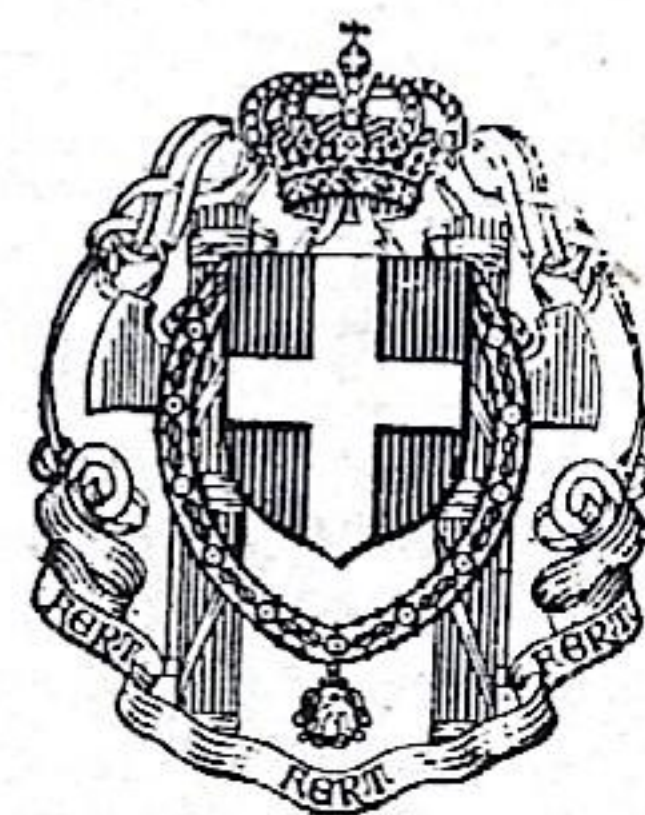


LA TROMBA DEL 24 LUGLIO 1930  
NEL TERRITORIO DI TREVISO-UDINE

Memoria di AGOSTINO PUPPO  
e PIETRO LONGO



ROMA DEL 24 LUGLIO 1930

IL DIRETTORE GENERALE DEL MINISTERO

DELLA PUBBLICAZIONE

CONFERMA



# INDICE

<b>PREMESSA</b> .....		<i>Pag.</i> 5
<b>I.</b> — Lo stato del tempo in Europa e in Italia. — Relazioni fra la situazione meteorica, la sua evoluzione e la formazione della tromba. — La tromba e le manifestazioni temporalesche nei paraggi di essa .....	»	7
<b>II.</b> — Percorso della tromba. — Durata, velocità di traslazione. — La traccia .....	»	25
<b>III.</b> — Formazione e scioglimento della tromba. — Forma. — Trombe multiple. — Vortici secondarii .....	»	31
<b>IV.</b> — Campo di caduta degli oggetti trasportati dalla tromba .....	»	34
<b>V.</b> — Fenomeni osservati nell'interno della tromba: Rumori, odori, effetti luminosi e termici, ecc. ....	»	34
<b>VI.</b> — Danni causati dalla tromba. — Effetti meccanici .....	»	36
<b>VII.</b> — Tentativo di determinazione della velocità del vento in base agli effetti meccanici .....	»	45
<b>VIII.</b> — Alcune considerazioni sulla distribuzione delle velocità nella tromba .....	»	52
<b>IX.</b> — Tentativo di determinazione della caduta di pressione atmosferica nell'interno della tromba .....	»	67

\* \* \*

## INDICE DELLE TAVOLE.

<b>I.</b> — Situazione isobarica europea alle ore 8 del 24 luglio 1930 .....		<i>Pag.</i> 9
<b>II.</b> — Situazione isobarica dell'Italia alle ore 8 del 24 luglio 1930 .....	»	11
<b>III.</b> — Situazione isobarica dell'Italia settentrionale alle ore 15 del 24 luglio 1930 .....	»	13
<b>IV.</b> — Carta d'assieme della regione interessata dalla tromba, 1:200.000 .....	»	19
<b>V.</b> — Fogli n. 5 e 15 della carta al 10.000 e loro allegati 1:2000 .....	»	21
<b>VI.</b> — L'andamento dei diversi elementi meteorici a Conegliano dalle ore 0 alle ore 24 del 24 luglio 1930 .....	»	23
<b>VII.</b> — Velocità in funzione del tempo in alcuni punti particolari della traccia .....	»	65

## INDICE DELLE FIGURE.

<b>1.</b> — Grandine sul Montello .....		<i>Pag.</i> 16
<b>2.</b> — La tromba a Sud di Montebelluna .....	»	31
<b>3.</b> — La tromba al « Barco » .....	»	31
<b>4.</b> — La tromba all'innalzamento, dopo « Mandre » .....	»	32
<b>5.</b> — La tromba all'innalzamento ai « Camoi » .....	»	32
<b>6.</b> — Trombe multiple a « Borghi » .....	»	33
<b>7.</b> — La tromba prima di Volpago .....	»	33
<b>8.</b> — Alberi abbattuti .....	»	38
<b>9.</b> — Alberi abbattuti .....	»	38
<b>10.</b> — Alberi abbattuti .....	»	38
<b>11.</b> — Casa colpita presso Venegazzù .....	»	41
<b>12.</b> — L'Oratorio di S. Eurosia presso Venegazzù .....	»	41
<b>13.</b> — La Chiesa di Selva .....	»	41

14. — Case colpite a Sovilla .....	<i>Pag.</i>	43
15. — Casa colpita al « Barco » .....	»	43
16. — Case colpite al « Barco » .....	»	43
17. — Palo colpito della linea a 50 KV Fadalto-Treviso al « Barco » .....	»	45
18. — Elementi del palo a traliccio della fig. 17 .....	»	46
19. — Schema della variazione della velocità di rotazione nel vortice .....	»	53
20. — La velocità risultante nel punto generico del vortice .....	»	54
21. — Coordinate di un punto del piano rispetto al centro del vortice in funzione del tempo .....	»	54
22. — Traiettorie dei filetti d'aria .....	»	58
23. — Velocità e accelerazione dei filetti d'aria .....	»	59

# LA TROMBA DEL 24 LUGLIO 1930 NEL TERRITORIO DI TREVISO-UDINE

## P R E M E S S A .

La tromba d'aria che si abbattè sulla nostra regione il 24 luglio 1930 fu, per sviluppo lineare, violenza, varietà di manifestazioni, ed infine per numero di vittime ed entità di danni arrecati, certamente una delle più notevoli e interessanti osservate in Europa. Credemmo pertanto di fare opera non inutile, ai fini di una maggiore conoscenza di questi eccezionali fenomeni, procedendo ad uno studio accurato di quanto fu possibile rilevare: a ciò spinti anche dall'essere questo R. Osservatorio il più prossimo alla zona colpita.

A giustificazione del ritardo con il quale il nostro lavoro viene licenziato, occorre dire che esso assorbì un tempo non indifferente, e che riuscì particolarmente gravoso. Convinti infatti che solo un rilievo accurato e dettagliato del fenomeno avrebbe potuto contribuire a fornire, con una larga messe di dati attendibili, materiale per studi più generali di ordine statistico e teorico, volemmo ispezionare, percorrendola rigorosamente passo a passo, tutta la zona colpita, eseguendo personalmente i rilievi, e procedendo in sito all'attingimento di notizie, con l'interrogare il maggior numero possibile di informatori (1): anzichè accontentarci di informazioni assunte indirettamente, le quali ne avrebbero per certo indotti ad affermare cose non vere: o avrebbero sottratto alla nostra conoscenza fatti di cospicua importanza. La varietà delle manifestazioni cui danno luogo le trombe è tale, e le manifestazioni stesse hanno spesso caratteri così poco comuni, che occorrono particolari cautele per poter ricostruire il fenomeno con una certa esattezza, sceverando il certo dall'incerto, il probabile dall'impossibile, il verosimile dal fantastico: specie ove si tenga conto dello stato d'animo di chi, travolto, eseguisce le osservazioni. Era d'altronde necessario, per la esatta conoscenza del fenomeno, e per contribuire in modo efficace alle ricerche teoriche, nulla trascurare, anche se apparentemente scevro di valore.

Procedemmo così, fra l'altro, al rilievo di quasi 800 edifici, della direzione di abbattimento di circa 1300 oggetti, all'interrogazione di oltre 2000 informatori: e questo su una striscia di 80 chilometri di lunghezza. Nè alla zona direttamente colpita limitammo le nostre indagini; ma queste estendemmo anche alle contigue, chè oltremodo interessante era porre il fenomeno in relazione all'andamento delle manifestazioni meteoriche nei paraggi della zona colpita.

Al lavoro diretto di indagine seguì quello non meno delicato di critica, in base al quale fu possibile operare una severa selezione delle informazioni, scartando quelle inattendibili, o non sufficientemente comprovate. Talchè in definitiva le notizie da noi riportate possono essere ritenute, per il rigoroso controllo cui furono sottoposte, quali rispondenti al vero; e tali le sottintenderemo in generale; mentre faremo esplicito richiamo su quelle la cui veridicità può essere discussa.

Allo scopo di riuscire più chiari, e di conferire ordine alle nostre ricerche, preferimmo raggruppare in classi le osservazioni e le conclusioni che se ne possono trarre, anzichè darne una esposizione non sistematica, ma cronologica; il metodo seguito non è certamente scevro

---

(1) I sopralluoghi furono eseguiti dal sig. Pietro Longo.

di inconvenienti, derivandone una frammentazione nella descrizione del fenomeno; ma non si avrebbe altrimenti potuto fare di questo una analisi organica e dettagliata, quale invece interessa dal punto di vista scientifico.

Informandoci a tale criterio dividemmo il nostro lavoro nel modo che segue:

I. — Lo stato del tempo in Europa e in Italia: relazioni fra la situazione meteorica, la sua evoluzione, e la formazione della tromba.

La tromba e le manifestazioni temporalesche nei paraggi di essa.

II. — Percorso della tromba. Durata, velocità di traslazione.

La traccia.

III. — Formazione e scioglimento della tromba. Forma. Trombe multiple. Vortici secondari.

IV. — Campo di caduta degli oggetti trasportati dalla tromba.

V. — Fenomeni osservati nell'interno della tromba: rumori, odori, manifestazioni luminose e termiche, ecc.

VI. — Danni causati dalla tromba. Effetti meccanici.

VII. — Tentativo di determinazione della velocità del vento in base agli effetti meccanici.

VIII. — Alcune considerazioni sulla distribuzione delle velocità nella tromba.

IX. — Tentativo di determinazione della caduta di pressione atmosferica nell'interno della tromba.

Conegliano, 11 aprile 1931-IX.

*R. Osservatorio Meteorologico* (R. Scuola di Viticoltura ed Enologia).

---

I. — *Lo stato del tempo in Europa e in Italia. — Relazioni fra la situazione meteorica, la sua evoluzione e la formazione della tromba. — La tromba e le manifestazioni temporalesche nei paraggi di essa.*

Il 24 luglio 1930 segna per l'Alta Italia la fine di un periodo temporalesco di eccezionale intensità e durata, iniziatosi il giorno 7 luglio, con una situazione isobarica caratteristica del tipo atlantico secondo Schiaparelli (ciclone a NE con saccatura da E sulla Val Padana e promontorio da NW sul Mediterraneo occidentale). Temporali si formano il giorno 8, con ciclone a NE e saccatura da SE sull'Italia (situazione delle ore 8); il giorno 9, con ciclone a NE e pressione livellata intorno a mm. 760 sull'Italia; il giorno 10, con ciclone a NE e saccatura da SE sull'Italia; il giorno 11, con ciclone a NE e depressione secondaria sul Mar Ligure; il giorno 12, con depressione ad E e saccatura da E sull'Italia; il giorno 13, con ciclone a NE con depressione secondaria sul Mar Ligure; il 14 si ha una tregua con pressione livellata intorno a mm. 761 sull'Italia. Le manifestazioni riprendono il giorno 15, con ciclone a N e depressione secondaria sull'Alta Italia, ed hanno una breve sosta il giorno 16, con ciclone a NW e depressione secondaria sul Tirreno; il 17 l'attività temporalesca riprende, con depressione a NW e pendio da SE sull'Italia, il 18, con ciclone a N e pendio da S. Nei giorni seguenti l'attività diminuisce, con ciclone a NE e saccatura da NE sull'Italia il 19; ciclone a N con pendio da S sul Mediterraneo il 20; pressione livellata (mm. 760) sull'Italia il 21; depressione a N con saccatura da NE sull'Italia e sul Mediterraneo occidentale il 22. Alla sera del 23 una vasta area di bassa pressione occupa gran parte dell'Europa, con centri a mm. 751 sulla penisola Scandinava, a mm. 752 sui Paesi Bassi, a mm. 752 sul Mediterraneo occidentale (tra la Spagna e le Baleari): le manifestazioni temporalesche riprendono in forma più o meno estesa e raggiungono la massima diffusione e violenza nel giorno successivo, in cui si verifica un rapido cambiamento nello stato del tempo.

