

C. RAPETTI (*), F. RAPETTI(**)

L'EVENTO PLUVIOMETRICO ECCEZIONALE DEL 19 GIUGNO 1996 IN ALTA VERSILIA (TOSCANA) NEL QUADRO DELLE PRECIPITAZIONI DELLE ALPI APUANE (***)

Riassunto - Si discutono i fattori geografico-morfologici e meteorologici che determinano sulle Alpi Apuane (Toscana) afflussi meteorici annui molto elevati, secondi in Italia solo a quelli che si registrano sulle Prealpi e sulle Alpi Carniche e Giulie.

Per definire le caratteristiche pluviometriche dell'area si studiano le precipitazioni annue, quelle intense di breve e di brevissima durata, queste ultime responsabili, considerati i tempi di corrivazione dei corsi d'acqua che scendono dal Massiccio Apuano, delle frequenti e gravi piene che vi si verificano.

Si analizza, con il massimo dettaglio consentito dai pluviografi automatici della rete dell'Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa, la precipitazione eccezionale del 19 giugno 1996, che ha colpito una ristretta zona delle Apuane, compresa tra la Pania della Croce e il M. Matanna, a cavallo tra il versante della Versilia e quello della Garfagnana, determinando gravi danni e numerose vittime. L'afflusso più elevato si è registrato nella stazione di Pomezzana, situata nel bacino del F. Vezza, tributario del F. Versilia, dove in circa quindici ore sono caduti 477,4 mm di pioggia, con un picco di 158 mm in un'ora e di 30,8 mm in cinque minuti, che costituiscono i massimi valori mai registrati sulle Apuane. Precipitazioni molto intense, forse addirittura superiori a quelle di Pomezzana, si sono verificate a Fornovolasco, situata nell'alto bacino della Turrite di Galliciano: per questa stazione non è tuttavia possibile fornire i dati dell'intero evento poiché il pluviografo è stato travolto dalla piena del torrente nel primo pomeriggio del 19 giugno.

Si considera il grave rischio pluviometrico costituito dalle Alpi Apuane che, per la loro forma e la posizione rispetto alle direzioni di transito delle perturbazioni occidentali e di quelle locali che si generano nel Mar Ligure, dovrebbero essere oggetto di un più attento controllo meteorologico, comprendente l'impiego del radar meteorologico.

Parole chiave - Pluviometria, eventi pluviometrici eccezionali, Alpi Apuane (Toscana).

Abstract - *The extraordinary pluviometric event of June 19th 1996 in northern Versilia (Tuscany), and the rainfall in the Apuan Alps.* This paper discusses geographical, morphological and meteorological features of the Apuan Alps (Tuscany), causing very heavy yearly meteoric affluxes, only second to the ones recorded on the Pre-Alps and on the Carnic and Julian Alps.

We relate, as much in detail as it is allowed by the automatic pluviometers of Pisa Hydrographic and Mareographic Office network, the extraordinary precipitation of June 19th

1996, that affected a limited area of the Apuan Alps, from Pania della Croce to M. Matanna, astride of the watershed between Versilia and Garfagnana, causing heavy damage and several victims. The highest afflux has been recorded in the station of Pomezzana, situated in the basin of the river Veza, tributary of the river Versilia, where in about fifteen hours 477.4 mm of rain have fallen, with a peak of 158 mm in one single hour and of 30.8 mm in five minutes, which are the maximum rates ever recorded on the Apuan Alps. Very hard precipitations, maybe even more than in Pomezzana, have fallen in Fornovolasco, situated in the high basin of the Turrite di Galliciano: however we have lost data concerning this station, since the rain-gauge has been swept away by the swollen river in the early afternoon of June 19th.

The high pluviometric risk represented by the Apuan Alps is considered: because of their shape and location with respect to Western and local (originating in the Ligurian Sea) perturbations courses, the Apuan Alps should be kept under a more careful weather control, without neglecting the use of meteorological radar monitoring.

Key words - Pluviometry, extraordinary pluviometric events, Apuan Alps (Tuscany).

PREMESSA

Il Massiccio Apuano è interessato, com'è noto, da precipitazioni tra le più abbondanti della penisola italiana, seconde solo a quelle che cadono sulle Prealpi e sulle Alpi Carniche e Giulie, dove, in alcuni anni e in alcune stazioni, come ad esempio a Uccia (663 m) e a Musi (633 m), nell'alto bacino dell'Isonzo, presso il confine di Stato, si possono registrare altezze pluviometriche superiori ai 6000 mm. Anche le precipitazioni massime di durata fino a un giorno mostrano una distribuzione caratteristica, come ad esempio nei settori occidentali ed orientali delle Alpi, nell'Appennino Ligure-Toscano, nelle Alpi Apuane, nell'Appennino Calabrese, nei Monti Iblei e Peloritani, in cui possono verificarsi intensità maggiori di 300 mm/giorno (Batini, Gazzolo, 1965). Non è invece altrettanto agevole individuare zone definite in cui si verificano rovesci di forte intensità e di breve durata, poiché questi possono interessare numerose località del Paese.

(*) Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa, Lungarno Pacinotti, 49, Pisa.

(**) Centro di Studio per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino, CNR (dir. Antonio Rau) c/o Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa, Via S. Maria, 53, Pisa.

(***) Ricerca svolta con il contributo del CNR, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, Linea «Previsione e prevenzione di eventi franosi a grande rischio», Pubbl. n. 1670, U.O. 13 (Resp. prof. P.R. Federici).

Le stazioni delle Alpi Apuane di più alta piovosità sono quelle di Campagrina (850 m) e Orto di Donna (1100 m): la prima situata in una valle dominata dal M. Sumbra (1765 m), dal M. Altissimo (1589 m) e dalla Pania della Croce (1860 m); la seconda localizzata in un versante sovrastato dal M. Pisanino (1946 m) (Fig. 1). In queste località gli afflussi meteorici superano in media i 3000 mm annui, con punte rispettivamente di 4731 mm (1960) e di 4394 mm (1926). A Campagrina, prima degli eventi pluviometrici eccezionali registrati negli anni Novanta, si erano ve-

rificate anche le maggiori precipitazioni di breve e di brevissima durata: 578 mm in cinque giorni consecutivi (1952), 325 mm in ventiquattro ore (novembre 1976), 18,8 mm in cinque minuti (aprile 1986) (Rapetti, Vittorini, 1994). È inoltre opportuno considerare che le precipitazioni medie annue, pur eccezionalmente elevate nel bacino del Mediterraneo, non sono tuttavia rappresentative delle punte di piovosità che si verificano alle quote più elevate del Massiccio Apuano. È noto infatti che gli afflussi meteorici si incrementano con l'altitudine secondo leggi



Fig. 1 - Inquadramento geografico delle Alpi Apuane e del bacino del F. Serchio. Sono indicate alcune stazioni pluviometriche della rete storica e quelle automatiche di recente istituzione dell'Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa.

di variazione complesse, diverse da luogo a luogo, fino ad un massimo, detto *optimum pluviometrico*, oltre il quale essi dovrebbero stabilizzarsi o diminuire, anche se, come afferma Trevisan (1949), la quantità delle precipitazioni non dipende tanto dall'altitudine assoluta della stazione, quanto dall'altitudine, dalla distanza e dalla acclività dei rilievi circostanti. In ogni caso la carenza di stazioni poste ad alta quota, peraltro di difficile gestione per motivi di accessibilità e di computo dell'equivalente in acqua delle precipitazioni solide, rende assai ardua la stima dei reali afflussi intercettati dai bacini imbriferi, con grave pregiudizio, tra l'altro, per la determinazione dei coefficienti di deflusso, che nelle zone di montagna ad elevato effetto orografico, come di certo sono le Apuane, possono risultare sopravvalutati.

Nell'area apuana, nell'ambito delle attività di controllo del rischio pluviometrico e idraulico svolte dall'Autorità di Bacino del Fiume Serchio e dall'Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa, si è proceduto negli ultimi anni alla ristrutturazione della rete pluviometrica, con l'installazione di strumenti in grado di fornire misure in tempo reale delle precipitazioni di brevissima durata. Questa rete, che funziona in parallelo con un sistema di acquisizione di dati idrografici, consente oggi un'analisi combinata degli eventi pluviometrici ed idrometrici, e l'attivazione, in caso di pericolo per le popolazioni, di sistemi automatici di allarme presso le strutture della Protezione Civile.

Per la configurazione morfologica e le caratteristiche pluviometriche, che determinano tempi di corruzione molto brevi, le Alpi Apuane rappresentano infatti una delle aree a più elevato rischio idraulico della penisola, sia nel versante della Versilia, sia in quello della Garfagnana, che sono soggetti a frequenti e gravi eventi di piena.

I FATTORI GEOGRAFICI, MORFOLOGICI E METEOROLOGICI

La condizione necessaria per la formazione delle idrometeore è costituita, com'è noto, dal raffreddamento adiabatico di masse d'aria umida, che alle nostre latitudini si verifica generalmente durante il passaggio di sistemi frontali o per effetto del sollevamento indotto dal rilievo (*effetto barriera*). Questi due meccanismi non sono sempre indipendenti, poiché nelle aree montane il primo può rendere più dinamico il secondo, mediante la pressione esercitata dai fronti freddi avanzanti verso il rilievo sulle masse di aria stanziali, che sono perciò costrette a un più attivo sollevamento.

