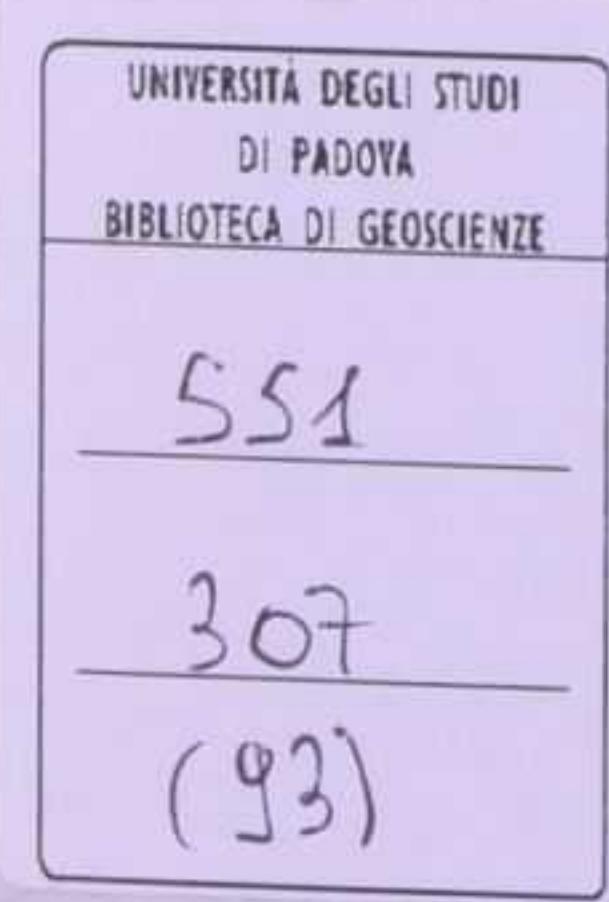


435

MARIA CHIARA TURRINI e VIGILIO VILLI

L'EVENTO ALLUVIONALE DEL 24 AGOSTO 1987 IN VAL MARTELLO (ALTO ADIGE)

(con 10 figure e 1 carta geomorfologica)



PADOVA
SOCIETÀ COOPERATIVA TIPOGRAFICA
1991

MEMORIE DI SCIENZE GEOLOGICHE
già *Memorie degli Istituti di Geologia e Mineralogia dell'Università di Padova*

Vol. XLIII, pagg. 331-345, 10 figg. e 1 carta geomorfologica
Padova, novembre 1991

MARIA CHIARA TURRINI * e VIGILIO VILLI **

L'EVENTO ALLUVIONALE
DEL 24 AGOSTO 1987 IN VAL MARTELLO
(ALTO ADIGE)

INDICE

ABSTRACT	331
RIASSUNTO	331
ZUSAMMENFASSUNG	332
INTRODUZIONE	332
FISIOGRAFIA DELLA VAL MARTELLO . . .	333
CARATTERI PLUVIOMETRICI	
DELL'EVENTO	336
EFFETTI MORFOLOGICI IN ALVEO	338
CONSIDERAZIONI IDROLOGICHE	341
L'EVENTO PLUVIOMETRICO NELLA	
RETE IDROGRAFICA MINORE E SUI	
VERSANTI	342
OSSERVAZIONI CONCLUSIVE	343
RINGRAZIAMENTI	344
BIBLIOGRAFIA	344

Key words: Critical event, alluvial phenomena, energy expenditure, mass movement phenomena, Martello valley, Eastern Alps.

ABSTRACT

This paper discusses the morphological effects resulting from the severe flooding of the Val Martello, in August 1987.

This flood, which was further compounded by the

partial opening of a hydro-electric reservoir, caused serious upheaval, above all on the valley floor.

The object of the research is to demonstrate the relationship between the geomorphological characteristics of Val Martello and the effects of precipitation and flooding. First the geomorphological characteristics and analytical observations about the pluviometrical events will be discussed, then the morphological processes found in the Rio Plima bed and the hydraulic processes causing them will be examined. These processes are related with energy expenditure of the water flow. With reference to the modifications to the lesser hydrographic network, it will be shown how these were mainly to be found in the right tributaries and resulting from a modest amount of accumulated rain. These are rockslope-dominant basins, which yield abundant rockfall debris. Coarse blocks are not entrainable by a running water, and thus tend to accumulate until mobilized as a debris torrents.

The morphological effects on the slopes were virtually negligible, notwithstanding the rather marked intensity of rainfall per hour.

This event will be compared to the situation which occurred after the 1983 event.

As a result of this verification, it emerged that the Val Martello slopes were more susceptible to instability following prolonged rainfall, rather than concentrated periods of precipitation, such as occurred on 24th August 1987.

RIASSUNTO

In questo lavoro sono considerati gli effetti morfologici conseguenti alla piena che ha interessato la Val Martello nell'agosto del 1987. Tale piena, sulla quale ha influito lo svuoto parziale di un serbatoio ad uso idroelettrico, ha provocato gravi dissesti soprattutto sul fondovalle.

* Dipartimento di Scienze Geologiche e Paleontologiche dell'Università di Ferrara, Corso Ercole I d'Este, 32, I - 44100 FERRARA (Italia).

** C.N.R. - Istituto di Geologia Applicata alla pianificazione viaria e all'uso del sottosuolo, Corso Stati Uniti, 4, I-35020 PADOVA (Italia).

Lo scopo del lavoro è quello di evidenziare i rapporti tra le caratteristiche geomorfologiche della Val Martello e la incidenza dell'evento pluviometrico e di piena.

Dopo aver fornito un quadro di conoscenze di carattere geomorfologico e osservazioni analitiche dell'evento pluviometrico, vengono esaminati i fenomeni morfologici verificatisi nell'alveo del Rio Plima ed i processi idraulici che li hanno determinati.

Per quanto riguarda le modificazioni subite dalla rete idrografica minore, viene messo in evidenza come queste si siano verificate principalmente nei tributari di destra ed in seguito ad una quantità di pioggia cumulata del tutto modesta.

Gli effetti morfologici sui versanti sono stati del tutto inapprezzabili, nonostante si sia avuta una intensità massima oraria di pioggia piuttosto marcata. A questo riguardo viene proposto un confronto con la situazione determinatasi in seguito all'evento del maggio 1983.

Da tale verifica è emerso che i versanti della Val Martello presentano verosimilmente una maggiore suscettibilità al dissesto in seguito a piogge prolungate piuttosto che per eventi concentrati nel tempo, come è stato quello del 24 agosto 1987.

ZUSAMMENFASSUNG

Das Jahr 1987 erwies sich im Südtirol als ein ausgesprochenes Unwetterjahr. Der erste Ereignis trat im Juli auf. Am 18./19. Juli lösten verheerende Niederschläge Überschwemmungen und Murgänge aus. Betroffenen waren damals vor allem das obere Eisacktal und das Passaiertal.

Am 24. August brachte erneut Unwetter los. Dieser Niederschlagereignis und die hervorgerufenen Hochwasser haben schwerwiegende Schäden in Ahrntal und besonders in Martelltal verursacht. Hier die Regenintensität nahm am Abend des 24. August zu. Die Wassermassen mit viel Geschiebe aus Böschungserosionen und Hangrutschungen ließen den Plimabach massiv ansteigen. So dass Überschwemmungen die Plimadämme örtlich brachen und der Fluss überflutete.

Das gilt insbesondere für Gander, wo mehrere neuerbauten Gebauden grosse Schäden beklagen.

Dabei wurde das Tal und der Flusslauf durch Erosion in kurzer Zeit markanten morphologischen Veränderungen unterworfen. Die stärksten Bettveränderungen ergaben sich zwischen Gander und Ennewasser, wo der Hochwasserereignis schuf eine neue Uferlinie. Stärke Ufereingriffe verursacht noch das Pendeln des Abflusses in Flusslauf. In diesem Rahmen sind die Beziehungen zwischen Flussmechanik und Flussmorphologie in Betracht gezogen.

Zahlreiche wurden auch die Murgängereignisse, die sich insbesondere in den rechtsseitigen, kurzen, steilen Wildbachen, zwischen Gander und der Gioverettostausee, ereignet haben.

Die Talfanken wurden aber durch den Niederschlagereignis, nicht destabilisiert. Sodass keine Zeichen von Rutschungen, im Gegensatz als geschah am 19./21 Mai 1983, festzustellen wurden.

Ein Vergleich zwischen diesen zwei Ereignissen lässt vielleicht erkennen, dass die Talfanken des Martelltals, empfindbarere zu langdauern Niederschläge, statt zu kurzen Starkniederschläge sein.

INTRODUZIONE

Il 24 agosto 1987 vasti settori dell'arco alpino nord-orientale sono stati investiti da precipitazioni di forte intensità, cui sono seguite piene, con carattere talora eccezionale, che hanno provocato calamità di vasta portata. Tutto questo è avvenuto ad appena 38 giorni da un altro evento (17 luglio) contraddistintosi anch'esso, sia pur a luoghi, da una bassa frequenza probabile di ritorno.

Così come era già accaduto il 17 luglio, uno tra i settori del versante meridionale alpino maggiormente interessato dall'evento del 24 agosto 1987 è stato quello altoatesino. A differenza però di quanto verificatosi in luglio, quando sono state colpiti la Val Passiria e la Val Isarco, l'evento di agosto ha investito la Valle Aurina, la media Val Pusteria ed il versante destro della media Val Venosta, dove la vallata maggiormente interessata è stata senz'altro la Val Martello.