Nella carta isobarica dell'Europa alle ore 8 del 24 luglio (1) (Tav. I) si notano tre aree cicloniche: la prima, a mm. 754, sulla penisola Scandinava, la seconda, a mm. 753, tra la Gran Bretagna e l'Austria, e la terza, a mm. 752, sull'Alta Italia. L'anticiclone atlantico protende un promontorio a N della catena alpina. Le depressioni sull'Europa centrale e sull'Alta Italia sono collegate da uno stretto corridoio di bassa pressione ad E delle Alpi. Un fronte freddo attraversa il Mediterraneo occidentale, il Mar Ligure, e la Valle del Po; un fronte caldo, dalla Val Padana orientale, raggiunge i Paesi Bassi attraverso l'Alto Adriatico, l'Austria e la Germania.

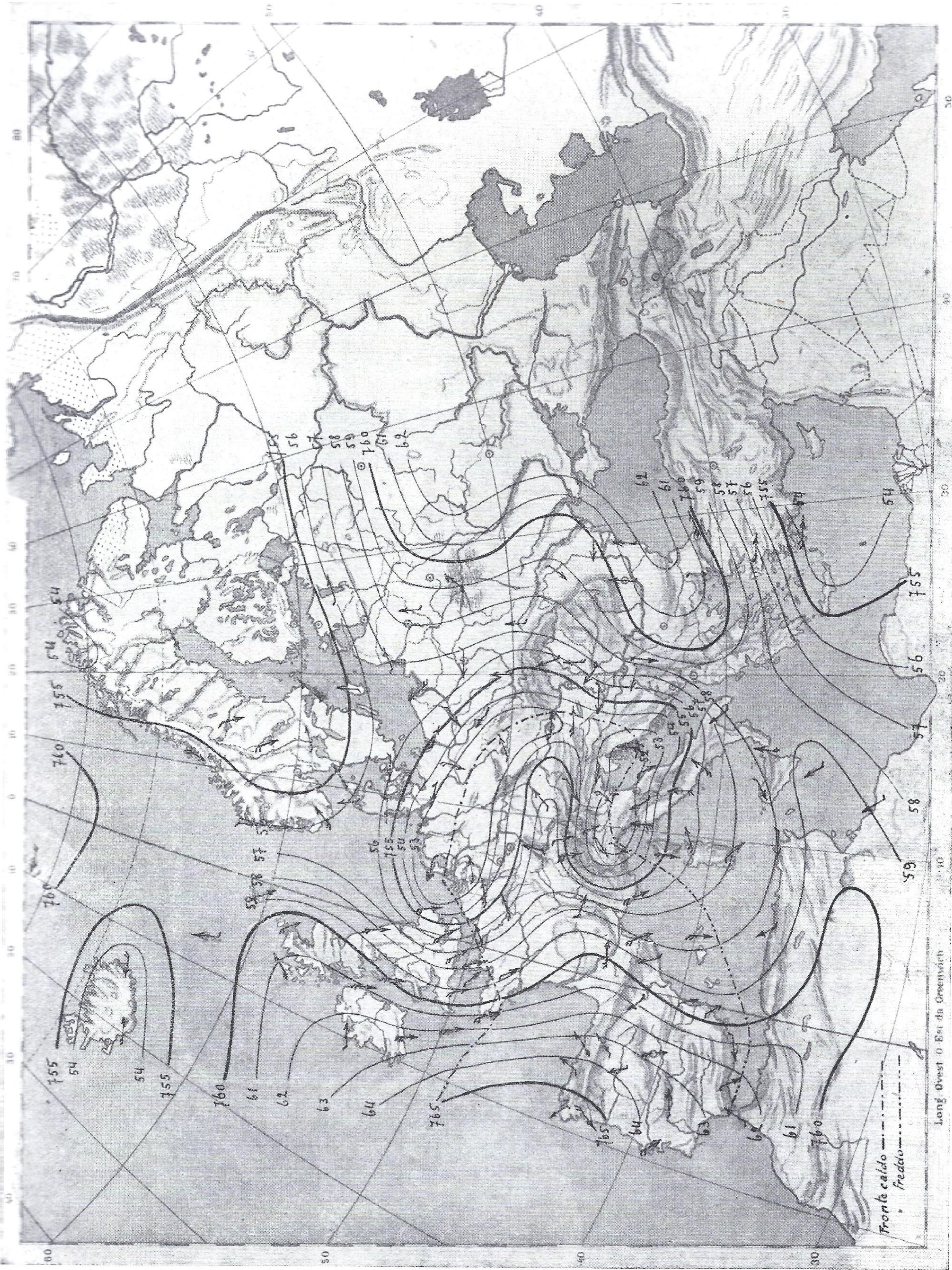
Dalla carta isobarica dell'Italia (ore 8, 24 luglio) (Tav. II) si rileva che la depressione dell'Alta Italia presenta due minimi a mm. 751, uno sulla Valle occidentale del Po e Mar Ligure, l'altro sulla Val Padana orientale e Alto Adriatico. Due cunei da Nord si espandono sulla Val Padana centrale e sulla pianura Veneta occidentale. Alte pressioni avanzano da SE, lungo l'asse della Penisola, e da SW sul medio Tirreno, separando la depressione sul Mar Ligure da un'altra secondaria centrata a mm. 753 sul basso Tirreno.

Alle ore 15 (V. carta isobarica dell'Alta Italia, Tav. III), la depressione dell'Alta Italia, approfonditasi nel frattempo, va spostandosi verso NE, mentre le alte pressioni avanzano rapidamente da occidente.

Alle ore 19 la depressione dell'Alta Italia si è fusa con quella dell'Europa centrale (minimo mm. 750 Polonia). Permane il promontorio da W sull'Europa centrale, e la pressione è notevolmente aumentata sul Mediterraneo occidentale e centrale. Sull'Italia si nota una larga saccatura da NE.

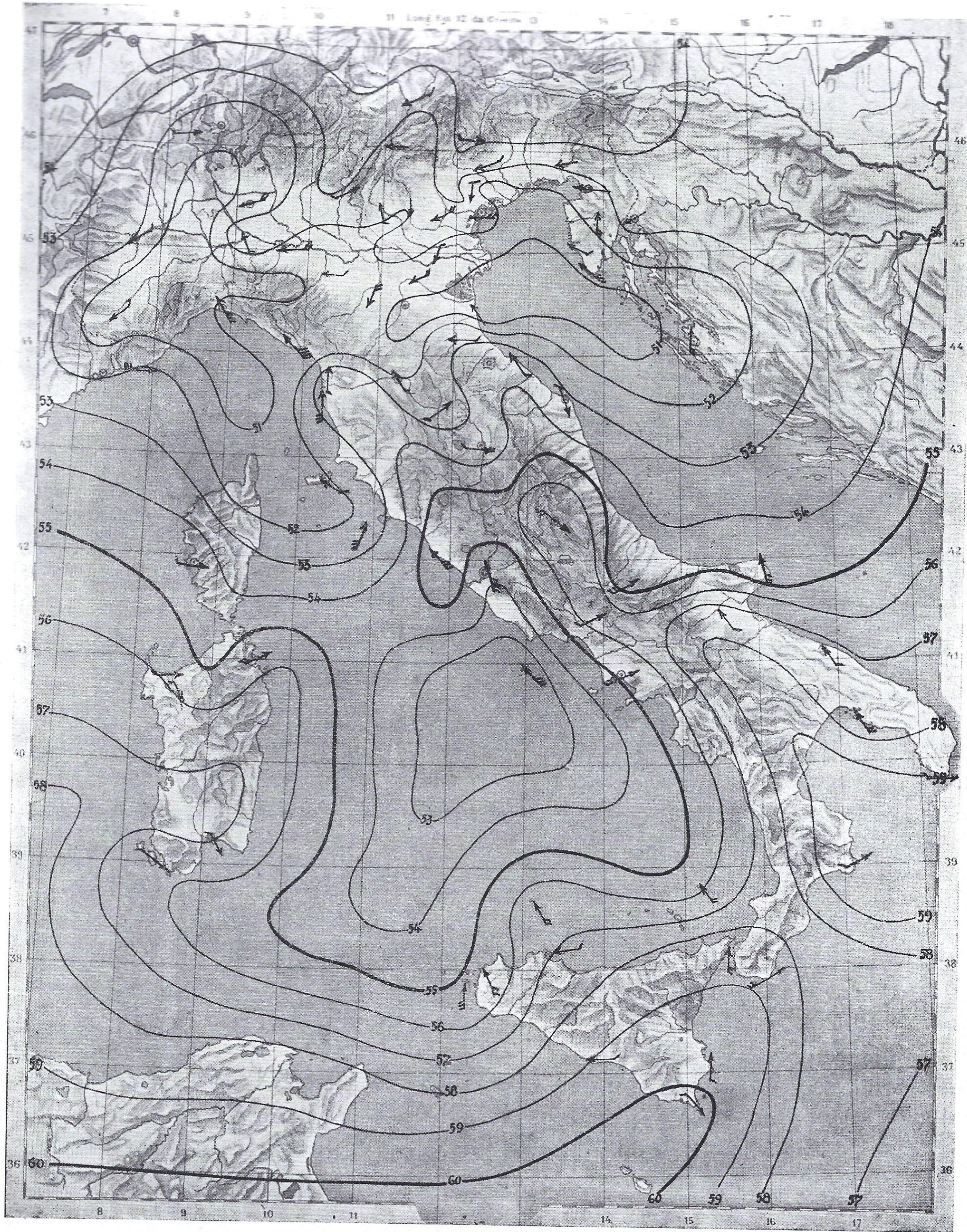
---

(1) Le carte isobariche furono redatte in base ai bollettini dell'Ufficio Presagi di Roma, e ai dati cortesemente forniti dagli Osservatori italiani.