I peculiari caratteri pluviometrici delle Alpi Apuane e dei rilievi contermini (Appennino Ligure e Tosco-Emiliano) sono da collegare all'interazione tra i fattori geografico-morfologici e le caratteristiche della circolazione atmosferica generale e regionale dell'area: - per il primo aspetto l'Appennino Settentrionale presenta una morfologia complessa e articolata; le sezioni trasversali della catena mostrano, da occidente ad oriente, una ripetizione di alti e di bassi morfo-

strutturali ad andamento subparallelo, orientati approssimativamente da NW a SE, che costituiscono le linee di displuvio di bacini intermontani, come quello della Lunigiana o della Garfagnana. Nella sezione Forte dei Marmi (2 m) - Seravezza (50 m) - Pania della Croce (1860 m) - Castelvecchio Pascoli (400 m) - M. Romecchio (1702 m) si alternano ad esempio due bassi e due alti morfo-strutturali, che si frappongono come ostacoli al transito delle masse d'aria di provenienza occidentale. La pianura costiera ha una profondità di circa cinque chilometri; la distanza orizzontale tra Seravezza, posta ai piedi del rilievo, e la Pania della Croce è di dieci chilometri; corrono invece dodici chilometri tra la vetta apuana e il fondovalle della Garfagnana, mentre il crinale appenninico è localizzato più a oriente di altri dieci chilometri. Nel complesso dunque la profondità della struttura orografica, lungo quell'allineamento, è di circa trentasette chilometri. L'Appennino Settentrionale, dal M. Orsaro (Alta Lunigiana) all'Alpe Tre Potenze, ha una lunghezza di circa sessanta chilometri, con il crinale che si sviluppa per lunghi tratti oltre i 1700 m, mentre la dimensione longitudinale delle Alpi Apuane è approssimativamente di venticinque chilometri, con altitudini degli spartiacque piuttosto variabili, ma con punte oltre i 1800 m. Le acclività dei complessi orografici della Toscana Settentrionale, diverse in relazione ai caratteri strutturali e litologici del substrato, assumono i valori più elevati proprio in corrispondenza del Massiccio Apuano: nell'alto bacino del F. Veza, affluente del F. Versilia, tra il paese di Cardoso (280 m) e la Pania della Croce, che lo sovrasta come una muraglia, l'acclività media del versante è, ad esempio, di circa 28°. In zone contigue sono presenti acclività medie più elevate, come nell'intorno di Arni, nel versante meridionale del M. Sumbra, dove in un'area di 12 km² si superano i 36° (Sestini, 1924), ma talvolta le parti cacuminali dei rilievi sono costituite da pareti rocciose quasi verticali dello spessore di alcune centinaia di metri. Un ulteriore fattore morfologico da considerare nella formazione delle piogge di versante è la dimensione trasversale del rilievo. Lo studio della interazione tra i flussi dei bassi strati dell'atmosfera e il rilievo montuoso ha dimostrato infatti che in atmosfera stabile, per profondità della catena superiori ai 50-100 chilometri, una notevole frazione dei filetti d'aria che spirano perpendicolarmente al rilievo subisce una deflessione orizzontale e aggira la struttura orografica lasciandola alla sua destra, con formazione dinamica di aree di alta e di bassa pressione, rispettivamente nel versante sopravvento e in quello sottovento (Querney, 1974). Nel caso del sistema montuoso delle Alpi Apuane e dell'Appennino Settentrionale, la cui profondità non supera i quaranta chilometri, le masse d'aria in movimento da occidente ad oriente dovrebbero in prevalenza scavalcare il rilievo con scarse deviazioni laterali. Naturalmente la frazione del flusso deviato e l'entità del sollevamento sono legate al grado di stabilità dell'atmosfera e all'intensità della componente ortogonale della velocità delle masse d'aria che investono il rilievo (Fig. 2 A, B).

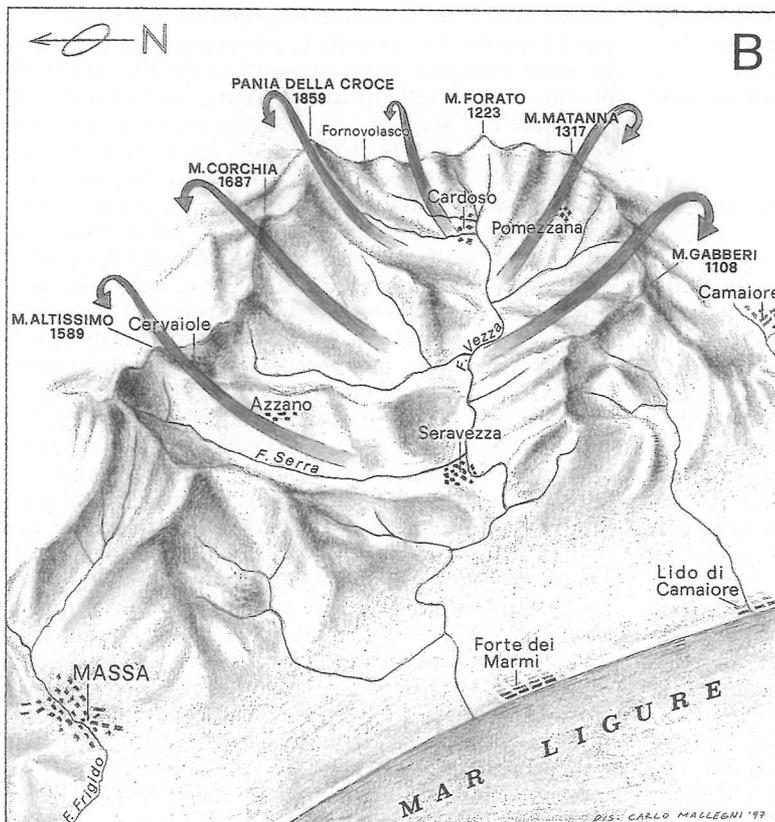
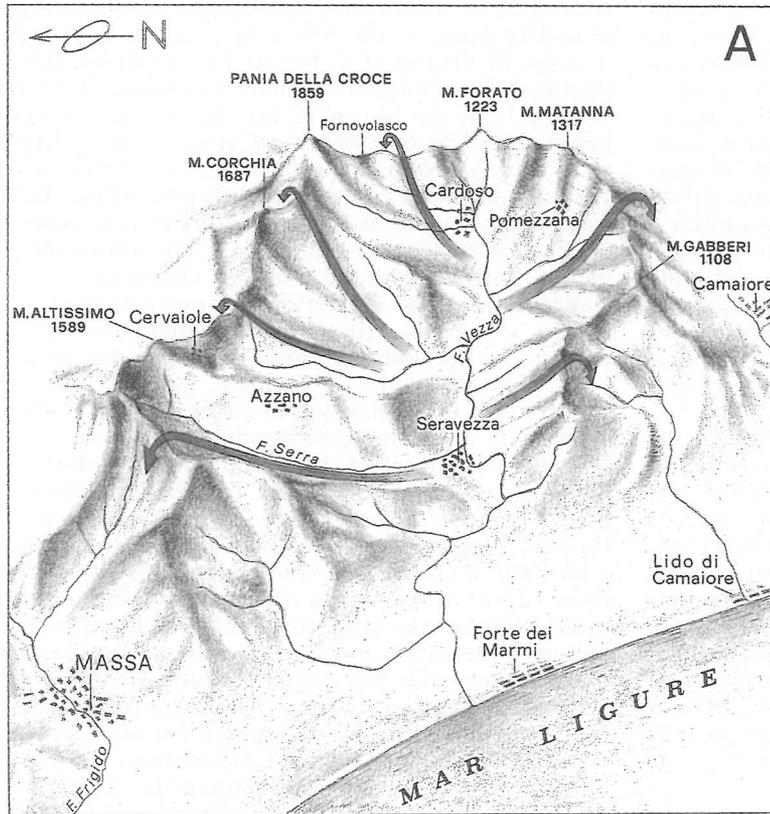


Fig. 2 - Aspetti morfologici del bacino del F. Versilia, con gli affluenti Serra e Vezza. Si osservi la posizione dei paesi di Cardoso e di Fornovolasco, gravemente colpiti dall'evento alluvionale del 19 giugno 1996, il primo ai piedi dell'anfiteatro montuoso, il secondo appena sotto il crinale nel versante della Garfagnana. Diverso comportamento (ipotetico) delle correnti dinamiche di versante in condizioni di atmosfera «stabile» (A) e «instabile» (B), per flussi provenienti da occidente.

– per gli aspetti meteorologici le Alpi Apuane e l'Appennino Settentrionale sono influenzati da fenomeni circolatori di scala generale, come i cicloni delle medie latitudini, che interessano la fascia compresa tra 30° e 60°, e da fenomeni di scala regionale, quali le depressioni sottovento alle Alpi Occidentali che, soprattutto in inverno, generano sul Golfo di Genova intense aree di bassa pressione. Le depressioni dell'Alto Tirreno provocano moti vorticosi e traslativi accompagnati dal sollevamento forzato di masse d'aria umida sulle pendici dell'Appennino Ligure e Toscana e delle Apuane, cui possono fare seguito precipitazioni particolarmente intense ed abbondanti, specialmente quando il fenomeno sia rinforzato dalle perturbazioni di origine atlantica.

La particolare intensità e frequenza dei fenomeni pluviometrici che interessano quest'area montuosa sono dunque il risultato dell'interazione di molteplici fattori, tra cui è opportuno riassumere i più importanti: la prossimità dell'area montuosa rispetto ai centri regionali del tempo; la modesta distanza del rilievo dal mare; l'orientamento della catena montuosa; la sua dimensione longitudinale e trasversale; l'acclività dei versanti; l'altitudine dei crinali e l'orientamento dei solchi vallivi. Inoltre, per l'aspetto meteorologico, si devono considerare l'elevata frequenza, l'intensità e la direzione di traslazione dei vortici ciclonici provenienti dal nord Atlantico e dal Golfo di Genova; le non infrequenti condizioni di *blocco*, che si verificano quando i Balcani sono interessati da campi di alta pressione, che ostacolano lo scorrimento sull'Italia delle perturbazioni atlantiche; la notevole umidità specifica delle masse d'aria che transitano sul rilievo dopo aver attraversato l'Atlantico e l'Alto Tirreno.

Gli eventi pluviometrici più importanti possono dunque essere il risultato della simultaneità di aspetti meteorologici singolarmente di intensità non elevata, il cui sinergismo può talvolta determinare effetti straordinari. Per questa peculiare caratteristica la prevedibilità di eventi estremi sulle Apuane, come dimostra l'episodio catastrofico del 19 giugno 1996, è fino ad oggi molto incerta, migliorabile solo con l'applicazione di modelli predittivi più sofisticati o, in prossimità dell'evento, con l'impiego del *radar* meteorologico.

LE PRECIPITAZIONI MEDIE ANNUE

I profili pluviometrici trasversali del Massiccio Apuano presentano andamenti diversi nelle varie sezioni e una sensibile dissimmetria tra il versante della Versilia e quello della Garfagnana. I gradienti pluviometrici hanno infatti il loro valore più elevato nel lato della Garfagnana (Cavazza, 1985; Rapetti, Vittorini, 1996), in conformità con il modello di distribuzione degli afflussi tra il versante sopravvento e quello sottovento delle catene montuose investite da flussi atmosferici ortogonali all'asse orografico (Tab. 1). Tale modello prevede infatti che i massimi di piovosità si verifichino nel versante sottovento, poco oltre il crinale, per lo scorrimento (per inerzia) dei filetti d'aria verso l'alto, sopra un piano inclinato che costituisce l'ideale prolungamento del pendio. Elementi più precisi circa l'andamento delle masse d'aria sulle Apuane potrebbero essere acquisiti con un monitoraggio ad elevata densità di punti di rilevamento al suolo e in quota tra i due lati del rilievo, oppure con uno studio fluidodinamico su modello.

