

CLAUDIO SMIRAGLIA

L'ALLUVIONE DEL LUGLIO 1987 IN VALTELLINA:
CONTRIBUTO ALLA CONOSCENZA
DEL QUADRO CLIMATICO E GLACIOLOGICO (*)

Introduzione. — Nell'estate 1987 in Valtellina si è verificato un complesso di eventi che, più volte e da più parti, è stato definito unico ed eccezionale. Ci si è riferiti ad una eccezionalità intrinseca dei fatti in sé, dal punto di vista meteorologico (soprattutto per l'entità e la distribuzione delle precipitazioni), dal punto di vista della dinamica dei versanti (la gigantesca frana del Monte Coppetto), dal punto di vista dell'intervento antropico (la «tracimazione controllata» del lago di Val Pola). Ma ci si può riferire anche ad una eccezionalità estrinseca, sottolineando le modalità con cui la successione degli eventi è stata divulgata. I *mass media* non solo hanno permesso di portare a conoscenza del pubblico più vasto la notizia dell'accaduto, ma, soprattutto attraverso il mezzo televisivo, hanno mostrato lo svolgersi dei fatti in tempi reali (in particolar modo per quanto riguarda la «tracimazione»), consentendo di assistere direttamente a significative trasformazioni della geografia di una regione italiana. Gli esperti hanno potuto esporre dati, interpretazioni e giustificazioni su quanto era accaduto e stava accadendo. L'eccezionalità delle precipitazioni liquide, il contributo massiccio dell'ablazione glaciale, l'altitudine dell'isoterma di 0°C sono stati alcuni degli argomenti scientifici preferiti sin dai primi giorni dopo l'alluvione, cui si aggiungeranno le varie opinioni sulla prevedibilità o meno della frana del Coppetto e sull'utilità della tracimazione. Mi pare tuttavia che, salvo lodevoli eccezioni, i dati che venivano esposti ben

(*) Ricerca compiuta con fondi MPI 40%. L'autore, che fa parte della Sezione Glaciologia del Gruppo Geografia Fisica e Geomorfologia del CNR, ringrazia il prof. S. Belloni per la lettura critica del testo e il dott. G. Catasta per la collaborazione nella ricerca dei dati. Si ringrazia inoltre il Comitato Glaciologico Italiano che ha permesso l'utilizzazione dei dati inediti del *World Glacier Inventory* e della Campagna Glaciologica 1987.

raramente siano stati accompagnati da indicazioni precise sulle loro modalità di raccolta e sulla loro significatività, soli elementi, questi, che permettono una verifica personale delle interpretazioni presentate e un confronto tra le stesse. Di fronte a dati sintetici e generalizzati, ad esempio sull'entità delle precipitazioni o sul contributo dell'ablazione glaciale alle portate dei corsi d'acqua, è indispensabile che per una corretta informazione vengano fornite altre osservazioni: a quali stazioni meteorologiche ci si riferisce, a che quota sono poste, di quali strumenti dispongono, su quali ghiacciai è stata misurata l'ablazione, in quali giorni, con quali metodi, e così via.

A molti mesi di distanza da quei fatti, attenuatasi l'onda emotiva che aveva indubbiamente contribuito alla concitazione, e talora alla limitata completezza, di quanto veniva esposto, è opportuna una ripresentazione dei dati e delle conoscenze che possano giovare all'interpretazione degli eventi e all'approfondimento delle loro motivazioni. Questo articolo vuole costituire un contributo in tal senso: offrire un complesso di dati preliminari derivanti da fonti statistiche e da osservazioni sul terreno sugli aspetti climatici e glaciologici dell'alluvione del 1987 in Valtellina. Va ulteriormente ribadito che si tratta di un contributo preliminare e settoriale; non vi appariranno, ad esempio, dati su altri parametri fondamentali, come le portate dei corsi d'acqua, la dinamica delle masse d'aria, la funzione dei bacini artificiali, né, tanto meno, verranno formulate ipotesi conclusive, anche tenendo conto del fatto che proprio su tali eventi sono tuttora in corso perizie giudiziarie promosse dalla Procura della Repubblica di Sondrio. Ci si limiterà quindi ad esaminare i fatti meteorologici del luglio 1987, inserendoli nel quadro più vasto della climatologia della Valtellina, come emerge dall'analisi dei dati di alcune stazioni meteorologiche; si esporranno inoltre i dati disponibili riguardanti le variazioni areali e, ove possibile, volumetriche degli apparati glaciali valtellinesi, aggiungendo qualche osservazione sulle principali modificazioni morfologiche su di questi avvenute.

Ancora, in questa fase introduttiva, può essere utile ricordare che l'alluvione del 1987 (eccezionale forse per quanto è accaduto dal punto di vista naturale e dal punto di vista dell'intervento antropico e anche per la risonanza che ne è derivata, non solo a livello nazionale) è fino a questo momento solo l'ultimo di una sequenza di eventi che hanno purtroppo accompagnato lo svolgersi della storia della provincia di Sondrio. Dal 1300 al 1985 sono almeno 56 gli eventi di proporzioni più o meno catastrofiche (limitandoci alle alluvioni e alle frane) che hanno interessato la regione. Come la tremenda alluvione che nel 1300 distrusse Samolaco, o quella del 1338 che devastò tutto il territorio provinciale, o ancora la frana che nel 1618 seppellì completamente il borgo di Piuro provocando 2000 vittime. Nel XIX secolo le alluvioni di

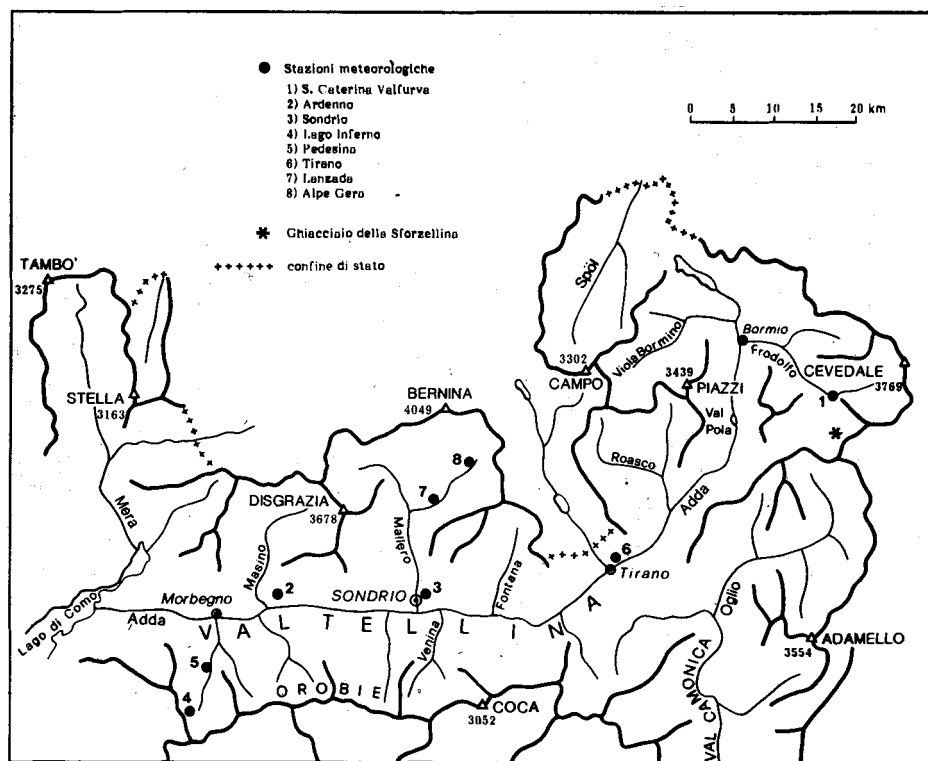


FIG. 1 — CARTA D'INSIEME DELLA VALTELLINA.

ventano una realtà ricorrente: ne vengono segnalate ben 11 fra il 1807 e il 1890. Nel 1829 e nel 1834 lo stesso capoluogo, Sondrio, subisce gravi danni a causa della fuoriuscita del Mallero, il torrente che scende dalla Val Malenco. Rileggiamo alcune delle osservazioni che F. Visconti Venosta scrive nel 1844:

«Cento e sessanta torrenti precipitano furiosi dalle laterali vallate a formare la più terribile desolazione di questo paese non tanto con l'impe- to delle loro acque, quanto con la quantità delle materie che fluttuano giù dai monti e diffondono a ventaglio sulla pianura, sotto seppellendo campi e casali, e rialzando il fondo dell'Adda in modo che le sue acque si allargano per l'adiacente campagna e vi si impaludano a grave scapito della coltivazione e delle umane vite. È osservabile e strano che molti vil- laggi sono messi appunto ove più chiare appaiono le vestigia delle anti- che devastazioni, e in bocca a queste acque desolate, forse perché quelle vergini macerie si prestano alla prosperità della vite e quei torrenti dan- no la comodità dell'acqua; tanto è vero che gli uomini abbadano più al- l'utile presente che al timore di un maggior danno futuro [...]».



FIG. 2 — IL CONOIDE DI DEIEZIONE ALLO SBOCCO DELLA VAL FONTANA NEL SOLCO PRINCIPALE DELLA VALTELLINA, VISTO DALL'ELICOTTERO ALL'INIZIO DEL SETTEMBRE 1987.

Sono evidenti i fenomeni di sovralluvionamento e di riattivazione del conoide. Sulla sinistra, il centro abitato di Chiuro.

(fot. C. Smiraglia)

È un brano che abbina da un lato l'esattezza della descrizione scientifica dei fenomeni (riattivazione dei conoidi alluvionali e sovralluvionamento degli alvei) e dall'altro la consapevolezza che quando a particolari eventi naturali si sovrappone l'irrazionalità umana non ne può derivare che uno stato di pericolo. Le parole dell'autore citato potrebbero adattarsi senza alcuna modifica alla descrizione delle alluvioni che hanno colpito la Valtellina nel nostro secolo (26 episodi fra il 1906 e il 1985) e in particolar modo a quelli più disastrosi del 1911, del 1927, del 1960 e soprattutto del 1987.

Nell'agosto 1911 la pioggia, dopo un periodo di siccità, cade con estrema violenza (a Sondrio il 22 agosto si registrano 122 mm); i maggiori danni vengono provocati dalla riattivazione dei conoidi alluvionali allo sbocco delle valli laterali. In molti paesi, come Fusine, Caiolo, Cedrasco, Colorina, Cataeggio, Gerola, si hanno estese distruzioni. Alla fine si conteranno nove vittime e dieci milioni di lire di danni.

Ancora più disastrosa fu la duplice alluvione del 1927 (24-25 settembre e 9 novembre). Piogge continue nei giorni precedenti, un picco assai accentuato di precipitazioni con un sensibile rialzo della tempe-



FIG. 3 — L'ALVEO DEL MALLERO A VALLE DI TORRE DI SANTA MARIA DOPO L'ALLUVIONE DEL LUGLIO 1987.

Si notino le dimensioni dei blocchi che in varie fasi di trasporto torrentizio hanno semisommerso il fondovalle.

(*fat. C. Smiraglia*)

ratura: è questo il quadro meteorologico che emerge dalle cronache dell'epoca. L'Adda esce dagli argini allagando tutta la valle da Sondrio a Morbegno e asportando lunghi tratti della linea ferroviaria e della strada statale. Tutti i ponti sull'Adda, così come in Val Malenco, vengono travolti, Sondrio viene allagata, Chiavenna subisce notevoli danni, mentre Campodolcino è in gran parte distrutta. L'alluvione del novembre 1927 interessa anche i corsi d'acqua del versante orobico. Danni ulteriori si segnalano a Sondrio, Morbegno, Caiolo, Val Tartano, Bolladore, Mondadizza. Le vittime furono una decina e i danni materiali si stimarono in cento milioni di lire.

L'inondazione del 17 settembre 1960 interessò soprattutto il fondovalle dell'Adda; anche in questo caso si registrarono precipitazioni intense concentrate in pochi giorni (235 mm di pioggia in 3 giorni). Le acque invasero il fondovalle da Tresenda a Fuentes e anche gran parte del capoluogo fu allagata. I danni furono valutati in circa tre miliardi di lire.

Le brevi notizie storiche qui sopra presentate hanno unicamente lo scopo di ribadire come l'alluvione del luglio 1987 non sia stato assolu-

tamente un evento isolato, ma faccia invece parte di una realtà con la quale la Valtellina ha da sempre dovuto scontrarsi, e come, quindi, il concetto di «eccezionalità» debba essere applicato non al tipo di evento, ma tutt'al più ai suoi caratteri dimensionali.