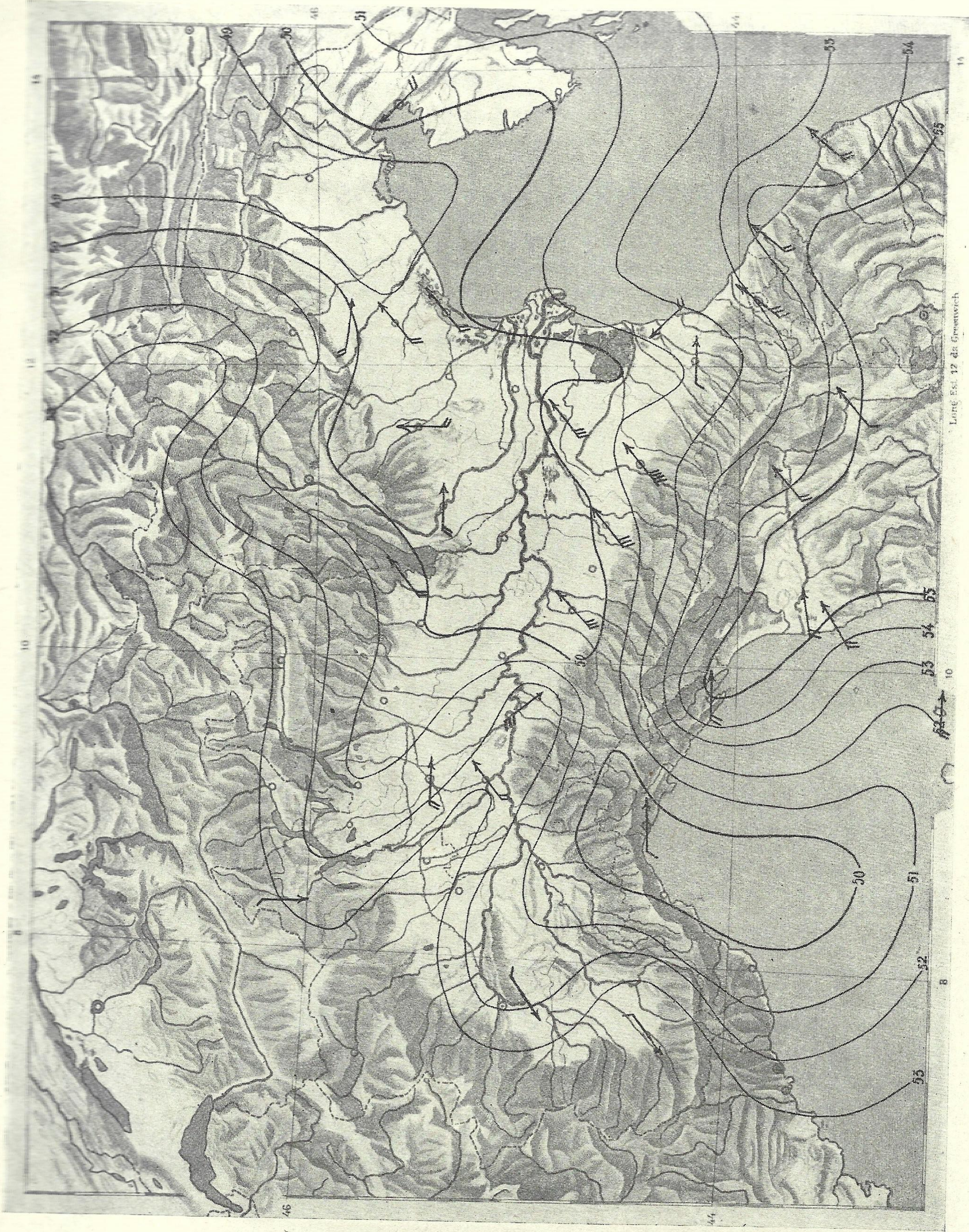


Situazione isobarica europea alle ore 8 del 24 luglio 1980.





Situazione isobarica dell'Italia alle ore 8 del 24 luglio 1930.



Loreg Est. 12 da Greenwich

Situazione isobarica dell'Italia settentrionale alle ore 15 del 24 luglio 1930.

Il fronte freddo ha raggiunto alle ore 19 la seguente posizione: Spagna settentrionale-Mediterraneo occ.-basso Tirreno-Italia centrale-foce del Po-Veneto orientale-Austria.

\* \* \*

Abbiamo dato particolare rilievo alla situazione isobarica, non perchè si voglia in essa ricercare la causa diretta della formazione della tromba, ma perchè essa rappresenta una condizione favorevolissima allo scoppio dei temporali; di uno dei quali la tromba non fu, come vedremo, che una manifestazione particolare.

Così riteniamo utile, anche in relazione alla teoria meccanica basata sull'esperienze di Vettin, e alle vedute di Wegener sulla formazione delle trombe, riportare i dati relativi ai venti al suolo e a quota, rilevati da quelle stazioni che effettuano osservazioni aerologiche:

a) Venti al suolo:

Conegliano: mattino del 24 luglio 1930: vento debole da ENE e da NE;

Treviso: ore 8: vento debole da N;

Padova: ore 8: vento moderato da NE;

Rovigo: ore 8: vento debole da NNE;

Vicenza: ore 8: calma (N);

Gorizia: ore 8: calma (ENE);

b) Venti a quota:

	m. 200		m. 500		m. 1000		m. 1500		m. 2000	
	o r e									
	8	19	8	19	8	19	8	19	8	19
Milano (Taliedo) .....	ESE 47	NNW 10	SE 24	NNW 29	—	—	—	—	—	—
Torino (Mirafiori) .....	—	—	—	SSW 12	—	SW 11	—	—	—	—
Padova (ore 14 e 18) .....	SW 40	WSW 40	SW 32	W 58	SW 22	—	—	—	—	—
Zara .....	—	SSE 37	—	S 40	—	—	—	—	—	—
Genova .....	—	—	—	SSW 7	—	ENE 21	—	—	—	WNW 34
Modena .....	NE 10	—	NE 15	—	—	—	—	—	—	—
Firenze .....	—	WSW 22	S 18	WSW 31	SSW 32	—	WSW 49	—	—	—
Livorno .....	—	—	—	SW 34	—	SW 38	—	SW 49	—	—

Direzione delle nubi: (ore 8 del 24 luglio):

Conegliano: SW.

Treviso: SW.

Belluno: NW.

Bolzano: SW.

Trento: SE.

Pola: SW.

Pisino: S.

Fiume: SW.

Gorizia: S.

\* \* \*

La sera del 23 si abbattè sulla provincia di Treviso un temporale violentissimo, proveniente dalla Bocca del Brenta, accompagnato da forti grandinate: la vasta zona colpita dalla



Fig. 1.

Grandine sul Montello.

randine abbraccia Asolo, Maser, Cornuda, Crocetta, il Montello, Susegana, Parè di Conegliano, S. Lucia di Piave, Ramera di Mareno, S. Vendemiano, Codognè, Gajarine, ed oltre.

Sul Montello la grandine raggiunse l'altezza di cm. 40, e in certi punti formò dei cumuli di oltre 1 metro d'altezza (fig. 1).

Il giorno 24 dei temporali particolarmente violenti scoppiarono su tutta l'Alta Italia, accompagnati da venti forti e fortissimi, prevalentemente dal III quadrante, e qua e là da grandine.

Ne citiamo alcuni:

Longarone: due temporali con acquazzoni fortissimi;

Belluno: temporale con vento fortissimo, della durata di pochi minuti, alle ore 13;  
Falzarego (m. 2015 s. l. m.): temporale con vento forte;  
Venezia lido: forte mareggiata;  
Gorizia: temporale al mattino;  
Trento: temporale nel pomeriggio;  
Vicenza: id.;  
Biella: nubifragio al mattino;  
Alessandria: bufere di vento al mattino e nel pomeriggio;  
Tortona: temporale furioso al mattino, con grandinate nei dintorni;  
Acqui: vento fortissimo nella notte: violento temporale con grandine al mattino;  
Valenza: violenti temporali con raffiche di vento;  
Intra: temporale sul Lago Maggiore verso mezzogiorno;  
Piacenza: temporali violentissimi, con forte vento al mattino e nel pomeriggio;  
Domodossola: temporale nella notte dal 23 al 24;  
Pavia: id.;  
Cuneo: temporale nel mattino;  
S. Remo: temporale nella notte del 23 al 24.

\* \* \*

La tromba appartenne ad un temporale, scatenatosi fra le ore 13 e le 15 nelle provincie di Treviso e di Udine (1).

Una chiara idea di tale formazione temporalesca si ha dalla seguente descrizione del fenomeno, osservato da Montebelluna (a circa 15 chilometri a NE dall'origine della tromba, e a km. 2,5 dalla traccia di essa) (2).

(1) Tale fatto è pienamente in armonia con le vedute teoriche e con la statistica, ed anzi — come è detto più oltre — la tromba fu una formazione del margine meridionale del temporale. È noto che qualche autore sostiene l'esistenza di trombe non appartenenti a forme temporalesche; tale asserzione è destituita di fondamento, come mostrano chiaramente i fatti osservati che riporta A. Wegener nel suo magistrale lavoro « Wind- und Wasserhosen in Europa » (Vieweg u. Sohn, Braunschweig, 1917).

(2) Questa descrizione è dovuta al dott. R. Conte, il quale, per aver già prestato volontario servizio in questo R. Osservatorio, fu in grado di seguire il fenomeno con discernimento.

« Durante il mattino il cielo si mantenne sereno fin verso le 11, ora in cui cominciò a farsi intendere in distanza, in direzione NNW (di Montebelluna), l'eco del tuono. L'intensità del tuono aumentò alle 12<sup>h</sup> 30<sup>m</sup>, e simultaneamente grossi cumuli provenienti da E si addensarono verso NW ».

« Il cielo si coprì in breve di cumuli e cumulo-nembi. Alle ore 13 dei nembi temporaleschi si addensarono anche verso SW, e il tuono si fece sentire pure in quella direzione. Alle 13<sup>h</sup> 20<sup>m</sup> le nubi temporalesche di NW si spostarono verso SW, unendosi con quelle che già occupavano tale parte del cielo. Alle 13<sup>h</sup> 25<sup>m</sup> si ebbe un forte colpo di vento; dalle 13<sup>h</sup> 30<sup>m</sup> alle 13<sup>h</sup> 35<sup>m</sup> si produsse un fortissimo rumore (che più tardi si seppe essere dovuto alla tromba), e simultaneamente cadde una forte pioggia mista a grandine. Durante il passaggio del temporale non si avvertirono tuoni. La pioggia durò ben poco: dopo circa 20 minuti ricomparve il sole, mentre le nubi andavano diradandosi in direzione di E. Seguì ancora una breve pioggerella, dopo di che ritornò definitivamente il sereno ».

Da questa descrizione emerge come due temporali, provenienti uno dalla Bocca del Brenta e l'altro da SW, si siano uniti prima di Montebelluna (forse a S di Bassano), dando luogo ad un unico temporale, quello al cui margine appartenne la tromba.

\* \* \*

Il temporale raggiunse Conegliano alle 13<sup>h</sup> 5<sup>m</sup> circa (1). Il vento fu fortissimo (con raffiche di km./h 60 a 70). Si rilevò la assenza completa di manifestazioni elettriche (2).

Il passaggio della tromba alla minima distanza da Conegliano (km. 3,5) coincise con una violenta pioggia di breve durata; pioggia che ebbe l'intensità media di mm/h 54 circa, e la durata di 12 minuti (totale mm. 10,8). Prima del temporale il vento aveva direzione ENE; all'istante del passaggio girò a WNW con una rotazione sinistrorsa di 135°; rotazione tipica da passaggio di temporale.

I diagrammi dei registratori dell'Osservatorio (V. tav. VI) precisano l'andamento dei diversi elementi meteorici durante lo svolgersi del fenomeno. La durata della perturbazione barometrica fu di 18 minuti; la discesa totale di mm. 2,2; il minimo raggiunse il valore di mm. 742,6 (altezza del barometro s. l. m. m. 60.20); una piccola parte dell'escursione barometrica (mm. 0,4) ebbe durata brevissima. Il diagramma mostra anche come il passaggio del temporale generatore della tromba abbia coinciso con lo spostamento della depressione dell'Alta Italia.

\* \* \*

La zona di pioggia (V. carta d'assieme, Tav. IV) fu da noi ricostruita in base ad una severa critica delle informazioni ricevute: critica non facile ad eseguire, perchè, essendosi in quel giorno verificati nella regione altri temporali, talvolta le notizie, per confusione all'origine, risultarono contraddittorie. Come si rileva dalla carta, noi segnammo la zona di pioggia soltanto a cominciare da qualche chilometro ad ovest dall'origine della tromba: con questo non si volle escludere la caduta di precipitazioni più ad ovest; solo qui noi non estendemmo, perchè superflue, le nostre indagini. Lo stesso dicasi per la delimitazione settentrionale e orientale del temporale. In generale tutte le osservazioni sono concordi nell'affermare che lungo la traccia, e nella breve striscia a Sud di essa, cadde solo pochissima pioggia (spesso « qualche goccia » appena), mentre il temporale si manifestò in forma ben più spiccata nel

(1) La massima depressione barometrica si verificò alle 13<sup>h</sup> 55<sup>m</sup>, mentre la tromba passò a S di Conegliano qualche istante dopo. Ricordiamo qui che un fatto analogo si verificò per la tromba del 28 agosto 1905 a St. Maur et Champigny: al passaggio della quale il barografo dell'Osservatorio del Parc St. Maur iniziava una brusca salita, come nel caso attuale. (Th. Moreaux: « Trombe du 28 Août à St. Maur et Champigny », Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 11 sept. 1905).

(2) Anche questo è un fatto non nuovo: fra le trombe nelle quali non si notarono manifestazioni elettriche ricordiamo quella del Gharb (Marocco) dell'8 maggio 1918 (J. Peiriguy: « Sur une trombe dans le Gharb », Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 3 juin 1918).