Sull'evento del 24 agosto 1987 esiste un'ampia documentazione che fornisce spiegazioni sia generali, sia di dettaglio, sulla meteorologia, pluviometria ed idrometria e sottolinea la stretta relazione tra le accentuazioni dei fenomeni morfodinamici e l'assetto geologico e morfologico delle singole aree colpiti (AULITZKY, 1988, NAEF *et al.*, 1990; RICKENMANN, 1988; STEINACKER, 1988;)

Questo lavoro intende portare un contributo proprio in tal senso, riferendosi in modo particolare alla Val Martello, dove peraltro il decorso naturale dell'evento di piena è stato alterato sia dall'invaso che dal successivo rilascio di volumi d'acqua dal bacino artificiale del Gioveretto, situato a Sud dell'abitato di Gander, in posizione mediana rispetto alla valle.

Il lavoro si articola in tre parti. Nella prima vengono illustrati i tratti geologici e morfologici fondamentali che contraddistinguono la Val Martello; vengono inoltre forniti dati pluviografici, rilevati ed elaborati, relativi all'evento meteorologico.

La parte centrale del lavoro documenta gli effetti morfologici prodotti dalla piena nell'alveo del Rio Plima ed analizza le condizioni idrauliche che, verosimilmente, possono aver dato origine a tali effetti.

Nella terza parte vengono infine illustrate le situazioni di dissesto prodotte dalle acque incanalate nei tributari di ordine inferiore e sono propo-

sti dei confronti, anche per quel che riguarda i fenomeni erosivi sui versanti, con l'evento del maggio 1983.

FISIOGRAFIA DELLA VAL MARTELLO

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La Val Martello costituisce uno dei principali motivi orografici del gruppo montuoso dell'Ortles-Cevedale, importante massiccio del settore nord-orientale della catena alpina.

Il solco vallivo è limitato da spartiacque che si mantengono costantemente a quote superiori ai 3000 m s.l.m. Esso si allunga in direzione NE-SW su una distanza di 35 chilometri, presentando nel complesso un andamento piuttosto rettilineo (Fig. 1). La differenza di quota tra la massima altitudine della valle (Monte Cevedale II, 3757 m s.l.m.) ed il livello di base rappresentato dal fondovalle della Val Venosta a Laces (640 m s.l.m.) è di 3117 m.



FIG. 1 - Inquadramento geografico della Val Martello.

CARATTERI GEOLITOGICI E STRUTTURALI

La Val Martello è modellata in rocce metamorfiche austroalpine che, sulla base delle caratteristiche litologiche e strutturali, possono essere distinte in tre complessi: filladi quarzifere, micasistici e paragneiss, ortogneiss.

Il complesso delle filladi quarzifere è costituito da un insieme di rocce piuttosto eterogeneo comprendente, oltre al litotipo fondamentale, filladi

granatifere e filladi carboniose, con distribuzione spaziale e rapporti quantitativi piuttosto variabili.

Le filladi affiorano in tutto il settore meridionale della valle, coincidente con la testata, nonché nelle parti superiori dei versanti, fino all'altezza dell'abitato di Ganda. Esse costituiscono quindi le parti altimetricamente più elevate della valle e rappresentano anche il complesso litologico più erodibile.

Tra il Gioveretto e Ganda, invece, affiorano ortogneiss muscovitici ed aplitici, litotipi compatti che danno spesso forma a versanti scoscesi con pareti incombenti. Essi tuttavia sono piuttosto suscettibili alla disgregazione fisica con formazione di detriti più o meno grossolani.

La parte settentrionale della valle è modellata infine nel complesso degli "Scisti di Lasa" in cui predominano micasistici a due miche passanti a paragneiss a due miche. Tali rocce, tenendo conto delle caratteristiche attribuite agli altri complessi, si possono definire di media erodibilità.

Dal punto di vista strutturale la Val Martello rientra in un'area, estendentesi all'intera alta Val Venosta, contraddistinta da una particolare complessità, determinatasi con la presa di posizione delle falde austroalpine.

A complicare l'assetto tettonico primario, è intervenuta una tettonica tardiva per frattura, riconoscibile in quattro grandi sistemi dislocativi. Tra questi quello orientato in direzione NE-SW, costituito da faglie perlopiù dirette con carattere prevalentemente distensivo (GATTO e SCOLARI, 1974), assume nell'alta Val Venosta un'importanza del tutto particolare. Esso è infatti rappresentato tra l'altro dalla grande linea di dislocazione che interessa la Valle di Trafoi e da quelle minori di Vallelunga, Val Zerzer, Val Monastero, Val Mazia, Val Planol. Poiché la direzione NE-SW dell'asse vallivo della Val Martello è del tutto coincidente con quella del sistema dislocativo in questione, è ipotizzabile che anche essa si sia impostata su un accidente tettonico afferente a detto sistema.

CARATTERI MORFOLOGICI E MORFOMETRICI

L'attuale morfologia della Val Martello è il risultato di due diversi processi morfogenetici: l'azione modellatrice dei ghiacciai e l'erosione torrentizia.

La prima è tuttora attiva nella parte superiore della valle, ad opera di ghiacciai estesi per 17.72 km², tra le quote 2500 m 3700 m s.l.m. (VALENTINI, 1985). Qui si trovano imponenti morene frontaliali e laterali, costituite da materiali a granulometria varia, provenienti dalle pareti rocciose scoperte.

Vi sono inoltre numerose conche di escavazione glaciale, talora occupate da piccoli laghi alimentati da acque meteoriche e di fusione, talaltra invece con la soglia in roccia o in materiali sciolti incisa dall'erosione torrentizia.

I lineamenti morfologici del settore meridionale della Val Martello sono in sostanza quelli propri dell'ambiente glaciale e periglaciale dell'alta montagna alpina. La zona di testata assume la classica forma ad anfiteatro, con presenza di ridotti corpi glaciali, delimitata a monte dalle creste sommitali e a valle da una soglia stabilitasi con particolare continuità, per erosione selettiva, in corrispondenza del limite litologico filladi-ortogneiss.

A nord di questa soglia glaciale si sviluppa la valle fluviale, contraddistinta in prevalenza da una morfologia dovuta al processo di erosione regressiva del torrente Plima che ha adeguato il proprio profilo longitudinale al livello di base rappresentato dalla Val Venosta. Tracce di fondo-valle glaciali sono individuabili in deboli ripiani caratterizzati da sviluppo longitudinale piuttosto discontinuo, situati sul versante sinistro della valle, alle quote 1850-1800 e 1600 m s.l.m.

Le tracce lasciate dal glacialismo stadiale in Val Martello non si limitano alle sole forme di erosione. Vi sono infatti anche consistenti depositi morenici tra i quali è doveroso ricordare, per l'imponenza, la morena frontale situata allo sbocco della Val Martello nella Val Venosta attribuita allo stadio di Gschnitz (PENCK in G.B. CASTIGLIONI 1986).

La profondità del solco vallivo e l'asprezza dei suoi versanti nel tratto in questione testimoniano gli effetti di un'imponente erosione torrentizia olocenica, documentata anche dall'enorme cono di deiezione formato alla confluenza della Val Martello nella Val Venosta.

In tale situazione geomorfologica, trova giustificazione la scarsa gerarchizzazione del reticolo idrografico. Da questo punto di vista la Val Martello rappresenta un bacino di grande semplicità: vi è infatti un collettore principale, il Rio Plima, nel quale confluiscono tributari di primo ordine, con ramificazioni più o meno ridotte in rapporto alla natura litologica delle formazioni rocciose attraversate.

Dette ramificazioni assumono in linea generale maggiore consistenza nelle zone di testata dei tributari che coincidono, come detto, con i circhi glaciali impostati perlopiù in filladi quarzifere.

La situazione descritta può essere meglio apprezzata, sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo, dall'analisi dei diagrammi seguenti