Il quadro climatico. — Nelle pagine che seguono verrà presentato un complesso di dati riguardanti elementi del clima, in particolare precipitazioni e temperature, registrati presso alcune stazioni meteorologiche della Valtellina. I dati sono tratti da pubblicazioni ufficiali (1) o da registrazioni inedite cortesemente concesse dall'AEM e dall'ENEL di Milano.

In Valtellina risultano installate almeno una cinquantina di stazioni meteorologiche, la maggior parte delle quali gestite dall'ENEL e dall'AEM e localizzate presso centri abitati o presso le dighe dei bacini artificiali. Le stazioni si distribuiscono altimetricamente dai 230 m di Regoledo (nel comune di Cosio Valtellino) ai 3100 m del Coston de la Mare (nel comune di Valfurva). Solo una decina si colloca però al di sopra dei 2000 m, senza tuttavia che si superino i 2400; le uniche eccezioni sono rappresentate dall'impianto della Vedretta di San Giacomo (2750 m) e dal Coston de la Mare. Come si vede, la distribuzione altimetrica è del tutto squilibrata, in quanto risponde prevalentemente a esigenze pratiche di gestione dei bacini artificiali e non offre alcuna indicazione su ciò che dal punto di vista meteorologico si verifica alle quote più elevate. Va inoltre aggiunto che per alcune delle stazioni la ricerca di serie storiche di dati è molto difficoltosa, quando non siano pubblicati, mentre per altre non si hanno notizie di attività recente. Gli impianti del Coston de la Mare e del San Giacomo (questi ultimi erano stati installati per ricerche scientifiche coordinate dal Comitato Glaciologico Italiano) sono oggi sicuramente inattivi; altre stazioni recenti (Palù, nel comune di Chiesa in Valmalenco, a 2100 m, oppure Val Gerola, nel comune di Gerola Alta, a 1450 m) sono in funzione solo da dicembre a maggio, in relazione all'apertura degli impianti sciistici.

È evidente che l'utilizzo di una rete di stazioni molto fitta permette generalizzazioni per l'intero bacino molto più attendibili; è altrettanto evidente che per motivazioni pratiche ci si limita spesso a poche stazioni, la cui distribuzione areale e altimetrica sia il più possibile significativa. Anche in questo lavoro, la difficoltà di ottenere ulteriori dati in tempi brevi, la quasi impossibilità di avere serie storiche omogenee, la gestione piuttosto complessa di una maggiore massa di dati

(1) Si sono utilizzati i dati tratti dalle seguenti pubblicazioni: ISTAT, «Annuario di statistiche meteorologiche», Roma, 1959-1981; MIN. AGRIC. E FORESTE - UCEA - SERV. IDROGR. CENTR., «Bollettino Idrografico Mensile», Roma, 1913-1925; PROV. AUTON. DI BOLZANO, UFF. IDROGR., *Precipitazioni medie mensili ed annue per il cinquantennio 1921-1970*, Bolzano, 1980.

pure per elaborazioni alquanto semplici hanno consigliato di limitare il numero delle stazioni.

Le precipitazioni. Per quanto riguarda questo parametro, si è dapprima cercato di inserire i dati del 1987 nel quadro generale delle precipitazioni in Valtellina nel nostro secolo. A tale scopo si sono utilizzati i dati di due stazioni, Sondrio e Santa Caterina Valfurva. La prima è situata nella media valle a 298 m di altezza, allo sbocco della Val Malenco nel solco dell'Adda, ed è dotata di pluviografo e termografo; la seconda si trova in alta valle, a 1740 m, all'interno del massiccio montuoso del Monte Cevedale, e dispone di pluviografo, termografo, barografo e igrometro.

Per Sondrio si sono raccolti i totali annui delle precipitazioni dal 1914 al 1987, la cui media ultrasettantennale risulta di circa 1000 mm. Il regime delle precipitazioni annue nel periodo considerato è presentato nel diagramma fig. 4, dove in tratteggio si indicano anche il massimo (2011 mm nel 1934) e il minimo (450 mm nel 1921). Per meglio evidenziare le oscillazioni dell'entità annuale delle precipitazioni, si sono calcolate le medie mobili di ordine cinque, i cui risultati vengono indicati sul grafico con una linea continua. Si delineano così almeno cinque periodi piovosi, per due dei quali i valori si collocano nettamente al di sopra della media: si tratta degli anni 1924-29 e 1931-37; seguono gli anni 1948-52, 1958-61 e 1975-79, i cui massimi non si discostano in misura accentuata dalla media. Generalizzando ulteriormente le oscillazioni delle medie mobili, sembra anche emergere un ventennio particolarmente piovoso (anni '20-anni '30), cui fanno seguito un trentennio di precipitazioni relativamente scarse (anni '40-anni '50-anni '60) e un quindicennio in cui si osserva un aumento delle precipitazioni, anche se di limitata entità (anni '70 e prima metà degli anni '80).

Si può inoltre osservare che due delle alluvioni più disastrose della Valtellina cadono in corrispondenza di due oscillazioni positive. Quella del 1927 rientra infatti nella prima fase di precipitazioni intense e corrisponde, utilizzando i dati grezzi, al terzo valore assoluto nelle entità annuali (1871 mm). L'alluvione del 1960 si colloca nella terza fase piovosa e corrisponde al quinto valore assoluto tra il 1914 e il 1986 (1439 mm) e al primo fra il 1936 e il 1986. Il dato 1987, di 1043 mm, si colloca poco al di sopra della media.

L'andamento delle medie annue di Santa Caterina Valfurva è presentato nella fig. 5. Il periodo è lievemente più ristretto (1921-87) e ha due interruzioni; mancano infatti gli anni 1944-46 e 1964-67. La media annua che ne risulta è di poco inferiore (882 mm), mentre il minimo si segnala nel 1921 (239 mm) e il massimo nel 1927 (1397 mm). Anche per i dati di Santa Caterina Valfurva sono state calcolate le medie mobili di ordine cinque, dalle quali, nonostante le due interruzioni indicate, appaiono almeno sei oscillazioni al di sopra della media. La più accen-

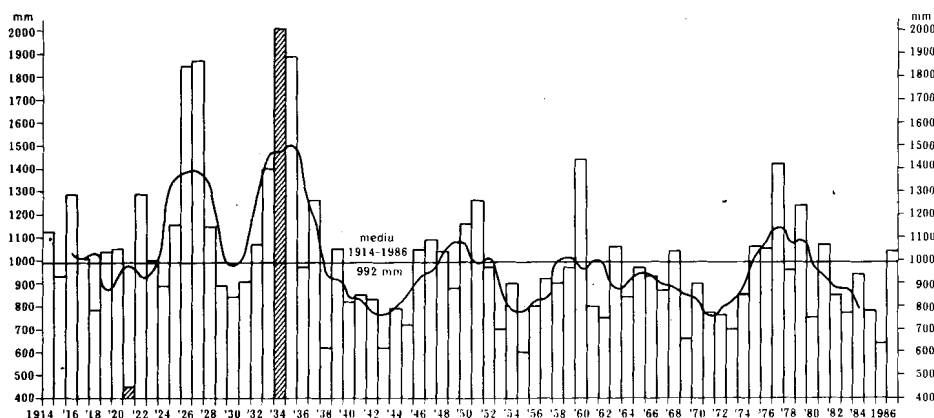


FIG. 4 — REGIME DELLE PRECIPITAZIONI TOTALI ANNUE A SONDRIO (1914-1987).
In questa figura e nella seguente la curva indica le medie mobili di ordine cinque.

tuata si registra fra il 1926 e il 1930 ed è seguita a breve distanza da due periodi di minore intensità (1931-34 e 1935-39). Di poco al di sopra della media si collocano i due periodi piovosi 1950-52 e 1959-61, mentre fra il 1975 e il 1981 la curva sale in modo netto.

Si può dunque constatare una notevole coincidenza tra i periodi piovosi di Sondrio e di Santa Caterina Valfurva; le maggiori differenze si osservano nel quindicennio 1925-39, quando per Sondrio le oscillazioni ben evidenti sono due e il massimo assoluto cade nella seconda di queste.

Per quanto riguarda le relazioni con gli eventi catastrofici, risulta evidente che le alluvioni del 1927 e del 1960 coincidono con i due massimi assoluti di tutta la serie di Santa Caterina Valfurva (1397 mm nel 1927 e 1367 mm nel 1960). Il dato 1987 (che riguarda solo i mesi da gennaio a ottobre) si colloca al di sopra della media (1030 mm).

Pur avendo suggerito qualche rapporto tra periodi particolarmente piovosi e alluvioni (soprattutto per quanto riguarda la stazione di Santa Caterina Valfurva), i dati annui non offrono tuttavia sufficienti indicazioni, in particolare per quanto riguarda le relazioni con i dissesti dei versanti. È noto infatti che per quest'ultimo aspetto è necessario esaminare la concentrazione delle piogge in periodi più ristretti, com'è stato fatto nella tab. 1, dove sono riportati quantità di pioggia e giorni piovosi in mesi caratterizzati da alluvioni (settembre 1927, settembre 1960 e luglio 1987).

Come appare dalla tabella, il massimo mensile si è registrato nel 1927 a Santa Caterina Valfurva, mentre il minimo si è verificato a Sondrio, sempre nel 1927; i valori medi giornalieri variano dai 15,4 mm di

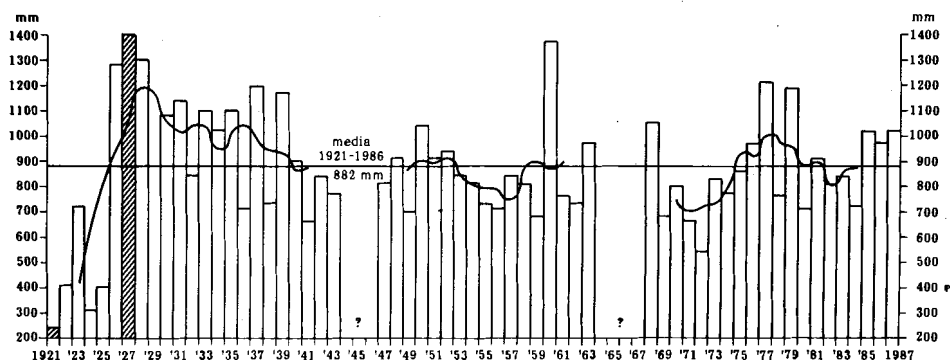


FIG. 5 — REGIME DELLE PRECIPITAZIONI TOTALI ANNUE A SANTA CATERINA VALFURVA (1921-1987).

Santa Caterina nel 1987 ai 28,1 mm di Sondrio nel 1960 (non si dispone del dato di Sondrio del 1927).

Per poter meglio inquadrare gli eventi del 1927, del 1960 e del 1987 nell'ambito delle condizioni climatiche «medie», si sono calcolate per le stazioni di Sondrio e di Santa Caterina Valfurva le precipitazioni medie mensili rispettivamente per il periodo 1914-86 e 1921-86; nei grafici della fig. 6 si sono confrontati questi valori medi con i valori mensili del 1927, del 1960 e del 1987. Si osservi come le alluvioni di settembre e novembre 1927 siano in corrispondenza di due picchi che si staccano in modo nettissimo dai valori medi e come tutto il 1927 sia caratterizzato da vistose oscillazioni al di sopra e al di sotto della media per entrambe le stazioni. Il totale delle precipitazioni del giugno 1927 a Sondrio è addirittura superiore a quello di settembre, mentre lo stesso avviene a Santa Caterina per le precipitazioni di luglio e di novembre. Più regolare appare il regime delle precipitazioni mensili del 1960 e del 1987, caratterizzati entrambi da un unico picco in corrispondenza dei mesi in cui si è verificata l'alluvione.

TAB. 1

PRECIPITAZIONI E GIORNI PIOVOSI IN ALCUNI MESI SIGNIFICATIVI

Stazioni	settembre 1927			settembre 1960			luglio 1987		
	mm	g.p.	media giorn.	mm	g.p.	media giorn.	mm	g.p.	media giorn.
Sondrio	230	?	?	281	10	28,1	283	13	21,8
S. Caterina V.	316	14	22,6	314	14	22,4	277	18	15,4

Dal confronto con le precipitazioni medie mensili di lungo periodo emergono con chiarezza le «anomalie» pluviometriche che hanno caratterizzato i mesi in cui si sono verificati i tre principali eventi alluvionali della Valtellina a partire dal terzo decennio del nostro secolo.