+ Luogo di rinvenimento di oggetti trasportati dalla tromba

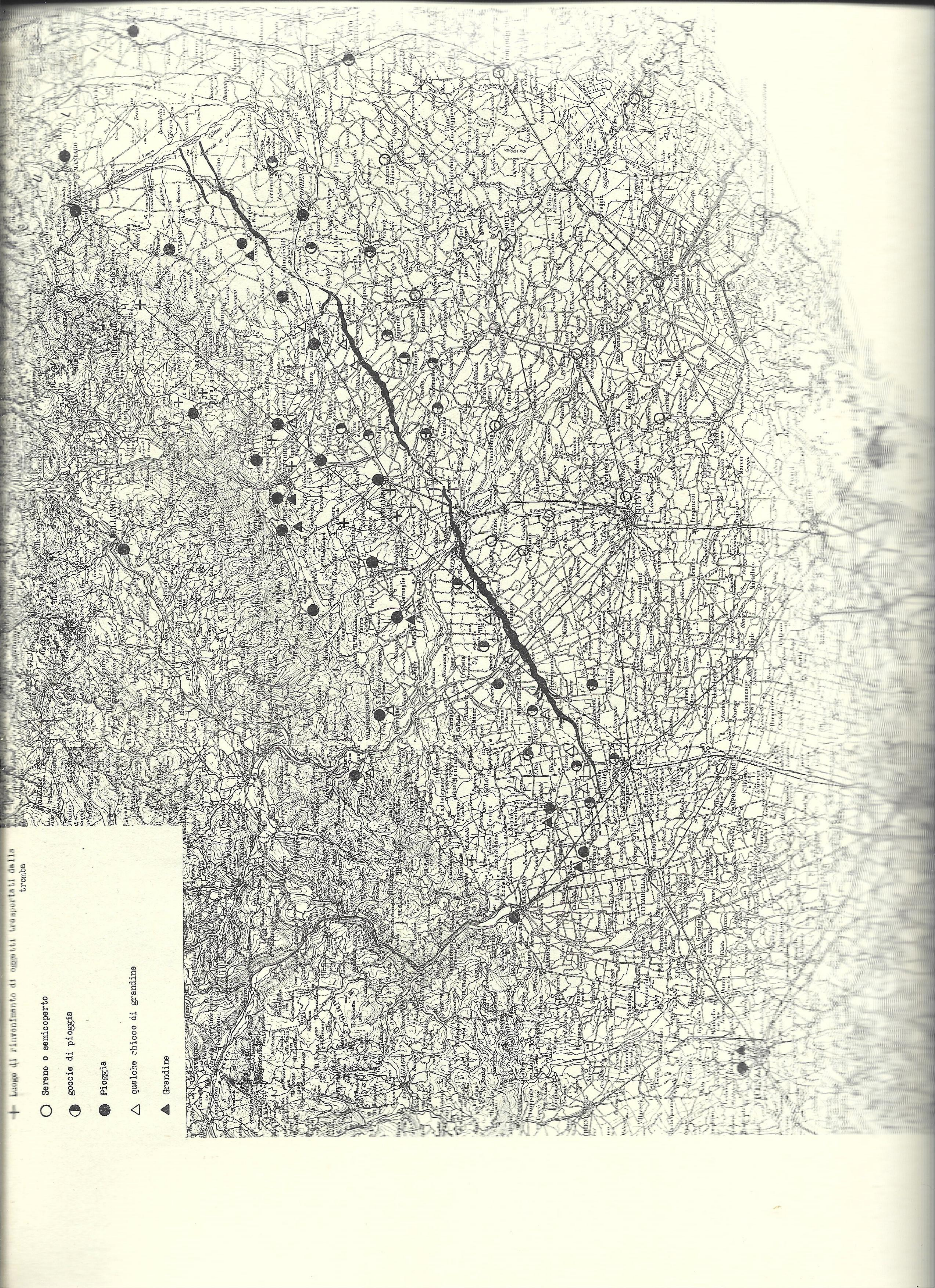
○ Sereno o semicoperto

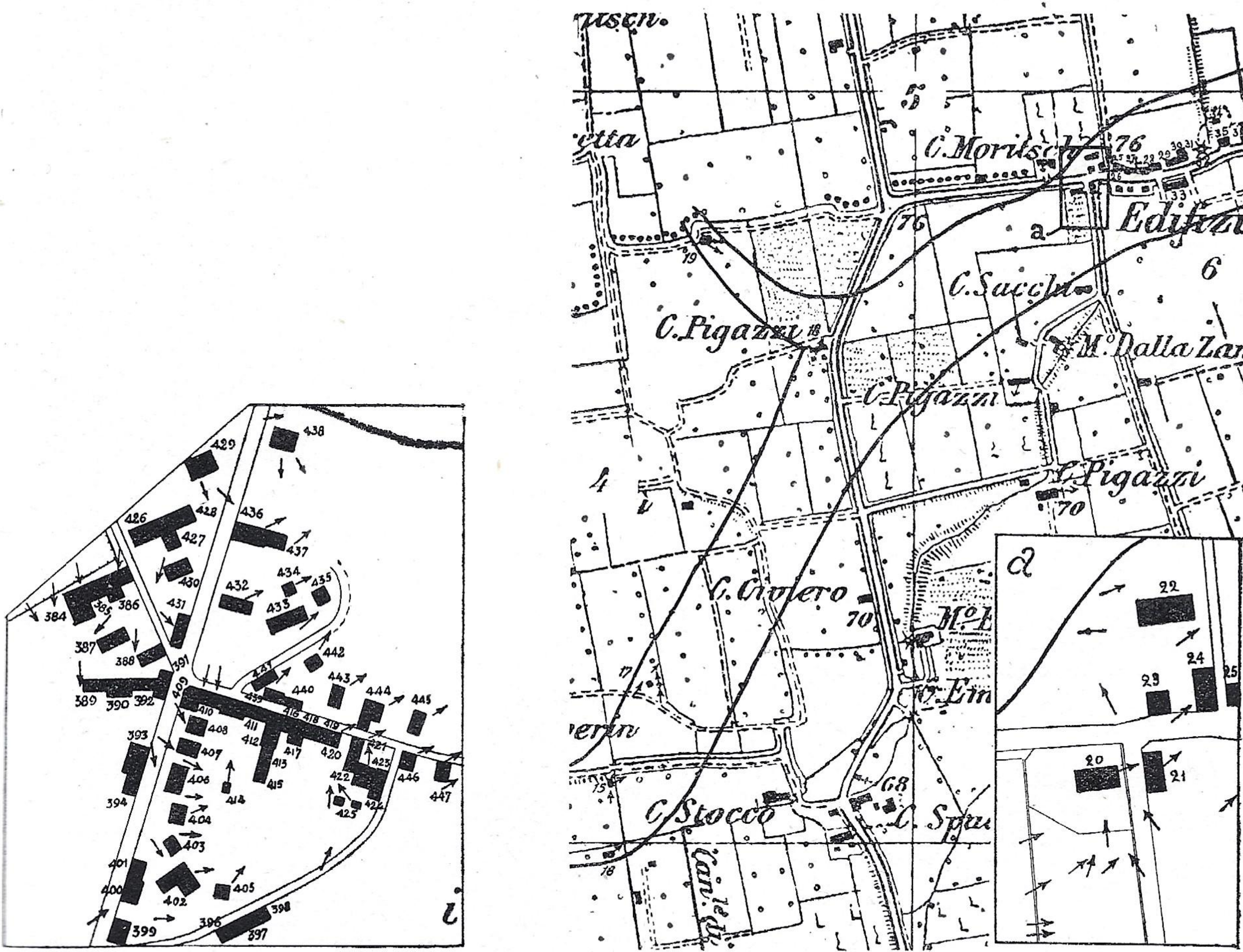
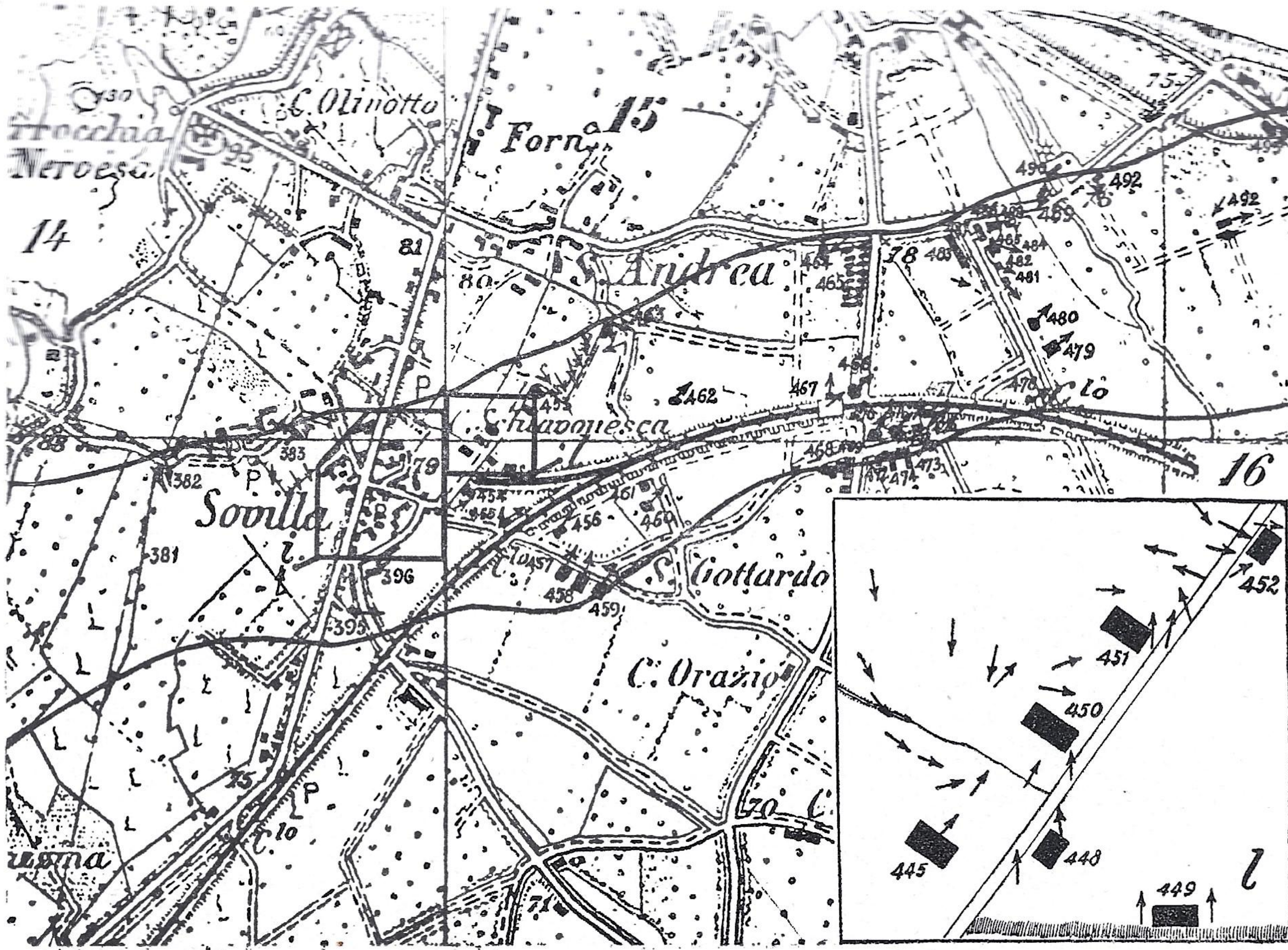
◐ gocce di pioggia