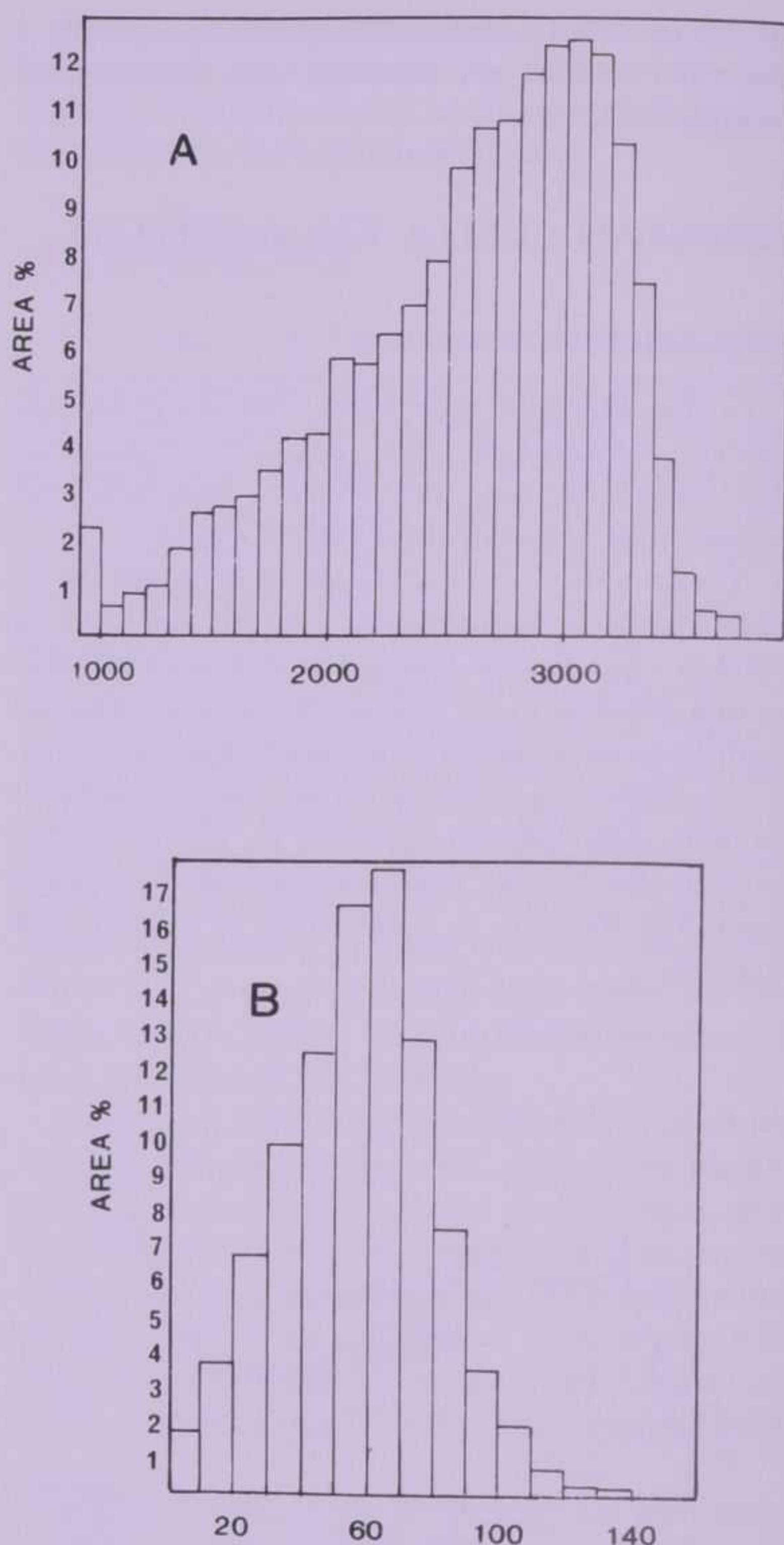
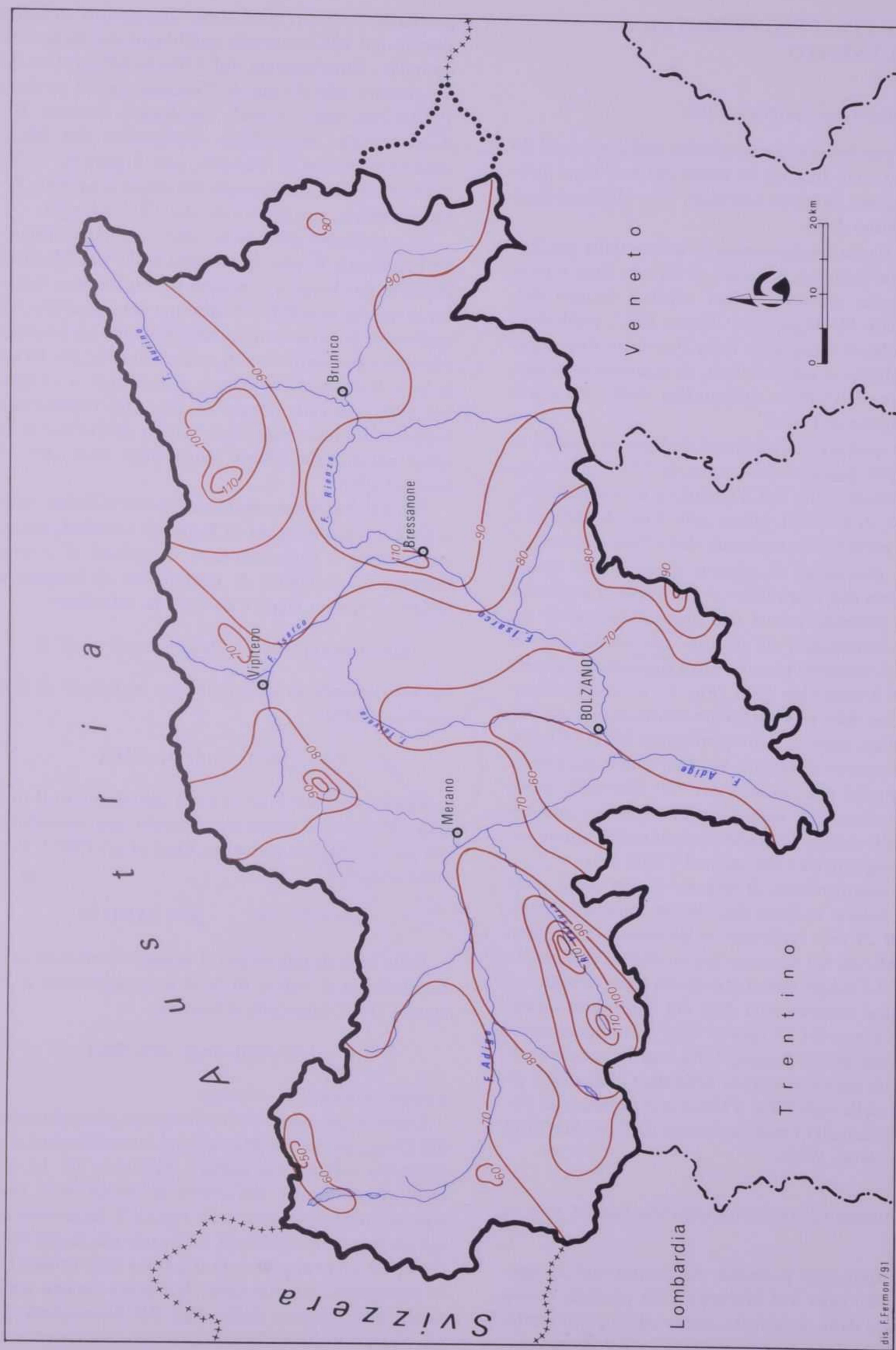


FIG. 2 - Diagrammi morfometrici rappresentativi della distribuzione delle quote (A) e delle pendenze (B) in Val Martello.

che illustrano un significativo compendio di aspetti dell'area esaminata (Fig. 2).

L'istogramma A evidenzia infatti come la Val Martello si sviluppi essenzialmente al di sopra della quota 2500 m s.l.m. mentre l'istogramma B, complementare al precedente, sottolinea la maggiore frequenza percentuale di aree ad elevata pendenza. L'interpretazione coordinata di questi aspetti conferma l'impressione che si ha osservando la base topografica della valle e cioè che le pendenze elevate dei versanti (segnatamente a N della soglia glaciale del Gioveretto), influiscono notevolmente sulla fisiografia della Val Martello, rappresentando nel contempo le aree morfologiche più attive della stessa.



CARATTERI PLUVIOMETRICI DELL'EVENTO

CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE

Le precipitazioni responsabili dell'evento del 24 agosto sono iniziate in mattinata e si sono protrate, con intensità variabile, fino al pomeriggio del giorno dopo.

La figura 3 rappresenta le isioite della precipitazione cumulata massima di 24 ore. Essa è stata realizzata utilizzando dati ufficiali desunti dall'Annale Idrologico per l'anno 1987, pubblicato dall'Ufficio Idrografico della Provincia Autonoma di Bolzano, e informazioni, di carattere ufficioso, fornite dall'Ufficio Idrografico della Provincia Autonoma di Trento.

Da questa carta risultano evidenti due nuclei di maggior precipitazione: uno, di 120 mm, situato sul crinale tra la Val d'Ultimo e la Val Martello, l'altro, di 122 mm, posto sulla Valle dei Molini e sulla parte medio-superiore della Valle Aurina.

La prevalenza di apporti meteorici su queste due aree non costituisce un elemento di anomalia. Essa presenta infatti una forte similitudine sia con distribuzioni di pioggia già verificatesi in eventi meteorici passati, ed in particolare in quello del 3 settembre 1965 (Fig. 4), sia con la distribuzione della precipitazione media annua sull'Alto Adige, relativa al cinquantennio 1921-1970. Da questo punto di vista la Val Martello è interessata da apporti che variano dai 700 mm della parte inferiore ai 1500 mm di quella superiore, mentre in Valle Aurina le precipitazioni medie annue sono comprese tra i 900 mm ed i 1500 mm.

A complemento di quanto risulta dalla carta delle isioite va detto che i valori cumulati massimi di 24 ore, registrati in occasione dell'evento considerato sul versante destro della Val Venosta — Val d'Adige, non costituiscono, per tale durata, massimi assoluti. Alla diga del Gioveretto infatti ai 93.4 mm del 24 agosto 1987 si antepongono i 108 mm del 23 maggio 1983 e nella serie, peraltro non molto numerosa della diga di Zoccolo, situata nella vicina Val d'Ultimo, è presente un valore di ben 205.1 mm registrato il 10 ottobre 1980 (VILLI *et al.*, 1986).