È tuttavia sulle precipitazioni del luglio 1987 che è opportuno soffermarsi più ampiamente, allo scopo di delineare quei loro aspetti che maggiormente appaiono correlati alle esondazioni e ai trasporti di massa sui versanti. Si tratta quindi di ricercare quei *parametri pluviometrici fondamentali* che hanno caratterizzato il complesso degli eventi del luglio 1987 in Valtellina. Già numerosi lavori (2) hanno evidenziato l'interesse che può assumere un esame della distribuzione temporale delle precipitazioni nel periodo precedente alle modificazioni morfologiche più o meno catastrofiche (alluvionamenti, frane, ecc.). È stato anche dimostrato che le manifestazioni più intense e diffuse dal punto di vista dei dissesti sui versanti e delle esondazioni sono legate ad altezze di pioggia cumulate, verificatesi in un arco di tempo che può variare fra i 30 e i 15 giorni prima degli eventi (*periodo piovoso efficace*), caratterizzato da una massiccia concentrazione di precipitazioni nella parte terminale. È questa la cosiddetta *piovosità di picco*, che può concentrarsi in un periodo compreso tra 1 e 5 giorni.

Si è cercato anche per la Valtellina di individuare i *parametri pluviometrici fondamentali* (*periodo piovoso efficace* e *piovosità di picco*), utilizzando i dati giornalieri delle stazioni disponibili. I risultati sono sintetizzati nella tab. 2.

Nella tabella, oltre alle stazioni di Sondrio e di Santa Caterina Valfurva cui già si è fatto cenno, si sono utilizzate anche: quella di Ardenno (266 m), a valle di Sondrio, quasi in corrispondenza dello sbocco della Val Masino nel solco della Valtellina; quella del Lago Inferno (2332 m), alla testata della valle del Bitto, che da Morbegno si apre verso sud, incidendo la catena longitudinale delle Orobie; quella di Pedesina (1032 m), a metà della stessa valle; quella di Tirano (406 m), a monte di Sondrio, dove la Valtellina devia verso nord-est; quella di Lanzada (983 m), nella valle del Mallero; quella di Alpe Gera (2090 m), sempre nella valle del Mallero.

Per ogni stazione si è calcolata la piovosità cumulata di 30 e 15

(2) Tra i lavori più recenti ricordo solo quelli di: G. GATTO, V. VILLI e G. CALEFFA, *Aspetti fisiografico-pluviometrici e processi erosivi in alveo del bacino del Cordevole (Belluno)*, in «Studi Trentini di Scienze Nat.», Trento, 1984, pp. 143-190; V. ANSELMO, G. GATTO, D. TROPEANO e V. LILLI, *L'evento alluvionale del 21-23 maggio 1983 in Val Venosta (Alto Adige)*, in «Atti del Seminario su: Idraulica del territorio montano (Bressanone, 1984)», pp. 101-128; C. FRIZ, S. SILVANO, R. CARAMPIN e R. DALL'ACQUA, *Studio preliminare sulla correlazione tra precipitazioni e dissesti idrogeologici nel bacino del torrente Cordevole (Belluno)*, in «Mem. di Scienze Geol. dell'Univ. di Padova», Padova, 1986, pp. 353-364; G. MORTARA, P.F. SORZANA e V. LILLI, *L'evento alluvionale del 6 agosto 1985 nella vallata del fiume Isarco tra Fortezza ed il Passo del Brennero (Alto Adige)*, *ibid.*, pp. 427-457.

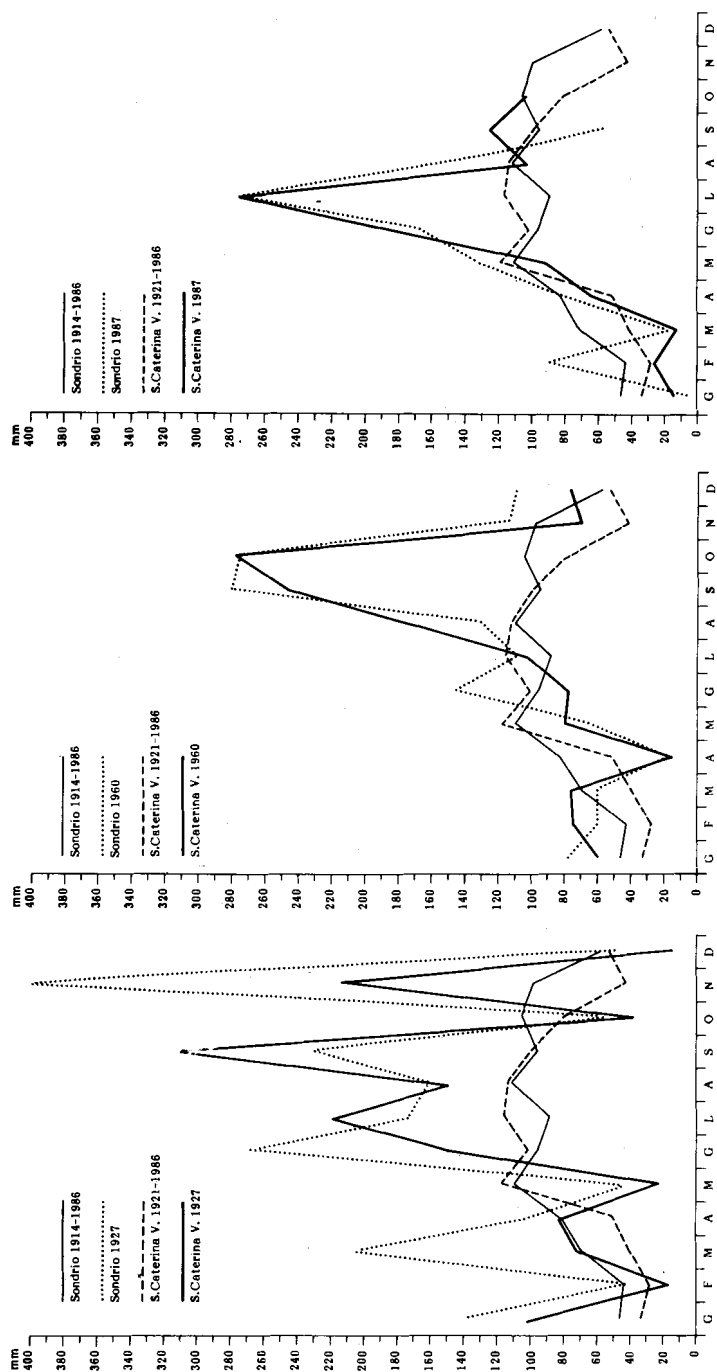


FIG. 6 — CONFRONTO TRA IL REGIME DELLE PRECIPITAZIONI MEDIE MENSILI E IL REGIME DELLE PRECIPITAZIONI MENSILI DI ALCUNI ANNI SIGNIFICATIVI.

Le stazioni utilizzate sono quelle di Sondrio e di Santa Caterina Valfurva. Le precipitazioni medie si riferiscono ai periodi 1914-1986 per Sondrio e 1921-1986 per Santa Caterina. Gli anni significativi sono il 1927, il 1960 e il 1987.

TAB. 2

**PARAMETRI PLUVIOMETRICI FONDAMENTALI PER L'ALLUVIONE
DEL LUGLIO 1987**

Stazioni	piovosità cumulate in mm		differenza (30-15 gg.) in mm	%	piovos. di picco in mm		differ. %	massima concentrazione (mm e g.)
	30 gg.:20/6-19/7	15 gg.:5-19/7			5 gg.	3 gg.		
S. Caterina V.	294	210	84	28,6	163	151	7,4	97 (19/7)
Ardenno	345	272	73	21,1	267	245	8,2	110 (19/7)
Sondrio	280	234	46	16,4	225	210	6,7	99 (19/7)
Lago Inferno	456	339	117	25,6	330	279	15,5	126 (18/7)
Pedesina	322	262	60	18,6	224	182	18,8	86 (18/7)
Alpe Gera	380	319	61	16,0	310	285	8,1	138 (18/7)
Lanzada	362	315	47	13,0	306	282	7,9	134 (18/7)
Tirano	339	264	75	22,1	244	234	4,1	112 (19/7)
valori medi	347	277	70	20,2	259	233	10,0	

N.B. — Per le ultime tre stazioni, mancando alcuni dati, i valori risultano da parziali interpolazioni.

giorni partendo dal 19 luglio. Come appare dalla tabella, i valori delle piogge cumulate di 30 giorni (20/6-19/7) variano da un massimo di 456 mm al Lago Inferno a un minimo di 280 mm per Sondrio (si tenga però conto del fatto che alcuni valori sono interpolati). Per le piogge di 15 giorni (5-19/7) si passa dai 339 mm del Lago Inferno ai 210 di Santa Caterina. Le variazioni in percentuale sono comprese tra il 28,6% di Santa Caterina e il 13% di Lanzada e in media superano di poco il 20%. Utilizzando solo i dati delle cinque stazioni per le quali si dispone della serie giornaliera completa, si ottiene per le piogge di 30 giorni una media di 339,4 mm e per 15 giorni 263,4 mm, con una diminuzione percentuale del 18,8%.

Si può quindi ritenere che l'incremento delle piogge cumulate di 30 giorni rispetto a quelle di 15 giorni sia in linea di massima poco accentuato e che per la Valtellina, sempre riferendoci alle stazioni utilizzate in questa nota, il periodo piovoso efficace possa essere considerato all'incirca di 15 giorni.

Si sono poi calcolate le concentrazioni di pioggia caduta nei giorni immediatamente precedenti l'evento alluvionale o durante il suo svolgersi iniziale (5 giorni e 3 giorni). Nel primo caso (15-19/7) si è registrato un massimo di 330 mm per il Lago Inferno e un minimo di 163 per Santa Caterina; per le piogge di 3 giorni (17-19/7) si hanno, sempre nelle due citate stazioni, 279 mm e 151 mm. Le differenze in percentuale sono tutte al di sotto del 20%. Utilizzando solo le cinque stazioni con i dati completi, si ottengono in media 241,8 mm per le piogge di 5 giorni e 213,4 mm per quelle di 3 giorni, con una differenza percentuale

dell'11,7%, mentre con tutte le stazioni i rispettivi valori medi sono di 258,6 mm e di 233,5 mm, con uno scarto percentuale del 9,6%. Anche in questo caso l'incremento tra i due periodi appare dunque molto limitato, il che fa ritenere che la piovosità di picco si sia generalmente concentrata in 3 giorni. Gli incrementi poco accentuati tra i due grup-

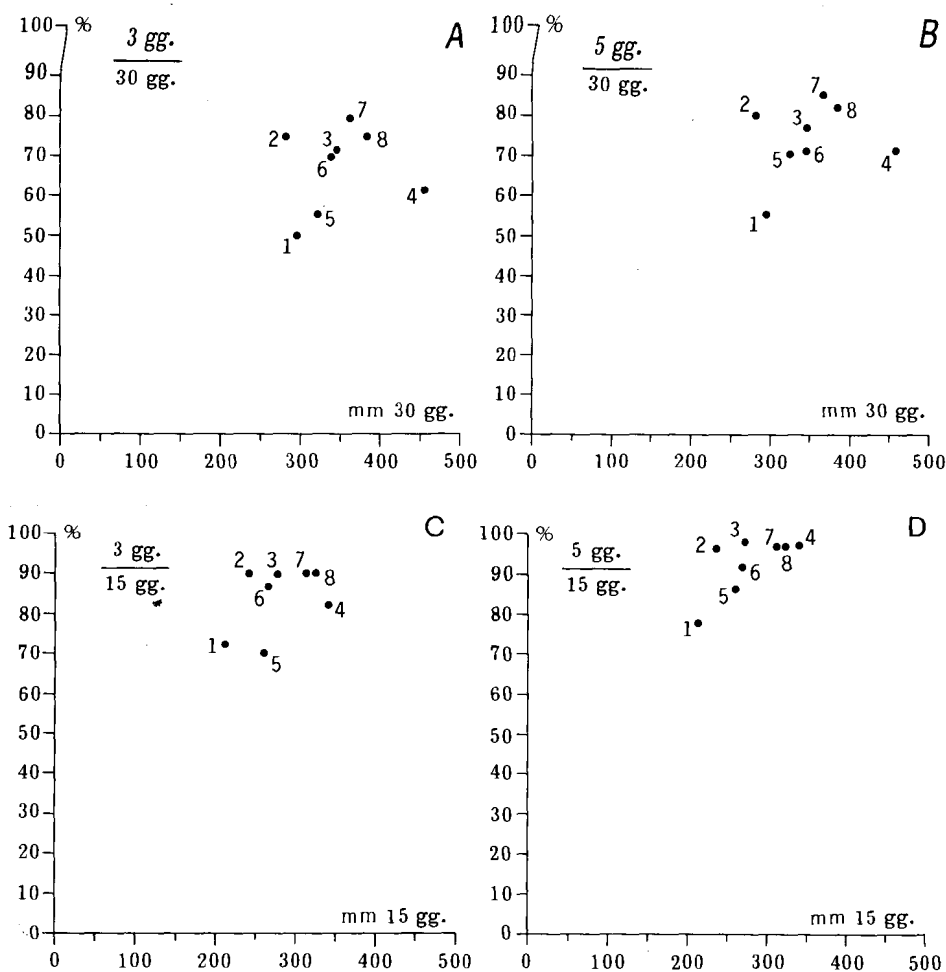


FIG. 7 — CONCENTRAZIONI DI PIOGGIA CADUTA NEI GIORNI PRECEDENTI L'ALLUVIONE O DURANTE IL SUO SVOLGIMENTO.

