
	Miage	10.8.1950	180 000	3 gg			LESCA 1956
	Miage	8.1930		lento			CAPELLO 1940
	Scerscen	10.8.1927	500 000	6-8 ore	≈ 20	ponti distrutti	CORTI 1929
	Scerscen	6-7.8.1924					CORTI 1929
7	Ghiacciaio	data	volumi (m ³)	tempo	dist. (km)	effetti/danni	rif. bib.
	Galambra	1933	svuotam. parziale				PERETTI 1935a
	Rutor (L. Nuovo)	1933	100 000				PERETTI 1935b
	Galambra	1932	500 000	lento			PERETTI 1935a
	Brenva	1925					LE MONT BLANC 26/6/1925
	Cevedale	1.6.1895					EISBACHER & CLAGUE 1984
	Cevedale	17.6.1891	700 000			distruz. abitazioni	EISBACHER & CLAGUE 1984
	Cevedale	5.6.1889	≈ 700 000	< 1 ora		distruz. abitazioni	EISBACHER & CLAGUE 1984
	Cevedale	16.6.1888				strade e ponti distrutti	EISBACHER & CLAGUE 1984
	Cevedale	6.1887					SECCHIERI 1985
	Rutor (Lago di S. Margherita)	9.1864		8-10 gg	≈ 30		CARREL 1867
	Rutor (Lago di S. Margherita)	8.1751	≈ 5 000 000	6-7 ore	≈ 30	distruz. abitazioni	SACCO 1917
	Malavalle	sec. XVIII (ripetute volte)				distruz. abitazioni	CASTIGLIONI 1930
	Rutor (Lago di S. Margherita)	dal 1430 al 1680 (almeno 12 volte)	≈ 5 000 000	alcune ore	≈ 30	distruz. abitazioni	BARETTI 1880
	Cevedale	1127?				distruz. abitazioni	EISBACHER & CLAGUE 1984

CADUTA DI MATERIALI DELLA MORENA GALLEGGIANTE ALL'ESTERNO DI CORDONE MORENICO

Una lingua glaciale in fase di espansione può subire aumenti di potenza tali da superare in altezza gli apparati morenici latero-frontali che la delimitano. Nel caso di ghiacciai con abbondante morena galleggiante si possono instaurare situazioni di elevata instabilità poiché la frazione granulometrica più grossolana può facilmente trascinare verso l'esterno con meccanismi di scivolamento o rotolamento.

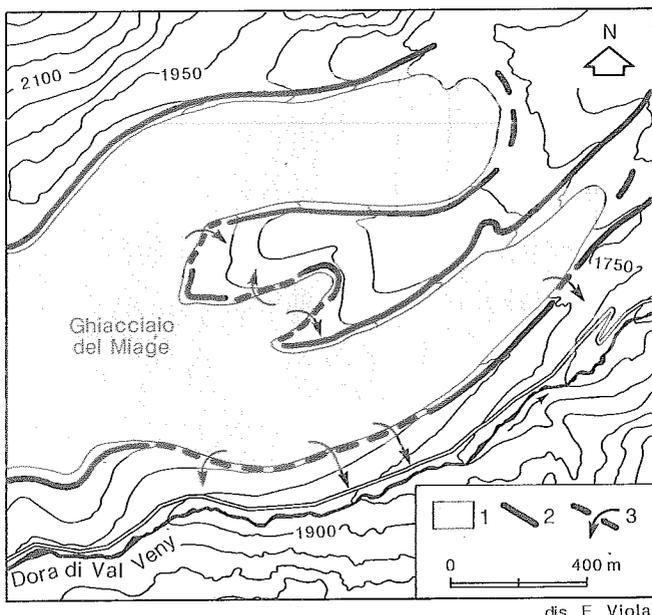


FIG. 4 - Fronte trilobato (1) del Ghiacciaio del Miage (Monte Bianco) e apparato morenico latero-frontale (2). Sono indicati i settori (3) dove il ghiacciaio sovrasta il filo delle morene e dove, di conseguenza, avvengono con maggior frequenza frane nei depositi supragliaciali.

FIG. 4 - Sketch map of the lobate snout (1) and the end moraine system (2) of the Miage Glacier (Mont Blanc range). Where the lobes are steep, bulging and overtopping the moraine ridges (3), sliding or fall of supraglacial debris are frequent.

Ghiacciaio del Miage - L'imponente apparato morenico latero-frontale del maggiore ghiacciaio del Gruppo del M. Bianco occupa l'intera sezione dell'alta Val Veny (fig. 4) e documenta la massima espansione olocenica, culminata nel 1820 durante la Piccola Età Glaciale. Successivamente a tale data, negli anni 1920, '30 e '70, si manifestarono episodi pulsatori con notevole rigonfiamento della superficie del ghiacciaio, anche dell'ordine di 50 m (MORTARA & SORZANA, 1987). Ancora attualmente è possibile osservare cumuli di materiale morenico galleggiante che incombono per un'altezza di 3-10 m al di sopra dell'orlo delle morene laterali (fig. 5).

Il fenomeno è particolarmente evidente a valle del laghetto del Miage, dove, dalla sommità della morena laterale destra (alta circa 80 m), e per un tratto di alcune centinaia di metri, si verificano cadute di blocchi. Questi, per lo più, si arrestano sulla strada di fondovalle, frequentatissima durante la stagione turistica (fig. 6).

FRANE IN ROCCIA CON COINVOLGIMENTO DI GHIACCIO

Si è ritenuto opportuno considerare anche i casi di frane in roccia che coinvolgono nella loro caduta cospicui volu-



FIG. 5 - Il fianco esterno della morena laterale destra del Ghiacciaio del Miage, stabilizzato fin dal termine della Piccola Età Glaciale (1820), è attualmente in fase di accrescimento per l'apporto di detriti che scivolano dalla superficie del ghiacciaio.

FIG. 5 - Coarse angular debris of an active talus directly nourished by falls of supraglacial till, overtopping the 1820 right moraine ridge of the Miage Glacier.

mi di ghiaccio. La presenza di quest'ultimo condiziona, infatti, il comportamento dinamico della massa, sia quando, sotto forma di acqua di fusione o di aerosol, ne abbassa l'angolo di attrito interno, sia offrendo una eventuale superficie di scivolamento particolarmente lubrificata. Ciò si traduce in una elevata mobilità del materiale coinvolto (McSAVENEY, 1978; EVANS & CLAGUE, 1988).



FIG. 6 - Strada della Val Veny (Monte Bianco), frequentemente minacciata da grossi blocchi rocciosi che rotolano dalla sommità della morena laterale destra del Ghiacciaio del Miage.

FIG. 6 - Large boulders rolling and bouncing beyond the toe of the steep lateral moraine of the Miage Glacier frequently reach the road of the Veny Valley (Mount Blanc range).