FREQUENZA PROBABILE DELL'EVENTO DEL 24 AGOSTO 1987

La frequenza probabile dell'evento del 24 agosto 1987 nella Val Martello, non potendo essere desunta dalla serie delle osservazioni pluviografiche in quanto troppo brevi, è stata necessariamente stimata su quella relativa ai valori massimi

giornalieri. Questi dati sono disponibili infatti a partire dal 1923, essendo pubblicati sul Bollettino mensile - Pluviometria dell'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia, per il periodo 1923-1954; sugli Annali Idrologici, Sezione B - Pluviometria, dell'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia, per il periodo 1955-1974; ed infine sull'Annale Idrologico, sezione B - Pluviometria, per il periodo dal 1975 ad oggi.

Le condizioni climatiche che contraddistinguono l'ambiente di alta montagna della Val Martello possono dar luogo a cospicue precipitazioni nevose; di queste non si è ovviamente tenuto conto nel realizzare la serie storica dei massimi giornalieri, costituita pertanto da soli eventi di pioggia. In tale serie il valore di 86.8 mm, riferentesi al 24 agosto 1987, rilevato presso la diga del Gioveretto, rappresenta il secondo caso critico dall'inizio delle osservazioni, preceduto dagli 88.2 mm del 23 maggio 1983.

Per l'elaborazione statistico-probabilistica della serie è stata impiegata la legge di Gumbel, adatta come noto a rappresentare campioni di eventi estremi. La funzione di probabilità di frequenza (PDF) di questa legge è data dalla relazione:

$$f(x) = \alpha \exp[-\alpha(x-\beta)] \exp\{-\exp[-\alpha(x-\beta)]\}$$

cui corrisponde la distribuzione cumulata di frequenza (CDF):

$$F(x) = \exp\{-\exp[-\alpha(x-\beta)]\}$$

I parametri α e β sono stati calcolati con il metodo dei minimi quadrati secondo una metodologia già adottata in passato (VILLI *et al.* 1986). Essi sono risultati:

$$\alpha = 0.073749 \quad \beta = 34.94170$$

Sulla base di tale stima il tempo di ritorno corrispondente al valore di 86.8 mm registrato il 24 agosto 1987, dato dalla relazione:

$$T = 1/1 - \exp\{-\exp[-\alpha(x-\beta)]\}$$

è risultato essere di 75 anni.

Come è già stato detto, l'evento pluviometrico del 24 agosto in Val Martello si è manifestato con intensità crescente a partire dalle ore 10. La variabilità temporale dell'intensità oraria della precipitazione è riportata nella figura 5. Essa evidenzia un massimo orario di 17.2 mm tra le ore 19 e le ore 20, che rappresenta il primo caso critico tra le precipitazioni massime di durata un'ora registrate alla stazione della diga del Gioveretto. La già citata brevità delle osservazioni pluviografiche in questa stazione non consente tuttavia di affron-

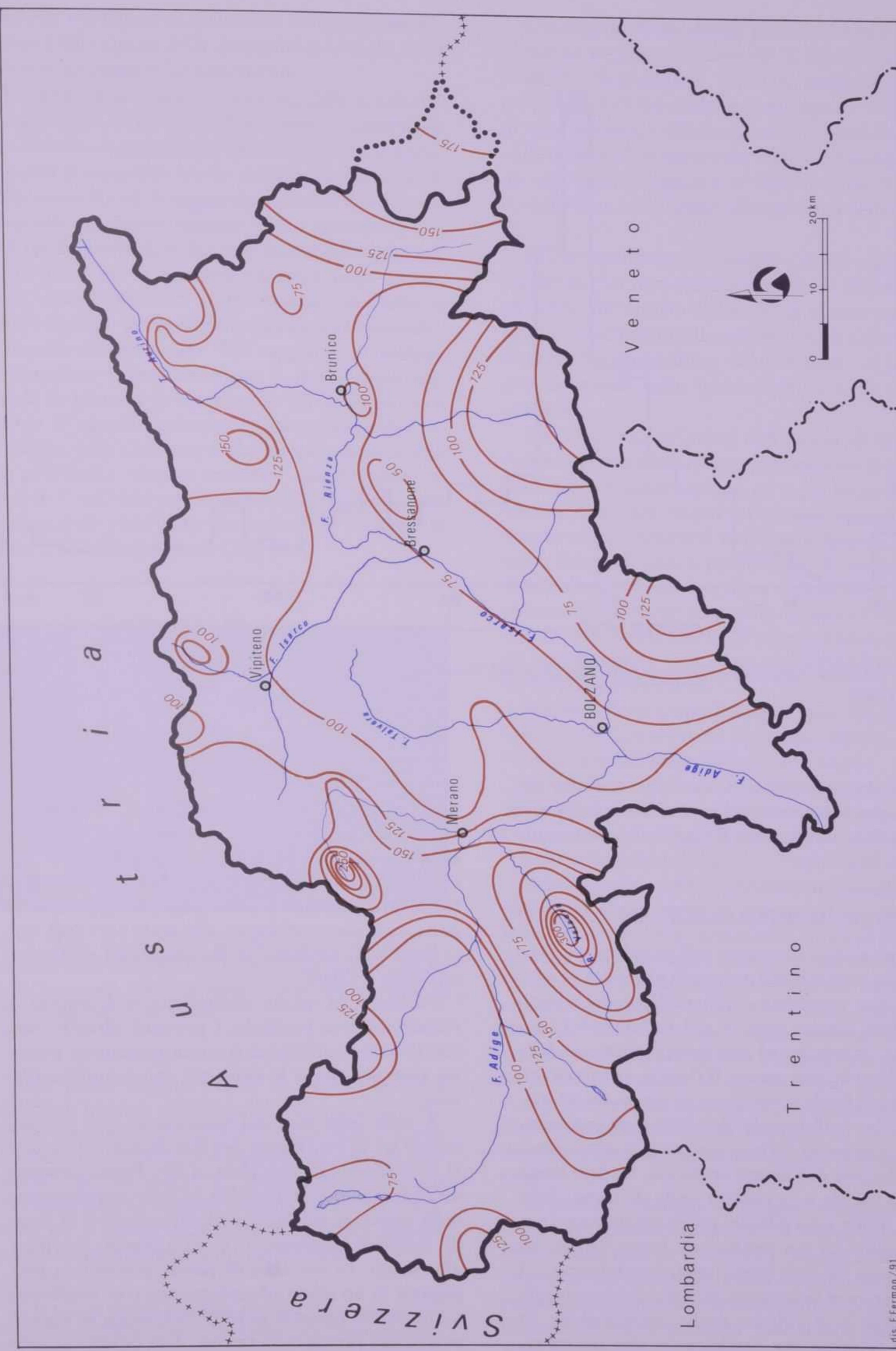


FIG. 4 - Isoiote della pioggia cumulata relativa all'evento del 3-5/09/1965.

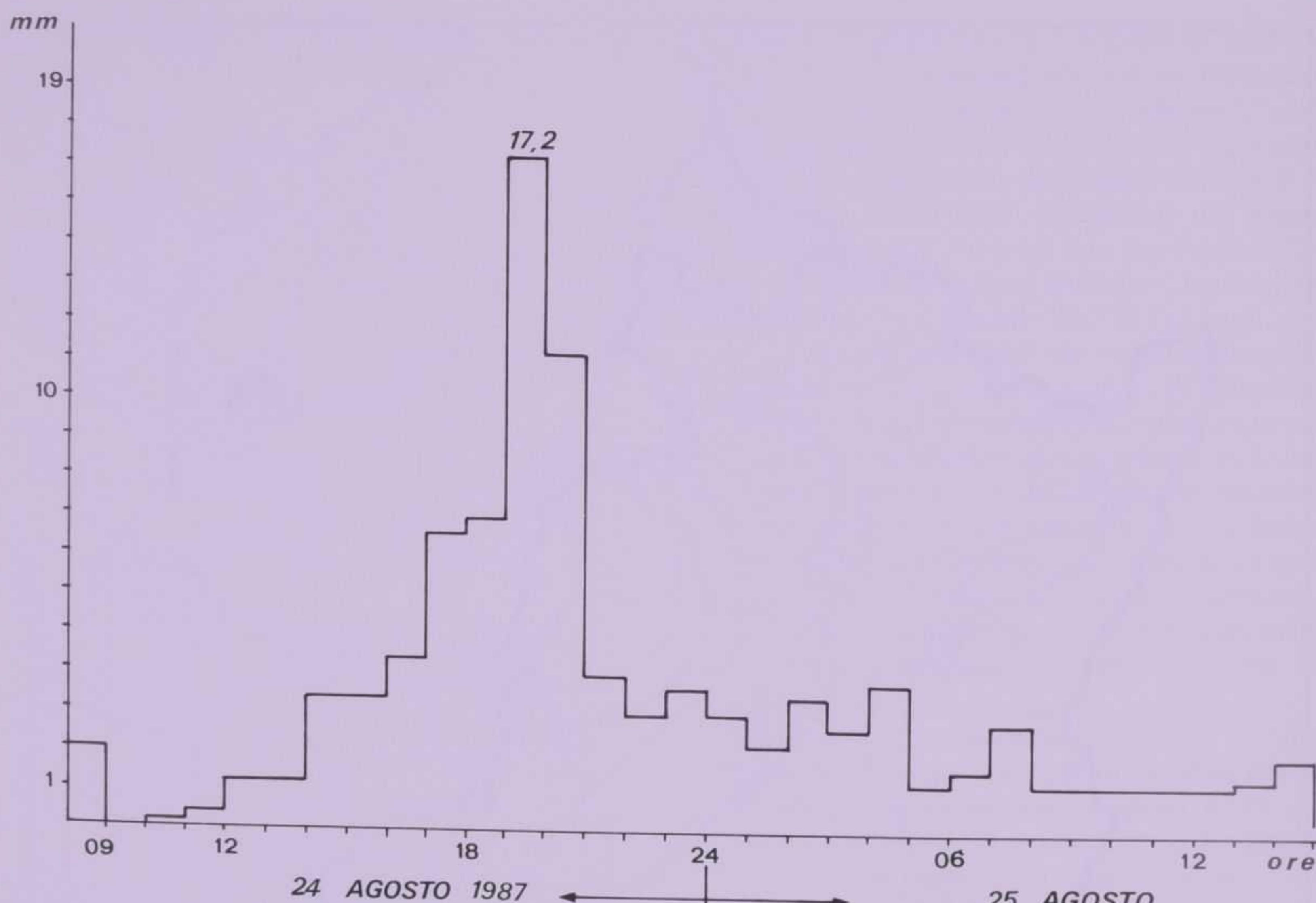


FIG. 5 - Afflussi meteorici orari registrati alla Diga del Gioveretto dalle ore 08 del 24/08/1987 alle ore 15 del 25/08/1987.

tare le argomentazioni di carattere statistico già svolte per le osservazioni giornaliere; risulta così impossibile andare oltre il significato che assume il puro dato fisico.