A, pioggia caduta nei 30 giorni precedenti in relazione a quella degli ultimi 3 giorni; B, pioggia dei 30 giorni precedenti in relazione a quella degli ultimi 5 giorni; C, pioggia dei 15 giorni precedenti in relazione a quella degli ultimi 3 giorni; D, pioggia dei 15 giorni precedenti in relazione a quella degli ultimi 5 giorni.

1, Santa Caterina Valfurva; 2, Ardenno; 3, Sondrio; 4, Lago Inferno; 5, Pedesina; 6, Tirano; 7, Lanzada; 8, Alpe Gera.

più di periodi considerati (30 e 15 giorni; 5 e 3 giorni) appaiono anche dai grafici della fig. 7, dove in ordinata sono collocate le percentuali delle precipitazioni concentrate in 3 o 5 giorni rispetto a quelle cumulate di 30 o di 15 giorni, mentre in ascissa si sono poste le stesse cumulate di 30 o di 15 giorni. Considerando il buon raggruppamento dei punti (specialmente per le precipitazioni di 15 giorni), si può affermare che dal punto di vista pluviometrico l'alluvione del 1987 in Valtellina è stata caratterizzata da altezze di precipitazioni molto elevate negli ultimi 3 e 5 giorni (tra il 50 e l'85% sulla cumulata di 30 giorni e tra il 70 e il 98% sulla cumulata di 15 giorni).

Va anche aggiunto che, sia per il periodo piovoso efficace, sia per la piovosità di picco, si osservano variazioni delle quantità di pioggia in relazione con la distribuzione geografica e altimetrica delle stazioni. I valori minimi riguardano per la maggior parte dei casi le stazioni di fondovalle, come Sondrio o Tirano, poste a quote molto basse, oppure stazioni più elevate come Santa Caterina, situate però sempre sul fondo del solco principale. Le quantità più elevate di pioggia sono registrate invece nelle stazioni poste a quota maggiore, sia sul versante orobico (Lago Inferno), sia su quello retico (Alpe Gera).

Una conferma di quanto precedentemente affermato a proposito dei parametri pluviometrici fondamentali può derivare dai diagrammi della fig. 8, dove sono rappresentate le cumulate di piovosità dal 17 giugno al 23 luglio per cinque stazioni, tre di fondovalle (Ardenno e Sondrio nella media valle, Santa Caterina Valfurva nell'alta) e due di valli laterali (Lago Inferno e Alpe Gera); negli stessi grafici sono state inserite anche le temperature medie giornaliere del medesimo periodo. Salvo situazioni particolari, le curve presentano un andamento piuttosto simile. Si osserva infatti un incremento dell'entità delle precipitazioni cumulate abbastanza regolare nel mese che precedette l'alluvione, talora con più giorni senza precipitazioni, con delle cumulate di pioggia varianti, a seconda delle stazioni, tra i 100 e i 150 mm. Si registra poi un picco molto accentuato, concentrato in 3 giorni, con le altezze di pioggia già indicate, cui fa seguito un rapido smorzarsi del fenomeno.

Per limitarci a un ultimo raffronto per la stazione di Sondrio, ricordiamo che dal 1970 al 1986 non si è mai verificata una concentrazione giornaliera di pioggia superiore ai 75 mm (mentre si ebbero 90 mm il giorno 18 luglio 1987 e 99 mm il giorno seguente) e che in occasione delle frane di Tresenda del maggio 1983, sempre a Sondrio, fu misurata in tre giorni una concentrazione di pioggia di 128 mm (furore invece 210 mm dal 17 al 19 luglio 1987).

Le temperature. Anche per quanto riguarda questo parametro, si provvederà dapprima a collocare i dati del luglio 1987 nel più vasto

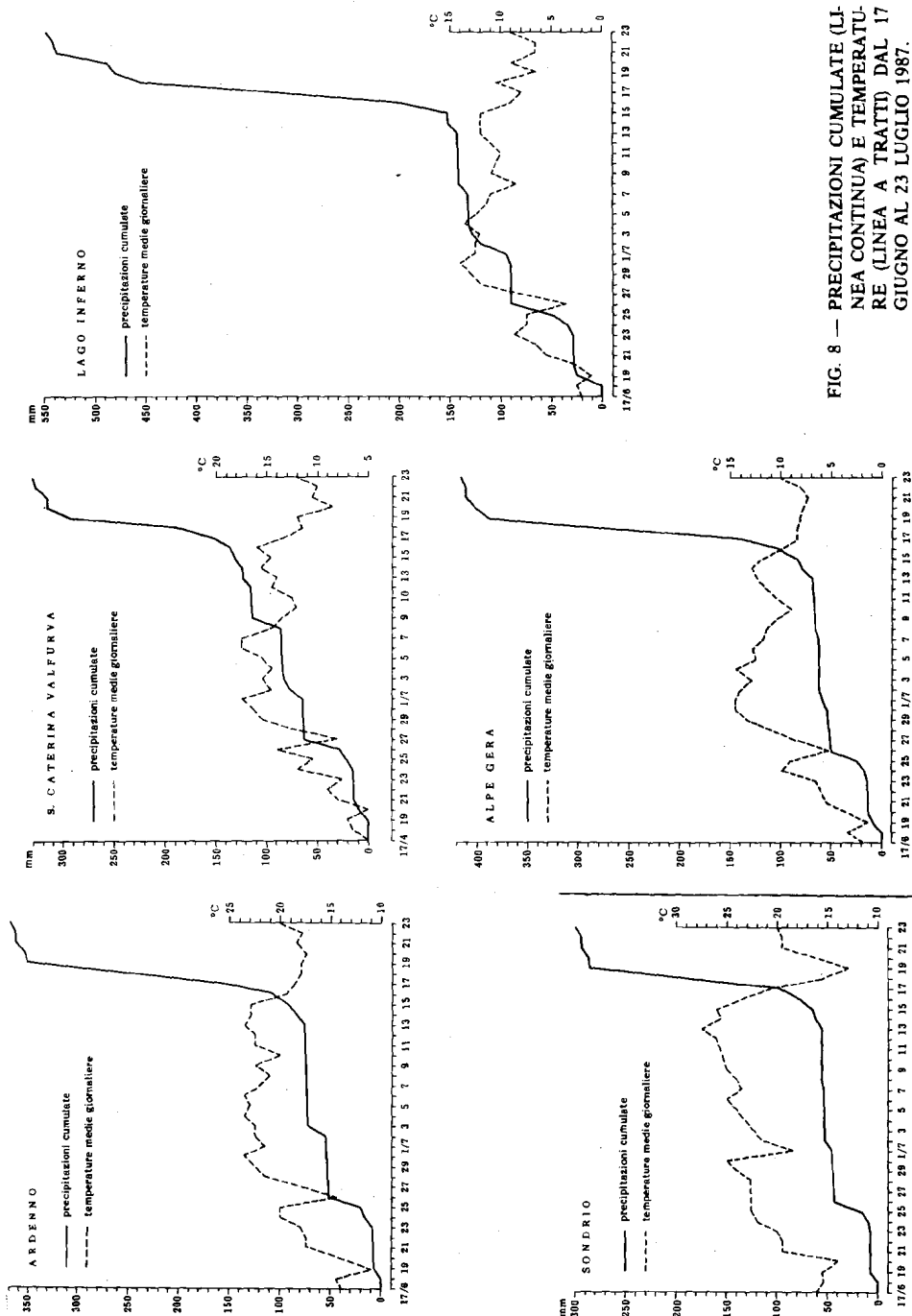


FIG. 8 — PRECIPITAZIONI CUMULATE (LINEA CONTINUA) E TEMPERATURE (LINEA A TRATTI) DAL 17 GIUGNO AL 23 LUGLIO 1987.

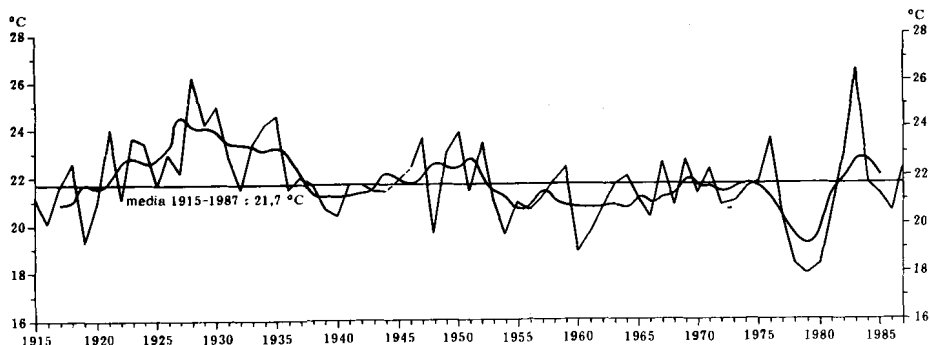


FIG. 9 — TEMPERATURA MEDIA DI LUGLIO A SONDRIO (1915-1987).

La curva indica le medie mobili di ordine cinque.

quadro climatico del nostro secolo, almeno per la stazione di Sondrio; successivamente si esamineranno i valori di più stazioni registrati prima e durante l'evento del luglio 1987.

Nella fig. 9 sono presentate le temperature medie per il mese di luglio registrate a Sondrio dal 1915 al 1987. Anche in questo caso, per meglio evidenziare le oscillazioni, si sono calcolate le medie mobili di ordine cinque. Dal grafico appare abbastanza chiara la tendenza a una diminuzione della temperatura a partire dalla metà degli anni '20 almeno fino alla fine degli anni '70. Vi si osservano però quattro oscillazioni positive principali. La prima, che raggiunge il suo culmine tra il 1927 e il 1929, è sicuramente la più accentuata per la sua durata e per la sua intensità, con valori che si collocano nettamente al di sopra della media di tutto il periodo (21°,7). Dopo una diminuzione tra il 1938 e il 1946, si ha una seconda oscillazione positiva di minore intensità tra il 1946 e il 1952, cui fa seguito un lungo periodo con temperature quasi costantemente al di sotto della media, che culmina con il luglio 1979, quando fu registrata la temperatura più bassa in assoluto (17°,9). Segue una rapida, quanto effimera, inversione di tendenza, che nel luglio 1983 segnerà la più alta temperatura media in assoluto (26°,5). Il dato medio del luglio 1987 (22°,3) non spicca particolarmente rispetto alla media 1915-1986, anche se si può constatare che, a parte l'eccezione del 1983, non viene registrata una temperatura così alta nell'ultimo decennio.

Quando tuttavia si scompongono i valori medi mensili in valori giornalieri e si considerano anche le minime e le massime, si possono compiere altre interessanti considerazioni. Si osserva anzitutto che nei giorni di massima piovosità a Sondrio le temperature medie non sono particolarmente elevate: 20°,5 il 17 luglio, 20°,5 il 18 luglio, 17°,5 il 19

luglio, con una massima di 22° il 17 e il 18. È però nei giorni precedenti che i valori termici, anche se non definibili come «eccezionali», arrivano a punte certamente molto elevate. Come appare dal grafico fig. 8, le medie giornaliere presentano un primo picco il 29 e il 30 giugno (24° e 25°); poi, dopo una breve interruzione, sono quasi costantemente in ascesa fino al 13 luglio, quando si raggiungono 27°,5. Va anche aggiunto che le massime arrivano a 30° il 23 giugno e vi restano quasi ininterrottamente fino al 15 luglio, con una punta di 34° il 13 luglio. Come si è detto, sono valori non eccezionali, ma certamente non molto frequenti. Ricordiamo, per un confronto, che nel 1986 e nel 1985 le massime giornaliere non hanno mai toccato i 34° e che nel 1984 si sono avuti due giorni con questo valore, ma con minime inferiori e quindi con medie più basse rispetto a quelle del luglio 1987 (26°,5 e 24°,5). Valori giornalieri più elevati rispetto al luglio 1987 si sono registrati solo nella calda estate del 1983, quando dal 4 luglio al 1° agosto le massime furono sempre superiori a 30°, con una punta di 38°. Dal 1982 al 1970 si contano solo dodici giorni in cui le temperature massime toccano o superano 34°, ma in tutti i casi le minime, e quindi anche le medie, restano al di sotto dei valori registrati a Sondrio nel luglio 1987.