Becca di Lusney - Il giorno 8 Giugno 1952 una massa di rocce gneissiche e di detrito, valutata in circa un milione di m³, si staccò dal versante occidentale della Becca di Lusney (Alta Valpelline) a quota 3 100 m circa. La frana, nella sua corsa, asportò una massa di ghiaccio «dell'ordine di almeno decine di migliaia di m³» (STRAGIOTTI & PERETTI, 1953), mascherata da una coltre detritica e residua testimonianza di un glacionevato ancora attivo nel secolo scorso.

Si originò una miscela solido-liquida che percorse in pochi minuti la Comba di Arbière per un tratto di circa 2,5 km, arrestandosi infine sul fondovalle principale che venne occupato per una lunghezza di oltre 1 km (fig. 7). Parte del materiale risalì sul versante opposto per un dislivello di circa 100 m, investendo la frazione Chamen dove trovarono la morte quattro persone.

A monte dell'accumulo, per l'ostruzione del T. Buthier, si venne a creare un lago temporaneo della capacità di circa 300 000 m³. Due giorni più tardi il torrente si aprì una via nei materiali d'accumulo innescando una violenta pulsazione di piena che distrusse due abitazioni di Poullaye.

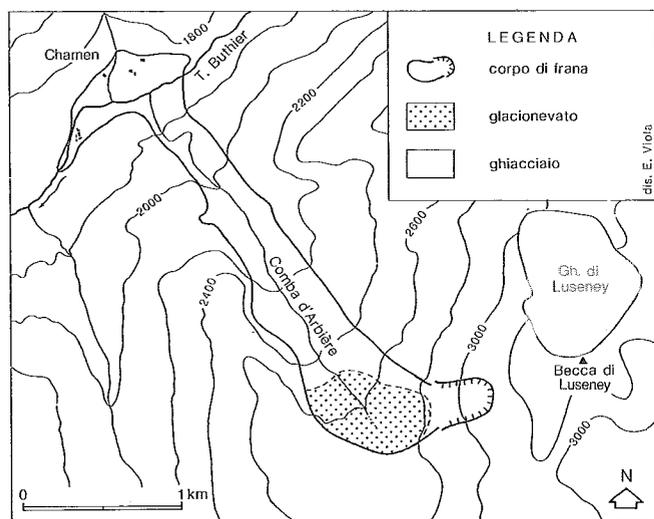


FIG. 7 - La valanga di detrito e ghiaccio (circa 1 milione di m³) caduta nel Giugno 1952 dalla Becca di Lusney in Valpelline risalì sul versante opposto provocando la morte di 4 persone a Chamen ed il temporaneo sbarramento della valle (da aerofotografie).

Fig. 7 - Sketch map showing the 1952 Becca di Lusney rock avalanche in Valpelline (Upper Aosta Valley). A chaotic flow of melting snow, glacier ice (dotted area) and morainic till (about 1×10^6 m³) dammed the main valley and then reached 100 m up the opposite valley side. The hamlet of Chamen was destroyed and four people died.

RAPIDA AVANZATA DI FRONTI GLACIALI

Eccezionali, rapidissime avanzate di fronti glaciali, fino a 350 m/giorno (EMBLETON & KING, 1971) sono state segnalate in diverse regioni (Alaska, Antartide, Karakorum). Tali fenomeni, noti come *surges*, sembrano dipendere, più che da fattori strettamente climatici, dal comportamento dinamico del ghiacciaio (FLINT, 1971; SHARP, 1988). Anche nell'arco alpino sono noti casi di rapida avanzata, pur avvenuti con minore intensità ed in un contesto di espansione generalizzata di fronti glaciali, come si verificò durante la Piccola Età Glaciale e, sia pur localmente, in alcuni periodi di questo secolo (ALIVERTI, 1970).

Ghiacciaio di Solda (Sulden Ferner) - La rapida avanzata della fronte di questo ghiacciaio del Gruppo Ortles-Cevedale, avvenuta nel secon-

do decennio del secolo passato, è certamente la più spettacolare fra quelle documentate nelle Alpi italiane (DESIO, 1967).

La progressione della fronte, iniziata nel 1815, raggiunse la sua massima intensità tra il 1817 ed il 1818, allorché si registrò una avanzata di oltre 1 200 m (3 m/giorno), con seria minaccia per i Masi dei Campi (Gampen) che vennero sgomberati in via precauzionale (fig. 8).

SVUOTAMENTO DI INVASI LACUSTRI CONNESSI AGLI APPARATI GLACIALI

La presenza di serbatoi idrici all'interno di un ghiacciaio, o sulla sua superficie, o in posizione periferica, costituisce un potenziale pericolo in quanto, per cause diverse, si può verificare il rapido rilascio di ingenti volumi d'acqua, anche superiori a diversi milioni di metri cubi (RABOT, 1905; HAEBERLI, 1983).

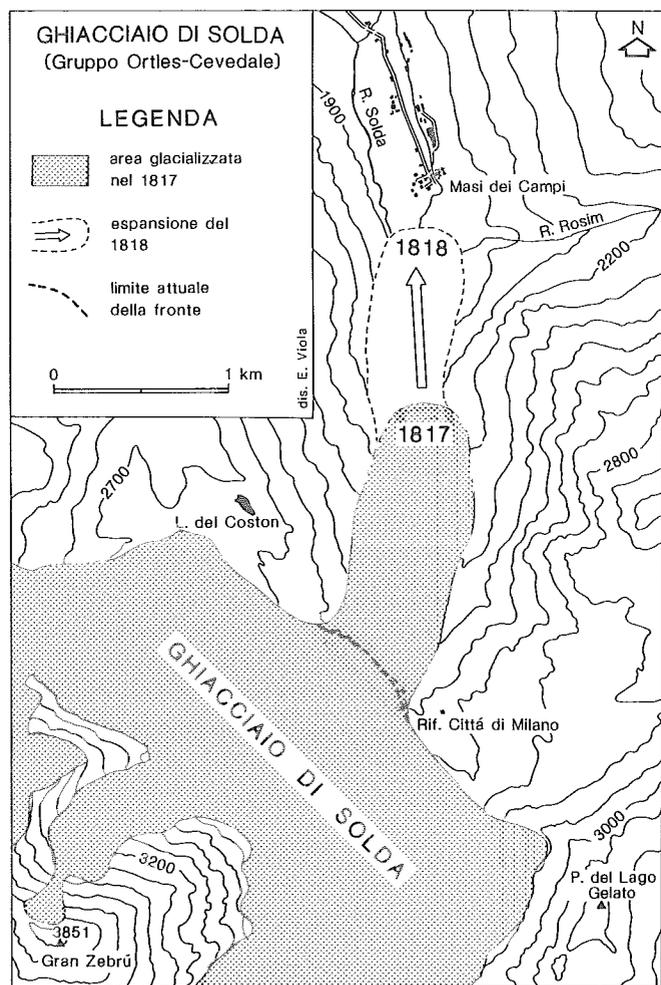


FIG. 8 - Rappresentazione schematica della eccezionale avanzata della fronte del Ghiacciaio di Solda (Gruppo Ortles-Cevedale, Alpi Centro-Orientali) avvenuta tra il 1817 e il 1818 (circa 1 200 m), con minaccia per i Masi dei Campi che furono prudenzialmente evacuati.