Tab. 1 - Precipitazioni mensili ed annue, tipo di regime pluviometrico e gradiente pluviometrico (mm/100m) sui versanti della Versilia e della Garfagnana (1956-1985).

Versante della Versilia															
Stazioni	Quota	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno	Regime
Massa	65	129	98	107	95	90	70	34	64	95	140	152	133	1206	AIPE
Retignano	440	223	179	182	160	140	96	51	98	139	203	221	236	1927	IAPE
Pietrasanta	22	125	97	106	89	84	61	29	65	89	137	138	130	1150	AIPE
Forte dei Marmi	3	125	98	106	95	89	64	27	70	102	141	157	129	1202	AIPE
Camaiore	47	157	121	135	121	119	74	43	84	123	159	170	162	1467	AIPE
Viareggio	3	105	81	91	77	77	43	25	59	85	127	119	109	996	AIPE
Valli del F. Frigido e del F. Versilia							P = 1182 + 196 h		(r ² = 0,96)						
Valle del F. Corrione							P = 1253 + 56 h		(r ² = 0,94)						
Versante della Garfagnana															
Stazioni	Quota	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno	Regime
Gramolazzo	614	165	130	144	122	113	96	61	103	139	207	223	207	1709	AIPE
Vagli di Sotto	562	219	168	172	151	133	106	70	104	152	233	268	268	2045	IAPE
Campagrina	850	399	299	285	261	211	143	91	127	202	310	376	409	3111	IAPE
Fornovolasco	470	296	237	228	191	155	118	64	105	159	253	318	319	2442	IAPE
Palagnana	710	305	229	236	199	168	122	74	112	162	246	288	310	2449	IAPE
							P = 878 + 255 h		(r ² = 0,81)						

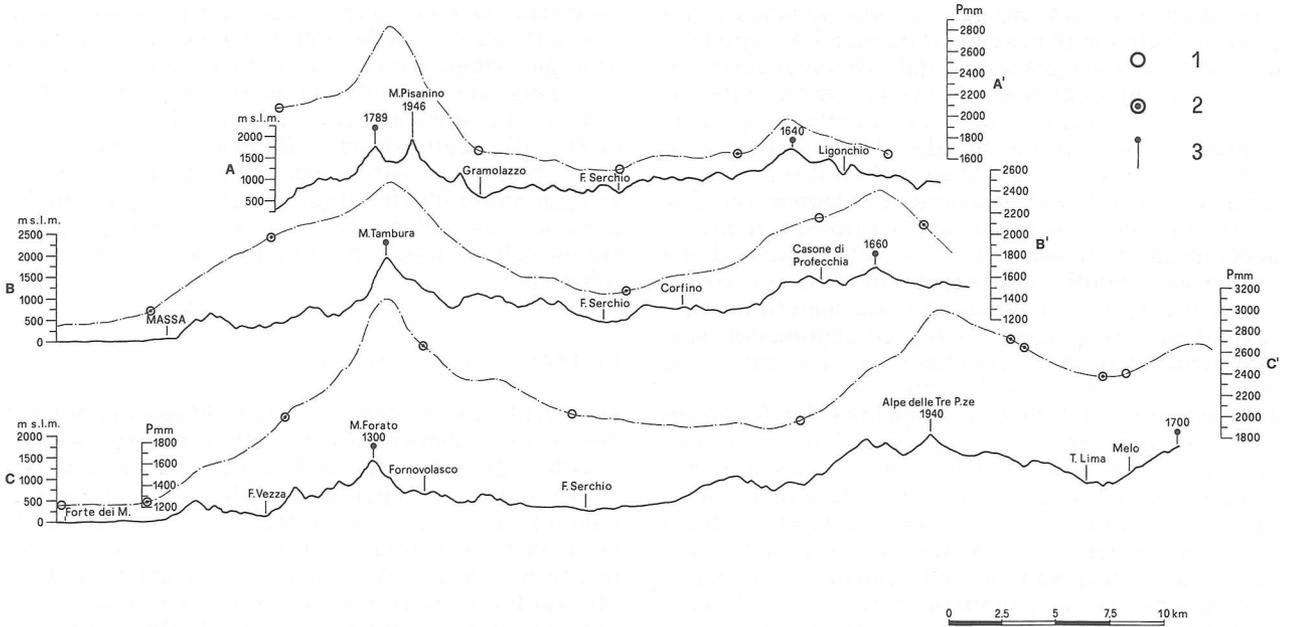


Fig. 3 - Profili pluviometrici delle Alpi Apuane (1951-1980). 1 - stazioni pluviometriche sulla sezione; 2 - stazioni pluviometriche proiettate sulla sezione; 3 - spartiacque del bacino del F. Serchio (da Baldacci et alii, 1993).

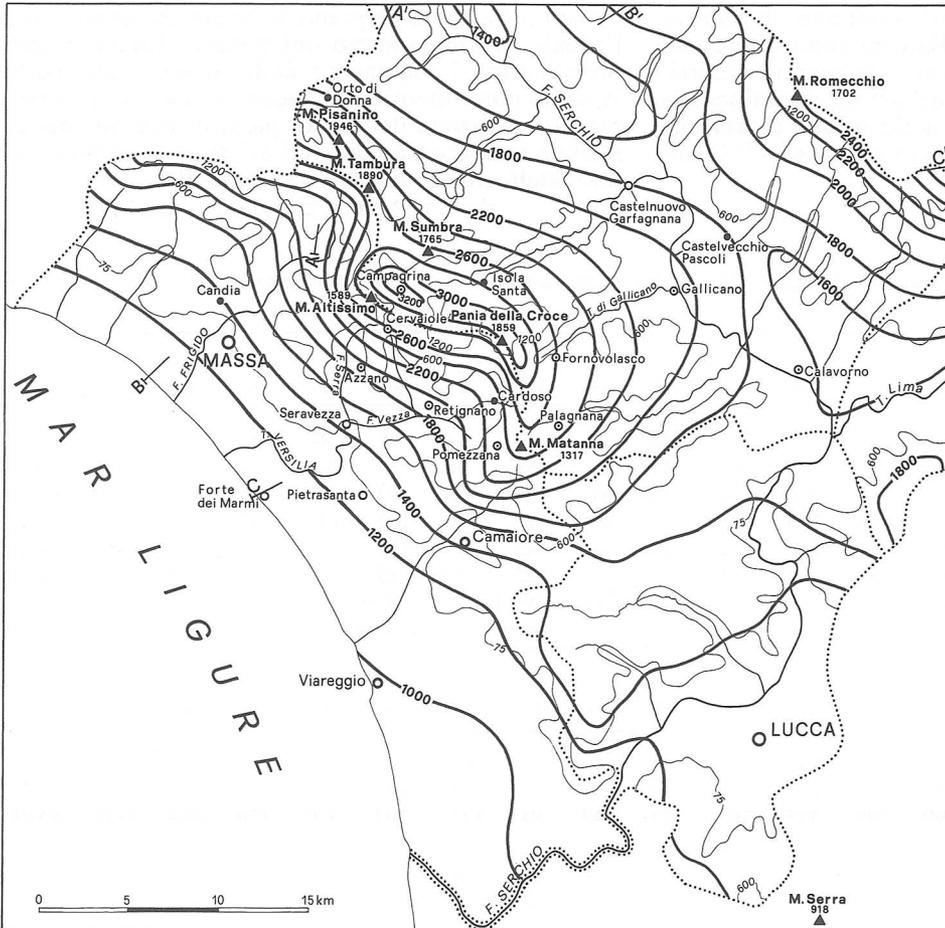


Fig. 4 - Isoiete medie annue (1951-1980) delle Alpi Apuane e del bacino del F. Serchio (da Baldacci et alii, 1993).

Le sezioni pluviometriche passanti da Massa e da Viareggio segnano il limite settentrionale e meridionale della maggiore intensità dell'effetto orografico, mentre la piovosità annua delle stazioni costiere di Forte dei Marmi e di Pietrasanta, con i loro afflussi relativamente modesti, indica la forte variazione delle precipitazioni con l'altitudine. Secondo i dati della Tabella 1, che esclude le stazioni automatiche di recente istituzione, la località più piovosa del lato occidentale delle Apuane è Retignano, seguita da Camaione, mentre nel versante della Garfagnana gli afflussi più elevati si osservano a Campagrina, Fornovolasco e Palagnana. L'area di maggior afflusso medio annuo riguarda le zone cacuminali comprese tra il M. Sumbra e il M. Matanna, dove le precipitazioni medie annue superano i 3000 mm (Fig. 4).

I regimi pluviometrici si caratterizzano per il massimo principale in autunno (*r. submediterraneo, AIPE*) o in inverno (*r. mediterraneo, IAPE*), mentre il minimo, sempre molto accentuato, specialmente nelle stazioni della pianura versiliese, si verifica in estate. Anche la distribuzione geografica del regime è dissimmetrica, poiché nel versante della Versilia prevale il regime submediterraneo, mentre in quello della Garfagnana prevale quello mediterraneo.

IL NUMERO DEI GIORNI PIOVOSI E L'INTENSITÀ DELLE PRECIPITAZIONI

Nell'area in esame il valore medio più elevato dei giorni piovosi si registra a Campagrina (132), seguono Isola Santa (126), Palagnana (122) e Fornovolasco (120). Ai limiti settentrionali e meridionali delle Apuane si rilevano 98 giorni a Massa e 91 giorni a Viareggio, mentre a Forte dei Marmi e a Pietrasanta,

nella parte mediana della pianura versiliese, si osservano rispettivamente 86 e 89 giorni. È opportuno considerare che tra Forte dei Marmi e Campagrina la differenza dei giorni con precipitazione è molto elevata (46 giorni), con un gradiente medio di 5,4 giorni/100 m.