EFFETTI MORFOLOGICI IN ALVEO

Come è stato accennato nell'introduzione, l'andamento naturale dell'evento di piena del 24 agosto è stato verosimilmente modificato dal rilascio di volumi d'acqua invasati nel serbatoio del Gioveretto, in seguito ad una brusca riduzione della capacità utile dello stesso. Il rilascio, attraverso gli scarichi di fondo, è avvenuto in serata. In tal modo l'arrivo nell'alveo del Rio Plima, già interessato da consistenti deflussi naturali, di masse d'acqua rilasciate dall'invaso artificiale, ha dato luogo ad una rapida e complessa onda di piena, della quale risulta assai difficile poter quantificare i valori indice. La sua traslazione lungo l'alveo del Rio Plima ha dato luogo, comprensibilmente, al succedersi e al sovrapporsi di varie fenomenologie idrauliche e di riflesso anche morfologiche, in stretta relazione con l'andamento pianoaltimetrico dell'alveo e con le modificazioni fisiche indotte

sulla corrente di piena dall'arrivo d'acqua che, provenendo come detto dagli scarichi di fondo, doveva necessariamente caratterizzarsi per una elevata torbidità. La situazione morfologica dell'alveo del Plima, ed in particolare l'ampiezza di fondovalle impegnato dalla piena, è rappresentata nella carta geomorfologica alla scala 1:25.000, nella quale sono evidenziate tre situazioni particolari alla scala 1:5.000.

Partendo da questo documento si è cercato di ricostruire, ove possibile, i processi idraulici che, con le loro interferenze o sovrapposizioni, possono aver provocato le evidenze morfologiche rilevate.

A valle della diga del Gioveretto, più precisamente tra la confluenza del Rio Rosim e la località di S. Maria alla Fonderia, il Rio Plima presenta un andamento planimetrico ad anse, condizionato dalla presenza sul fondovalle di accumuli di frana di notevoli dimensioni e di conoidi detritico-alluvionali. La corrente di piena, costretta a propagarsi in un alveo ad andamento così accidentato, ha subito notevoli perdite di energia in seguito ai continui cambi di direzione. Tali perdite si sono localizzate in modo particolare sui due lati delle

anse per effetto principalmente delle brusche variazioni del regime delle pressioni esercitate dalla corrente di piena sulle anse stesse.

L'entità delle erosioni, riconducibili a tale fenomenologia, è risultata direttamente correlabile con i caratteri geometrici delle anse ed in particolare con il rapporto tra lo sviluppo longitudinale delle curve (l) ed il raggio delle stesse (r). Infatti, dove tale rapporto assume valori intorno a 1.9, cioè tra la confluenza del Rio Rosim ed il ponte di quota 1674 m, le erosioni spondali sono situate quasi esclusivamente sull'estradosso dell'ansa e hanno assunto proporzioni abbastanza contenute.

A valle di tale ponte ⁽¹⁾ il rapporto l/r assume mediamente valori intorno a 3. Il passaggio dell'onda di piena è avvenuto con veri e propri urti contro le sponde concave e con conseguente riflessione della corrente sulla sponda opposta. Ciò ha provocato vistose erosioni su entrambe le sponde e l'abbandono in alveo di ingenti quantità di materiale grossolano in carico alla corrente di piena e localmente eroso (Fig. 6).



FIG. 6 - Una visione delle vistose erosioni spondali verificatesi sulle anse del Rio Plima e dell'ingente quantità di materiale che ingombra l'alveo del torrente in corrispondenza delle stesse.

Altri punti singolari, sede di locali e notevoli perdite di energia dell'onda di piena, si sono rivelate le confluenze dei tributari. Le erosioni spondali verificatesi sulla riva opposta a quella di confluenza sono attribuibili generalmente a fenomeni di contrazione della corrente del Rio Plima, risultando più o meno accentuate in funzione dell'angolo di incidenza delle confluenze stesse.

⁽¹⁾ Il ponte aveva una luce di circa tre metri ed una lunghezza di circa 12 m. L'impalcato in cemento armato è stato completamente asportato dalla piena e trascinato a valle per una decina di m.

Con angolo di incidenza pressoché ortogonale (come ad esempio nel caso del T. Schneelahn) le evidenze morfologiche rilevate, costituite dalla profonda erosione della sponda opposta a quella di confluenza e dall'alluvionamento dell'alveo a valle della confluenza stessa, indicano il succedersi dei fenomeni di contrazione della corrente di piena del Plima e del brusco allargamento della stessa.

In corrispondenza di innesti con un angolo di incidenza piuttosto piccolo (caso del T. Breitlahn) ad essere interessata dall'erosione è stata soprattutto la sponda immediatamente a valle della confluenza. La spiegazione del fenomeno si trova probabilmente nella formazione di locali moti vorticosi.

Da Tasa fino all'inizio dell'abitato di Ganda l'alveo del Rio Plima corre incassato tra il piede del ripido versante sinistro ed il più basso di un sistema di terrazzi situati sul versante opposto. In questo tratto, pressoché rettilineo e lungo 250 m circa, l'onda di piena, proveniente da un precedente allargamento di sezione d'alveo, deve aver assunto inizialmente un profilo di moto accelerato e proprietà fisiche tipiche di un *water flow*, avendo appena abbandonato una consistente frazione di materiale grossolano.

Superato detto tratto l'onda di piena ha incontrato il cambiamento di direzione imposto dall'ansa situata all'inizio della piana di Ganda.

Le relazioni stabilitesi tra direzione della corrente e direzione della curva sono sintetizzate, sia pur con una certa approssimazione, nella finestra A della carta geomorfologica.

Essa mette in evidenza anzitutto lo sbandamento subito dalla corrente di piena ed il suo proseguimento verso valle secondo due direzioni preferenziali. Una, che ricalca vecchi percorsi del Plima (finestra B della carta geomorfologica), ha interessato direttamente l'abitato di Ganda. L'altra è risultata dalla riflessione della corrente sulla sponda sinistra dell'alveo del Plima. Su tale sponda si sono instaurati in tal modo, per un buon tratto, interferenze tra linee di perturbazione successive, testimoniate dalla presenza di accumuli detritici alternantisi a tratti di sponda fortemente erosi.

Le perdite di energia verificatesi nella piana di Ganda in seguito soprattutto al brusco allargamento della sezione di deflusso, estesasi all'intera larghezza del fondovalle, e alla diminuzione della pendenza longitudinale dell'asse vallivo, sono state particolarmente rilevanti. Esse si sono manifestate soprattutto con l'abbandono di ingenti quantità di materiale detritico, che ha prodotto un ge-



FIG. 7 - Vista panoramica sulla piana di Ganda dopo il passaggio dell'onda di piena del 24/08/1987.

nerale alluvionamento della piana (Fig. 7). A questa fase di deposizione è seguita un'altrettanto energica fase erosiva che ha sostanzialmente rimobilizzato il materiale depositato e a luoghi asportato il vecchio fondovalle sul quale era stato costruito il paese di Ganda, che ha subito gravi danni (v. finestra B della carta geomorfologica e figura 8).



FIG. 8 - Abitato di Ganda. Particolare sulle erosioni prodotte dalla piena del 24/08/1987 nel centro abitato.

La ridistribuzione del materiale più grossolano rimosso (dimensione media di 0.5 - 1 m³) è avvenuta fino poco a valle della località Pontara, situata a circa 400-500 metri dal luogo di asportazione.

Abbandonata la frazione più grossolana, l'onda di piena ha riacquistato nuovamente energia. In tal modo essa, all'altezza dell'abitato di Transacqua, ha inciso profondamente la sponda destra, ricavandovi un nuovo alveo con larghezza massima di circa 75 m, lunghezza di circa 350 m e profondità media di circa 1.5 m. Il materiale localmente rimosso risulta pertanto valutabile in 25.000-30.000 m³.