FIG. 8 - Map of the Solda Glacier in the Ortles-Cevedale range (Central Eastern Alps) showing the spectacular snout advance during 1817-18. The glacier increased its length over 1 200 m threatening the hamlet of Campi which was evacuated.

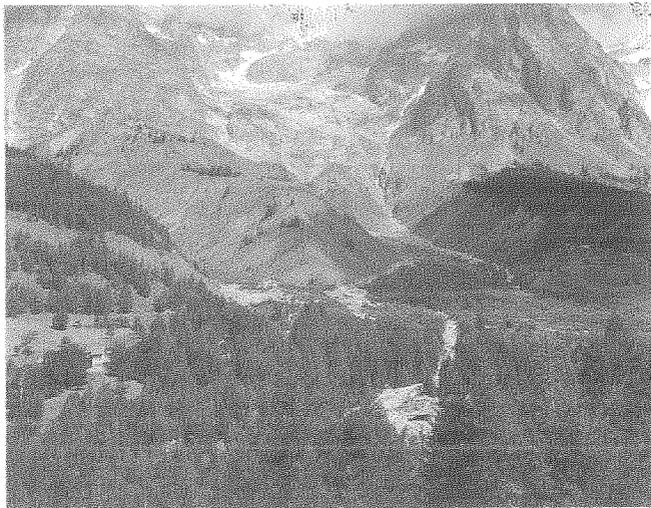


FIG. 9 - Panoramica del bacino glaciale di Rochefort in Val Ferret (Monte Bianco). Sono visibili le tracce del fenomeno torrentizio di mobilitazione in massa innescato dalla sacca d'acqua fuoriuscita dalla fronte del ghiacciaio.

FIG. 9 - Southeastward view of Rochefort Glacier basin in the Ferret Valley (Mont Blanc range) showing the impact of 1991 debris flow triggered by the water pocket rupture at the snout of the glacier.

A valle del punto in cui si realizza lo svuotamento prendono solitamente origine processi di violenta attività torrentizia, altrimenti definiti rotte glaciali (francese *débâcle glaciaire*, inglese *glacial burst*, islandese *jökulhlaup*). L'entità degli effetti dipende principalmente dai volumi d'acqua in gioco, dalla rapidità con cui avviene il rilascio, dalla pendenza dell'alveo e dalla disponibilità di materiali detritico-alluvionali.

a) SVUOTAMENTO DI SERBATOI ENDOGLACIALI

All'interno di un ghiacciaio o nelle depressioni del suo letto roccioso possono talora accumularsi sacche d'acqua per processi di fusione, per alimentazione diretta o anche per ostacoli temporanei al deflusso subglaciale. La rimozione di tali ostacoli o l'instaurarsi di vie di deflusso di neoformazione, come risposta delle variazioni fisico-dinamiche della massa glaciale, possono determinare lo svuotamento dei serbatoi endoglaciali.

Ghiacciaio di Rochefort - Il 12 Luglio 1991, nel corso di un violento nubifragio, presso la frazione Planpincieux di Courmayeur in Val Ferret si verificò un imponente fenomeno di trasporto in massa lungo l'asta del T. Rochefort nel quale si raccolgono le acque di fusione del ghiacciaio omonimo (fig. 9). Non meno di 100 000 m³ di materiali detritici prevalentemente grossolani si distribuirono sulla conoide fino a lambire l'abitato di Palud, provocando l'ostruzione di un ponte e l'interruzione della strada di fondovalle per un tratto di 400 m.

A seguito di dirette osservazioni e di testimonianze raccolte sul terreno, ha preso valore l'ipotesi che all'innescò ed all'esaltazione del fenomeno alluvionale abbia contribuito, oltre alla pioggia di forte intensità, anche il rilascio improvviso di una sacca d'acqua interna alla fronte sospesa del ghiacciaio. Questa interpretazione è avvalorata dal consistente ampliamento della porta glaciale da cui fuoriesce il T. Rochefort e dal fatto che solo in questo ramo del reticolo idrografico che si sviluppa a valle della fronte sono state osservate le tracce del passa-

to della piena torrentizia. L'ampliamento della porta glaciale si è presumibilmente realizzato per crollo di seracchi, fenomeno frequente durante l'estate nei ghiacciai con fronte sospesa, tanto più probabile data l'elevata temperatura dei giorni precedenti.

b) SVUOTAMENTO DI LAGHI PROGLACIALI

I laghi proglaciali si originano nell'area prospiciente le fronti glaciali e sono alimentati dalle acque di fusione. Generalmente sono contenuti all'interno degli apparati morenici latero-frontali sulle superfici lasciate libere dai ghiacciai in fase di ritiro. Lo svuotamento di un lago proglaciale è un fenomeno frequente dalle conseguenze spesso catastrofiche e avviene, in genere, per sifonamento o per cedimento dello sbarramento morenico (COSTA, 1988). In quest'ultimo caso, l'indebolimento della stabilità dell'edificio



FIG. 10 - Versante orientale del Monte Rosa in alta Val Anzasca. L'immagine all'infrarosso pone in particolare risalto la traccia del passaggio dell'acqua fuoriuscita nel 1979 dal lago proglaciale delle Locce.

FIG. 10 - Air infrared photo clearly shows the path (arrowed) of the 1979 outburst debris flow starting from the proglacial Locce Lake in Upper Anzasca Valley (Eastern side of the Monte Rosa range).

morenico può essere causato da processi erosivi e da fusione di lenti interne di ghiaccio fossile (HAEBERLI & EPIFANI, 1986).

Ghiacciaio Settentrionale delle Locce - Il 19 Luglio 1979 il Lago delle Locce, alla fronte del ghiacciaio omonimo (Valle Anzasca, versante orientale del Monte Rosa), a seguito di un accentuato processo di fusione, subì un rapido innalzamento del suo livello cui fecero seguito fenomeni di tracimazione e di sifonamento sul lato sinistro della morena (fig. 10).

Circa 300 000 m³ d'acqua, defluiti dal lago in meno di tre ore, vennero a giorno sul lato destro del contiguo Ghiacciaio del Belvedere, incanalandosi tra questo ed il fianco interno della grande morena laterale destra. Attraverso un intaglio di quest'ultima (fig. 11) le acque si scaricarono nell'alveo del T. Pedriolo dove si originò un violento fenomeno di trasporto in massa propagatosi, con più pulsazioni, per oltre 3 km fino alla frazione Pecetto di Macugnaga. La stazione intermedia della seggiovia del Belvedere presso l'Alpe Burki fu distrutta.

c) SVUOTAMENTO DI LAGHI DI SBARRAMENTO GLACIALE

In situazioni morfologiche adeguate una lingua glaciale in avanzata può provocare lo sbarramento di un'asta valliva con conseguente formazione di un bacino lacustre per impedimento al deflusso.