Un andamento molto simile a quello di Sondrio si constata anche per le altre stazioni della Valtellina prese in considerazione, come Santa Caterina Valfurva, Ardenno, Lago Inferno, Alpe Gera. Si osservano infatti temperature piuttosto elevate dalla fine di giugno alla prima metà di luglio con tre picchi termici, l'ultimo dei quali si colloca nei giorni immediatamente precedenti all'alluvione. Segue poi per tutte le stazioni un netto calo della temperatura, che solo il giorno 20 o subito dopo tende a risalire.

È chiaro che, tenendo conto dell'altezza a cui sono situate le stazioni prese in considerazione, non abbiamo nessuna indicazione sulle condizioni termiche al di sopra dei 2332 m del Lago Inferno. Ci sfuggono quindi completamente le relazioni tra temperature e fusione delle masse nevose e glaciali, così come non appare direttamente quantificabile l'incidenza delle acque da queste derivanti sugli eventi del luglio 1987 in Valtellina. È del resto noto come sia delicata la determinazione delle temperature alle alte quote in aree montane. È infatti necessario estrapolare i dati dei radiosondaggi che riguardano le alte regioni dell'atmosfera spesso lontane dai rilievi interessati, oppure i dati di stazioni situate nelle zone in esame ma a quote minori. A proposito di questo secondo metodo, nel presente lavoro si è utilizzato un gradiente termico verticale proposto da altri autori per valutare l'altezza dell'isoterma di 0°. Il calcolo è stato effettuato per le otto stazioni della Valtellina già indicate, nei giorni dell'alluvione e in quelli immediatamente precedenti (dal 5 al 19 luglio 1987), adottando un gradiente per le

temperature medie giornaliere di $0^{\circ},63$ ogni 100 m (3). I risultati dei calcoli sono presentati nella tab. 3.

Va sottolineato che i valori ottenuti sono del tutto indicativi; si basano infatti sull'ipotesi che anche oltre 2500 m la diminuzione della temperatura sia mediamente lineare in funzione dell'aumento della quota. Bisogna inoltre aggiungere che i gradienti utilizzati si riferiscono a periodi mensili. Si è quindi ulteriormente ipotizzato in modo ancor più restrittivo che il gradiente sia rimasto costante in Valtellina dal 5 al 19 luglio 1987. È in effetti noto come gli elementi meteorologici (termici, barici ecc.) possano variare anche in modo repentino nel corso della stessa giornata in alta montagna e come la morfologia particolarmente aspra delle regioni alpine possa determinare tutta una serie di situazioni microclimatiche molto differenti anche a quote piuttosto simili.

Una verifica dell'attendibilità più o meno accentuata di questo metodo (almeno per quanto riguarda l'esistenza di un gradiente termico giornaliero fino a una determinata quota) può venire dal confronto dei dati termici giornalieri in rapporto all'altitudine delle varie stazioni valtellinesi e delle montagne lombarde in genere. Nel caso presente, a titolo di esempio, si è operato su un solo giorno, il 13 luglio, nel quale a Sondrio si sono registrate le temperature medie e massime più elevate prima dell'alluvione a partire dalla metà di giugno. Oltre alle otto stazioni valtellinesi già utilizzate, si sono prese in considerazione altre dodici stazioni delle Alpi Lombarde, situate nel gruppo Tambò-Stella, sul versante meridionale delle Orobie e nel gruppo dell'Adamello, la cui quota varia dai 333 m di Chiavenna ai 2450 m del Baitone. Come appare dalla fig. 10, i punti si distribuiscono in modo sufficientemente regolare lungo una retta, indicando l'esistenza di un gradiente termico giornaliero.

È chiaro che uno studio approfondito presupporrebbe il calcolo delle regressioni lineari per ogni giorno.

I dati della tab. 3 derivano dunque dall'assunto che nei giorni dal 5 al 19 luglio si sia mantenuto un gradiente termico costante di $0^{\circ},63$ ogni 100 m (il che significherebbe un incremento di 158,7 m di altitudine per la diminuzione di un grado di temperatura). L'altezza dell'isoterma di 0° , pur tenendo conto di quanto sopra affermato, sarebbe dunque quasi costantemente rimasta al di sopra dei 4000 m dal 5 al 15 luglio (nella tabella sono anche indicate le medie giornaliere con le de-

(3) Il dato è tratto da S. BELLONI e M. PELFINI, *Il gradiente termico in Lombardia*, in «Acqua Aria», Milano, 1987, pp. 441-447, lavoro in cui è stato studiato il gradiente termico in Lombardia per 48 stazioni distribuite altimetricamente tra 20 e 2450 m attraverso il calcolo delle regressioni lineari delle temperature rispetto all'altitudine.

TAB. 3

ALTITUDINI MEDIE DELL'ISOTERMA DI 0° DAL 5 AL 17 LUGLIO 1987

Stazioni	5/7	6/7	7/7	8/7	9/7	10/7	11/7	12/7	13/7	14/7	15/7	16/7	17/7	18/7	19/7	Val. medi	sta. dev.
Sondrio	4107	4265	4027	4107	4265	—	—	4424	4662	4345	4424	4027	3551	3551	3079	4064	436,6
Lanzada	4157	4316	4316	4316	4078	3998	—	4236	4395	3998	4157	3681	2649	3443	—	4024	475,4
Alpe Gera	4073	4153	3994	3915	3756	3677	3915	4074	4232	4312	4153	3677	3439	3439	—	3915	280,0
Ardenno	3916	3995	3757	3599	3838	3440	3838	3838	3995	3916	3916	3361	3202	3122	3122	3657	322,4
Tirano	4373	4373	4135	4135	4135	—	—	4294	4532	4373	4294	3977	—	—	3501	4193	277,1
Lago Inferno	4316	4157	4078	3681	4078	3998	3919	4078	4236	4236	4236	3660	3602	3998	3363	3976	278,9
Pedesina	4523	4368	4523	4047	4285	4206	4368	4285	4523	4523	4523	4047	4047	3571	2540	4157	520,2
S. Caterina V.	4200	4517	4517	4041	3882	3644	3724	4041	3962	4200	4041	4279	3803	3565	3644	3993	282,8
valori medi	4208	4268	4168	3980	4040	3827	3952	4159	4317	4238	4218	3839	3470	3527	3207		
stand. dev.	190,7	162,7	266,7	239,1	196,0	285,6	245,2	185,5	255,6	199,7	197,1	293,5	449,9	259,7	392,7		

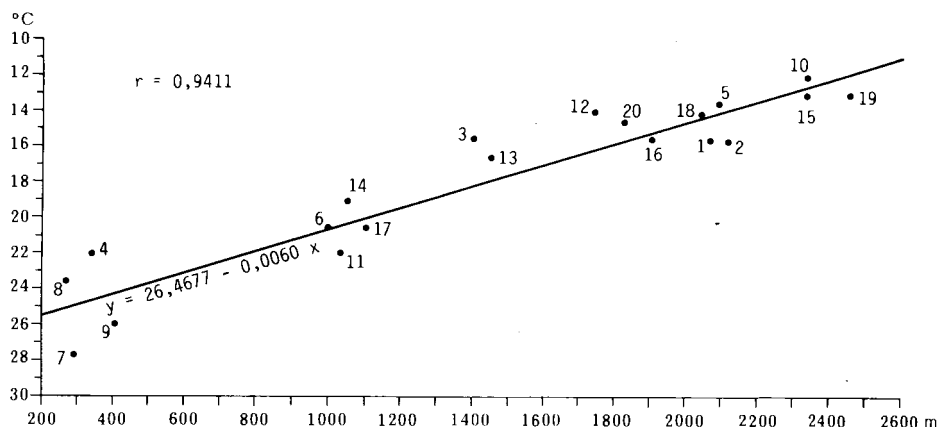


FIG. 10 — CORRELAZIONE TRA ALTITUDINE E TEMPERATURE MEDIE DEL 13 LUGLIO 1987 PER ALCUNE STAZIONI METEOROLOGICHE DELLE ALPI LOMBARDE.

1, Truzzo; 2, Spluga; 3, Isolato; 4, Chiavenna; 5, Alpe Gera; 6, Lanzada; 7, Sondrio; 8, Ardenno; 9, Tirano; 10, Lago Inferno; 11, Pedesina; 12, Santa Caterina Valfurva; 13, Sardegnana; 14, Carona; 15, Pantano; 16, Avio; 17, Temù; 18, Salarno; 19, Baitone; 20, Arno.

viazioni standard corrispondenti). Tranne poche eccezioni (la più marcata è quella del 10 luglio), in questo periodo tutte le sommità più elevate della Valtellina, come il Pizzo Bernina (4049 m), il Gran Zebrù (3851), il Cevedale (3769), il Monte Disgrazia (3678), il Pizzo di Coca (3052), sarebbero state al di sotto dell'isoterma di 0°. Dal 16 luglio si assiste alla diminuzione delle quote, che arrivano al valore minimo di 3207 il giorno 19.

A questo punto della ricerca è difficile, tenendo anche conto del numero limitato delle stazioni utilizzate, delineare nell'insieme dei dati differenziazioni regionali dell'altezza stimata dell'isoterma di 0°. Si può comunque osservare che, con l'eccezione di Ardenno, le stazioni poste a quote maggiori, come Lago Inferno, Alpe Gera e Santa Caterina Valfurva, hanno fatto registrare valori medi dell'isoterma di 0°, riferiti ai giorni citati, inferiori ai 4000 metri.

L'isoterma così calcolata dovrebbe teoricamente separare una zona altimetricamente superiore, dove i fenomeni di fusione e di ablazione sono ridottissimi e dove le eventuali precipitazioni assumono carattere solido, da una fascia inferiore con fusione e ablazione intense e con precipitazioni prevalentemente liquide.

Per compiere una verifica pratica sulle relazioni tra temperatura e nevosità, ci si è soffermati sulla stazione di Santa Caterina Valfurva. Tra gli altri dati forniti a proposito di questa stazione da V. Vitalini, compare anche la quota minima raggiunta dalla neve durante le nevicate estive e autunnali. Si sono presi in considerazione 74 episodi ne-

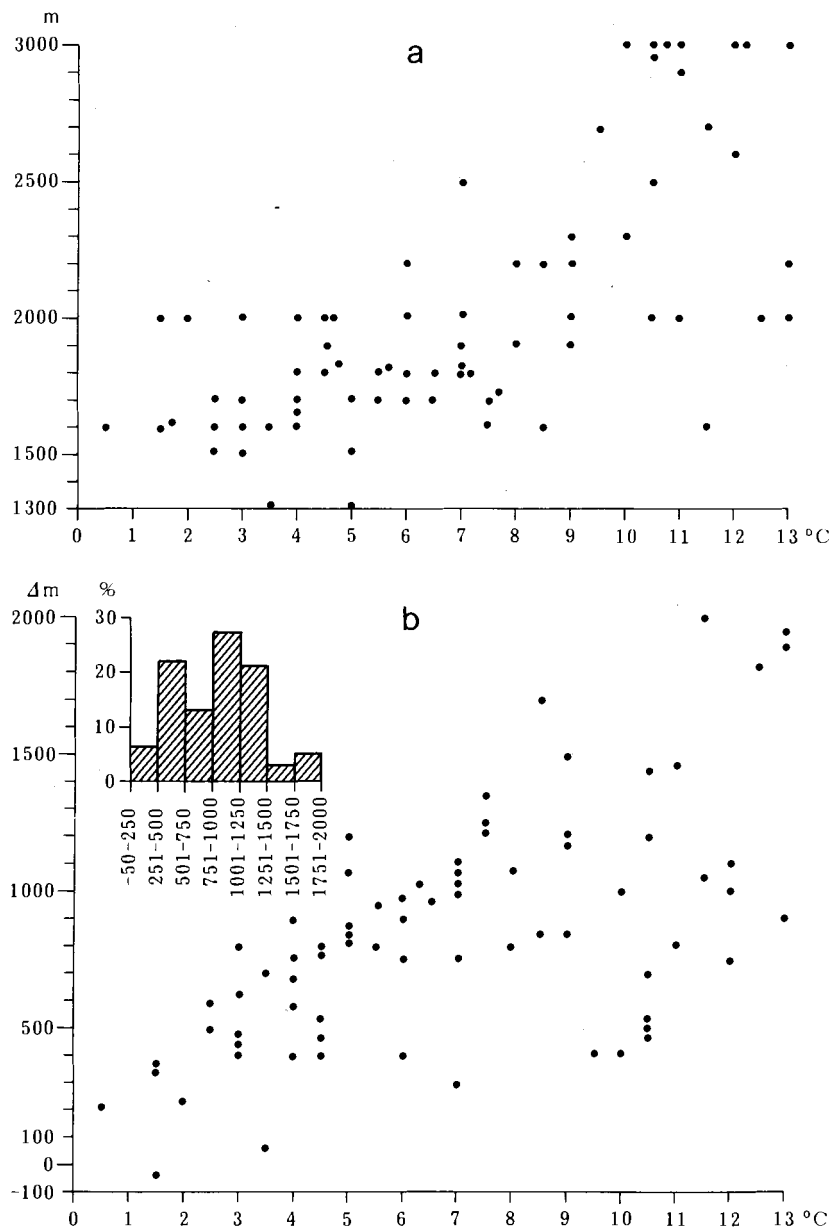


FIG. 11 — RELAZIONE TRA TEMPERATURE MEDIE DURANTE LE NEVICATE ESTIVE E LE QUOTE INFERIORI RAGGIUNTE DALLA NEVE (a) E TRA LE STESSHE TEMPERATURE E GLI SCARTI ALTIMETRICI TRA ISOTERMA DI 0° E QUOTA INFERIORE DELLA NEVE (b). Gli istogrammi di b rappresentano la distribuzione percentuale degli scarti. Le temperature si riferiscono alla stazione di Santa Caterina Valfurva e al periodo 1984-87.

vosi dal maggio 1984 all'ottobre 1987, verificatisi a quote variabili fra 1300 e 3000 m, con temperature medie a Santa Caterina fra $0^{\circ},5$ e 13° .