● Pioggia

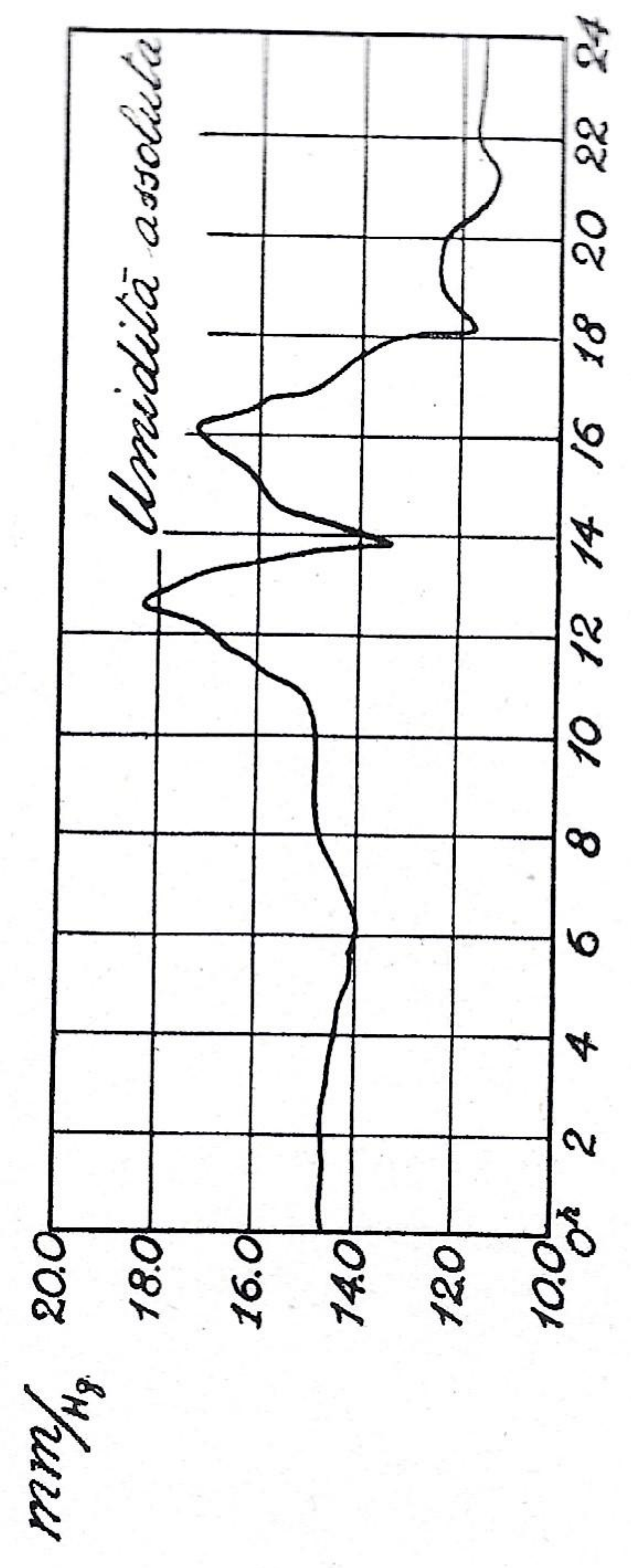
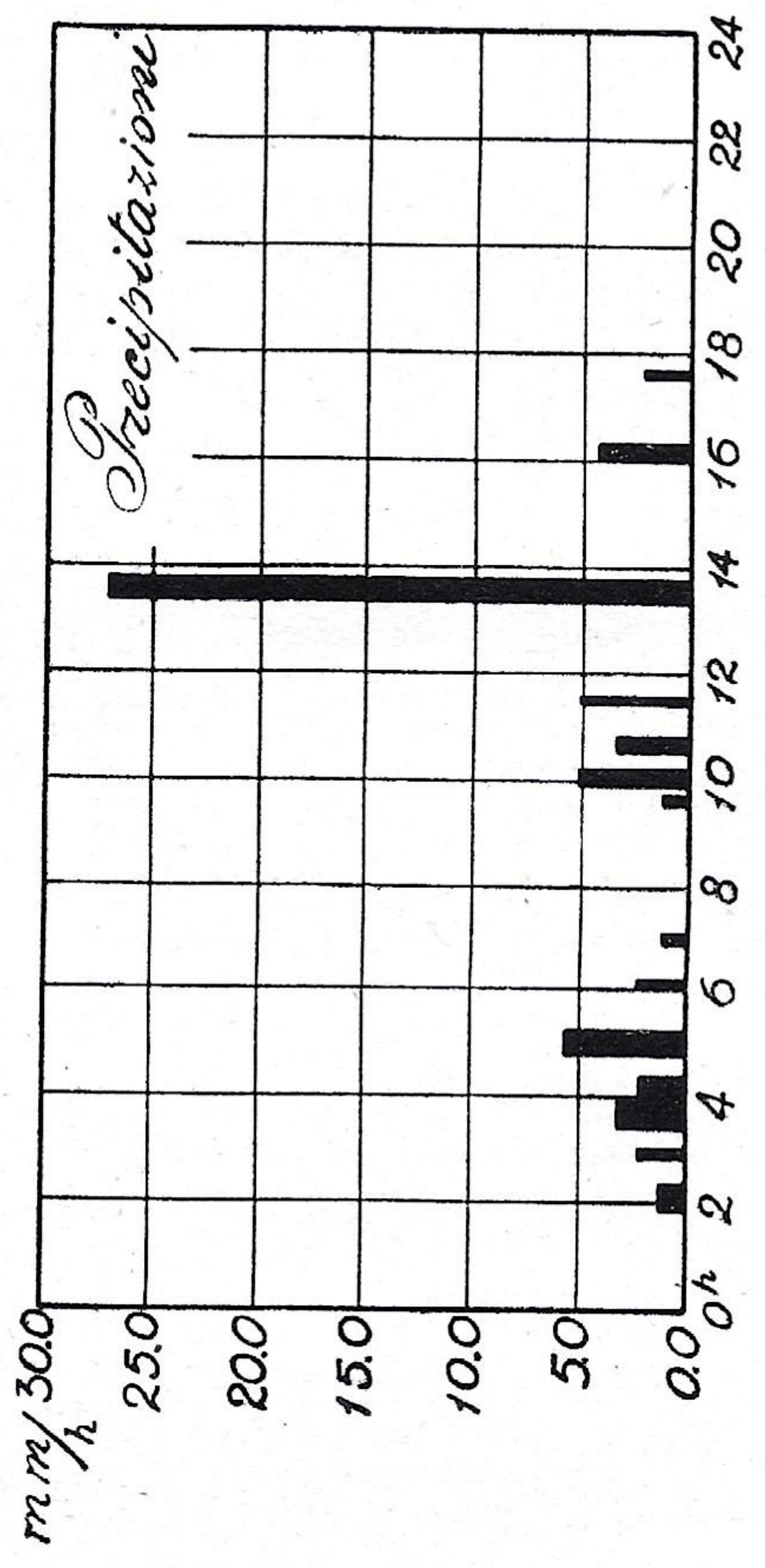
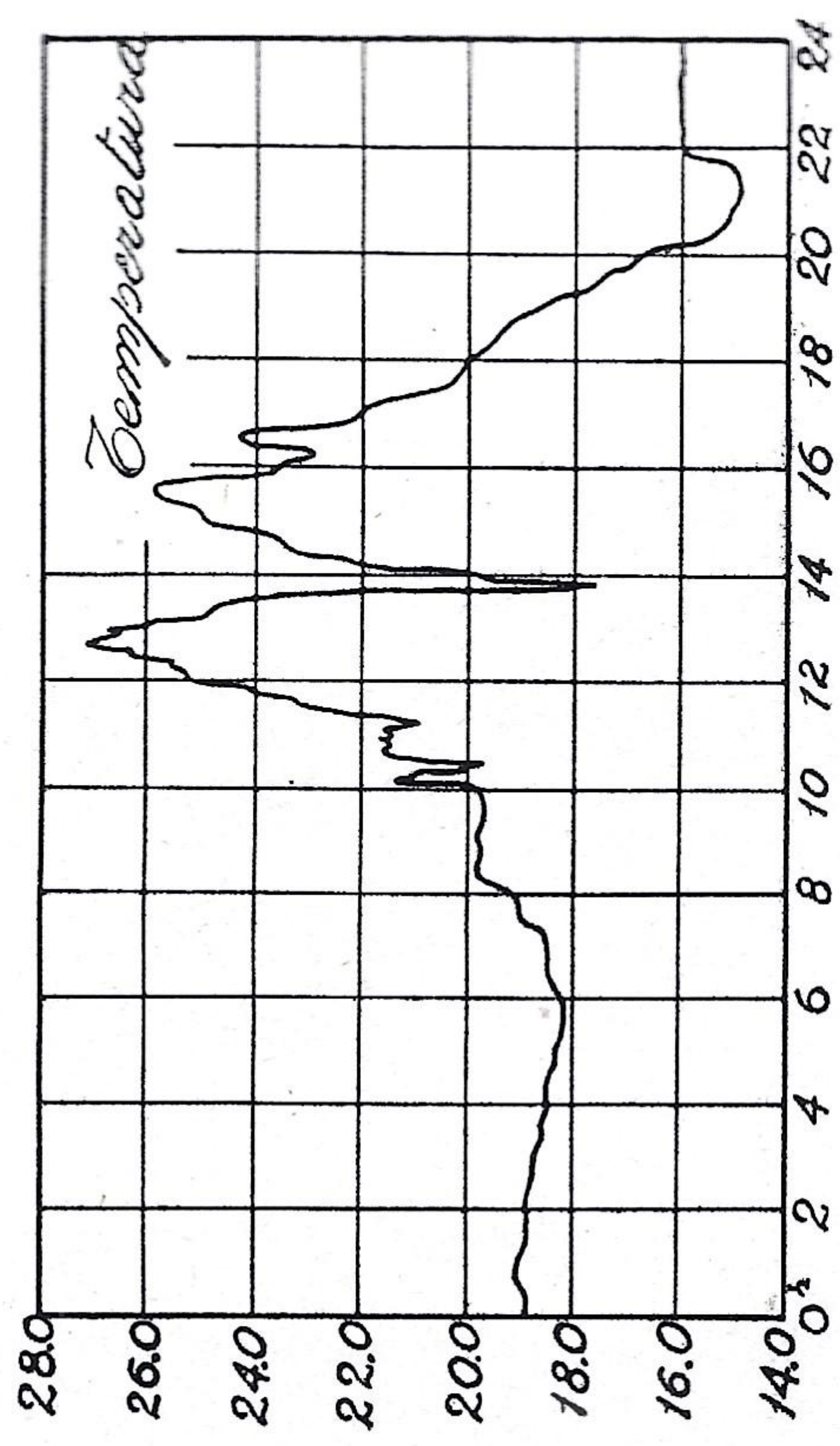
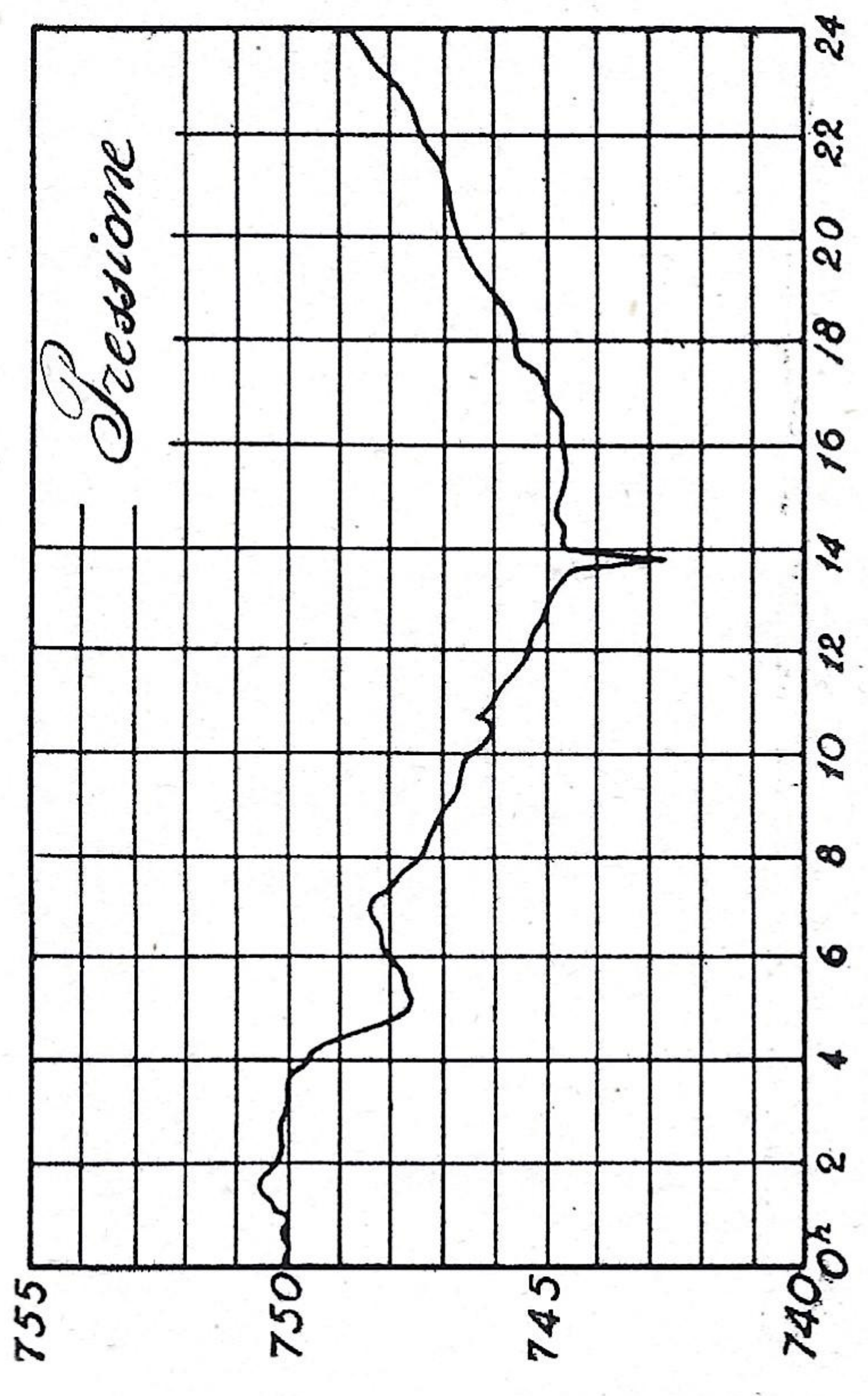
△ qualche chicco di grandine