Cedimenti dello sbarramento, apertura di vie di deflusso subglaciali o, più frequentemente, l'arretramento della lingua glaciale possono originare lo svuotamento dell'invaso, tanto più catastrofico se repentino (CLAGUE & MATHEWS, 1973). Caratteristica di questi eventi è la loro ripetitività

legata alle oscillazioni delle fronti glaciali (VIVIAN, 1975; TOKMAGAMBETOV & *alii*, 1980).

Ghiacciaio del Rutor - Le ripetute oscillazioni di un lobo frontale del Ghiacciaio del Rutor (Valle di La Thuile) determinarono spesso, nei secoli passati, l'alternarsi di situazioni di invaso e di svuotamento del lago di Santa Margherita (oltre 40 casi secondo BARETTI, 1880). Volumi d'acqua valutabili in 4-5 milioni di m³ fuoriuscivano dal lago nello spazio di 6-7 ore, dando origine a catastrofiche onde di piena che si propagavano lungo l'asta della Dora di Verney e, ancora più a valle, lungo la Dora Baltea. Gli effetti erano risentiti da tutti i centri abitati del fondovalle sino a Villeneuve, a ben 30 km di distanza (fig. 12).

L'ultimo caso segnalato risale al settembre 1864 e fu caratterizzato da una lenta fuoriuscita che si esaurì nell'arco di una settimana, senza provocare danni distruttivi paragonabili a quelli del passato (SACCO, 1917). Da allora non si sono più riproposte le condizioni necessarie al ripetersi del fenomeno a causa del progressivo ritiro della fronte glaciale.

ORIENTAMENTI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Nell'occuparsi di fenomeni di instabilità risulta di fondamentale importanza identificare differenti tipologie in relazione alle diverse modalità del loro innescò, sviluppo e propagazione. Ciò permette di entrare in merito alla parametrizzazione degli aspetti dinamico-morfologici di ogni singolo fenomeno, nella prospettiva di una applicazione in campo previsionale e preventivo (HAEBERLI & *alii*, 1989; LAENEN & *alii*, 1987; CHURCH, 1988).

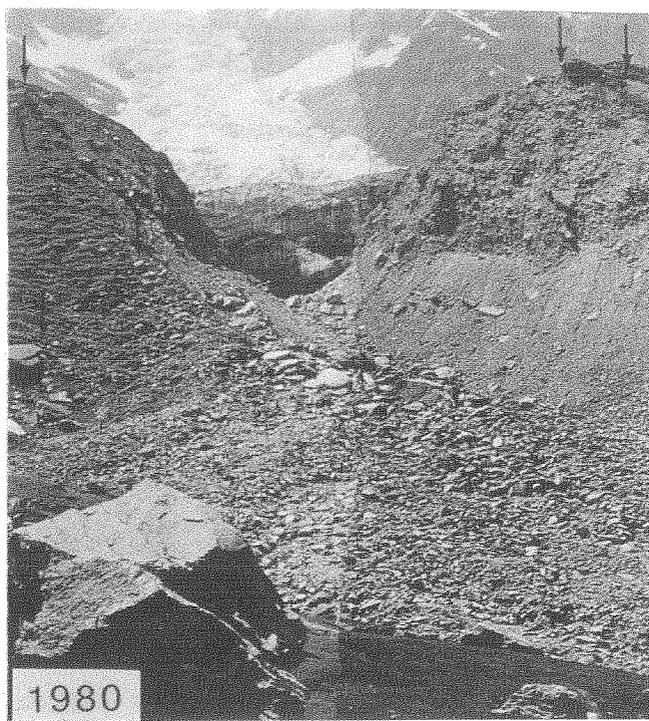


FIG. 11 - Intaglio nella morena laterale destra del Ghiacciaio del Belvedere progressivamente ampliata dal passaggio delle acque rilasciate dal Lago delle Locce nelle estati del 1970, 1978 e 1979 e incanalate tra ghiacciaio e morena. La foto del 1916 è tratta da SACCO (1930).

FIG. 11 - The outburst occurred on Summer 1970, 1978 and 1979 in Upper Anzasca Valley breached deeply the lateral moraine of the Belvedere Glacier.

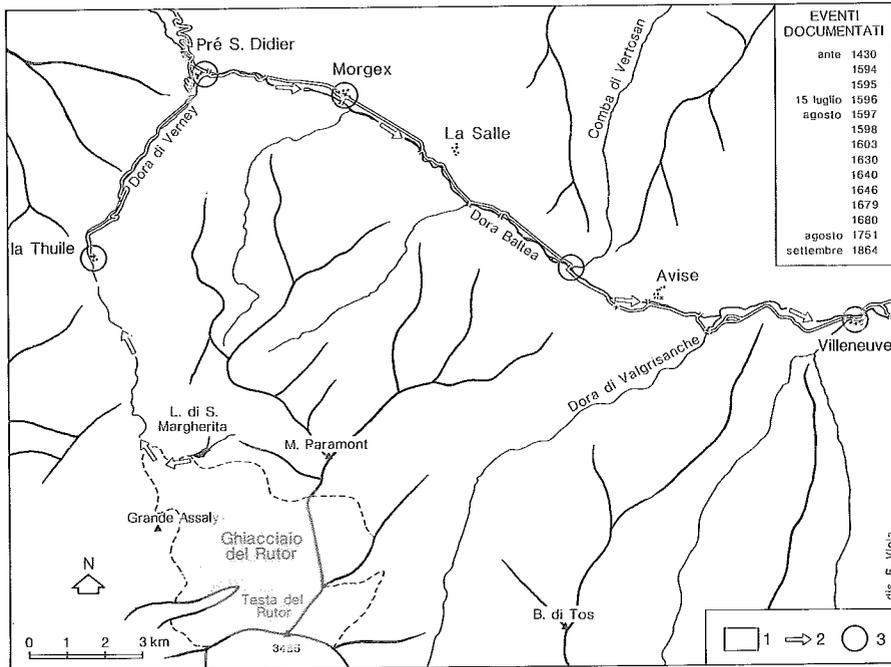


FIG. 12 - Ghiacciaio del Rutor (1) e Lago di S. Margherita. Le frecce indicano il percorso delle acque che fuoruscivano dal lago in occasione dei periodici svuotamenti (circa $4-5 \times 10^6 \text{ m}^3$) legati alle oscillazioni della fronte durante la Piccola Età Glaciale. Numerose le località danneggiate (3), anche a 30 km di distanza.

FIG. 12 - Sketch map of the Upper Aosta Valley showing the location of the Rutor Glacier (1) and the S. Margherita ice-dammed lake. The repetitive emptying of the lake (about $4-5 \times 10^6 \text{ m}^3$) during the Little Ice Age triggered disastrous floods (path is arrowed) causing property destruction (3).

suscettibili di trasformarsi in catastrofici *rock avalanches*.