Tenendo conto della temperatura media del giorno in cui si è verificata ogni nevicata, si è calcolata, attraverso i gradienti termici già indicati, la quota dell'isoterma di 0° e si sono determinati gli scarti rispetto alle quote segnalate. Si sono ottenuti valori oscillanti da -53 m (quindi il limite inferiore della nevicata era situato al di sopra dello zero calcolato con i gradienti) fino a $+1900$ m. Nella fig. 11a sono indicate le quote minime raggiunte dalle precipitazioni nevose in relazione alla temperatura media giornaliera. Anche se i dati sono abbastanza dispersi, emerge la tendenza all'aumento della quota in rapporto all'aumento della temperatura. Va inoltre rilevato che nei dintorni di Santa Caterina Valfurva nelle giornate di intense precipitazioni del 17-18-19 luglio 1987 non vengono segnalate precipitazioni nevose, mentre in anni precedenti con le stesse temperature si sono verificate nevicate a quote varianti tra 2000 e 3000 m. Nella fig. 11b sono messe in relazione le temperature medie con gli scarti tra le quote segnalate come limite inferiore delle nevicate e le quote stimate dell'isoterma di 0° . Anche in questo caso, nonostante la dispersione dei punti, si può constatare che gli scarti termici tendono a crescere in rapporto alla temperatura. Durante i mesi estivi più caldi si avrebbe quindi un'incremento dello scarto fra valori effettivi e valori calcolati. Nella stessa figura è inserito anche l'istogramma della distribuzione percentuale degli scarti, dal quale si ricava la netta preponderanza degli scarti compresi tra 751 e 1500 metri.

Per concludere questo paragrafo dedicato prevalentemente ai caratteri meteorologici e climatologici, rimandando al prossimo l'esame dello spessore del manto nevoso e degli aspetti glaciologici, si può compiere un'altra osservazione che permette di superare almeno in parte il delicato problema dell'uso dei gradienti termici. Nei giorni dell'alluvione sono state registrate in Valtellina temperature medie sicuramente superiori a 0° nella fascia compresa fra 2100 (Alpe Gera) e 2400 m (Lago Inferno), zona ove si collocano le fronti e parte delle lingue di numerosi grandi ghiacciai (ricordiamo solo il Ventina e il Disgrazia nel settore Bernina-Disgrazia, i Forni nel massiccio del Cevedale e il Marovín nelle Orobie).

Gli aspetti nivologici e glaciologici. — Anche per quanto riguarda i caratteri nivologici e glaciologici del luglio 1987 in Valtellina e i confronti con situazioni precedenti, le fonti non sono molto numerose. Non si dispone infatti di osservazioni nivometriche sistematiche ad alta quota e per quanto riguarda le variazioni dei ghiacciai l'unico parametro calcolato su lunghi periodi riguarda gli avanzamenti e gli arretramenti delle fronti.

A proposito dell'entità delle precipitazioni nevose e degli spessori della neve, non disponendo per il momento di valori quantitativi per le fasce più elevate delle montagne valtellinesi, a parte l'area del Ghiacciaio della Sforzellina, ci si limiterà a presentare i dati rilevati all'Alpe Gera e a Santa Caterina Valfurva (tab. 4).

TAB. 4

ENTITÀ DELLA PRECIPITAZIONI NEVOSE (in cm)

Stazioni	1982-83	1983-84	1984-85	1985-86	1986-87
Alpe Gera	546 (7/11-2/6)	710 (27/11-12/6)	694 (14/11-29/5)	912 12/11-31/5)	579 (13/11-24/5)
S. Caterina V.	186 (8/12-15/4)	277 (26/10-26/4)	298 (17/11-28/4)	381 (21/11-19/4)	207 (21/11-19/4)

N.B. — Tra parentesi, le date della prima e dell'ultima nevicata.

Come appare dalla tabella, l'inverno 1986-87 non è stato particolarmente nevoso; il totale delle precipitazioni solide è infatti nettamente inferiore ai tre anni precedenti e di poco superiore al 1982-83. All'Alpe Gera non si sono raggiunti i 6 m e la neve al suolo (fig. 12) non ha mai superato lo spessore di 120 cm. La distribuzione degli spessori ha avuto un andamento bimodale, con una prima punta, di circa 100 cm, tra il 15 e il 18 febbraio 1987 e una seconda, di circa 110 cm, nella prima quindicina di aprile, cui segue una diminuzione piuttosto brusca, fino al 24 maggio, data dalla quale non si ha più neve al suolo.

Dai dati del Lago Inferno, purtroppo incompleti, possiamo ricavare che sul versante orobico valtellinese attorno ai 2350 m la copertura nevosa è durata fino al 24 giugno, con uno spessore medio in questo mese di 68,5 cm. Nel 1986 si è avuta la permanenza della neve al suolo fino al 23 giugno, con uno spessore medio di 110 cm nello stesso mese.

Un'indicazione sugli spessori della neve in alta montagna nel periodo che ha preceduto l'alluvione si ricava dai dati riguardanti la zona della Sforzellina. Il Ghiacciaio della Sforzellina è un piccolo apparato di circo ubicato nel gruppo del Cevedale, presso il Passo del Gavia. Su questo ghiacciaio sono in corso dal 1986, organizzate dal Comitato Glaciologico Italiano, ricerche per la determinazione delle variazioni volumetriche annuali (bilancio di massa) (4).

(4) I primi dati sul bilancio di massa alla Sforzellina sono presentati nel lavoro di G. CATASTA e C. SMIRAGLIA, *Primi risultati delle ricerche sul bilancio di massa al Ghiacciaio della Sforzellina (Gruppo del Cevedale, Alpi Centrali)*, in corso di stampa.

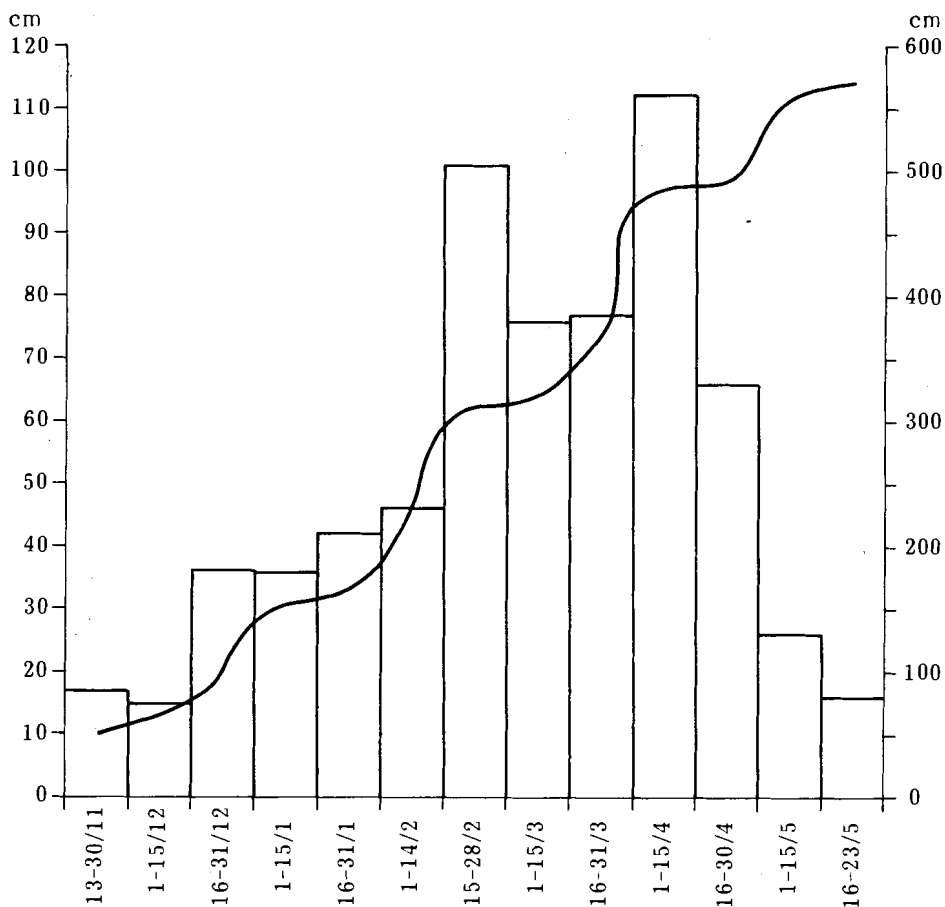


FIG. 12 — SPESSORI DELLA NEVE AL SUOLO A SANTA CATERINA VALFURVA (13 MAGGIO-25 GIUGNO 1987).

La suddivisione è all'incirca quindicinale. La curva indica le cumulate delle precipitazioni nevose. I valori in ordinata a sinistra si riferiscono agli spessori, quelli a destra alle cumulate.

Sulla superficie di questo ghiacciaio (che si estende dai 2780 m della fronte fino a 3120 m) l'11 luglio 1987 è stato compiuto un rilievo degli spessori del manto nevoso con misure di densità della neve. Come appare dalla fig. 13 a, gli spessori variavano da un minimo di 20-50 cm della zona frontale a 200-300 cm attorno ai 2950 m, con valori superiori a 300 cm nelle fasce più elevate. Un secondo rilievo è stato effettuato dopo l'alluvione, il 5 agosto, per determinare gli spessori di neve e ghiaccio persi dalla massa del ghiacciaio. Nella fig. 13 b sono indicate in modo puntiforme le perdite in centimetri (ogni punto corri-

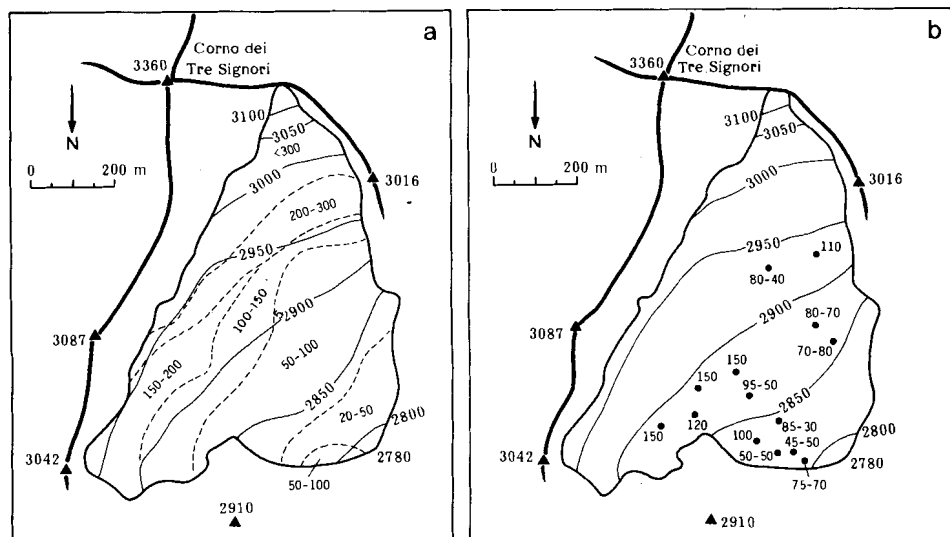


FIG. 13 — SPESSORI DI NEVE RILEVATI L'11 LUGLIO 1987 (a) E VARIAZIONI DI SPESSORE RILEVATE IL 5 AGOSTO (b) NEL GHIACCIAIO DELLA SFORZELLINA.