▲ Grandire





Fogli n. 5 e 15 della carta al 10.000 e loro allegati 1:2000.



L'andamento dei diversi elementi meteorologici a Conegliano dalle ore 0 alle ore 24 del 24 luglio 1930.



settore Nord. Anche la grandine cadde esclusivamente nella zona a sinistra (Nord) della traccia; mentre lungo questa si ebbe appena qualche chicco, spesso di dimensioni notevoli; negli altri punti la grandine cadde irregolarmente, e in generale senza particolare intensità.

La distribuzione della pioggia e della grandine rispetto alla traccia della tromba è indicata in modo evidente nella Carta d'assieme: dalla quale si rileva come la tromba *abbia costituito una formazione del margine meridionale del cumulo-nembo generatore* (1).

## II. — *Percorso della tromba. — Durata, velocità di traslazione. — La traccia.*

(V. Carta d'assieme, Tav. IV).

Oss.: Per la ricostruzione del fenomeno nei suoi dettagli ne estendemmo il rilievo nella scala 1:10.000, avvalendoci delle tavolette della Carta d'Italia 1:25.000, opportunamente — per la parte interessata — ingrandite e aggiornate; in alquanti casi, la rappresentazione in scala 1:10.000 non essendo sufficiente, furono dati dei dettagli nel rapporto 1:2.000. Ne risultò una carta costituita da 40 tavolette, comprendenti l'intera traiettoria della Tromba, nella quale furono segnati, con ricchezza di particolari, oltrecchè la traccia, tutti gli edifici colpiti, le direzioni di abbattimento degli oggetti, ecc. La carta anzidetta non si potè, per ovvie ragioni tipografiche, qui riprodurre: e viene conservata nell'Archivio del R. Osservatorio di Conegliano. Di essa, riportiamo qui — più che altro a titolo d'esempio — due tavolette, con i corrispondenti estratti 1:2000; e precisamente i nn. 5 — Edifizio, e 15 — Sovilla del Montello (Esse sono state, per necessità tipografiche, alquanto rimpicciolite).

La striscia colpita dalla tromba è lunga km. 80. Ha origine a Castello di Godego (a km. 4 NW di Castelfranco), dove si rilevarono sul terreno le prime tracce del passaggio: tracce consistenti in abbattimento di muri, e in sradicamento di alberi, a mostrare come la tromba, fin dal suo primo abbassarsi, fosse caratterizzata da grande violenza. Il piede della tromba abbandonò definitivamente il suolo alle Magre di Cordenons, sul greto del torrente Cellina (a circa km. 12 NNE di Pordenone). In questo intervallo la tromba si alzò due volte dal terreno, interrompendo quindi — per circa km. 9 complessivamente — la sua opera di distruzione. In definitiva la traccia vera e propria risulta lunga km. 71; e divisa in tre tronchi, come segue:

### I. Tronco (km. 36):

Da Castello di Godego a « Edifizio » (km. 5 SW di Montebelluna) la traccia mostra come il piede della tromba raggiungesse il suolo soltanto a tratti: infatti le cose sono danneggiate in modo discontinuo, e maggiormente colpite appaiono le parti più elevate degli oggetti investiti. Da Montebelluna la striscia di distruzione segue — per Volpago, Selva, Sovilla — il margine meridionale del Montello; attraversa il Piave, km. 1 circa a N del Ponte della Priula, e prosegue fino a Mandre, dove il piede della tromba lasciò il terreno, per riprendere contatto con esso km. 5 più a NE;

### II. Tronco (km. 19):

La traccia riprende a circa km. 3 SE di Conegliano (a N di S. Michele di Ramera); attraverso i « Palù » raggiunge il Livenza a Ponte di Cavolano. Oltre il Livenza, ai « Prati di Camoi » — km. 3 ESE di Sacile — il piede della tromba nuovamente si alzò; per ridiscendere a km. 4,5 a NE;

### III Tronco (km. 16):

La traccia ridiventa manifesta a circa km. 2 NE di Fontanafredda; segue il margine SE degli abitati di Roveredo in Piano e di S. Quirino, e prosegue fino alle Magre di Cordenons (Magre di S. Quirino), a km. 4 NE di S. Quirino, dove la tromba si innalzò definitivamente. In questa zona una seconda traccia, dovuta a un secondo vortice appartenente alla stessa formazione, e quindi simultaneo al principale, ha inizio a km. 1 SW di S. Foca, e muore, dopo

(1) È interessante, per la perfetta concordanza con il caso attuale, qui riportare integralmente quanto il Wegener conclude dopo dotta e obbiettiva analisi di un grande numero di elementi raccolti: « Die angeführten « Beobachtungen über die Entstehung der Tromben bestätigen weiterlich auch unser früheres Ergebnis, dasz « sie Randgebilde des Cumulo-Nimbus sind. ... Dasz die trombe am Rande der Wolke sich befindet, wird « aber noch in zahlreichen anderen Beobachtungen ausdrücklich hervorgehoben ».

uno sviluppo di km. 5, ancora alle Magre di Cordenons (Magre di S. Foca), presso il greto del Torrente Cellina. Questa seconda traccia ha andamento parallelo alla precedente, dalla quale dista mediamente km. 2,

In diversi punti si notano brevi tracce dovute a trombe satelliti, le quali poi si fondono con la principale; e precisamente: a « Edifizio » (km. 10 dall'origine) a sinistra della traccia principale (rispetto al senso del moto di traslazione), una traccia che si riunisce alla prima dopo m. 300 di sviluppo;

a « Borghi » (progr. km. 14), a breve distanza l'una dall'altra: una traccia a destra, che si riunisce alla principale dopo m. 900 di sviluppo; un'altra a sinistra, con m. 1500 di sviluppo; ed infine una terza, ancora a sinistra, lunga m. 1300;

a « Casa Balliana » (progr. km. 60) una traccia a sinistra, che si fonde con la principale dopo m. 1900 (1).

\* \* \*

L'apprezzamento della durata del fenomeno, e quindi la determinazione della velocità di traslazione della tromba, presentò non poche difficoltà, dovute all'incertezza delle notizie indicanti l'ora del passaggio della meteora nelle singole località. In generale si ebbero informazioni vaghe, con ordini di approssimazione troppo larghi, perchè potessero riuscire di qualche utilità. Fra tutte le indicazioni raccolte soltanto 21 diedero il tempo con una pretesa approssimazione di 5 minuti. Ma anche fra queste diverse dovettero essere scartate: in definitiva si ritennero come accettabili le seguenti:

LOCALITÀ	Ora del passaggio	Distanza in km. dall'origine
Castel di Godego .....	13 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>	0
Sud di Montebelluna .....	13 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup>	15
Selva .....	13 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>	24
Sovilla .....	13 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	29
Barco .....	13 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup>	34
Sud di Conegliano .....	13 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> (*)	39
Roveredo .....	14 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	70
S. Quirino .....	14 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>	75

(\*) Ora rilevata all'Osservatorio Meteorologico.

Questi dati sono concordi, e forniscono come velocità media  $55 \div 60$  km/h. Si può quindi in definitiva assumere come velocità media m/s. 16 (km/h 57,5), e ritenere pertanto che il fenomeno abbia avuto la durata di circa 84 minuti, con inizio alle 13<sup>h</sup> 16<sup>m</sup> e fine intorno alle 14<sup>h</sup> 40<sup>m</sup> (2).

(1) Lo sviluppo lineare della tromba fu, dal punto di vista statistico, molto elevato: la lunghezza media calcolata per 44 trombe esaminate dal Wegener (op. cit., p. 101 e segg.) risulta infatti di km. 36; la massima osservata di km. 400; la frequenza massima (0,53, e cioè più della metà) spetta alle lunghezze comprese fra 1 e 10 chilometri. Delle 44 trombe citate soltanto 4 hanno lunghezza maggiore di quella del 24 luglio 1930, e precisamente le trombe: del settembre 1669, dalla Rochelle a Parigi, con km. 400; del 22 agosto 1456, attraverso l'Italia Centrale da Ancona all'Arno, con km. 260; dell'11 maggio 1910, nella Boemia occidentale, con km. 260; del 3 luglio 1899, di Borås, in Svezia, con km. 115.

(2) Anche la durata e la velocità di traslazione della tromba in esame sono, nei riguardi statistici, considerevoli:

di 62 trombe prese in esame dal Wegener (op. cit., p. 103 e segg.) soltanto 15 hanno durata maggiore di mezz'ora; e fra queste solo 5 hanno durata maggiore della tromba del 24 luglio 1930, e precisamente le trombe:

dell'11 maggio 1911, nella Boemia occidentale, con 3<sup>h</sup> 20<sup>m</sup>; del 13 agosto 1887, fra Homps e la Redoute (Francia, Aude) con ore 2; del 29 ottobre 1832, nel Mare di Malta, con « qualche ora »; del 17 giugno 1745 (?), a SW di Clermont (Francia), con 1<sup>h</sup> 30<sup>m</sup>; del 21 settembre 1897, a Oria (Lecce), con « più ore »;

Purtroppo il numero delle notizie attendibili è così scarso che non permette di rilevare se nel corso del fenomeno si siano verificati mutamenti di velocità; ciò che sarebbe stato di sommo interesse determinare, soprattutto per mettere le eventuali variazioni di velocità di traslazione in rapporto all'andamento sinuoso della traccia. Parrebbe, a detta dei testimoni oculari, che durante l'attraversamento del Piave la tromba avesse subito un rallentamento: accenniamo appena a tale notizia, perchè non sufficientemente comprovata; nè, a maggior ragione, vogliamo avanzare alcuna ipotesi sulle cause che avrebbero potuto provocare tale rallentamento.

L'andamento generale della traccia è pressochè WSW-ENE (1). L'azimut medio della direzione di essa è di 239°. Se noi determiniamo l'azimut per ogni singolo tronco troviamo

per la velocità il Wegener esamina 35 casi (op. cit., p. 99 e segg.): la velocità media risulta di m/s. 6,3 (km/h. 23); e solo in 5 casi si rilevano velocità maggiori di quella della tromba del 24 luglio 1930; e precisamente per le trombe: del 1° dicembre 1887, a Upsala, con km/h 86; del 6 agosto 1776, a Carcassonne, con velocità non indicata, ma certamente maggiore di km/h. 70; del 29 luglio 1687, nel Veneto Occidentale, con km/h 72; del 17 ottobre 1869, alle Bocche di Cattaro, con km/h 65 a 70; dell'11 maggio 1911, nella Boemia Occidentale, con km/h 60 a 70.