L'intensità annua più elevata si registra a Campagrina (24 mm/g.p.), mentre a Massa e a Viareggio si osservano rispettivamente 12 mm e 11 mm/g.p., confrontabili con i valori della fascia litoranea della Toscana Settentrionale. I periodi di assenza di precipitazione sono tra i più bassi registrati in Toscana: a titolo di esempio si può citare l'episodio siccitoso che ha interessato la Toscana nell'estate del 1965. In quella occasione la minima durata dei giorni consecutivi senza pioggia si registrò a Campagrina (10 giorni), mentre a S. Donato, nel litorale maremmano, si verificarono, ad esempio, 74 giorni «siccitosi» (Rapetti, Vittorini, 1994).

PRECIPITAZIONI INTENSE DI BREVE E DI BREVISSIMA DURATA

Per lo sviluppo degli eventi di piena, com'è noto, oltre agli elementi lito-strutturali, morfologici, alla copertura vegetale del substrato e al grado di umidità del suolo, il fattore determinante è costituito dalla intensità e dalla successione delle precipitazioni che si verificano nel bacino. Per lo studio di quest'ultimo aspetto si dispone degli afflussi di forte intensità e di breve durata con scansioni comprese tra un'ora a ventiquattro ore, tra un giorno e cinque giorni consecutivi di precipitazione, mentre per alcune stazioni sono note anche le precipitazioni intense di brevissima durata (Annali Idrologici, Parte I) (Tab. 2):

Tab. 2 - Precipitazioni intense di brevissima durata, di massima intensità da un'ora a ventiquattro ore e da uno a cinque giorni consecutivi (1935-1987).

Stazioni	mm	minuti	giorno	mm/h
Massa	14,6	5'	11/09/30	175,2
Isola Santa	30,0	10'	10/09/72	180,0
Fornovolasco	24,0	10'	22/09/67	144,0
Campagrina	18,8	5'	21/06/86	225,6

Stazioni	1 ora		3 ore		6 ore		12 ore		24 ore	
Massa	84,4	27/10/49	114,2	23/08/65	115,6	23/08/65	135,2	04/10/78	186,2	06/11/94
Isola Santa	100,0	23/08/65	148,0	28/10/59	206,0	28/10/59	270,0	27/10/59	340,0	27/10/59
Fornovolasco	85,0	19/11/52	181,0	19/11/52	211,0	18/11/52	262,0	18/11/52	394,0	18/11/52
Campagrina	102,0	22/08/65	137,8	18/11/59	163,2	18/11/59	237,2	04/10/78	325,0	30/11/76

Stazioni	1 giorno		2 giorni		3 giorni		4 giorni		5 giorni	
Massa	150,2	20/09/67	187,6	06/10/36	203,0	05/02/51	206,2	05/02/51	228,6	06/10/36
Isola Santa	340,0	28/10/59	426,0	28/10/59	449,8	28/10/59	463,6	27/10/59	466,2	26/10/59
Fornovolasco	280,0	28/10/59	343,8	28/10/59	359,4	28/10/59	363,4	27/10/59	367,0	10/12/57
Campagrina	320,0	28/10/59	404,2	28/10/59	507,5	13/12/52	513,6	13/12/52	577,6	13/12/52

– le precipitazioni intense di brevissima durata, se si eccettuano gli afflussi osservati negli anni Novanta, hanno il massimo a Campagrina, con 18,8 mm in cinque minuti, che ha rappresentato l'afflusso più elevato della Toscana dall'inizio delle osservazioni.

– le precipitazioni di un'ora hanno presentato il valore più elevato a Campagrina (102,0 mm), mentre quelle fino a ventiquattro ore a Fornovolasco (394 mm).

– le precipitazioni da uno a cinque giorni consecutivi evidenziano più nettamente la differenza tra gli afflussi di Massa, dove in cinque giorni si raggiungono 228,6 mm, e quelli che avvengono a quote elevate, in cui si possono registrare valori fino a 577,6 mm (Campagrina).

I TEMPI DI RITORNO DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE DI BREVE DURATA

Considerato il grave rischio pluviometrico dell'area appare opportuno valutare, anche ai fini della progettazione degli interventi di salvaguardia del territorio dagli eventi idraulici, gli afflussi che si possano verificare con un assegnato tempo di ritorno. La legge di distribuzione di probabilità del massimo valore di Gumbel, tra le numerose relazioni analitiche fino ad oggi proposte, appare idonea a rappresentare le massime piogge annue attese in un determinato in-

tervallo di tempo, anche se di recente si è discusso sulla opportunità di un diverso trattamento probabilistico di quelle che presentino un forte scarto positivo dal valore normale. Sviluppi analoghi possono riguardare le precipitazioni intense di breve durata, tra una e ventiquattro ore, con una equazione del tipo:

$$P = a \cdot t^n \cdot T_r^m$$

in cui P rappresenta l'altezza dell'afflusso; t la durata della precipitazione (in ore); T_r il tempo di ritorno; a, n ed m coefficienti calcolati sulla base degli afflussi misurati per un lungo intervallo di tempo, per durate da una a ventiquattro ore consecutive (Tab. 3). Tali durate, considerati i tempi di corrivazione dei bacini del lato occidentale delle Apuane, di valore compreso tra 1.01 ore (T. Montignoso) e 4.40 ore (F. Versilia a P.te Rosso), e ammesso che possa ritenersi soddisfacente per essi una relazione di linearità tra afflussi e deflussi (Cavazza, 1986), sono adatte per la previsione degli eventi di massima piena che si possono verificare con un tempo di ritorno assegnato.

I valori di Massa sono nettamente inferiori a quelli delle altre stazioni considerate che, invece, presentano curve di possibilità pluviometrica quasi sovrapponibili. È tuttavia il caso di considerare che il valore predittivo degli afflussi così calcolati, in quanto dipendente dalla lunghezza delle serie utilizzate,

Tab. 3 - Precipitazioni intense attese per assegnati valori del tempo di ritorno.

Stazioni	10 anni				50 anni				100 anni				500 anni			
	1 h	6 h	12 h	24 h	1 h	6 h	12 h	24 h	1 h	6 h	12 h	24 h	1 h	6 h	12 h	24 h
Massa	56	88	105	125	74	116	138	164	83	130	155	184	109	171	204	242
Isola Santa	58	129	176	240	76	169	231	316	85	191	260	356	112	251	342	468
Fornovolasco	55	127	177	245	72	168	232	322	81	189	261	362	107	248	344	476
Campagrina	72	151	201	267	92	192	255	339	102	213	283	377	130	272	361	479

Tab. 4 - Precipitazioni del 19 giugno 1996 nel lato occidentale e orientale delle Alpi Apuane.

Stazioni	Quota m	Prec. tot. mm	Int. max mm/h	Int. max mm/5 min	Ora	Int. med. mm/h	Inizio evento	Fine evento	Durata h
Versante della Versilia									
Cervairole	1170	241,4	46,8	15,8	13.50	15,3	03.30	18.55	14.25
Azzano	416	260,4	56,6	10,2	10.00	16,8	03.50	19.20	15.30
Retignano	325	400,6	62,6	13,2	07.10	26,7	04.10	19.10	15.00
Pomeziana	597	477,4	158,0	30,8	06.30	30,8	03.50	19.20	15.30
Pian della Fioba	822	167,0	39,6	-	-	12,1	04.30	18.20	13.50
Versante della Garfagnana									
Campagrina	850	336,4	93,6	10,6	13.25	21,4	05.10	20.50	15.40
Fornovolasco	470	412,4	103,6	-	-	-	04.00	-	-
Gallicano	186	23,0	7,6	1,2	14.10	2,1	07.50	18.40	10.50
Calavorno	118	13,2	4,2	1,0	12.30	1,8	11.30	18.45	07.15
Palagnana	730	297,6	50,6	8,2	14.35	21,0	05.00	19.10	14.10

generalmente inferiore ai cinquanta anni, non è elevato. Una conferma della modesta affidabilità delle previsioni si ricava dal confronto delle tabelle 3 e 4, in cui gli afflussi attesi, anche per tempi di ritorno molto lunghi, fino a 500 anni, sono in qualche caso inferiori a quelli effettivamente misurati nel corso dell'evento temporalesco del 19 giugno 1996.

GLI EVENTI PLUVIOMETRICI E IDROMETRICI PIÙ IMPORTANTI NEL VERSANTE TIRRENICO DELLE APUANE

La ricostruzione storica degli eventi pluviometrici e idrometrici più importanti appare in quest'area particolarmente difficoltosa, sia per la scarsità di misure di portata, sia per la carenza di serie pluviometriche sufficientemente lunghe ed affidabili.

Nel versante tirrenico delle Apuane la più antica e grave alluvione di cui si possiede una buona documentazione interessò il bacino del F. Versilia tra il 25 e il 26 settembre del 1885, provocando gravi danni nei bacini dei fiumi Vezza e Serra. In tempi più recenti sono da ricordare le piene del novembre 1952, del novembre 1959 (Cavazza, 1986) e del novembre 1966. Negli anni Novanta si è verificata la notevole piena dell'11 luglio 1992, che ha interessato i bacini della Versilia e l'alto bacino del F. Serchio, ed infine l'alluvione disastrosa del 19 giugno 1996 che, oltre a determinare gravissimi danni materiali, ha provocato la morte di numerose persone. Nel corso delle alluvioni più recenti le precipitazioni più intense si sono verificate in un'area relativamente ristretta, compresa tra gli alti bacini della Turrîte Secca, del F. Vezza e della Turrîte di Galliciano, a cavallo tra il versante della Versilia e quello della Garfagnana, che fino ad oggi, con tutta evidenza, hanno costituito l'area a più elevato rischio pluviometrico del Massiccio Apuano.

La documentazione pluviometrica storica della zona è piuttosto scarsa, spesso lacunosa e non sempre affidabile. Le stazioni ultracentenarie presenti nell'area apuana sono quelle di Massa Carrara (1885), Corfino (1892), Castelnuovo Garfagnana (1886), Palagnana (1883), Viareggio (1881), ma solo quelle di Palagnana e di Castelnuovo Garfagnana consentono, sia pure con varie interruzioni e incertezze, la ricostruzione delle tendenze pluviometriche di lungo periodo (Eredia, 1918, 1925). A Palagnana le precipitazioni, dall'inizio delle osservazioni agli anni Venti, mostrano una netta tendenza all'aumento, mentre da quel periodo inizia una fase di sostanziale stabilità, che si protrae fino ad oggi (Fig. 5A). A Castelnuovo Garfagnana è invece evidente una costante diminuzione degli afflussi, più marcata ad iniziare dagli anni Ottanta (Fig. 5B). Molto interessante appare, anche ai fini della ricostruzione della storia climatica della Versilia, la preziosa serie meteorologica raccolta dal 1777 al 1831 da P. Butori, Canonico della Collegiata di Camaiore, e dai suoi eredi, che indica, sia pure tenendo in debita considerazione le diverse modalità di esecuzione delle misure, che i valori di piovosità di quel periodo sono molto simili a quelli attuali (Rapetti, 1996): a Camaiore la media delle precipitazioni del periodo antico risulta infatti di 1388 mm, contro i 1408 mm di quello attuale (1949-1993).