Ogni punto corrisponde a una palina. La prima cifra indica la dimensione di spessore in cm di neve, la seconda in cm di ghiaccio.

sponde a una palina). Nella parte bassa del ghiacciaio si è avuta la fusione di uno spessore massimo di 75 cm di neve insieme con un'abbondanza di 70 cm di ghiaccio, mentre nella parte centrale i rispettivi valori si sono aggirati attorno a 85 e 30 cm. Al di sopra di una linea oscillante fra 2840 e 2950 m si è avuta solo fusione di neve (al massimo 150 cm).

Utilizzando una densità media di 0,916 per il ghiaccio e di 0,600 per la neve, si sono calcolati i volumi equivalenti di acqua persi dal ghiacciaio nelle aree dove erano collocate le paline. Ne sono risultati i seguenti valori medi per il periodo considerato: 0,800 m³ di acqua per metro quadrato fra 2790 e 2850 m; 0,880 m³ tra 2850 e 2900 m; 0,750 m³ fra 2900 e 2950 m (i rispettivi valori giornalieri sono 0,033 m³, 0,037 m³, 0,031 m³), con una media di 0,810 m³ (media giornaliera, 0,034 m³). Estrapolando questo dato per l'area compresa tra la fronte e 2900-2950 m, che copre poco meno di 200.000 m², si otterrebbe un volume di acqua di circa 162.000 m³ su un periodo di 24 giorni (6750 m³ al giorno), senza tuttavia che si possano individuare in questo lasso di tempo i valori dei giorni 17-18-19 luglio.

Per avere qualche termine di raffronto in aree vicine, ma a quote inferiori, si tenga conto che sul Ghiacciaio dei Forni, a 2650 m di quota, nella seconda metà di luglio 1984 fu misurata da chi scrive, con la

collaborazione di G. Catasta, una diminuzione giornaliera di volume pari a $0,027 \text{ m}^3$ di equivalente in acqua per metro quadrato, mentre il 28 agosto 1985, sullo stesso ghiacciaio alla stessa quota, si determinò un volume di $0,050 \text{ m}^3$ (media su cinque paline) con un valore massimo di $0,064 \text{ m}^3$. Sul Ghiacciaio nord-orientale del San Giacomo, un apparato che per dimensioni, distribuzione altimetrica, morfologia e posizione geografica è molto simile alla Sforzellina, è stata misurata da S. Belloni (5) dal 21 agosto al 4 settembre 1970 un'ablazione complessiva di 60.243 m^3 di equivalente in acqua, pari a 2151 m^3 al giorno ($0,044 \text{ m}^3$ come valore unitario per metro quadrato).

Estendere l'unico dato rilevato sulla Sforzellina all'intera copertura glaciale della Valtellina è naturalmente problematico. Il valore di ablazione che ne scaturirebbe (circa 3 milioni di m^3 di equivalente in acqua al giorno dall'11 luglio al 5 agosto) sarebbe estremamente approssimativo, senza la possibilità di stimare l'ordine di grandezza dell'approssimazione. Bisognerebbe infatti tener conto di una serie di elementi di differenziazione, tra i quali le diverse fasce altimetriche lungo le quali si distribuiscono le masse glaciali, le varie esposizioni, le numerose situazioni morfologiche e microclimatiche, i differenti spessori di neve residua. Sarebbe quindi indispensabile la ricerca di altre informazioni qualitative e quantitative sulle variazioni del manto nevoso e dello spessore di ghiaccio fuso nei giorni dell'alluvione, soprattutto presso testimoni privilegiati (ad esempio custodi di rifugi e guide alpine), nei vari massicci montuosi della Valtellina e alle varie quote.

In queste note, con le quali s'intende semplicemente presentare un complesso di osservazioni preliminari, utili per una successiva interpretazione dei fenomeni, ci si limiterà a proporre alcuni dati riguardanti due altre problematiche: da un lato, l'effettiva consistenza del glacialismo valtellinese attuale, senza la cui conoscenza qualsiasi tentativo di generalizzare le situazioni singole può avere scarso significato; dall'altro, l'insieme delle osservazioni sul terreno compiute subito dopo l'alluvione, che rappresentano degli indiscutibili dati di fatto.

Per quanto riguarda il primo punto, si presentano i dati raccolti dal Comitato Glaciologico Italiano per il Catasto Internazionale dei Ghiacciai (*World Glacier Inventory*), di prossima pubblicazione a Zurigo. Nella tab. 5 vengono indicati i valori ritenuti più significativi.

Va sottolineato che i dati riportati nella tab. 5, pur essendo i più aggiornati disponibili, riguardano la situazione del glacialismo all'inizio degli anni '80, quando numerose erano le placche di neve residua a causa delle abbondanti nevicate degli anni precedenti. Oggi molte di

(5) S. BELLONI, *Il bilancio idrologico delle Vedrette del San Giacomo*, in «Boll. Comit. Glaciol. Ital.», Torino, serie II, n. 18, 1970, pp. 19-34.

TAB. 5

PRINCIPALI CARATTERI DEL GLACIALISMO ATTUALE DELLA VALTELLINA

Bacino	Numero totale apparati	Numero ghiacciai	Numero glacionevati	Area (km ²)	Riserva idrica (stimata in 10 ⁶ m ³)
Masino	39	15	24	3,96	29,5
Mallero	26	21	5	9,47	179
Mallero- Lanterna	15	11	4	26,23	884
Mallero- Antognasco	7	3	4	0,61	2,1
Fontana	5	—	5	0,26	0,6
Roasco	5	2	3	0,58	1,8
Campaccio	3	1	2	0,37	1,3
Bormino	18	11	7	5,64	68
Braulio	8	6	2	3,43	18,5
Frodolfo	44	31	13	36,26	1154,3
Rezzalasco	3	1	2	0,41	1,6
Venina e versante orobico	28	11	17	2,25	8,9
<i>Totali</i>	<i>201</i>	<i>113</i>	<i>88</i>	<i>89,47</i>	<i>2349,7</i>

queste sono estremamente ridotte o addirittura scomparse. Quella del Catasto è dunque una situazione che in qualche modo può rispecchiare l'inizio dell'estate di questi ultimi anni. Si tenga conto che, mentre i dati delle aree, il cui computo deriva dall'esame di carte e foto aeree, risultano molto attendibili, quelli della riserva idrica vanno ritenuti di larga approssimazione. Ben rari sono stati infatti in Valtellina i rilievi sugli spessori dei ghiacciai, sia diretti (metodi sismici o elettrici), sia indiretti (attraverso la determinazione della velocità di scorrimento), che permettono di calcolare il volume di ghiaccio e valutare la riserva idrica. Per la quasi totalità dei casi (fanno eccezione ad esempio i ghiacciai dei Forni, del Dosegù, del Ventina), il valore di spessore medio è stato calcolato, secondo le istruzioni del Catasto Internazionale, in funzione dell'area.

Come appare dalla tab. 5, i ghiacciai attuali coprono circa 90 km², corrispondenti a oltre il 3% dell'intera superficie della Valtellina. Le maggiori concentrazioni di ghiaccio si trovano in corrispondenza dei gruppi montuosi più elevati, quello del Bernina e soprattutto quello

TAB. 6

QUOTE FRONTALI DI ALCUNI DEI PRINCIPALI CHIACCIAI VALTELLINESI

Bacino	Ghiacciaio	Quota frontale (m)
Masino	Predarossa	2580
Mallero	Ventina	2185
Mallero	Disgrazia	2020
Mallero-Lanterna	Scerscen Inferiore	2520
Mallero-Lanterna	Scerscen Superiore	2480
Mallero-Lanterna	Fellaria Occidentale	2515
Mallero-Lanterna	Fellaria Orientale	2500
Mallero-Lanterna	Pizzo Scalino	2570
Bormio	Piazzì Orientale	2550
Bormio	Piazzì Occidentale	2480
Bormio	Dosdè Orentale	2530
Braulio	Vitelli	2550
Frodolfo	Forni	2320
Orobie	Marovin	2000
Orobie	Lupo	2350
Orobie	Porola	2420

del Cevedale, ove naturalmente sono situate anche le maggiori riserve idriche.

Uno studio completo delle relazioni fra elementi del clima e variazioni volumetriche dei ghiacciai richiederebbe un'approfondita analisi della distribuzione delle aree glaciali per fasce altimetriche. In questa sede ci si limiterà a sottolineare come le fronti di numerosi apparati glaciali in Valtellina siano poste a quote simili o di poco superiori rispetto a quelle delle stazioni più elevate utilizzate nel presente lavoro. Si osservi a questo proposito la tab. 6, i cui dati sono stati raccolti sempre dal Comitato Glaciologico Italiano per il Catasto Internazionale.

Tenendo conto dei dati presentati, in particolare quelli riguardanti il Ventina, il Disgrazia, i Forni, il Marovin, il Lupo, si constata che alcune delle stazioni meteorologiche scelte (in particolare l'Alpe Gera per il gruppo Bernina-Disgrazia e il Lago Inferno per le Orobie) possono rispecchiare in modo sufficientemente attendibile le condizioni climatiche del settore inferiore dei più importanti ghiacciai valtellinesi.

Per quanto riguarda le principali variazioni morfologiche verificatesi sulle masse glaciali della regione, si riportano alcune osservazioni

VARIAZIONI FRONTALI DI ALCUNI GHIACCIAI DELLA VALTELLINA

Bacino	Ghiacciaio	Variazione 1986-87 (m)	Variazione 1985-85 (m)
Mallero	Ventina	+0	+2
Mallero-Lanterna	Fellaria Occidentale	-15	-3
Bormio	Cardonnè Orientale	+9	non misurato
Bormio	Dosdè Orientale	-4	-3
Frodolfo	Castelli Occidentali	+16	non misurato
Frodolfo	Gran Zebrù	-3	non misurato
Frodolfo	Cedech	-5	non misurato
Frodolfo	Forni	+0	+13
Frodolfo	Sforzellina	+15	-15

compiute sul terreno dallo scrivente e da vari operatori del Comitato Glaciologico Italiano e del Club Alpino Italiano. Si veda in particolare la tab. 7, dove sono indicate le variazioni frontali rispetto al 1986 di alcuni apparati, misurate tra la fine di agosto e la fine di settembre del 1987. Per un confronto si sono indicate anche le variazioni 1985-86.

Come appare dalla tabella, i ghiacciai valtellinesi, nonostante gli eventi del luglio 1987, non hanno fatto registrare arretramenti massicci delle loro fronti. Nella maggior parte dei casi (l'eccezione più sensibile è rappresentata dal Fellaria Occidentale) è proseguito l'andamento che ha caratterizzato questi ultimi anni: lievi avanzate alternate a stasi e a ritiri poco sensibili.

Durante i rilievi compiuti poco dopo l'alluvione, si sono tuttavia osservati fenomeni abbastanza insoliti, che vengono qui di seguito elencati:

- 1) **Crolli di settori frontali.** In settori limitati delle fronti, soprattutto in corrispondenza delle «porte» e delle bocche di fuoriuscita dei torrenti subglaciali, si sono rinvenute evidenze di crolli anche imponenti di blocchi di ghiaccio e le «porte» stesse sono apparse di maggiori dimensioni rispetto agli anni precedenti.
- 2) **Dilavamento superficiale.** Sulle lingue degli apparati maggiori si sono osservati alvei meandriformi (*bédières*) derivanti dal confluire delle acque superficiali. Nel caso del Ghiacciaio dei Forni questi alvei presentano profondità maggiori (circa 2 m) rispetto agli altri anni; per altri apparati, come il Dosdè Orientale, le *bédières* non erano mai state osservate in precedenza.