È noto che la velocità massima spetta alle trombe provenienti da direzioni comprese fra WNW e SSW (la tromba da noi esaminata ha provenienza WSW), per le quali la velocità media risulta di km/h 30 circa.

La tromba del 24 luglio 1930 appartenne ad una formazione temporalesca tipica: ora la velocità media di traslazione dei temporali è alquanto maggiore di quella delle trombe: il prof. Pochettino (« Risultati degli studi compiuti durante l'anno 1900 nella Stazione Governativa di studio dei fenomeni temporaleschi e di controllo agli esperimenti grandinifughi di Conegliano », Annali del R. Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica, s. II, vol. XXI, P. I. 1899) dà come velocità media di traslazione per la nostra zona km/h 35, e mostra come siano più veloci i temporali provenienti dai quadranti occidentali, ed in ispecie quelli provenienti da W e SW, mentre la velocità minima appartiene a quelli da S e SE; per la direzione SW dà egli come media km/h 43, per W km/h 47. Determina anche (in base a un migliaio di osservazioni) le velocità per i singoli mesi, ottenendo i seguenti valori, che mostrano come i temporali di luglio siano i più veloci:

M E S E	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Velocità media km/h .....	32,4	34,3	43,5	36,7	36,9

Cita infine un temporale che attraversò Conegliano, con provenienza da NW, a velocità superiore ai km/h 100.

La velocità massima spetta però ai temporali notturni, mentre per i temporali compresi fra le ore 14 e 16 la velocità media è soltanto di km/h 27,9.

Ricordiamo infine per incidenza che il mese di luglio è per le trombe il mese di massima frequenza (0,21), mentre per la frequenza oraria il massimo spetta all'intervallo ore 16÷18 (0,23) (Wegener, op. cit., p. 89).

(1) Riportiamo dal Wegener (op. cit., p. 97 e seg.) la seguente tabella, in cui sono date — desumendole dalla osservazione di 112 trombe — le frequenze delle direzioni di provenienza:

DIREZIONE	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Frequenza:								
nell'anno .....	0,06	0,04	0,07	0,09	0,12	0,26	0,26	0,10
nel mese di luglio .....	0	0	0	0,15	0,15	0,30	0,33	0,07

Come si vede le frequenze sono massime per le direzioni di W e SW; tali direzioni coincidono pure con le direzioni di massima frequenza dei temporali. Secondo il Pochettino (op. cit.) (per l'Italia nord-orientale):

DIREZIONE DEL TEMPORALE	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Frequenza .....	0,13	0,08	0,08	0,05	0,10	0,15	0,25	0,16

un fatto degno di nota, e cioè che esso è costante per ogni tronco, mentre nei due tratti in cui la tromba lasciò il suolo risulta alquanto minore; abbiamo infatti:

	Azimut
I tronco . . . . .	243°
I intervallo . . . . .	219°
II tronco . . . . .	243°
II intervallo . . . . .	217°
III tronco . . . . .	237°

Si rileva così come la tromba al suo abbassarsi deviasse nettamente verso destra, rispetto alla direzione da essa conservata finchè si manteneva alta sul suolo. Tale deviazione potrebbe essere posta in relazione all'attrito esercitato dal suolo contro il piede della tromba. Questa supposizione sarebbe suffragata dal fatto che l'azimut del III tronco risulta minore di quello dei primi due, ovvero minore risulta la deviazione verso destra: ora appunto nel III tronco la tromba si manteneva spessoalzata sul suolo; o comunque aveva già perduto gran parte della sua iniziale velocità di rotazione (e quindi minori erano gli attriti), come mostra chiaramente la traccia del suo passaggio. Anche l'andamento sinuoso della traccia nei diversi tronchi è forse da porsi in relazione con l'attrito al suolo, che agiva in modo diverso a seconda del diverso abbassarsi e innalzarsi della tromba, per effetto dei suoi movimenti verticali: movimenti che si ripetevano in forma quasi ritmica, come mostrano, oltre alle osservazioni oculari, anche le continue variazioni di larghezza della traccia, che si succedono in forma di pulsazioni.

La traccia si sviluppa completamente in pianura, salvo per breve tratto lungo le pendici meridionali del Montello; e qui si rileva un altro fatto interessante: la tromba passò da Volpago (m. 90 s. l. m.) a Bavaria (m. 127 s. l. m.), superando un dislivello di circa 40 metri, per ridiscendere pressochè alla stessa quota (m. 85 s. l. m.) poco prima di Sovilla; ed a Volpago si verifica una deviazione verso sinistra della direzione della traccia di 8° (da azimut 241° ad azimut 233°), a Bavaria una deviazione verso destra di 18° (da azimut 233° ad azimut 251°); si noti che mentre lo sviluppo del percorso in ascesa è di circa km. 6, quello in discesa supera di poco km. 1.

È ancora da osservare che la tromba, con le sue deviazioni, agì quale causa deviatrice del temporale, come si rileva dall'andamento del margine meridionale delle precipitazioni (V. carta d'assieme. Tav. IV): questo fatto conferma che la tromba doveva formare con il cumulo-nembo generatore un unico complesso dinamico.

Assumemmo come limiti della traccia (la quale fu rilevata con ogni cura sul terreno) i seguenti effetti, che rivestissero un certo carattere di continuità: abbattimento di piccoli ostacoli, sradicamenti di alberi, i più lievi danneggiamenti ai fabbricati, come sollevamento di tegole, ecc. Fu cosa non facile fissare e mantenere costanti questi limiti, che del resto sono tuttaffatto convenzionali, perchè, ovviamente, la variazione della velocità del vento nello spazio non fu nettamente discontinua, pur decrescendo molto rapidamente ai lati; e le difficoltà incontrate furono aggravate dall'essersi in quel giorno verificati, per l'estrema violenza dei venti, danni di qualche entità anche al di fuori della traccia della tromba. Si può comunque grosso modo ritenere che la velocità massima del vento corrispondente agli anzidetti limiti si aggirasse intorno ai km/h 110, ovvero fosse di pressochè m/s 30. Questo è pertanto il valore corrispondente alla « minima velocità dannosa » che introdurremo nei calcoli; mentre vedremo successivamente come abbiamo proceduto per tentar di determinare il valore della velocità massima raggiunta dal vento nella meteora.

La larghezza della traccia risulta in generale rilevante, a mostrare ancora la violenza del fenomeno. Citiamo i seguenti valori:

A Castel di Godego (progressiva 0) la larghezza è di m. 50; aumenta lentamente in un primo tratto (e ricordiamo che qui la tromba raggiungeva solo a sbalzi il suolo), raggiunge

m. 150 a « Mulino di Ferro » (progr. km. 6). A « Borghi » (progr. km. 14), prima dell'incontro del vortice principale con tre vortici secondari laterali, la larghezza della traccia è ormai di m. 330; e sale a m. 590 alla fusione dei quattro vortici. A « Casa Conte » (progr. km. 18) misura m. 750, ed è questa la massima larghezza rilevata in tutto il percorso. Lungo le pendici del Montello la traccia conserva notevole larghezza: così è di m. 600 a Volpago (progr. km. 22), di m. 740 poco prima di Giavera (progr. km. 25). Va restringendosi dopo Giavera; è di m. 400 a Sovilla (progr. km. 29), di m. 330 al « Barco » (progr. km. 34), e finalmente alla fine del primo tronco (progr. km. 36) ridiscende a m. 50.

Lungo il II tronco la traccia conserva larghezza dello stesso ordine: occorre qui dire che la violenza del fenomeno non era in questo tratto affatto scemata, contrariamente a quanto da molti è ritenuto: se l'entità dei danni materiali arrecati fu minore, ciò è dovuto esclusivamente al fatto che la regione è molto meno densamente popolata che non la zona del Montello. All'inizio del II tronco (progr. km. 41) la larghezza della traccia è di m. 60; raggiunge m. 650 a « Campanelle » (progr. km. 48); m. 580 a « Casa Celotta » (progr. km. 51); va successivamente restringendosi, ed a « Case Poletto » (progr. km. 56) è di m. 320; subito dopo l'attraversamento del F. Livenza, a « Case Padernello » (progr. km. 58), è di m. 360; ed ai « Camoi » (progr. km. 61), fine del II tronco, è di m. 50.

All'inizio del III tronco (progr. km. 66) ritroviamo ancora m. 50; a « Ceolini » (progr. km. 67), dove nuovamente la tromba aveva raggiunta una certa violenza, m. 250; m. 350 a Roveredo in Piano (progr. km. 70), m. 400 a Nogheredo (progr. km. 73); m. 530 poco prima di S. Quirino (progr. km. 75); qui la traccia rapidamente si restringe, e alla fine del III tronco (progr. km. 80) la sua larghezza è ridotta a m. 30.

La larghezza media della traccia, desunta da un grande numero di misure, eseguite ad intervalli costanti, risulta:

di m. 410 per il I tronco;

di m. 410 per il II tronco;

di m. 300 per il III tronco;

(la media relativa a tutto il percorso ascende a m. 390).

Non può sfuggire la singolare relazione fra il valore della larghezza media e quello dell'azimut della corrispondente direzione; per i primi due tronchi, i cui azimut sono eguali, si hanno uguali larghezze (243°, m. 410); per il III tronco, ad azimut minore, corrisponde larghezza minore (237°, m. 300). Ora, poichè a larghezza maggiore di traccia corrisponde manifestamente maggiore attrito al suolo, è probabile che in questa coincidenza trovi conferma la prima avanzata supposizione, che la deviazione subita dalla tromba al suo abbassarsi dipenda dal valore dell'attrito al suolo (1).

Ci preoccupammo anche di ricercare nella traccia la posizione relativa della striscia lungo la quale il fenomeno manifestò la sua massima violenza. E questo al fine di fornire il valore di una grandezza utile per la determinazione degli elementi meccanici della meteora.

Questa ricerca presentò qualche limitazione, sia perchè in molti luoghi la tromba era multipla, sia per la difficoltà di trovare, su una stessa trasversale alla traccia, una serie abbastanza densa di punti, sui quali istituire confronti.

---

(1) Per 54 trombe prese in esame dal Wegener (op. cit., p. 157) la larghezza media della traccia risulta di m. 192; con un minimo di m. 6, e un massimo di m. 2300. Fra queste 54 trombe, soltanto 5 hanno una traccia di larghezza maggiore di quella del 24 luglio 1930; e precisamente le trombe: del 31 maggio 1892 di Novska (Slavonia), m. 2300 del 29 luglio 1687, del Veneto Occidentale, m. 692, massimo m. 930, minimo m. 465; del 17 novembre 1899 di Borås (Svezia), m. 600, massimo m. 1000; del 19 agosto 1890, di St. Claude in Jura (Francia-Svizzera), che raggiunse in qualche punto m. 1500; del 29 giugno 1774 di Volegk (Mecklenburgo), massimo m. 800, minimo m. 48.

Riportiamo qui i rilievi sui quali appoggiamo la nostra determinazione:

Progr. km.	Larghezza della traccia, $l$ , m.	Distanza della striscia di mag- gior danno dal margine sud, $d$ , m.	Rapporto $\frac{d}{l}$
14	510	110	0.22
17	500	140	0.28
18	530	165	0.31
19	450	120	0.27
23	410	120	0.29
24	490	160	0.33
26	510	150	0.29
28	380	140	0.36
30	390	150	0.38
34	220	75	0.34
44	260	90	0.35
46	440	140	0.32
53	400	140	0.35
Medie...	420	130	0.315

Sono questi i dati medî che introdurremo pertanto nei calcoli successivi (1).

\* \* \*

Sulla carta 1:10.000 e sui dettagli allegati (1:2000) segnammo le direzioni di caduta (in numero di 1264) che fu possibile determinare: è ovvio che avemmo cura di riportare soltanto quelle il cui accertamento non lasciò dubbi (2).

Tali direzioni mostrano come il senso di rotazione dei vortici fosse sinistrorso (3).

Poichè l'andamento delle direzioni di caduta è in intima relazione con la velocità di rotazione, ritorneremo più oltre su di esse.