Un fenomeno del tutto simile a quello appena descritto si è ripetuto un chilometro più a valle, e più precisamente fra Tasa e Masi dei Sassi. Le dimensioni del nuovo alveo (poco più di 400 m di lunghezza, larghezza massima di 70 m circa e profondità media di 1.5 m) indicano l'asportazione di altri 30.000 m³ di materiale che, assommati a quelli valutati a Transacqua, portano a stimare in almeno 60.000 m³ il volume del materiale preso in carico dalla corrente di piena in poco più di un chilometro di percorso (finestra C della carta geomorfologica).

La maggior parte di questa ingente quantità di detrito è stata ridepositata a valle, fino alla confluenza col Rio Salt, il cui conoide costringe il Rio Plima a ridosso del versante vallivo opposto, provocando per un tratto di circa 700 m un alluvionamento dell'alveo dell'ordine del metro. Nel tratto vallivo ingombrato dal conoide del Rio Salt, il Rio Plima ha scavato una ripida incisione per regolarizzare il proprio profilo longitudinale. L'onda di piena è transitata attraverso il tratto iniziale di questo tronco d'alveo a sezione di deflusso ridotta, senza rigurgito. Ciò sta a significare che l'effetto di restringimento è stato compensato da un abbassamento del fondo, tradottosi dal punto di vista morfologico in un processo di approfondimento dell'alveo di cui hanno rapidamente risentito le sponde, sulle quali si sono verificate profonde erosioni al piede. Si è in tal modo originato un ingentissimo trasporto solido, i cui effetti si sono manifestati praticamente fino alla località Santo Stefano, situata circa 2 km più a valle.

Superata la stretta ivi esistente, la corrente di piena si è immessa sul grande conoide che raccorda lo sbocco della Val Martello al fondovalle della Val Venosta. Essa è defluita regolarmente fintanto che l'alveo del Rio Plima risultava stabilmente incassato nel conoide. Più a valle, in seguito alla graduale diminuzione della pendenza longitudina-

le ed al rigurgito provocato dalla ostruzione della luce di un ponte situato in corrispondenza ad una cassa di espansione, la massa d'acqua è uscita dall'alveo, alluvionando la parte centrale del conoide.

CONSIDERAZIONI IDROLOGICHE

Sul Rio Plima non vi sono stazioni idrometriche. L'entità della piena verificatasi il 24 agosto, non potendo essere desunta da registrazioni, avrebbe dovuto essere stimata per via indiretta, attraverso l'impiego di metodi concettuali di trasformazione afflussi-deflussi o della formula del moto uniforme.

Non disponendo tuttavia di preventive tarature e considerando il moto uniforme tutt'altro che rappresentativo del moto rapido con cui è avvenuta la traslazione della piena nell'alveo del Rio Plima, si è ritenuto di non poter applicare tali metodologie, potendo le incertezze sui parametri portare ad errori di valutazione anche sensibili.

In proposito, per quanto attiene in particolare l'inopportunità dell'impiego delle formule del moto uniforme in ambienti contraddistinti da elevata energia di rilievo, JARRET (1990), sulla base degli elementi raccolti su corsi d'acqua dello Stato del Colorado (U.S.A.), rileva come il valore del

coefficiente di scabrezza n assuma valori ben più elevati (da 1 a 2 volte) rispetto a quelli correntemente impiegati in questo tipo di corsi d'acqua.

Dalla sottostima del coefficiente di scabrezza n , unitamente ad altri elementi di incerta valutazione, deriverebbero conseguentemente errori di stima in eccesso delle portate che l'Autore valuta tra il 75-100% ed anche oltre.

Al fine tuttavia di poter fornire almeno delle indicazioni di larga massima sulla consistenza della piena naturale defluita dal Rio Plima, si è ritenuto utile far riferimento ai dati idrologici registrati sul fiume Adige a monte ed a valle della confluenza del Rio Plima (Fig. 9). I dati sono stati rilevati dall'Ufficio Idrografico della Provincia Autonoma di Bolzano e dallo stesso pubblicati sull'Annale Idrologico per l'anno 1987.

A monte della confluenza del Plima, sull'Adige vi sono due stazioni idrometriche: a Spondigna (bacino 685 km^2) ed a Lasa (bacino 894 km^2). Della prima è pubblicata la portata al colmo di piena pari a $82.7 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre della seconda l'Annale riporta solo l'idrogramma di piena, trattandosi di una sezione rigurgitata. Sulla base del citato valore della portata al colmo di piena è comunque possibile fissare il corrispondente contributo unitario in $0.121 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

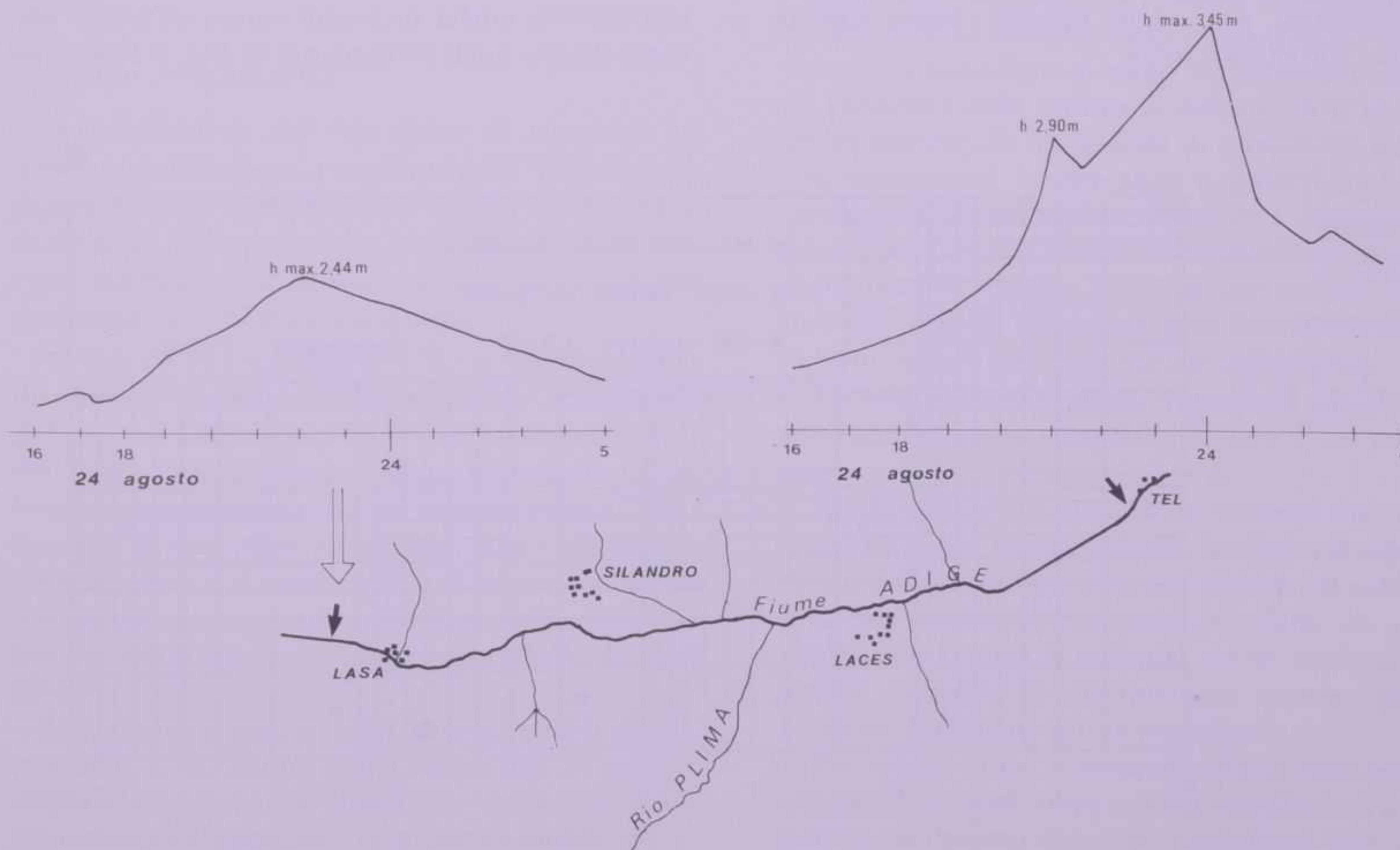


FIG. 9 - Idrogrammi di piena del fiume Adige registrati a Lasa ed a Tel il 24-25 agosto 1987.

Della stazione di Tel, che è situata circa 20 km a valle della confluenza, (bacino 1675 km^2) sono disponibili sia l'idrogramma di piena sia il valore della portata al colmo, stimata in $297 \text{ m}^3/\text{s}$. L'Annale segnala tuttavia che questo valore è influenzato "da scarico del Gioveretto".

Il picco di piena presente sull'idrogramma della stazione di Tel, da considerare al fine propostoci, non è, per quanto detto sopra, quello principale bensì quello secondario verificatosi intorno alle ore 21, contraddistinto da un *lag time* di circa 2 ore rispetto al baricentro dell'idrogramma registrato alla diga del Gioveretto.

Tale picco si caratterizza per una altezza idrometrica di 2.90 m cui corrisponde, in base alla scala dei deflussi realizzata da VILLI *et al.* (CNR-GNDI, 1989) una portata di circa $200 \text{ m}^3/\text{s}$. Ne deriva conseguentemente che il contributo unitario del bacino dell'Adige chiuso a Tel, in corrispondenza al citato picco di piena, ammonta a $0.120 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

I valori dei contributi unitari stimati a Spondigna ed a Tel riportati sul diagramma di figura 10, che presenta le portate per unità di superficie massime osservate nel bacino dell'Adige, evidenziano una buona affinità con i dati sperimentali acquisiti. Sulla base di tale constatazione, tenendo presente che la superficie della Val Martello è di 162 km^2 , la portata naturale massima al colmo defluita da questa valle, in seguito all'evento pluviometrico, può essere indicativamente stimata tra i 100 ed i $160 \text{ m}^3/\text{s}$.