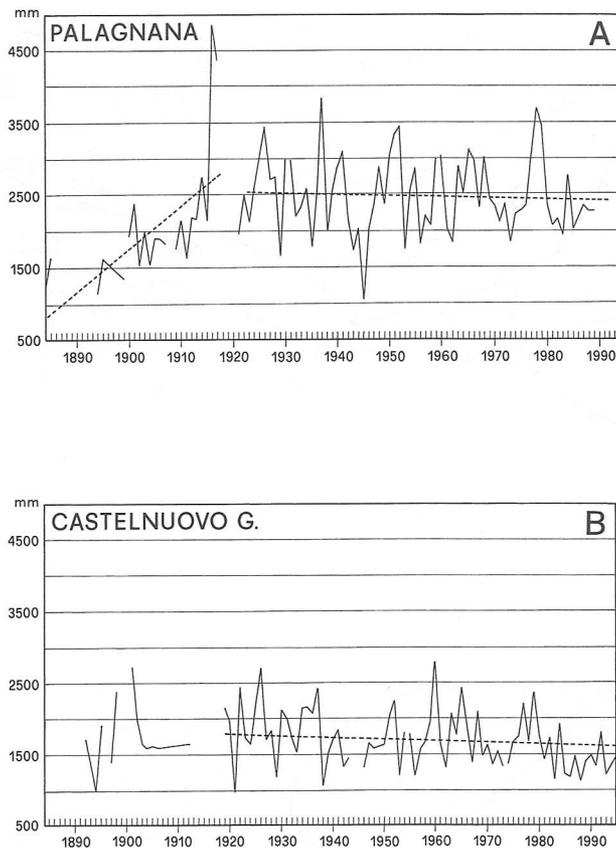


Fig. 5 - Andamento interannuale delle precipitazioni a Palagnana e Castelnuovo Garfagnana.

LE CONDIZIONI METEOROLOGICHE PRIMA E DURANTE L'EVENTO DEL 19 GIUGNO 1996

Il 19 giugno il quadro sinottico dell'Europa presentava nella media troposfera (500 hPa) due aree di alta pressione, rispettivamente sull'Africa nord-occidentale e nord-orientale, e un'area di bassa pressione sulla Scandinavia, mentre sull'Italia la pressione al suolo era livellata e di valore medio-alto. Un fronte freddo, ben più a nord delle Alpi, interessava l'Europa Centrale, apportando condizioni di maltempo dalla Francia alla Polonia (Fig. 6). Il campo termico sull'Alto Tirreno, al livello del mare, si caratterizzava per temperature intorno ai 20°, mentre a 850 hPa la temperatura nell'area marina era intorno ai 15°-17°, determinandosi così un gradiente termico piuttosto ridotto, condizione di un'atmosfera quasi stabile. Nei giorni precedenti il 19 giugno sul litorale della Versilia il campo anemologico al suolo si era caratterizzato per venti di debole intensità (2-3 m/s), con modesta convergenza dei flussi provenienti dal terzo e dal quarto quadrante; condizioni sostanzialmente confermate in prossimità e durante la manifestazione temporalesca, sia pure con modesti rinforzi del vento fino a 4-5 m/s.

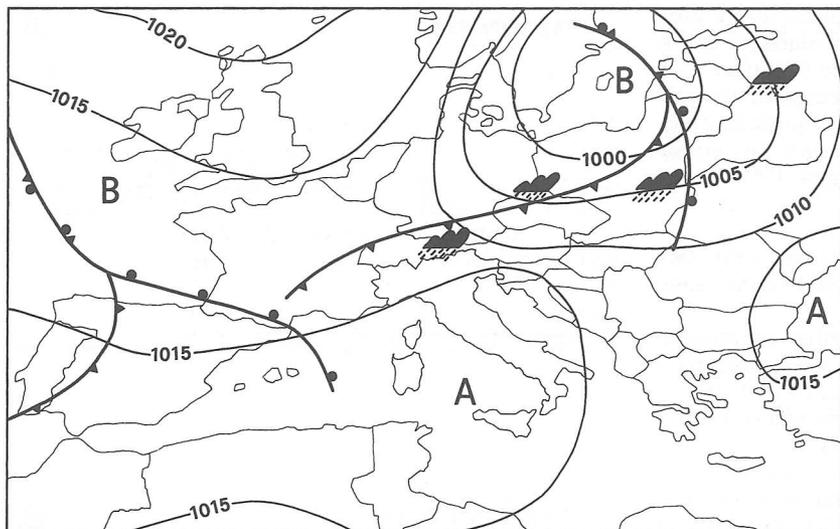


Fig. 6 - Situazione meteorologica al suolo dell'Europa del 19 giugno 1996 (ore 08.00).

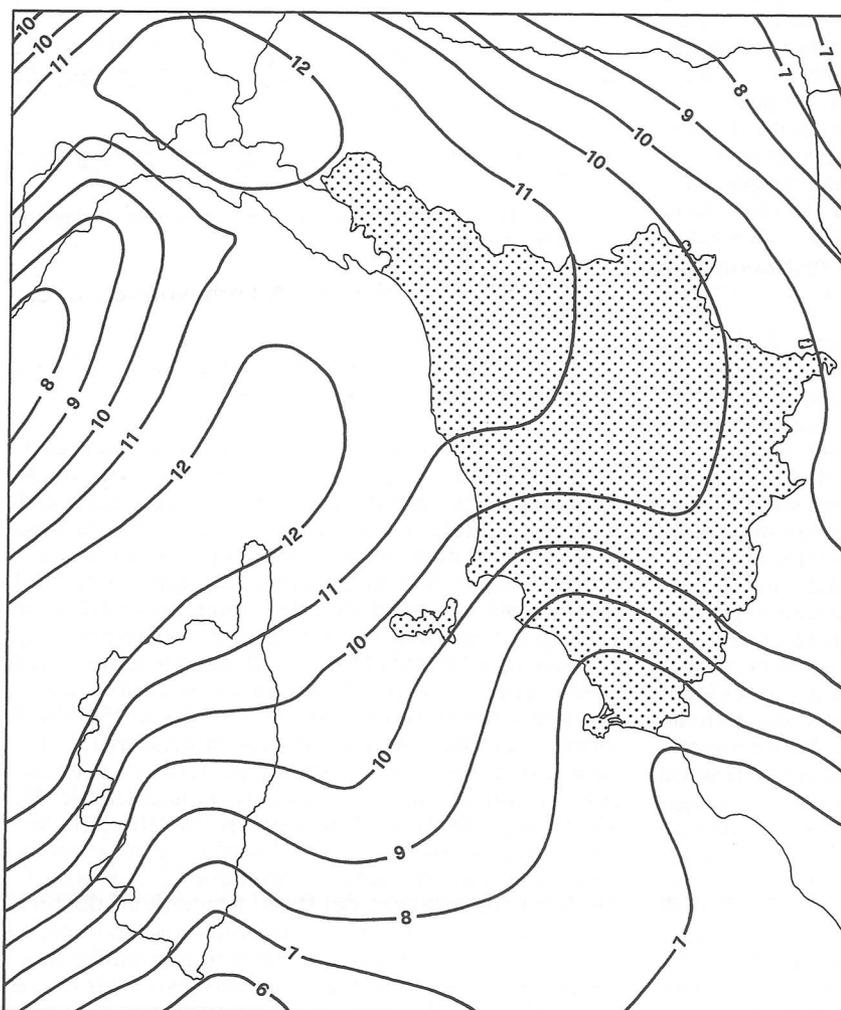


Fig. 7 - Andamento dell'umidità specifica (g vapore acqueo/kg di aria) (925 hPa) sull'Alto Tirreno e sul continente il 19 giugno 1996 (da ARSIA - Regione Toscana).

Le condizioni meteorologiche da alcuni giorni presenti nel Tirreno Settentrionale avevano determinato un notevole accumulo di umidità nei bassi strati dell'atmosfera, specialmente in direzione della traversa di SW (Fig. 7), mentre fenomeni di subsidenza rendevano termodinamicamente stabile lo strato di aria compreso tra il limite superiore e la media troposfera. Sul continente le temperature massime diurne avevano raggiunto valori elevati, in alcune stazioni maggiori di 30°, mentre quelle minime valori piuttosto ridotti, anche inferiori ai 10°, con una forte escursione diurna.

L'EVENTO PLUVIOMETRICO DEL 19 GIUGNO 1996

Le stazioni pluviometriche utilizzate per lo studio di questo evento sono quelle di Cervaiolo, Azzano, Retignano, Pomezzana nel versante della Versilia, e quelle di Campagrina, Fornovolasco, Gallicano, Calavorno, Palagnana nel lato occidentale della Garfagnana, dotate di sistemi di trasmissione in tempo reale degli afflussi, con stazioni di ricezione presso l'Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa e altri organi competenti.

Nei giorni precedenti l'evento del 19 giugno sull'area apuana non si erano verificate precipitazioni, se si eccettuano pochi millimetri di pioggia caduti nella prima decade del mese in alcune località della media valle della Garfagnana.

Sui bacini dei fiumi Vezza e Serra, tributari del F. Versilia, la pioggia iniziò a cadere nelle prime ore della mattina del 19 giugno, tra le quattro e le cinque, all'inizio con una modesta intensità. Tra le cinque e le sei le precipitazioni subirono un debole incremento, mentre nell'ora successiva si registrò una loro forte impennata, misurata in 84,0 mm a Pomezzana e 37,0 mm a Retignano (bacino F. Vezza). Il massimo assoluto dell'intensità si verificò proprio a Pomezzana tra le sette e le otto, con 158,0 mm (valore massimo mai registrato dall'inizio delle osservazioni nell'area apuana). Nelle ore successive gli afflussi si mantennero su valori piuttosto elevati, sia pure con una netta flessione dalle dodici alle quattordici, per raggiungere un nuovo picco dalle quattordici alle sedici, particolarmente elevato a Retignano; successivamente le precipitazioni si ridussero fino ad estinguersi entro le diciannove. Nelle prime ore della mattina nelle stazioni di Cervaiolo e di Azzano (bacino del F. Serra), l'intensità si mantenne su valori non elevati, inferiore ai 10 mm/h, mentre il massimo afflusso si registrò dalle tredici alle diciassette, con massimi orari di 46,8 mm a Cervaiolo (dalle tredici alle quattordici) e di 56,6 mm ad Azzano (dalle sedici alle diciassette). Anche in queste due stazioni la pioggia cessò entro le diciannove (Fig. 8; Tab. 4).