Un approccio in tal senso, per i parametri ritenuti più significativi, si è concretizzato in alcuni schemi (tabb. 1-2-3) che, pur nella loro sinteticità, possono fornire un primo orientamento per la valutazione del rischio cui sarebbero sottoposte strutture antropiche quando queste, allo svilupparsi di un fenomeno di instabilità, si ritrovassero a ricadere nella sua possibile area d'influenza.

Dalla lettura di tab. 1 si può, ad esempio, osservare come in una scala della pericolosità basata sulla rapidità del processo assumano importanza preminente i crolli di fronti glaciali, temibili anche per l'evoluzione in valanghe di ghiaccio, e le frane miste di roccia e ghiaccio, anch'esse

TABELLA 1 - Tempi indicativi di sviluppo dei vari fenomeni di instabilità (in tratto pieno l'intervallo di valori più frequente).

TABLE 1 - Time scale of glacier hazards. Bold line indicates the most frequent range of values.

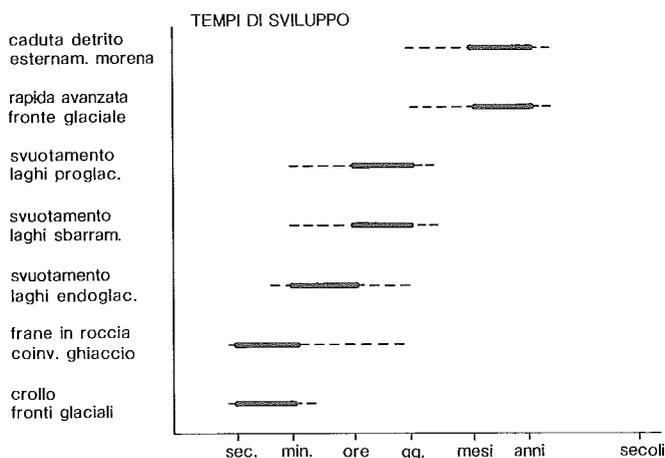
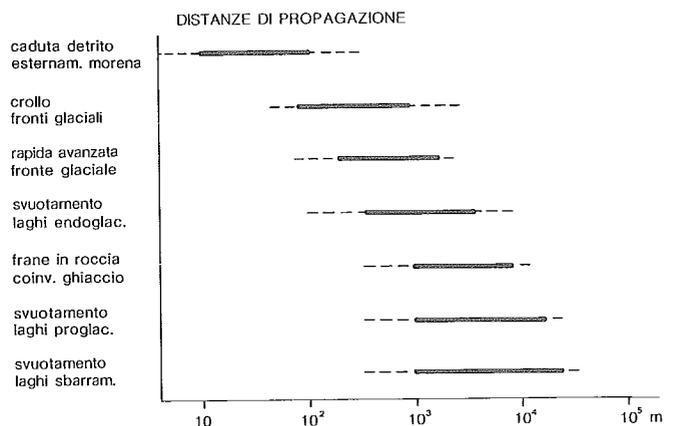


TABELLA 2 - Distanze indicative di massima propagazione dei fenomeni di instabilità (in tratto pieno l'intervallo di valori più frequente).

TABLE 2 - Runout scale of glacier hazards. Bold line indicates the most frequent range of values.



Caratterizzati da una rapida evoluzione, e quindi da ritenersi anch'essi molto pericolosi, sono gli svuotamenti di serbatoi endoglaciali all'interno di fronti sospese direttamente incombenti su un fondovalle, anche se i volumi d'acqua coinvolgibili sono presumibilmente inferiori a quelli che possono fuoriuscire da laghi proglaciali o di sbarramento (cfr. tab. 3). Per contro, le rotte di questi ultimi possono interessare più lunghi tratti di aste vallive (cfr. tab. 2), anche se meccanismi di svuotamento più lenti talora ne mitigano gli effetti.

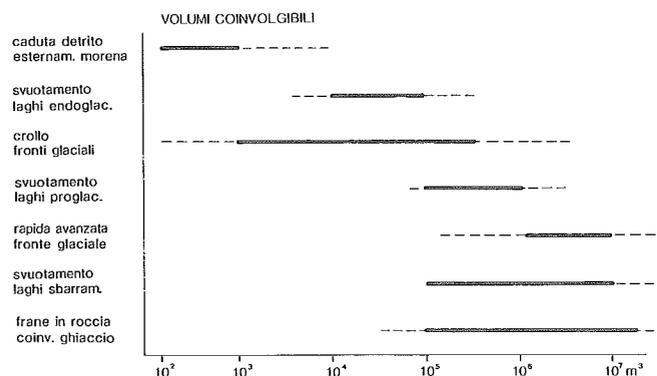
Taluni dei fenomeni considerati, quali crolli di fronti glaciali o svuotamenti di invasi lacustri, risultano particolarmente temibili per l'entità dei volumi in gioco e per la rapidità con cui si sviluppano. Alla luce di queste conside-

razioni diviene di fondamentale importanza, più che per gli altri fenomeni qui trattati a più lenta e prevedibile evoluzione, poter identificare in tempo utile segnali di una incipiente situazione instabile. Indizi premonitori significativi potrebbero ad esempio essere:

- per crolli di fronti glaciali
 - apertura improvvisa di crepacci,
 - distacchi volumetricamente ridotti ma ripetuti e ravvicinati nel tempo;
- per svuotamenti di laghi
 - anomali decrementi del livello idrometrico dello specchio lacustre,
 - aumenti di portata e di torbidità del torrente glaciale,

TABELLA 3 - Ordine di grandezza dei volumi coinvolgibili (acqua ± ghiaccio ± neve ± roccia ± depositi glaciali e/o alluvionali) nei vari fenomeni di instabilità (in tratto pieno l'intervallo di valori più frequente).

TABLE 3 - Volume scale (water ± ice ± rock ± till and/or alluvial deposits involved) of glacier hazards. Bold line indicates the most frequent range of values.



- emergenze idriche sul fianco esterno degli sbarramenti morenici,
- comparsa di corsi d'acqua emissari di neo-formazione.

Le situazioni caratterizzate da una elevata ripetitività del fenomeno e dalla ricorrente minaccia di beni possono far nascere l'esigenza di intervenire con opere di difesa attive o passive. Già nel 1596, per porre soluzione ai catastrofici svuotamenti del Lago del Rutor, venne progettato, ma mai realizzato, un condotto sotterraneo per evacuare con gradualità le acque del lago. Testimonianza concreta è invece la poderosa diga in pietra a secco costruita negli anni 1892-93 a valle del Ghiacciaio del Cevedale, per contenere le acque che periodicamente fuoriuscivano dal soprastante lago di sbarramento (fig. 13). Di recente ultimazione è lo sfioratore ricavato con un profondo intaglio nella morena frontale del Ghiacciaio Settentrionale delle Locce allo scopo di mantenere costantemente depresso il livello del lago omonimo onde impedire il verificarsi di ulteriori fenomeni di svuotamento.

OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

La scarsità di documenti storici cui attingere e la disomogenea distribuzione di questi su un territorio poco antropizzato come l'alta montagna limitano la completezza del quadro qui delineato. Si ritiene, tuttavia, che il numero insospettabilmente elevato di casi emersi (circa 90) possa già fornire elementi sufficienti per una prima valutazione della diffusione e della ripetitività dei fenomeni di instabilità legati all'attività dei ghiacciai (tab. 4).

La significatività del campione acquista inoltre maggior peso ove si noti che tali fenomeni, rispetto ad altri come piene fluviali e movimenti franosi, prendono origi-

FIG. 13 - Diga costruita dopo il 1891 a valle del Ghiacciaio del Cevedale (Alpi Centro-Orientali) per trattenere le acque rilasciate periodicamente da un lago di sbarramento glaciale (circa $7 \times 10^5 \text{ m}^3$), e responsabili di catastrofiche piene.

FIG. 13 - Retention dam below the Cevedale Glacier (Italian Central Eastern Alps). The structure was built after the last catastrophic outburst (1891) from an ice-dammed lake, allowing for retention of $7 \times 10^5 \text{ m}^3$ of water.



ne in un ambito geografico molto ristretto, attualmente pari all'1% della superficie del territorio alpino e comunque di poco superiore anche nella Piccola Età Glaciale, periodo di massima espansione storica dei ghiacciai.

Con l'intento di fornire una valutazione semiquantitativa della pericolosità dei vari fenomeni qui considerati, viene proposta in tab. 5 una graduatoria ottenuta tenendo conto:

- (a) della ripetitività dei singoli eventi (n° ripetizioni / n° casi) valutata come scarsa, media o elevata, e assegnando a questi parametri qualitativi un «peso» rispettivamente pari a 1, 2 e 3;
- (b) della percettibilità di eventuali indizi premonitori di incipiente instabilità valutata anch'essa come scarsa, media o elevata, assegnando analogamente, ma inversamente, un peso da 3 a 1;

TABELLA 4 - I ghiacciai interessati da fenomeni di instabilità. Legenda: 1) crollo di fronte glaciale; 2) caduta di materiale della morena galleggianti all'esterno di cordone morenico; 3) frana in roccia con coinvolgimento di ghiaccio; 4) rapida avanzata di fronte glaciale; 5) svuotamento di serbatoio endoglaciale; 6) svuotamento di lago proglaciale; 7) svuotamento di lago di sbarramento glaciale; x) un caso; ⊗) più casi.

TABLE 4 - Glaciers and related phenomena of instability classes. Numbers 1-7: see abstract.

Ghiacciaio	1	2	3	4	5	6	7
Belvedere		x			⊗		
Brenva		⊗	x	⊗	⊗		
Brouillard				x			
Cevadale							⊗
Cherillon	x						
Cima Monticello	x						
Coolidge Sup.	x						
Coupé de Money	x						
Forni	x						
Freney	⊗				x		
Galambra							⊗
Gemelli di Ban						⊗	
Grandes Jorasses					⊗		
Gran Neyron					x		
Hohsands Merid.	⊗						
Lex Blanche	x			x			
Locce Settentr.						⊗	
Becca di Lusney (glacionev.)			x				
Lys				x	x		
Mandrone	⊗						
Malavalle							x
Miage		⊗				x	
Ormelune	x						
Patrì	x				x		
Perazzi			x				
Planpincieux	x				⊗		
Prasec					x		
Pré de Bar				x			
Rochefort					x		
Rutor							⊗
Scerscen						x	
Sissone					x		
Solda				x			
Triolet			x				
«Velan»					x		
Verra		x		x			

TABELLA 5 - Grado di pericolosità ipotizzabile per ogni tipologia di instabilità legata all'attività glaciale in funzione di: — numero di ripetizioni sul totale dei casi; — percettibilità di segni premonitori; — pericolosità relativa, qui intesa come somma delle reciproche posizioni assunte dalle varie tipologie nelle tab. 1-2-3 relative ai tempi di sviluppo, alle distanze raggiungibili ed ai volumi coinvolgibili.

TABLE 5 - Different typologies and hazard levels.

	Ripetitività di un singolo caso (a)	Percettibilità segni premonit. (b)	Pericolosità relat. (tempi + dist. + vol.) (c)	Pericolosità assoluta (a x b x c)
Svuotamento laghi sbarramento	elevata (3)	media (2)	(4 + 7 + 6) 17	(102) elevata
Svuotamento laghi proglaciali	elevata (3)	media (2)	(3 + 6 + 4) 13	(78) elevata
Crollo di fronti glaciali	media (2)	scarsa (3)	(7 + 2 + 3) 12	(72) elevata
Svuotamento laghi endoglaciali	media (2)	scarsa (3)	(5 + 4 + 2) 11	(66) media
Frane in roccia coinv. ghiaccio	scarsa (1)	scarsa (3)	(6 + 5 + 7) 18	(54) media
Caduta detrito esternam. morena	elevata (3)	scarsa (3)	(1 + 1 + 1) 3	(27) bassa
Rapida avanzata fronte glaciale	scarsa (1)	elevata (1)	(2 + 3 + 5) 10	(10) bassa

— (c) della pericolosità qui definita relativa, intesa come somma delle reciproche posizioni assunte nelle tab. 1-2-3 dalle varie tipologie, assegnando ad esse un peso compreso tra 1 e 7 per valori crescenti di gravità.

In un'ottica preventiva, per un ambiente altamente dinamico come quello glaciale, il riconoscimento di indizi premonitori peculiari per ogni tipologia, qualora sia affiancato da studi retrospettivi e da lunghe serie di dati climatici locali, risulterebbe di particolare efficacia per elaborare le più idonee strategie di intervento.

Nell'attuale momento in cui i ghiacciai denotano per lo più una fase di contrazione o, quantomeno, di stazionarietà l'impegno finanziario ed umano necessario per arrivare alla realizzazione di un piano di controllo generalizzato potrebbe, ad un primo approccio, sembrare ingiustificato. In realtà fenomeni di instabilità si sviluppano, oltre che in periodi di avanzata delle fronti (GROVE, 1972), anche in periodi di oscillazioni negative (TUFNELL, 1984) e ne sono recenti esempi il crollo del Ghiacciaio Superiore di Coolidge e lo svuotamento del serbatoio interno al Ghiacciaio di Rochefort. Gli sforzi andrebbero quantomeno concentrati nelle aree più ricorrentemente coinvolte e caratterizzate da una elevata pressione antropica come il gruppo del Monte Bianco (GIAMBASTIANI, 1983), dove, qualora dovessero riprodursi condizioni climatiche favorevoli ad una ripresa del glacialismo, le fronti glaciali, oltre ad assumere nuovi assetti morfologici che potrebbero preludere a situazioni di rischio, riconquisterebbero probabilmente spazi attualmente occupati da strutture di grande rilevanza socio economica.