L'EVENTO PLUVIOMETRICO NELLA RETE IDROGRAFICA MINORE E SUI VERSANTI

IL COMPORTAMENTO DELLA RETE IDROGRAFICA MINORE

Un dato di fatto posto immediatamente in luce dal rilevamento sul terreno, è che ad essere interessata dall'evento di piena è stata soprattutto la rete idrografica del versante destro, nella quale si sono verificati fenomeni del tipo *debris flows*.

Questa particolarità, in presenza di condizioni litologiche pressoché simili dei due versanti, è direttamente correlabile alla maggiore acclività ed incisione del versante destro rispetto a quello sinistro (per un evidente condizionamento strutturale) nonché, come mette in evidenza la carta delle isoiete, alla maggiore quantità di pioggia caduta sullo stesso versante.

Tra i bacini situati in destra orografica, quelli maggiormente interessati dai *debris flows* sono stati i sottobacini estesi tra le soglie dei circhi glaciali ed il fondovalle.

Si tratta in particolare dei bacini situati tra Ganda e la diga del Gioveretto, incisi nell'ortogneiss, caratterizzati da pendenze medie elevate (58-67%), superfici variabili tra 0.4 e 1.5 km^2 e lunghezze delle aste comprese tra 1.3 e 2.4 km.

Fenomeni di trasporto in massa si sono verificati tuttavia anche in bacini estesi all'intero versante destro, quali ad esempio il Soi, il Branda ed

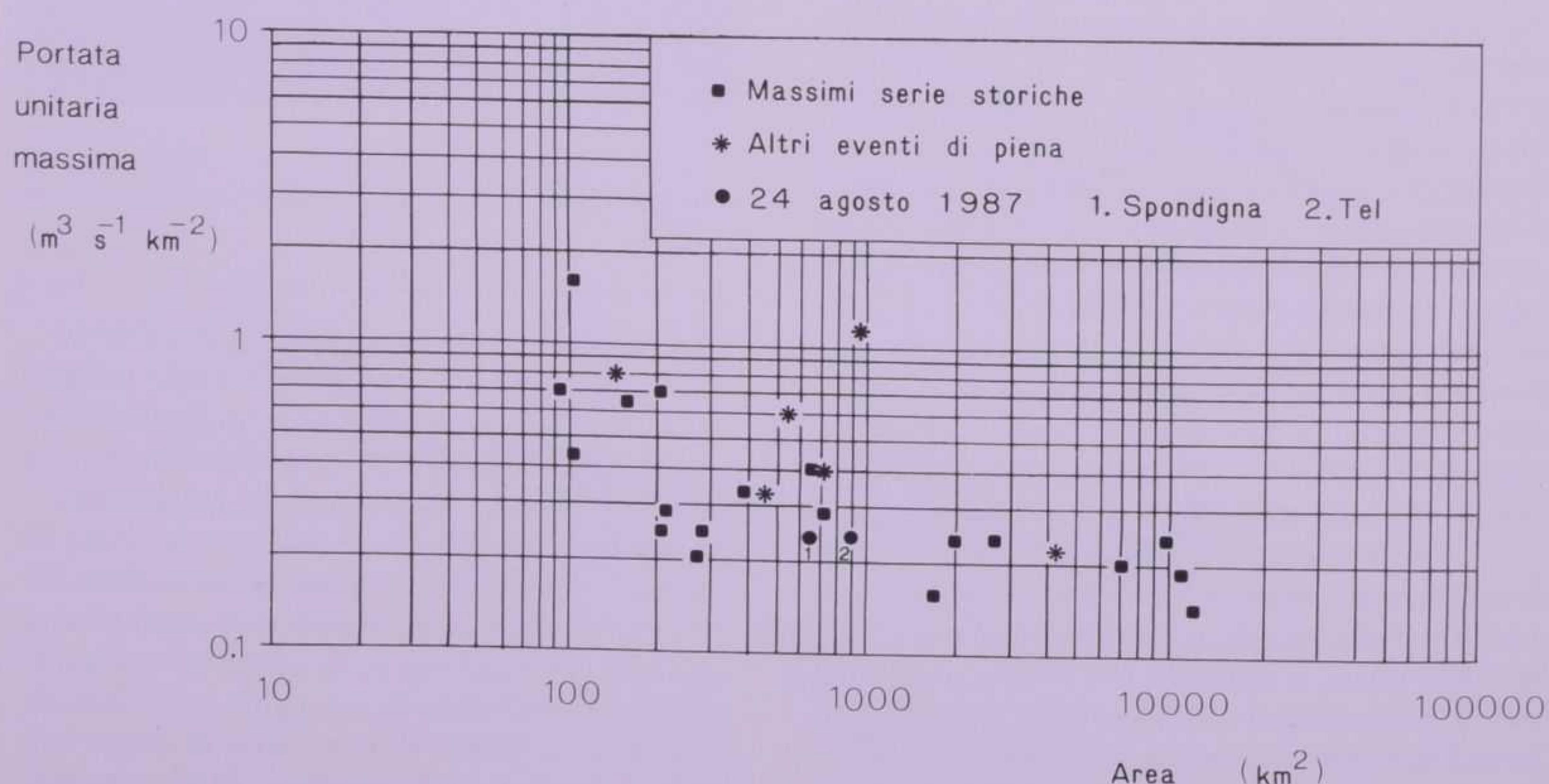


FIG. 10 - Portate unitarie massime osservate per unità di superficie nel bacino del fiume Adige.

il Salt, caratterizzati da pendenze medie minori (circa 45%) e da aree più ampie, comprese tra 8.5 e 10 km². Qui la corrente torrentizia, raggiunta la parte apicale dei conoidi, ha esondato lateralmente dando luogo ad un generale alluvionamento, alla cui diffusione areale ha talora contribuito l'occlusione delle luci dei ponti ubicati sulla strada di fondovalle. In taluni casi invece, come ad esempio nei rii Salt e Branda, la corrente torrentizia ha raggiunto direttamente l'alveo del Rio Plima incidendo un nuovo solco nei rispettivi conoidi.

La quantità di pioggia cumulata che ha dato origine a tali fenomeni può essere valutata avvalendosi del pluviogramma della diga del Gioveretto e delle indicazioni orarie, raccolte oralmente sul posto, concernenti i primi danni subiti da manufatti a causa della piena dei torrenti laterali. Da tutto ciò è emerso che tali danni si sono verificati tra le 18 e le 19, mentre l'evento pluviometrico ha avuto inizio alle ore 10. Se ne deduce che nell'arco delle 11 ore la quantità di pioggia cumulata è stata di 27.2 mm. Il valore appare francamente modesto, tale comunque da non giustificare gli effetti prodotti.

Per dare una spiegazione plausibile si può ipotizzare che l'evento del mese di luglio possa aver provocato nei solchi torrentizi laterali condizioni di disequilibrio che non hanno retto al sopragiungere del nuovo evento pluviometrico del 24 agosto.

IL DISSESTO SUI VERSANTI

A prescindere dai fenomeni di trasporto in massa sopraillustrati, i versanti della Val Martello non sono stati interessati in agosto da fenomeni di dissesto (in particolare *soil slips* che si verificano normalmente durante eventi meteorologici prolungati e/o di forte intensità).

Si ricorda in proposito che detta fenomenologia di dissesto ha assunto una notevole consistenza nel maggio 1983, allorché la Val Martello, al pari dell'intera Val Venosta, è stata interessata da un evento pluviometrico di particolare rilievo. I fenomeni di *soil slips* verificatisi allora ammontarono ad oltre 150, nell'ambito di un evento caratterizzato per intensità massime orarie non superiori agli 8 mm e di durata complessiva di oltre 50 ore.

Da quanto sopra si può dedurre quindi che la intensità e la durata dell'evento del 24 agosto 1987, contrariamente a quanto verificatosi nella rete idrografica minore, non hanno modificato le condizioni di equilibrio sui versanti stabilitesi dopo l'evento del mese precedente.

OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio dell'evento di piena che ha interessato la Val Martello il 24 agosto 1987 non è stato affrontato nell'ottica, piuttosto ripetitiva, di dimostrarne l'eccezionalità. Per un doveroso rispetto verso chi ha perduto beni primari ed essenziali, esso è stato impostato invece con l'intendimento, come detto in introduzione, di evidenziare le relazioni stabilitesi localmente tra l'alveo del Rio Plima e l'onda di piena che lo ha percorso, nonché tra la geologia e morfologia dei versanti vallivi della bassa Val Martello e l'evento pluviometrico. Ciò anche al fine di fornire elementi utili per intervenire in modo adeguato, e possibilmente preventivo, sulla vallata. In questa prospettiva rientra ad esempio l'indicazione sulla maggiore suscettibilità al dissesto di ben individuati settori di versante in rapporto alla costituzione litologica di tipo ortogneissico. Tale predisposizione si riflette sul comportamento idraulico del Rio Plima che risulta così soggetto a fenomeni di parziale sbarraamento o contrazione, causa di pericolose pulsazioni di piena.