Il alcune zone del versante apuano dalla Garfagnana le precipitazioni furono molto elevate, pur senza raggiungere i valori registrati nel versante versiliese, se si eccettuano quelle osservate a Fornovolasco, nell'alto bacino della Turrîte di Gallicano. In questa stazione però le registrazioni pluviometriche si interruppero verso le ore 14.40, per l'asportazione della stazione di misura da parte della piena del fiume; fino a quel momento si erano registrati 412,4 mm di pioggia, valore inferiore solo a quello osservato a Pomezzana. Per una stima dell'afflusso totale di Fornovolasco si può considerare che nelle altre località, dalle 14.40 al termine dell'evento, furono registrati in media circa 78 mm di pioggia.

Nelle stazioni ai confini dell'epicentro del temporale le altezze pluviometriche più rilevanti si registrarono a Campagrina (271,8 mm in quattro ore, dalle undici alle quindici) e a Palagnana (216,8 mm in sei ore, dalle dieci alle sedici). Nelle stazioni di Candia di Massa (54,5 mm) e Lido di Camaio (8,0 mm), situate nella fascia costiera, Gallicano (23,0 mm), situata all'imbocco del T. Turrîte, e Calavorno (13,2 mm), all'imbocco della Garfagnana, che sostanzialmente circoscrivono l'area dell'evento, le precipitazioni furono molto scarse, sempre inferiori a pochi millimetri orari (Fig. 9; Tab. 4).

L'analisi delle precipitazioni con scansione di cinque minuti consente di individuare picchi di intensità estremamente elevati, nettamente superiori a quelli fino a quell'evento osservati sulle Alpi Apuane. A Pomezzana il massimo è stato di 30,8 mm/5 min (ore 07.30), corrispondente al valore ragguagliato di 369,6 mm/h (1). Nelle altre stazioni gli afflussi sono stati inferiori, anche se sono degni di nota i 15,8 mm/5 min (189,6 mm/h) di Cervaiolo e i 13,2 mm/5 min (158,4 mm/h) di Retignano. A Fornovolasco, di cui non disponiamo né degli afflussi dell'intero evento né di quelli alla scansione di cinque minuti, il picco massimo sarebbe stato di 143 mm/h, verificatosi dalle 12.00 alle 13.00 (Tab. 4; fig. 10).

La configurazione delle isoiete, dalle ore 05.00 alle ore 12.00, è piriforme, con asse longitudinale orientato da NW a SE, mentre quella dell'intero evento presenta l'asse maggiore diretto da SW a NE, sostanzialmente coincidente con la direzione dei solchi vallivi del F. Vezza e della Turrîte di Gallicano, che probabilmente hanno esercitato una azione di canalizzazione sulle masse di aria responsabili dell'evento (Fig. 11 A, B). Il volume di acqua caduta dalle cinque della mattina alle diciannove, nell'area racchiusa dalla isoietta dei 200 mm, è stimabile in circa $41 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Le precipitazioni del 19 giugno, confrontate con quelle di durata comparabile dall'inizio delle osservazioni (fine degli anni Venti, metà degli anni Trenta), forniscono una idea immediata della assoluta ecceziona-

(1) Per apprezzare l'entità di questo valore si consideri che sulla Terra (fino al 1959) la massima precipitazione nell'intervallo di cinque minuti di cui si ha notizia è quella di 106,4 mm registrata a Oklahoma (USA) il 31 luglio 1913.

È opportuno osservare che per intensità orarie intorno ai 380-400 mm/h la pioggia non cade in gocce isolate ma, per fenomeni molto spinti di coalescenza dovuti alla gravità, in getti continui (Tonini, 1959), come deve essersi verificato più volte durante il nubifragio del 19 giugno 1996 nelle stazioni dell'Alta Versilia.

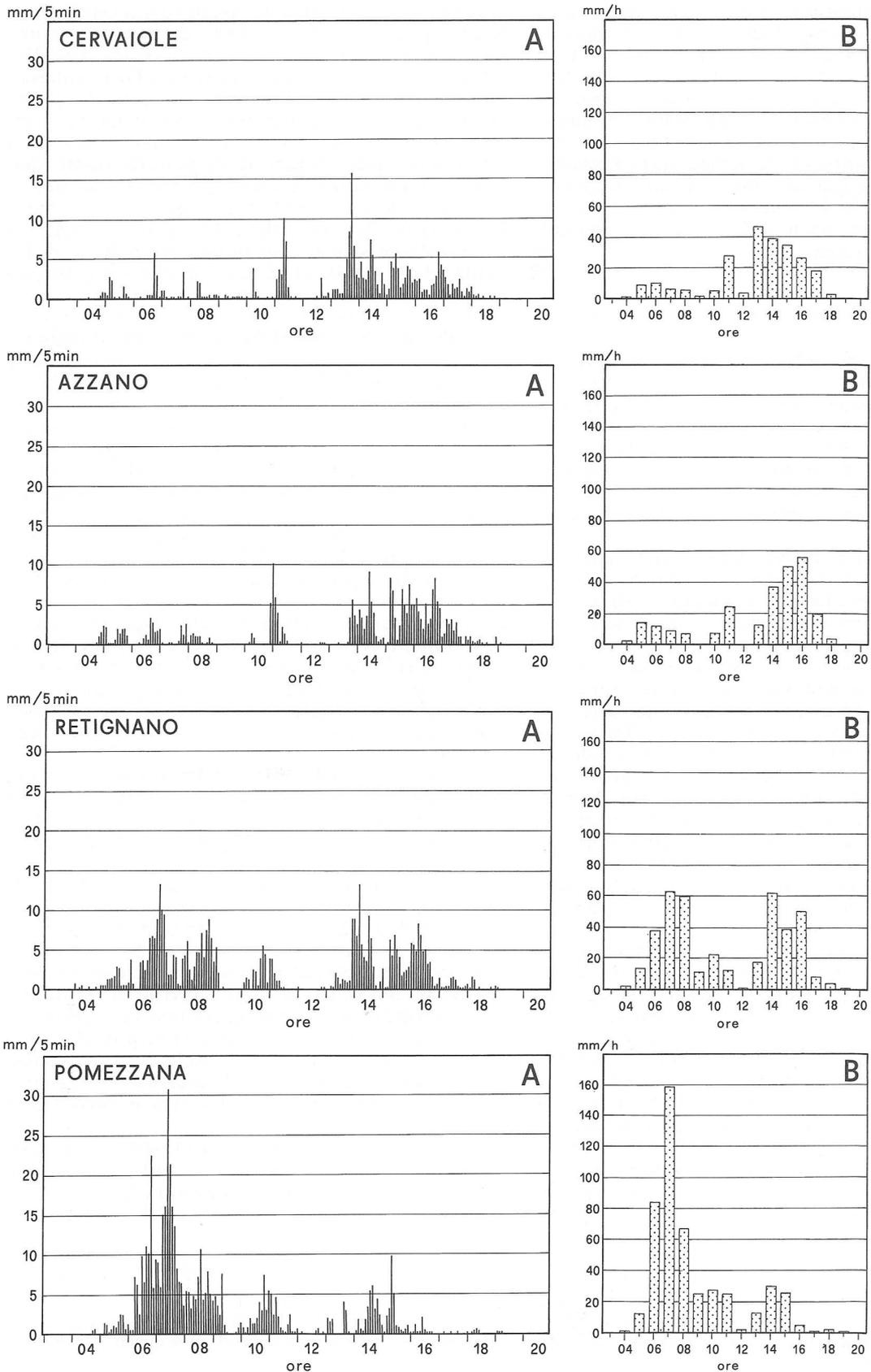


Fig. 8 - Precipitazioni del 19 giugno 1966, alla scansione di cinque minuti (A) e di un'ora (B), nelle stazioni del versante occidentale delle Alpi Apuane.