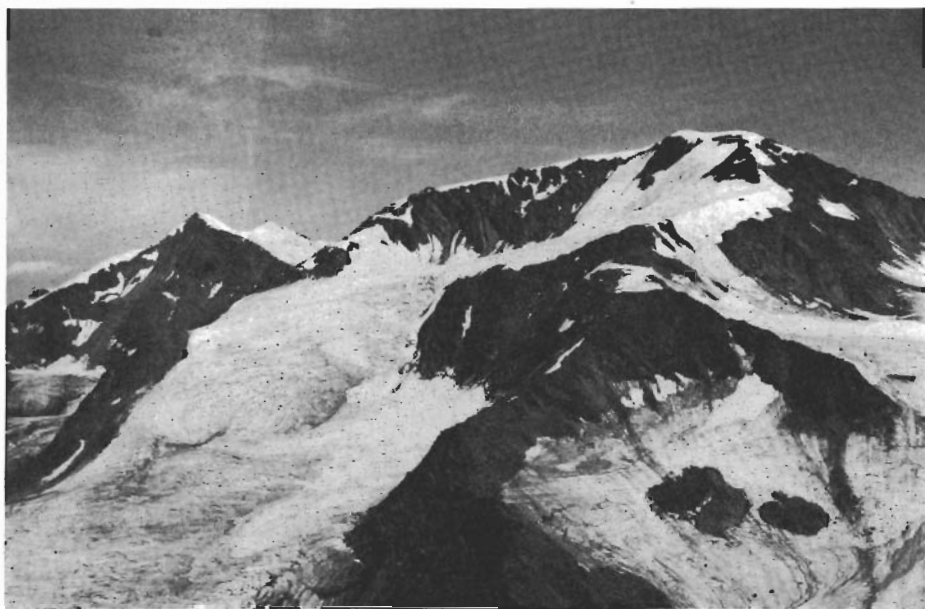


FIG. 14 — SETTORE SUPERIORE DEL GHIACCIAIO DEL PALON DE LA MARE (ALTA VALTELLINA) VISTO DALL'ELICOTTERO NELL'AGOSTO 1987.

Sulla destra, un lembo della colata orientale del Ghiacciaio dei Forni. La cima tondeggiante a destra è il Palon de la Mare (3703 m). Il ghiacciaio appare scoperto da neve residua almeno fino a 3200-3300 m.

(*fol. C. Smiraglia*)

- 3) Assenza della neve residua e quota elevata del limite delle nevi. Alla fine di luglio su molti ghiacciai, specialmente di limitate dimensioni (come il Rinalpi e i Cardonnè nel bacino del torrente Bormino e i ghiacciai della Punta Sforzellina nel bacino del Frodolfo), era del tutto assente la neve residua (neve vecchia) dell'inverno 1986-87 e non era quindi possibile indicare il limite delle nevi. In altri casi nei bacini collettori, arealmente molto ridotti, era rimasto solo il nevato degli anni precedenti. Per i ghiacciai di maggiori dimensioni, come quello dei Forni, il limite annuale delle nevi appariva elevato in modo anomalo rispetto alla stagione (oltre i 3000 m) (fig. 14).
- 4) Riduzione areale di placche di ghiaccio e nevai. Molti dei nevai, delle placche di ghiaccio, dei coni di valanga che negli anni precedenti erano stati osservati ai piedi delle pareti, sul fondo dei circhi, a valle delle fronti glaciali, sono apparsi di dimensioni estremamente ridotte o sono addirittura scomparsi. Basti ricordare per esempio le placche nevose a valle

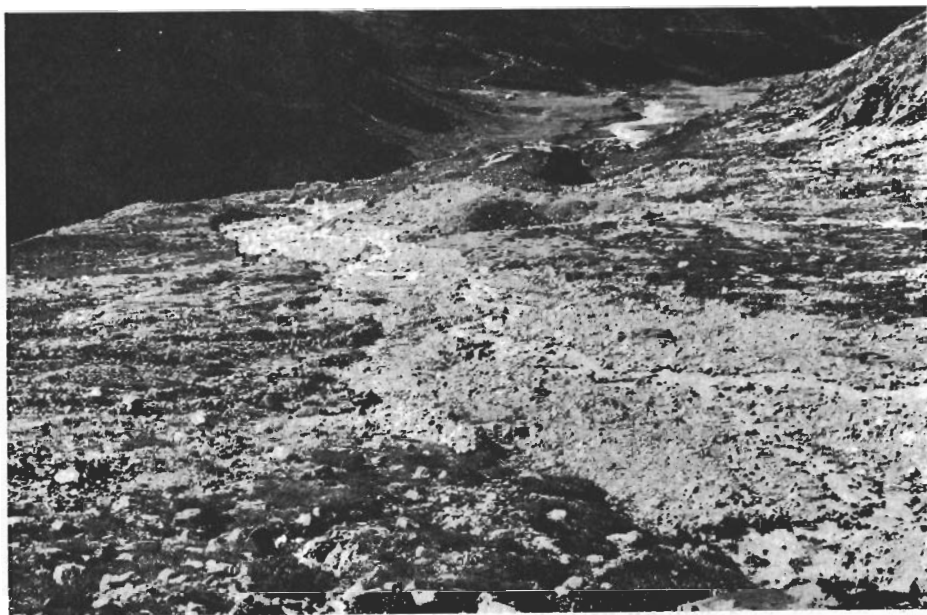


FIG. 15 — IL TORRENTE DOSDÈ POCO A VALLE DELLA FRONTE DEL GHIACCIAIO OMONIMO (VAL VIOLA BORMINA, ALTA VALTELLINA).

Si osservi la larghezza dell'alveo della piena del luglio 1987, che spicca per il colore più chiaro.

(*fol. C. Smiraglia*)

della fronte dei ghiacciai di Val Viola, quasi completamente sparite, oppure il nevato pluriennale che sembrava collegare il termine estremo del Ghiacciaio del Palon de la Mare con quello dei Forni, anch'esso del tutto scomparso, oppure ancora il canalone ghiacciato, attualmente inesistente, che contribuiva all'alimentazione del Ghiacciaio della Sforzellina.

- 5) **Aumento delle dimensioni degli alvei dei torrenti glaciali a valle delle fronti.** Nelle aree proglaciali gli alvei della piena del luglio 1987, chiaramente distinguibili rispetto alle zone circostanti per il colore chiaro del deposito, apparivano enormemente ingranditi. Poco a valle del Ghiacciaio dei Vitelli e del Dosdè Orientale, ad esempio, il letto del torrente glaciale era almeno quattro o cinque volte più largo rispetto agli anni precedenti (fig. 15).
- 6) **Erosione delle morene.** Nelle morene laterali storiche e nelle morene frontali di neoformazione (fra gli altri, Ventina, Dosdè Orientale, Fellaria Occidentale) erano visibili imponenti tracce di sfondamenti, crolli, erosioni al piede.

Dalle evidenze morfologiche sopra citate, e in particolare dai punti 2 e 3, è possibile ipotizzare che le intense precipitazioni della seconda metà di luglio in Valtellina abbiano interessato anche fasce altimetriche piuttosto elevate. Le precipitazioni hanno sicuramente assunto forma liquida al di sopra delle fronti dei ghiacciai per tutta la regione; nella maggior parte dei bacini idrografici devono aver raggiunto e superato il limite inferiore delle nevi di quel periodo dell'anno e anche il limite inferiore della zona di accumulo per la maggior parte dei ghiacciai. Si è quindi verificata una rapida e intensa fusione della neve residua, che è stata asportata in modo quasi completo; è stato pure intaccato il nevato pluriennale e alle quote inferiori anche il ghiaccio vero e proprio (seppure in spessori più limitati).

Dal punto di vista glaciologico si è in sintesi assistito alla riduzione rapidissima e concentrata in tempi brevi del fattore AAR (6), che ha raggiunto valori esigui cui non si era arrivati negli anni precedenti o si era arrivati solo al termine del periodo di ablazione.

Dal punto di vista idrologico si è avuto un incremento rapido ed accentuato del termine q_2 nell'ambito della relazione che esprime la portata teorica dei corsi d'acqua in bacini glaciali (7). Ricordiamo che q_2 è uguale alla somma delle precipitazioni meteoriche avvenute sull'area del ghiacciaio, delle precipitazioni occulte e dell'ablazione, e che nel caso della Valtellina tutta l'area di ogni ghiacciaio entra nella relazione.

Conclusioni. — Come affermato precedentemente, lo scopo del presente lavoro non era quello di formulare conclusioni più o meno definitive e fornire certezze assolute sulle cause che hanno provocato o favorito i disastrosi eventi del luglio 1987 in Valtellina. Numerose sono ancora le variabili di tipo naturale e di tipo antropico, che andrebbero individuate e considerate, sulle quali è indispensabile che le ricerche continuino. In questa sede si è semplicemente voluto presentare qualche dato di fatto dal punto di vista climatico e dal punto di vista glaciologico.

(6) Il fattore AAR è un parametro estremamente utile per sintetizzare le condizioni di equilibrio di un ghiacciaio, indicate dal rapporto tra area di ablazione e area totale. Si ricava dalla formula

$$AAR = \left(1 - \frac{\text{area di ablazione}}{\text{area totale}} \right) \times 100.$$

(7) Nella relazione della portata teorica $Q = S_1 c q_1 + S_2 q_2$, S_1 rappresenta la superficie del bacino idrografico non coperta da ghiacci (in km^2); c è il coefficiente di deflusso per bacini non glaciali (0,90); q_1 è l'afflusso meteorico (in l/s km^2); S_2 corrisponde alla superficie dei ghiacciai (in km^2); q_2 è il contributo dei ghiacciai (in l/s. km^2).

In estrema sintesi, sempre tenendo conto del numero limitato di stazioni prese in considerazione, si è rilevato che:

- 1) le rapide trasformazioni morfologiche (alluvioni e frane) costituiscono in Valtellina fenomeni piuttosto ricorrenti;
- 2) nel luglio 1987 si è registrata una piovosità di oltre 230 mm concentrata in tre giorni;
- 3) questo picco rappresenta più dell'80% delle precipitazioni verificatesi in un periodo piovoso efficace di 15 giorni;
- 4) nell'ultimo quindicennio, almeno per quanto riguarda la stazione di Sondrio, non si è mai avuta una piovosità di tale entità concentrata in così poco tempo;
- 5) durante i giorni dell'alluvione l'altitudine media dell'isoterma di 0°, se si ritengono sufficientemente significativi i valori ricavati con i gradienti termici, era al di sopra dei 3400 m;
- 6) l'entità delle precipitazioni nevose dell'inverno 1986-87 era lievemente inferiore a quella degli anni precedenti;
- 7) le fronti dei ghiacciai in Valtellina non hanno evidenziato arretramenti vistosi o comunque al di fuori degli standard precedenti;
- 8) il limite delle nevi sui ghiacciai all'inizio di agosto era estremamente elevato;
- 9) sulla superficie dei ghiacciai valtellinesi vi erano tracce evidenti di intenso dilavamento e di ruscellamento concentrato.

Dalle pagine precedenti mi sembra che emerga anche un altro dato di fatto: la carenza di conoscenze sui fenomeni dell'alta montagna e soprattutto sulla loro dinamica. Sarebbe di estrema importanza anche ai fini applicativi, fra l'altro, la conoscenza dell'evoluzione del manto nevoso e della distribuzione delle superfici glaciali per fasce altimetriche, la realizzazione di bilanci di massa dei ghiacciai e di bilanci idrologici per i principali bacini (tenendo anche conto della presenza di installazioni artificiali), la collocazione di stazioni meteorologiche ad alta quota.

Dagli eventi della Valtellina del 1987, al di là delle conclusioni che gli esperti dei vari settori potranno trarre sulle loro cause, non potrà non venire un incentivo alla ricerca, nella consapevolezza che sopravvivenza e benessere delle popolazioni della valle sono legati in modo imprescindibile ai fenomeni che avvengono nelle aree più elevate e spesso più trascurate.

THE JULY 1987 VALTELLINA FLOOD: A CONTRIBUTION TO THE KNOWLEDGE OF CLIMATIC AND GLACIOLOGICAL FRAMEWORK. — In July of 1987 Valtellina was affected by a disastrous flood which was accompanied

by massive slope mass movements. This study is intended as a preliminary contribution of data on the climatic and glaciological aspects of the event.

Following a synthetic review of the numerous catastrophic events that occurred in the area, data on precipitation as measured at eight meteorological stations have also been considered. Particular attention was given to the fundamental pluviometric parameters, taking into consideration the time period preceding the mass movement phenomena. Temperatures at high altitudes were then examined by applying a vertical thermal gradient. As for the glaciological aspects, it was first emphasized that there was less snowfall in the winter of 1986-87 with respect to that of the three preceding years. After presenting the principal features of present-day glaciation in Valtellina, the main morphological phenomena observed on the glaciers after the flood have been indicated. The latter led to the hypothesis of an intense fusion of winter snows concentrated within the span of very few days. Moreover, it should be observed that the measurements on the fronts of the glaciers did not show marked variations with respect to previous years. The necessity of intensifying studies on morphological and climatic phenomena in high mountain areas is stressed in the conclusion of the study.

Milano, Istituto di Geografia dell'Università Cattolica.