Un secondo obiettivo è quello di contribuire con osservazioni di dettaglio ad arricchire il quadro di conoscenze inerente il problema dei rapporti tra morfologia d'alveo e deflussi di piena in un corso d'acqua a carattere torrentizio.

Da questo punto di vista lo studio ha evidenziato che il rimodellamento del torrente Plima è avvenuto in condizioni di moto vario, determinate da variazioni della sezione di deflusso, della pendenza motrice, da immissioni di correnti laterali, con conseguenti accelerazioni e decelerazioni e passaggi ciclici dal regime subcritico a quello supercritico. Tutto ciò inoltre è complicato da aspetti peculiari di idraulica montana, che rendono talora assai difficile inquadrare detti fenomeni entro le formulazioni teoriche proposte in letteratura.

Un'ultima considerazione riguarda il comportamento della rete idrografica minore e dei versanti.

In particolare il fatto che sui versanti non si siano verificate fenomenologie del tipo *soil slips* risulta del tutto congruente con il campo di stabilità del diagramma proposto da GOVI *et al.* (1979), che correla le intensità medie orarie alle altezze cumulate di precipitazioni critiche, per l'innesto di frane in terreni superficiali.

Per capire infine il comportamento della rete idrografica minore, oltre a dover considerare l'influenza dell'evento del mese precedente, non si deve dimenticare che i fenomeni di trasporto in massa più consistenti si sono verificati in bacini

modellati in tutto o in parte in ortogneiss. Questo complesso roccioso, pur nella sua compattezza, è soggetto ad una disaggregazione fisica che dà origine a detriti di dimensioni varie e di forma poliedrica o vagamente tondeggiante, e ad una frazione fine di tipo arcosico. Tali prodotti, qualora ubicati come nel caso in questione in canali di scarico a forte pendenza, possono venire a trovarsi in condizioni di stabilità limite e quindi possono essere facilmente mobilizzati anche da quantità d'acqua non rilevanti.

RINGRAZIAMENTI

Gli Autori sentono il gradito dovere di ringraziare il Prof. G.B. PELLEGRINI ed il Prof. G. BENINI per la lettura critica del dattiloscritto, nonché per i consigli e suggerimenti avuti.

Ringraziano inoltre il Prof. A. DAL PRÀ del Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica dell'Università di Padova, il Prof. F. VUILLERMIN del Dipartimento di Scienze Geologiche e Paleontologiche dell'Università di Ferrara ed il Dott. A. GIUSSANI della SELM per la discussione dei dati. Un doveroso ringraziamento rivolgono inoltre agli UFFICI IDROGRAFICI DELLE PROVINCIE AUTONOME DI BOLZANO E TRENTO per la cortese disponibilità ed al Sig. F. FERMON per la collaborazione offerta nella preparazione della parte grafica del lavoro. Un particolare ringraziamento rivolgono infine al Prof. Giambattista DAL PIAZ per aver accolto la pubblicazione del lavoro nelle "Memorie di Scienze Geologiche", da lui dirette.

BIBLIOGRAFIA

- ANSELMO V., GATTO G., TROPEANO D., VILLI V., 1984 - *L'evento alluvionale del 21-23 maggio 1983 in Val Venosta*. Seminario "Idraulica del territorio montano", pp. 101-129, 8-13 ottobre, Bressanone.
- ARMANINI A., 1984 - *Alcune osservazioni sperimentali sulle correnti supercritiche in curva*. Seminario "Idraulica del territorio montano", pp. 41-49, 8-13 ottobre, Bressanone.
- AULITZKY H., 1988 - *Sommerhochwasser in Tirol. Naturkatastrophen oder fehlende Vorbeugung?* Österreichische Wasserw., v. 5/6, pp. 129-134, Wien.
- BAKER V.R., CRAIG KOCHEL R., PATTON P.C., 1988 - *Flood geomorphology*. Ed. J. Wiley & Sons, 503 pp., New York.
- BOVIS M.J., DAGG B.R., 1987 - *Mechanism of debris supply to steep channels along Howe Sound, southwest British Columbia*. IAHS Pubbl. n. 165, pp. 191-200, Wallingford U.K.
- CASTIGLIONI G.B., 1979 - *Geomorfologia*. Ed. UTET, 436 pp., Torino.
- CASTIGLIONI G.B., 1986 - *Appunti sulla geomorfologia dell'alta Val Martello*. Geogr. Fisica e Dinamica Quat., pp. 208-209, Torino.
- C.N.R. - G.N.D.C.I., 1989 - *Valutazione delle portate massime istantanee nel bacino dell'Adige*. U.O. 1.18, Padova.
- DOLOMITEN, 1983 - *Quotidiano*. Ed. Athesia, n. 118, 24 maggio, Bolzano.
- GATTO G.O., SCOLARI A., 1974 - *Lo "Scorrimento di Slingia" nel quadro tettonico dell'alta Val Venosta*. Mem. Acc. Pat. Sc. Lett. e Arti, v. 86, parte II, pp. 167-201, Padova.
- GHETTI A., 1984 - *Idraulica*. Ed. Lib. Cortina, 566 pp., Padova.
- GHETTI A., 1989 - *Principles of River Hydraulics*. Centro Int. "Dino Tonini". Quad. n. 1, 201 pp., Monselice (Padova).
- GOVI M., MORTARA G., SORZANA P.F., 1989 - *Eventi idrologici e frane*. Geol. Appl. e Idrogeol., v. 18, fasc. 3, pp. 337-353, Bari.
- HYDROGRAPHISCHER DIENST IN ÖSTERREICH, 1987 - *Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich*. N. 57, Wien.
- JARRET D.R., 1990 - *Hydrologic and hydraulic research in mountain river*. Water Res. Bull., v. 26, pp. 419-429, Bethesda.
- MARCHI E., 1984 - *Fenomeni dissipativi nei corsi d'acqua montani*. Seminario "Idraulica del territorio montano", pp. 11-34, 8-13 ottobre, Bressanone.
- MINISTERO LL.PP., 1951 - *Carta geologica delle Tre Venezie*. Foglio n. 9 "Monte Cevedale". Uff. Idrogr. Mag. Acque, Venezia.
- MINISTERO LL.PP., 1965 - *Annali Idrologici*. Uff. Idrogr. Mag. Acque, Parte Prima, Venezia.
- MORTARA G., SORZANA P.F., VILLI V., 1986 - *L'evento alluvionale del 6 agosto 1985 nella vallata del fiume Isarco tra Fortezza ed il Passo del Brennero (Alto Adige)*. Mem. Sc. Geol., v. 38, pp. 427-457, Padova.
- NAEF F., BEZZOLA G.R., 1990 - *Hydrology and morphological consequences of the 1987 flood event in the upper Reuss valley*. IAHS Pubbl. n. 194, pp. 339-346, Wallingford U.K.
- NAEF F., HAEBERLI W., JAGGI M., RICKENMANN D., 1988 - *Morphologischen Veränderungen in der Schweizer Alpen als Folge der Unwetter vom Sommer 1987*. Österreichische Wasserw., v. 5/6 pp., 129-134, Wien.
- PETRASCHECK A., 1990 - *Extreme floods and their morphological consequences: activities in Switzerland*. IAHS Pubbl. n. 194, pp. 365-370, Wallingford U.K.

- PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO, 1980 - *Precipitazioni medie mensili ed annue per il cinquantennio 1921-1970*. Uff. Idrogr., Bolzano.
- PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO, 1988 - *Annale Idrologico 1983*. Uff. Idrogr., Bolzano.
- PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO, 1989 - *Annale Idrologico 1987*. Uff. Idrogr., Bolzano.
- RICKENMANN D., 1990 - *Analysis of massive sediment transport processes in torrent*. Int. Workshop on Gravel-Bed River, 24-28 September, pre-print, Florence.
- SERVIZIO IDROLOGICO E GEOLOGICO NAZIONALE, 1988a - *Hochwasserereignisse im Jahre 1987 in der Schweiz*. Comunicazione n. 10, 142 pp., Bern.
- SERVIZIO IDROLOGICO E GEOLOGICO NAZIONALE, 1988b - *Portate di piena dei corsi d'acqua svizzeri*. V. 2, comunicazione n. 8, 378 pp., 1 carta idrolog., Berna.
- STEINACKER R., 1988 - *Die alpinen Hochwassereignisse des Sommers 1987 und ihre meteorologischen Rahmenbedingungen*. Österreichische Wasserw., v. 5/6, pp. 122-129, Wien.
- TSUJIMOTO T., 1985 - *Bed load transport in steep channel*. Proc. Int. Works. in Fluvial Hydraulic of mountain region, pp. a79-a92, 3-6 october, Trento.
- VALENTINI P., 1985 - *Il Catasto dei ghiacciai della Provincia di Bolzano*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., v. 8, pp. 182-195, Torino.
- VALENTINI P., VILLI V., 1988 - *La piena del 18-19 luglio 1987 in Alto Adige* Mem. Sc. Geol. v. 40, pp. 369-397, Padova.
- VILLI V., CALEFFA G., GATTO G., MORI G., 1986 - *Distribuzione spazio temporale delle piogge intense nel Triveneto*. C.N.R. - Ist. Geol. Applicata, Regione del Veneto-Centro Sper. Arabba. Quaderni di Ricerca n. 7, Arabba (BL).
- ZIMMERMAN M., 1990 - *Debris flow 1987 in Switzerland: geomorphological and meteorological aspects*. IAHS, Pubbl. n. 194, Wallingford U.K.