BIBLIOGRAFIA

- ALEAN J. (1985) - *Avalanches de glace*. Die Alpen, 61, 121-132.
 ALIVERTI G. (1970) - *Si producono i «surges» nei ghiacciai delle Alpi italiane?* Annali Ist. Univ. Navale, 39, 241-249.
 ALIVERTI G., COLOMBINO P. & DE MAIO A. (1973) - *Sopra un «surge» di acqua accaduto sul Ghiacciaio del Lys (Monte Rosa)*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 21, 7-18.
 BACHMANN R. (1984) - *Ghiacciai delle Alpi*. Zanichelli, Bologna, 320 pp.
 BARETTI M. (1880) - *Il lago del Rutor (Alpi Graie Settentrionali)*. Boll. Club Alpino It., 14 (41), 43-95.
 CANZIO E., MONDINI F. & VIGNA N. (1899) - *In Valpellina*. Boll. Club Alpino It., 32 (65), 1-170.
 CAPELLO C.F. (1932) - *Relazione sulla Campagna Glaciologica 1931*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 1, 12, 275-276.
 CAPELLO C.F. (1934) - *Relazione sulla Campagna Glaciologica 1933*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 1, 14, 224.
 CAPELLO C.F. (1940) - *I laghi glaciali del Miage*. L'Universo, 21 (10), 685-705.
 CAPELLO C.F. (1956) - *Relazione sulla Campagna Glaciologica 1955*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 27, 120-124.
 CAPELLO C.F. (1959a) - *Relazione sulla Campagna Glaciologica 1956*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 8 (1, 1957-1958), 183-186.
 CAPELLO C.F. (1959b) - *Frane-valanghe di ghiaccio nel Gruppo del Monte Bianco*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 8 (1, 1957-1958), 125-138.
 CAPELLO C.F. (1962a) - *Relazione sulla Campagna Glaciologica 1961*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 11 (1), 91.
 CAPELLO C.F. (1962b) - *Relazione sulla Campagna Glaciologica 1962*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 12 (1), 68-69.
 CAPELLO C.F. (1963) - *Relazione sulla Campagna Glaciologica 1963*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 13 (1), 35-36.
 CAPELLO C.F. (1964) - *Relazione sulla Campagna Glaciologica 1964*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 14 (1), 108-109.
 CARREL G. (1867) - *Le Lac du Rutor*. Boll. Club Alpino It., 2, 400-403.
 CASTIGLIONI B. (1930) - *Ghiacciai delle Breonie*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 1, 10, 141-191.
 CERUTTI A.V. (1953) - *La frana di Chamin e la valanga di Planpincieux*. Riv. Club Alpino It., 72, 236-238.
 CERUTTI A.V. (1977) - *Variazioni climatiche, alimentazione ed oscillazioni glaciali sul Massiccio del Monte Bianco*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 25, 53-88.
 CHURCH M. (1988) - *Floods in cold climates*. In: BAKER V.R., KOCHER R.C. & PATTON P.C. Eds., *Flood Geomorphology*, John Wiley & Sons, New York, 205-229.
 CLAGUE J.J. & MATHEWS W.H. (1973) - *The magnitude of jökulblaus*. Journ. Glaciology, 12 (66), 501-504.
 C.N.R.-I.R.P.I. (1979) - *Lo svuotamento del Lago delle Locce in alta Valle Anzasca*. Rapp. int. inedito.
 C.N.R.-I.R.P.I. (1991) - *La colata di detriti del 12/7/1991 lungo l'asta del Torrente di Rochefort*. Rapp. int. inedito.
 COMANDINI A. & MONTI A. (1918-1929) - *L'Italia nei cento anni del secolo XIX (1801-1900) giorno per giorno, 1861-1870*. Vallardi, Milano, 1340 pp.
 CORTI A. (1929) - *Nel Gruppo del Bernina. Il sottogruppo Gluschaint-Sella. Momenti di storia della Vedretta di Scerscen*. Riv. Club Alpino It., 48, 75-107.