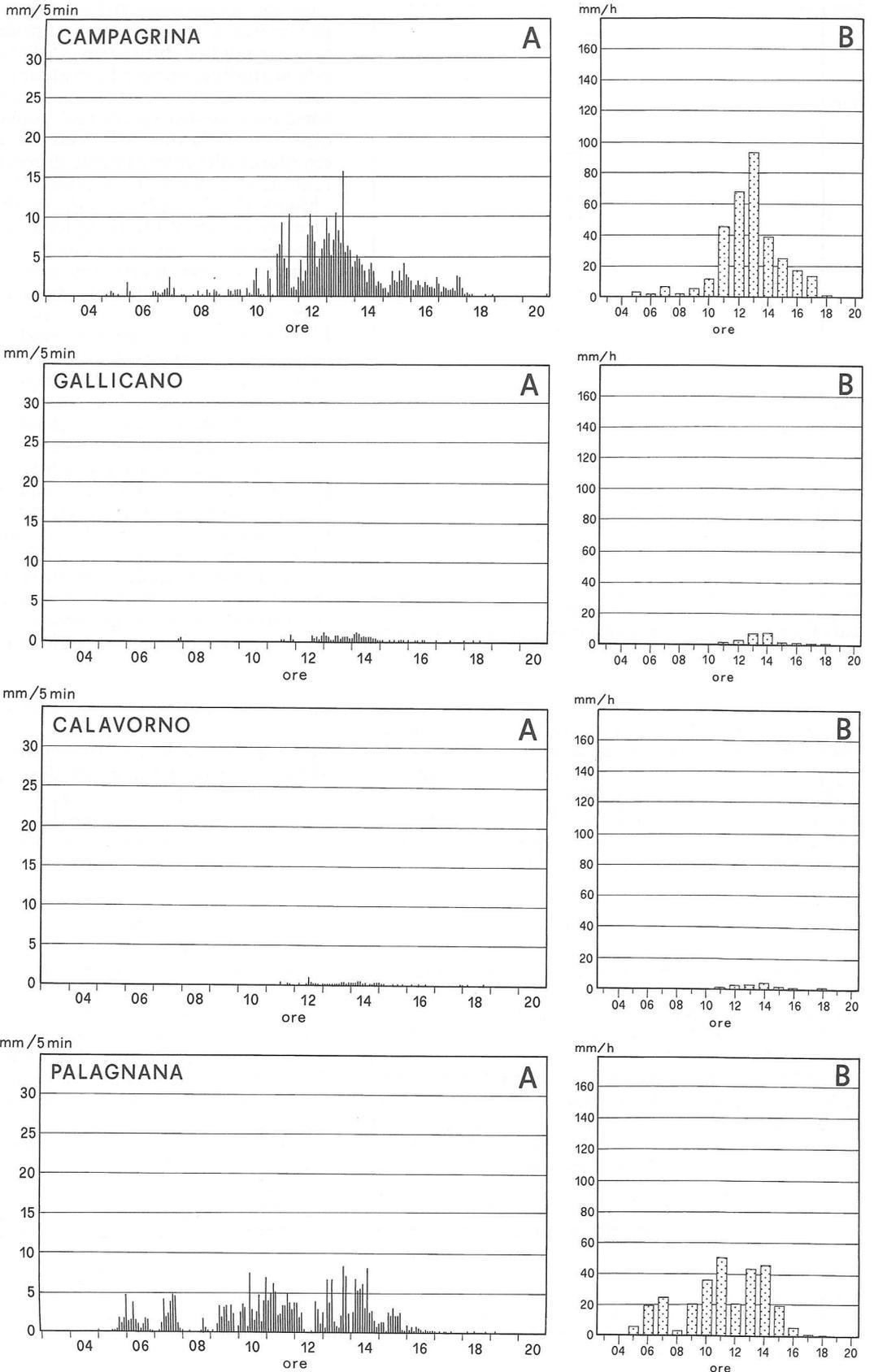


Fig. 9 - Precipitazioni del 19 giugno 1996, alla scansione di cinque minuti (A) e di un'ora (B), nelle stazioni del lato orientale delle Alpi Apuane.

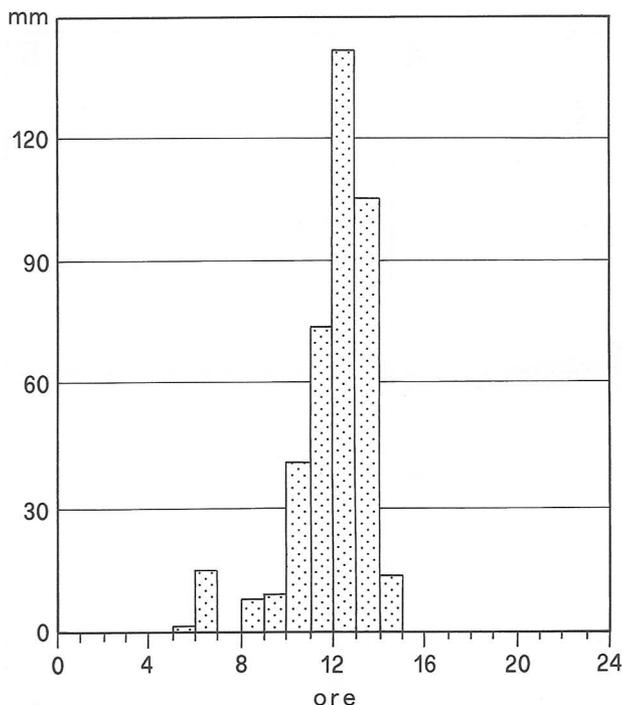


Fig. 10 - Precipitazioni orarie (incomplete) di Fornovolasco del 19 giugno 1996. La stazione pluviometrica, travolta dalla piena della Turrice di Galliciano, ha infatti cessato di funzionare intorno alle ore 14.40.

lità dell'evento (2). Una indicazione della rarità dei valori misurati si ricava anche dalle curve di possibilità pluviometrica che, per l'evento in oggetto, forniscono tempi di ritorno di varie centinaia di anni. Tuttavia la modesta lunghezza delle serie pluviometriche utilizzate sconsiglia di fornire, come si è osservato, valutazioni esatte di tali ricorrenze.

PROBABILI CAUSE DELL'EVENTO TEMPORALESICO

La stessa esistenza del Massiccio Apuano, nelle condizioni dinamiche e termodinamiche descritte, è senz'altro da considerare la causa scatenante dell'evento. Lo sviluppo di un «modello idrostatico ad area limitata (DALAM, CORP)», operativo presso l'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria del Ministero per le Risorse Agricole, Alimentari e Forestali, purtroppo di non elevata risoluzione piano-altimetrica, per il 19 giugno faceva prevedere nell'area l'assenza di precipitazioni, o al massimo un afflusso di pochi millimetri di pioggia (Gozzini et alii, 1997). Un meccanismo di innesco, forse legato ad una debole convergenza al suolo o a venti di brezza, avrebbe determi-

nato sui versanti del rilievo l'ascendenza forzata di una massa d'aria di elevata umidità specifica, fino alla zona di instabilità (*instabilità condizionale*). Da tale altitudine, stimabile in alcune centinaia di metri dalla superficie del mare, si sarebbe verificata una forte ascendenza spontanea, conseguente ad un acquisto di instabilità delle masse d'aria per il massiccio rilascio del calore latente di condensazione. Questo fenomeno avrebbe determinato il richiamo di grandi volumi di aria molto umida stazionanti sul braccio di mare prospiciente le Apuane, che sarebbero stati convogliati all'interno di un *camino*, entro il quale l'aria si sollevava con una forte velocità verticale, fino a quote notevolmente elevate, con conseguente innesco di precipitazioni di intensità estrema.

L'assenza di un sistema frontale ben riconoscibile conferma infatti che l'afflusso meteorico ha avuto una spiccata componente temporalesca: si sarebbe trattato di una precipitazione locale a piccola scala (*local and small-scale precipitation*), determinata da un limitato agglomerato amorfo di celle temporalesche, che hanno scaricato il loro contenuto in acqua precipitabile in luoghi, in tempi e intensità diversi; il primo rovescio, di carattere più violento, ha colpito la parte centro-orientale del bacino del F. Versilia (Pomeziana e Retignano) tra le sei e le sette della mattina, mentre nelle altre stazioni, ad eccezione di Azzano, in cui le massime intensità si sono verificate intorno alle dieci, gli scrosci più intensi si sono verificati nel primo pomeriggio, tra le 12.30 e le 14.30.

AFFLUSSI MISURATI E AFFLUSSI REALI

I pluviometri a bocca orizzontale non forniscono un valore esatto della quantità di pioggia realmente intercettata dal suolo, almeno per due motivi. Il primo di essi riguarda la capacità del pluviografo di misurare tutta l'acqua che entra nella bocca tarata dello strumento quando l'intensità superi determinati livelli critici; a questo proposito è opportuno considerare che i pluviografi automatici della rete dell'Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa, che hanno fornito i dati per questa ricerca, presentano, per intensità superiori a 50 mm/h, uno scarto negativo crescente tra i valori misurati e quelli reali, fino a percentuali prossime al 20% per intensità di 300 mm/h (Fig. 12). Nel corso dell'evento del 19 giugno il limite critico di 50 mm/h, corrispondente a 4,2 mm/5 minuti, è stato superato in numerosi luoghi e a più riprese, fino al valore massimo di 30,8 mm registrati a Pomeziana. Il secondo motivo, di difficile valutazione considerate le scarse conoscenze della morfometria dei bacini e della ventosità al suolo e in quota al momento dell'evento, riguarda le differenze tra la quantità di pioggia misurata dallo strumento e quella effettivamente intercettata dalle pendici dei bacini.

(2) Recentemente nell'Appennino Ligure si sono verificati eventi pluviometrici di intensità pari, o addirittura superiore, a quelli osservati sul Massiccio Apuano. A questo proposito è opportuno ricordare i temporali del 22 e del 27 settembre 1992, che interessarono rispettivamente Sella di Savona (473 m) e Genova Università: nel primo caso l'afflusso fu di 508 mm in dodici ore, mentre nel secondo di 451 mm in quindici ore (Tropeano D. et alii, 1993).

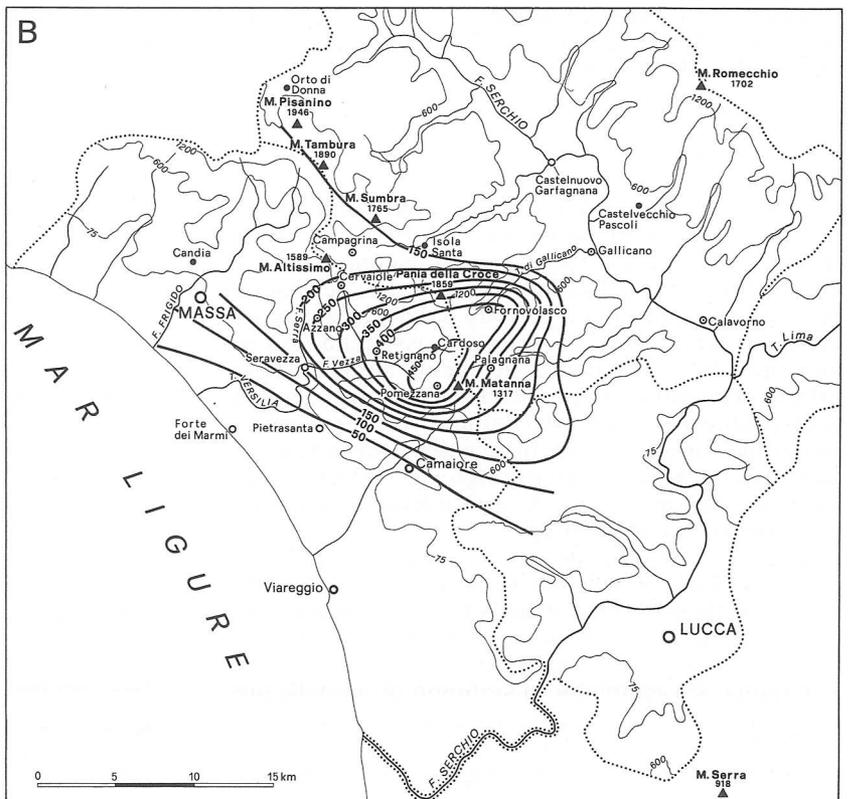
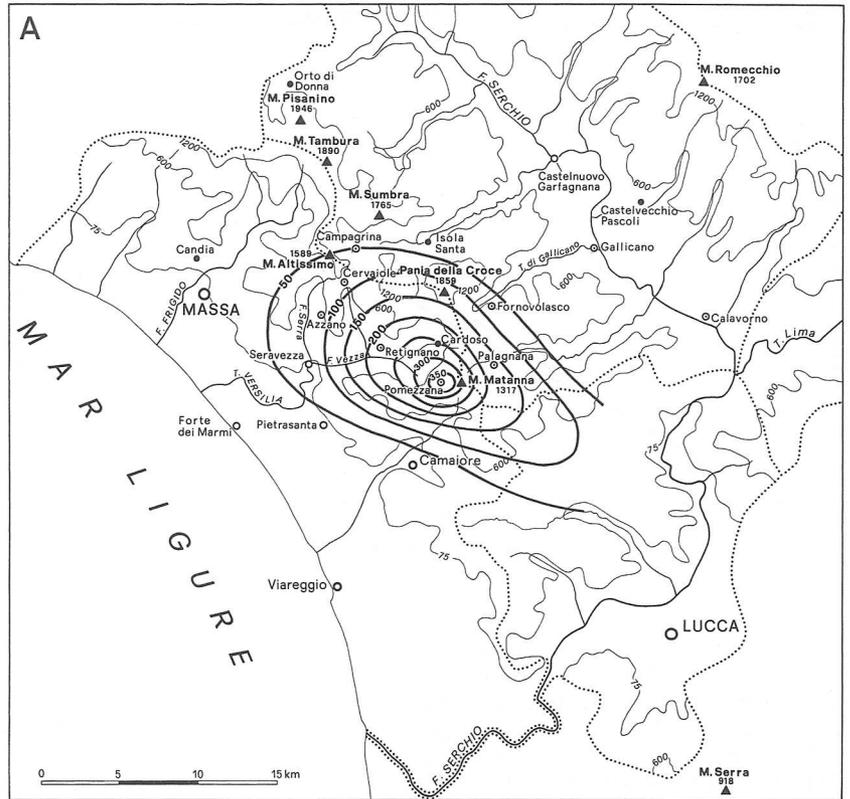