- COSTA J.E. (1988) - *Floods from dam failures*. In: BAKER V.R., KOCHER R.C. & PATTON P.C. Eds, *Flood Geomorphology*, John Wiley & Sons, New York, 439-463.
- DESIO A. (1967) - *I ghiacciai del Gruppo Ortles-Cevedale*. CNR - Comit. Glac. It., Tamburini Ed., Torino, 2, 874 pp.
- DRUETTI A. (1897) - *Ricerche sui fenomeni glaciali nel Gruppo del Gran Paradiso*. Boll. Club Alpino It., 30, 295-320.
- DUTTO F., GODONE F. & MORTARA G. (1991) - *L'écrroulement du Glacier Supérieur de Coolidge*. Revue Géogr. Alpine, 79, 7-18.
- EISBACHER G.H. & CLAGUE J.J. (1984) - *Destructive mass movements in high mountains: hazard and management*. Geol. Survey Canada, Paper 84-16, 230 pp.
- EMBLETON C. & KING C.A.M. (1971) - *Glacial and periglacial geomorphology*. Edward Arnold, London, 608 pp.
- EVANS S.G. & CLAGUE J.J. (1988) - *Catastrophic rock avalanches in glacial environments*. Proceedings V° Int. Symp. Landslides, Losanna 10-15 luglio 1988, 2, Balkema, Rotterdam, 1153-1158.
- FLINT R.F. (1971) - *Glacial and quaternary geology*. John Wiley & Sons, New York, 892 pp.
- GIAMBASTIANI M. (1983) - *Valutazione geomorfologica del rischio di frana, di valanga e di piena da rotta glaciale in un'area alpina (Courmayeur, Valle d'Aosta)*. Geologia Tecnica, 30 (2), 5-16.
- GILI-BORGHET A. (1963) - *Il ghiacciaio del Belvedere e gli studi compiuti sino all'anno 1957*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 10, 33-57.
- GROVE J.M. (1972) - *The incidence of landslides, avalanches and floods in western Norway during the Little Ice Age*. Arctic Alpine Research, 4, 131-138.
- HAEBERLI W. (1983) - *Frequency and characteristics of glacier floods in the Swiss Alps*. Ann. Glaciology, 4, 85-90.
- HAEBERLI W., ALEAN J.-C., MÜLLER P. & FUNK M. (1989) - *Assessing risks from glacier hazards in high mountains regions: some experience in the Swiss Alps*. Ann. Glaciology, 13, 96-102.
- HAEBERLI W. & EPIFANI F. (1986) - *Mapping the distribution of buried glacier ice. An example from Lago delle Locce, Monte Rosa, Italian Alps*. Ann. Glaciology, 8, 78-81.
- LAENEN A., SCOTT K.M., COSTA J.E. & ORZOL L.L. (1987) - *Hydrologic hazards along Squaw Creek from a hypothetical failure of the glacial moraine impounding Carver Lake near Sisters, Oregon*. U.S. Geological Survey, Open File Report 87-41, 48 pp.
- LAVOYER I. (1977) - *Cenni storici ed effemeridi sulla Valgrisanche*. Musumeci, Aosta, 109 pp.
- LESCA C. (1956) - *Osservazioni sui laghi del Ghiacciaio del Miage*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 7, 29-55.
- LESCA C. (1971) - *Relazione sulla Campagna Glaciologica 1971*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 19, 96.
- LESCA C. (1972a) - *L'espansione della lingua terminale del ghiacciaio della Brenva in base ai rilievi fotogrammetrici del 1959, 1970 e 1971*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 20, 93-101.
- LESCA C. (1972b) - *Determinazione delle variazioni dal 1965 al 1970 della lingua terminale del Ghiacciaio del Brouillard mediante rilievi aerofotogrammetrici*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 20, 87-92.
- LESCA C. (1972c) - *Relazione sulla Campagna Glaciologica 1972*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 20, 132-134.
- LESCA C. (1986) - *Situazioni di rischio in montagna dovute a valanghe, espansioni glaciali e frane*. Atti Corso «La protezione civile in Italia», Varese Maggio-Settembre 1985, Giardini, Pisa, 37-47.
- LESCA C. & ARMANDO E. (1972) - *Determinazione delle variazioni superficiali e volumetriche dal 1965 al 1970 e controllo della velocità di propagazione delle onde sismiche sul ghiacciaio de La Lex Blanche*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 20, 65-86.
- MARCHETTI V. (1955) - *Relazione sulla Campagna Glaciologica 1953*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 6, 203.
- MC SA VENEY M.J. (1978) - *Sherman glacier rock avalanche, Alaska*. U.S.A. In: VOIGHT B. Ed., *Rocksides and avalanches*. Elsevier, Amsterdam, 1, 197-258.
- LE MONT BLANC (1925) - Foglio periodico di Aosta.
- MONTERIN U. (1914) - *Osservazioni sui Ghiacciai del Gruppo del Monte Rosa nel versante d'Ayas e di Gressoney*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 1, 1, 81-103.
- MONTERIN U. (1915) - *La leggenda della «Città di Felik» in rapporto alle oscillazioni glaciali ed alla colonizzazione tedesca sul versante meridionale del Monte Rosa*. Boll. sez. Fiorentina Club Alpino It., 4, 91-112.
- MONTERIN U. (1936) - *Il clima delle Alpi ha mutato in epoca storica?* Boll. Comit. Glac. It., ser. 1, 16, 57-107.
- MONTERIN U. (1937) - *La frana di Felik sul Monte Rosa del 4 Agosto 1936*. Natura, 28, 1-15.
- MORTARA G. & 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*. Rev. Valdôtaine Hist. Naturelle, 41, 111-118.
- NANGERONI G. (1951) - *La frana di Val Sissone*. Natura, 42, 11-17.
- PERETTI L. (1935a) - *Les lacs de barrage glaciaire et la vidange du Lac de Galambra*. Rev. Géogr. Alpine, 23, 635-654.
- PERETTI L. (1935b) - *L'evoluzione di alcuni laghi marginali del Ghiacciaio del Rutor (Valle d'Aosta)*. Boll. Soc. Geol. It., 54, 67-74.
- PERETTI L. (1935c) - *Relazione sulla Campagna Glaciologica 1935*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 1, 15, p. 163.
- PORTER S.C. & OROMBELLI G. (1980) - *Catastrophic rockfall of September 12, 1717 on the Italian flank of the Mont Blanc Massif*. Zeit. Geomorph., N.F., 24, 200-218.
- RABOT C. (1905) - *Glacial reservoirs and their outbursts*. Geogr. Journ., 25, 534-548.
- REY Y & DAYER G. (1990) - *Les crues de l'été 1987 dans les bassins versants glaciaires des Alpes Pennines*. La Houille Blanche, 45, 349-353.
- SACCO F. (1917) - *Il Ghiacciaio ed i Laghi del Rutor*. Boll. Soc. Geol. It., 36, 1-36.
- SACCO F. (1918) - *I ghiacciai italiani del gruppo del Monte Bianco*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 1, 3, 21-102.
- SACCO F. (1930) - *Il glacialismo nelle valli Sesia, Strona, Anza e nell'Ossola*. Min. L.L. PP. Servizio Idrografico. Uff. Idrogr. del Po, Roma, 106 pp.
- SECCHIERI F. (1985) - *Guida per l'escursione glaciologica in Val Martello (Gruppo Ortles-Cevedale)*. 1) *Appunti sul glacialismo della Val Martello*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 8, 205-207.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1970) - *Sul fenomeno di alluvionamento nell'Alta Valle di Anzasca nel territorio di Macugnaga (No)*. Relaz. inedita.
- SESTINI A. (1930) - *Osservazioni e ricerche sulle Valli di Courmayeur*. Mem. Geol. e Geogr. di Giotto Dainelli, 1, 217-290.
- SHARP R.P. (1988) - *Living ice*. Cambridge University Press, Cambridge, 225 pp.
- SILVESTRI P. (1967) - *Relazione sulla Campagna Glaciologica 1966*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 14, 139-143.
- SILVESTRI P. (1971) - *Relazione sulla Campagna Glaciologica 1971*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 19, 123.
- SMIRAGLIA C. (1987) - *L'alluvione del luglio 1987 in Valtellina. Contributo alla conoscenza del quadro climatico e glaciologico*. Boll. Soc. Geogr. It., ser. XI, 4, 509-542.
- STOPPANI A. (1881) - *Il Bel Paese*. Agnelli, Milano, 3ª ed., 647 pp.
- STRAGIOTTI L. & PERETTI L. (1953) - *Osservazioni di coni di ghiaccio sulla frana della Becca di Luseny (Valle d'Aosta)*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 2, 4, 213-219.
- TOKMAGAMBETOV G.A., SUDAKOV P.A. & PLEKHANOV P.A. (1980) - *Periglacial lakes in Zailiysky Alatau*. Data of Glaciological Studies, 39, 165-170.
- TUFNELL L. (1984) - *Glacier hazards*. Longman, New York, 97 pp.
- VALBUSA U. (1921) - *La catastrofe del Monte Bianco e del Ghiacciaio della Brenva del 14 e 19 novembre 1920*. Boll. R. Soc. Geogr. It., 58 (3-4), 95-114; 151-162.
- VANNI M. (1932) - *Relazione sulla Campagna Glaciologica 1931*. Boll. Comit. Glac. It., ser. 1, 12, 280-282.
- VIRGILIO F. (1883) - *Sui recenti studi circa le variazioni periodiche dei ghiacciai*. Boll. Club Alpino It., 17 (50), 50-70.
- VIVIAN R. (1966) - *La catastrophe du glacier Allalin*. Revue Géogr. Alpine, 54, 97-112.
- VIVIAN R. (1975) - *Les glaciers des Alpes Occidentales*. Allier, Grenoble, 513 pp.
- LA VOCE (1896), foglio periodico di Intra (No).
- ZANOTTO A. (1983) - *Valsavarenche. Une communauté montagnarde au coeur du Grand Paradis*. Musumeci, Aosta, 391 pp.