Fig. 11 - Isoiete dell'evento pluviometrico del 19 giugno 1996: dalle ore 05.00 alle ore 12.00 (A); dalle ore 05.00 alle ore 18.00 (B) (da Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa).

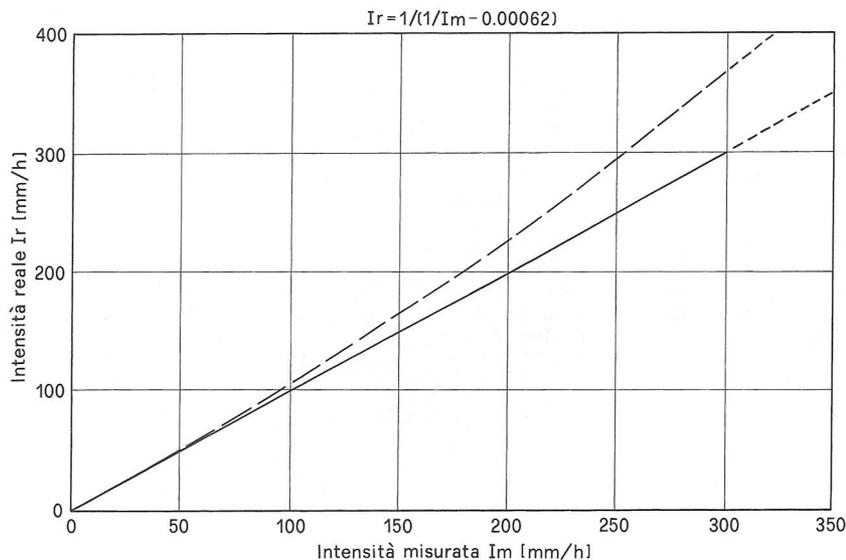


Fig. 12 - Retta di regressione tra l'intensità misurata delle precipitazioni (linea continua) e quella reale (linea tratteggiata) relative al pluviografo PMB2 della CAE di Bologna.

ni. Tale difformità, com'è noto, si riscontra in tutte le misurazioni di pioggia effettuate con strumento a bocca orizzontale e dipende da numerosi fattori, quali l'inclinazione delle gocce di pioggia dalla verticale, la loro direzione di provenienza rispetto ai punti cardinali e, sulle superfici non pianeggianti, l'esposizione e l'acclività dei versanti (Rapetti, Vittorini, 1972).

Esistono dunque elementi per ritenere che in alcune fasi dell'evento del 19 giugno le piogge registrate siano state diverse da quelle effettivamente intercettate dai bacini imbriferi.

CONCLUSIONI

La storia climatica e le circostanze che hanno determinato l'evento pluviometrico del 19 giugno 1996 indicano che le Alpi Apuane costituiscono una delle aree a più elevato rischio pluviometrico del bacino del Mediterraneo. In un periodo della storia climatica della Terra in cui si starebbe assistendo ad un aumento della frequenza di eventi meteorologici estremi, tale vulnerabilità potrebbe addirittura accrescersi. Questo complesso montuoso, per forma e posizione, funge così da meccanismo di innesco di una sorta di *bomba meteorologica* di estrema pericolosità, che in molti casi può attivarsi con segni premonitori molto deboli.

Tale quadro impone, per la salvaguardia dei beni e delle popolazioni, che le Alpi Apuane siano soggette ad una stretta sorveglianza meteorologica, sia dal punto di vista strumentale, con una rete molto densa di punti di rilevamento dei parametri meteorologici al suolo e in quota, sia mediante lo sviluppo di modelli predittivi ad elevato potere di risoluzione, tarati per le particolari caratteristiche del rilievo, sia, infine, con l'impiego del *radar* meteorologico. Tale complesso

di osservazioni meteorologiche dovrebbe trovare, come negli ultimi anni, con il concorso delle Istituzioni e di vari Enti pubblici e privati, si è iniziato a fare, uno stretto collegamento con i sistemi di controllo dei dati idrometrici, ed infine con i sistemi di allarme e di intervento della Protezione Civile. Tutto questo facendo naturalmente salvi gli indispensabili interventi di sistemazione e di manutenzione idrogeologica dei versanti, di regolarizzazione dei *talweg* e delle sponde dei torrenti, e il rigido controllo dell'uso del suolo sui versanti e nei fondovalle.

RINGRAZIAMENTI

Un vivo ringraziamento ai sig.ri Franco Rivano, Direttore dell'Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa, per aver messo a nostra disposizione i dati inediti dell'evento del 19 giugno 1996, e Renato Giola, per aver svolto una preziosa ricerca di archivio e di reperimento dei dati meteorologici editi e inediti.

BIBLIOGRAFIA

- Baldacci, F., Cecchini, S., Lopane, G., Raggi, G., 1993. Le risorse idriche del Bacino del Fiume Serchio ed il loro contributo all'alimentazione dei bacini idrografici adiacenti. Soc. geol. ital., 49: 365-391.
- Batini, C., Gazzolo, T., 1965. Precipitazioni massime in un giorno avvenute in Italia nel quarantennio 1921- 1960. Mem. e Studi idrogr., Min. LL.PP., Ser. Idrogr., 3: 117-123.
- Cavazza, S., 1985. Sui moderni criteri di calcolo dell'afflusso meteorico. Soc. geogr. ital., Mem., 39: 239-277.
- Cavazza, S., 1986. Studio idrogeologico delle piene della zona dell'ex Lago di Porta, del Torrente Montignoso e del Fiume Versilia. (Relazione tecnica). Regione Toscana.
- Eredia, F., 1919. Osservazioni pluviometriche raccolte a tutto l'anno 1915. Toscana e Liguria. Cons. Sup. delle Acque - Serv. Idrografico: 154.
- Eredia, F., 1925. Osservazioni pluviometriche raccolte nel quinquennio 1916-1920. Pubbl. 1 del Serv. Idrografico, vol. 44: 139.

- Gozzini, B., Maracchi, G., Meneguzzo, F., Niccolai, M., 1997. The catastrophic flood occurred in Versilia basin, Tuscany, on June 19th 1996: a way to predictability. Proceeding of the Ribamod Workshop Delft Holland 13-15 February (in stampa). Ministero LL. PP. Servizio Idrografico, (1956-1985) . Annali Idrologici. Parte I.
- Pagliara, S., Viti, C., 1990. Determinazione delle curve isoparametriche per le piogge orarie: Applicazione alla Toscana. Giornale del Genio Civile, Fasc. 7-8-9: 225-238.
- Querney, P., 1974. Eléments de météorologie, Masson, Paris.
- Rapetti, F., 1996. Le osservazioni meteorologiche e la cultura scientifica di P. Butori (1743-1826), Canonico della Collegiata di Camaiore (Lucca). Atti del Conv.: Strumenti e cultura scientifica nell'Ottocento in Italia, Firenze 3-4 maggio 1995: 76-83
- Rapetti, F., Vittorini S., 1972. I venti piovosi a Legoli (Toscana) in relazione ai processi di erosione del suolo. Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem., Ser. A, 79: 150-175.
- Rapetti, F., Vittorini, S., 1994. Le precipitazioni in Toscana: Osservazioni sui casi estremi. Riv. geogr. ital., 101: 47-76.
- Rapetti, F., Vittorini, S., 1996. Il clima d' Italia. Lineamenti climatici delle Toscana. Suppl. Geogr. fis. dinam. Quat., Suppl. 3: 5-41.
- Sestini, A., 1924. Inclinazioni medie di alcune aree montuose italiane. Riv. geogr. ital., 31: 296-299.
- Tonini, D., 1959. Elementi di Idrografia ed Idrologia. Vol. I, Libreria Universitaria-Venezia, 603.
- Trevisan, L., 1947. Sui rapporti fra precipitazioni e rilievo nella regione apuana. Atti XIV Congr. geogr. ital., Bologna 8-12 aprile 1947: 340-342.
- Tropeano, D., Chiarle, M., Deganutti, A., Mortara, G., Moscardello A., Mercalli, L., con la collaborazione di Dutto, F., Godone, F., Massobrio, R., Beretta, E., 1993. Gli eventi alluvionali del 22 e 27 settembre 1992 in Liguria. Studio idrologico e geomorfologico. Quaderni e Studi e Docum., 13, Suppl. GEAM, 30: 3-37.

(ms. pres. il 12 marzo 1997; ult. bozze il 17 settembre 1997)