(1) Se noi calcoliamo gli scostamenti dei valori di  $\frac{d}{l}$  dalla media troviamo: — 95, — 35, — 5, — 45, — 25, + 15, — 25, + 45, + 65, + 25, + 35, + 5, + 35. Dall'andamento degli scostamenti si vede come la striscia di massimo danno tenda ad allontanarsi (relativamente alla larghezza della traccia) dal margine sud. Se ne potrebbe dedurre che, con l'avanzare della tromba, la velocità nelle parti esterne del vortice (« mantello » della tromba) tende a decrescere più lentamente: fatto in armonia colle vedute teoriche sul trascinamento dei filetti esterni. Accenniamo comunque appena a questa osservazione, perchè il numero esiguo dei dati a disposizione non permette manifestamente di attribuirle che un significato puramente indicativo. (Per la maggiore intelligenza di questa nota vedi le considerazioni teoriche sulla distribuzione della velocità a pag. 00).

(2) I rilievi furono eseguiti con la bussola topografica.

(3) Il senso sinistrorso della rotazione (ciclonico) è di gran lunga il più frequente. Secondo le statistiche del Wegener (op. cit., p. 180) spetta infatti al moto sinistrorso la frequenza 0,72, al destrorso 0,28 soltanto (su 25 casi esaminati).

### III. — *Formazione e scioglimento della tromba. — Forma. — Trombe multiple. — Vortici secondarii.*

Ad un chilometro circa ad Occidente di Castel di Godego, e quindi prima della discesa della tromba, furono osservate nubi temporalesche provenienti da Ovest, animate da movimenti turbinosi, ad asse orizzontale, molto spiccati; il che fa presumere come nel cumulo-nembo generatore preesistesse un vortice ad asse orizzontale; ciò sarebbe in armonia con la teoria meccanica (basata sulle esperienze di Vettin), la quale, secondo il Wegener (op. cit., pag. 297), dovrebbe riguardarsi come la più accettabile.

Mancano invece completamente le notizie circa lo scioglimento della tromba, perchè questa si perdette nelle praterie disabitate del Cellina, nè fu pertanto più soggetta ad osservazioni. Si può solo affermare che già prima di S. Quirino il cumulo-nembo generatore appariva di dimensioni assai ridotte, e che la velocità di rotazione del piede della tromba era molto scemata, come mostrano le direzioni di abbattimento rilevate in quella zona, e la lieve entità dei danni.

\* \* \*

Sulla forma della tromba si ha un numero elevato di informazioni, delle quali diamo qui espressione sintetica.

Durante tutto il percorso la forma della tromba fu soggetta a continue trasformazioni, pur conservando la caratteristica struttura colonnare: in generale apparve come un cono rovesciato molto schiacciato; presentando il piede una larghezza sempre molto minore di quella della sommità, che si perdeva nel cumulo nembo (V. Fig. 2. - La tromba vista da Montebelluna).

Da « Borghi » si osservarono nettamente dei movimenti ascendenti e discendenti di vapori all'esterno della colonna; mentre, ovviamente, non potevano essere scorti i movimenti (discendenti) interni. Tale osservazione fu pure fatta a Nervesa (1).

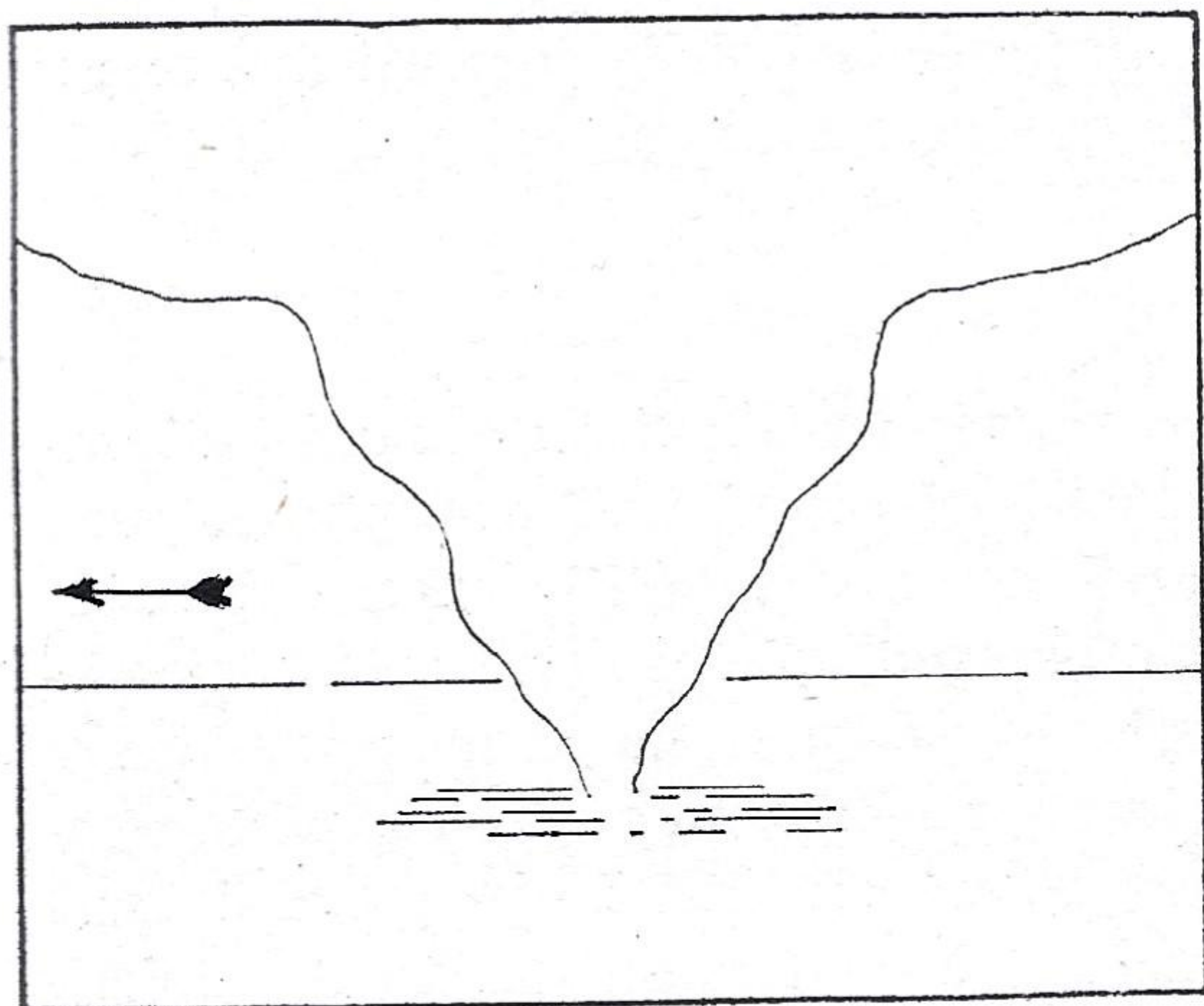


Fig. 2.  
La tromba a Sud di Montebelluna.

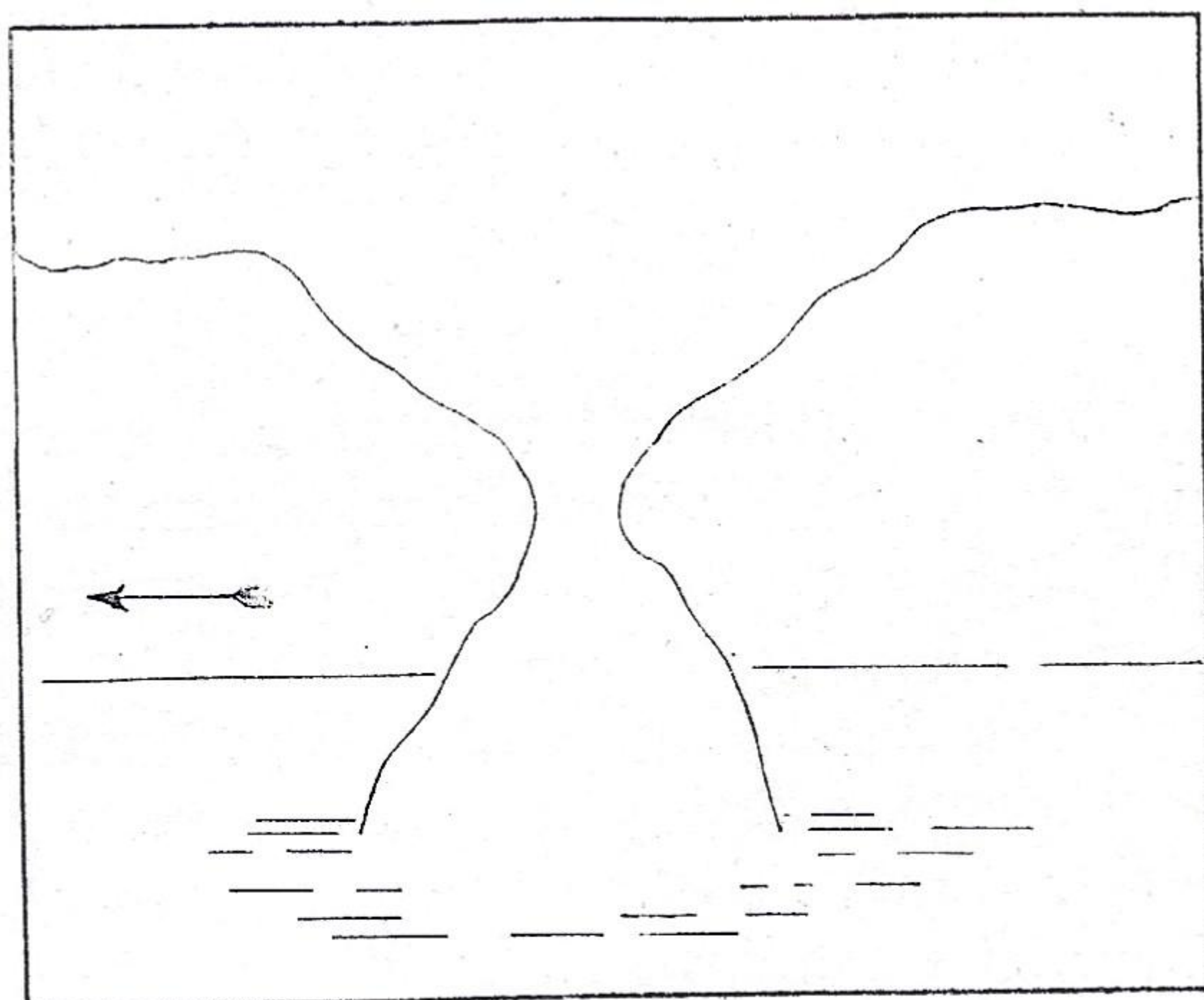


Fig. 3.  
La tromba al « Barco ».

I limiti della colonna non apparvero mai nitidi, ma sempre costituiti da una camicia evanescente di vapori più o meno densi, animati da continui movimenti.

Al « Barco » il piede della tromba era molto allargato, talchè la colonna presentava, ad una certa altezza, una vera e propria strozzatura. (Fig. 3).

(1) Su questi movimenti verticali, dovuti alla distribuzione della pressione nell'interno della tromba, torneremo più oltre.

A « Mandre », all'alzarsi della tromba dal suolo, i due vortici che la costituivano assunsero l'aspetto di un cono sempre più schiacciato che sporgeva come una semplice protuberanza dalla nube (Fig. 4).

Ai « Camoi », all'innalzamento, la tromba aveva forma molto allungata, ed era animata da continui contorcimenti (Fig. 5).

Poco prima di « Ceolini » (III tronco) l'altezza della colonna era ridottissima rispetto alla larghezza; si aveva quasi l'impressione che il cumulo-nembo stesso toccasse il suolo.

Mancano quasi completamente notizie circa l'altezza del cumulo-nembo sul suolo, e quindi sull'altezza della colonna. L'unica informazione di qualche attendibilità si ha al « Barco », dove l'altezza della tromba fu stimata in circa 800 metri, e fu nettamente osservato che essa costituiva una propaggine del margine sud del cumulo-nembo.

Così pure non si hanno notizie sulla larghezza della colonna al piede, ciò che non per-

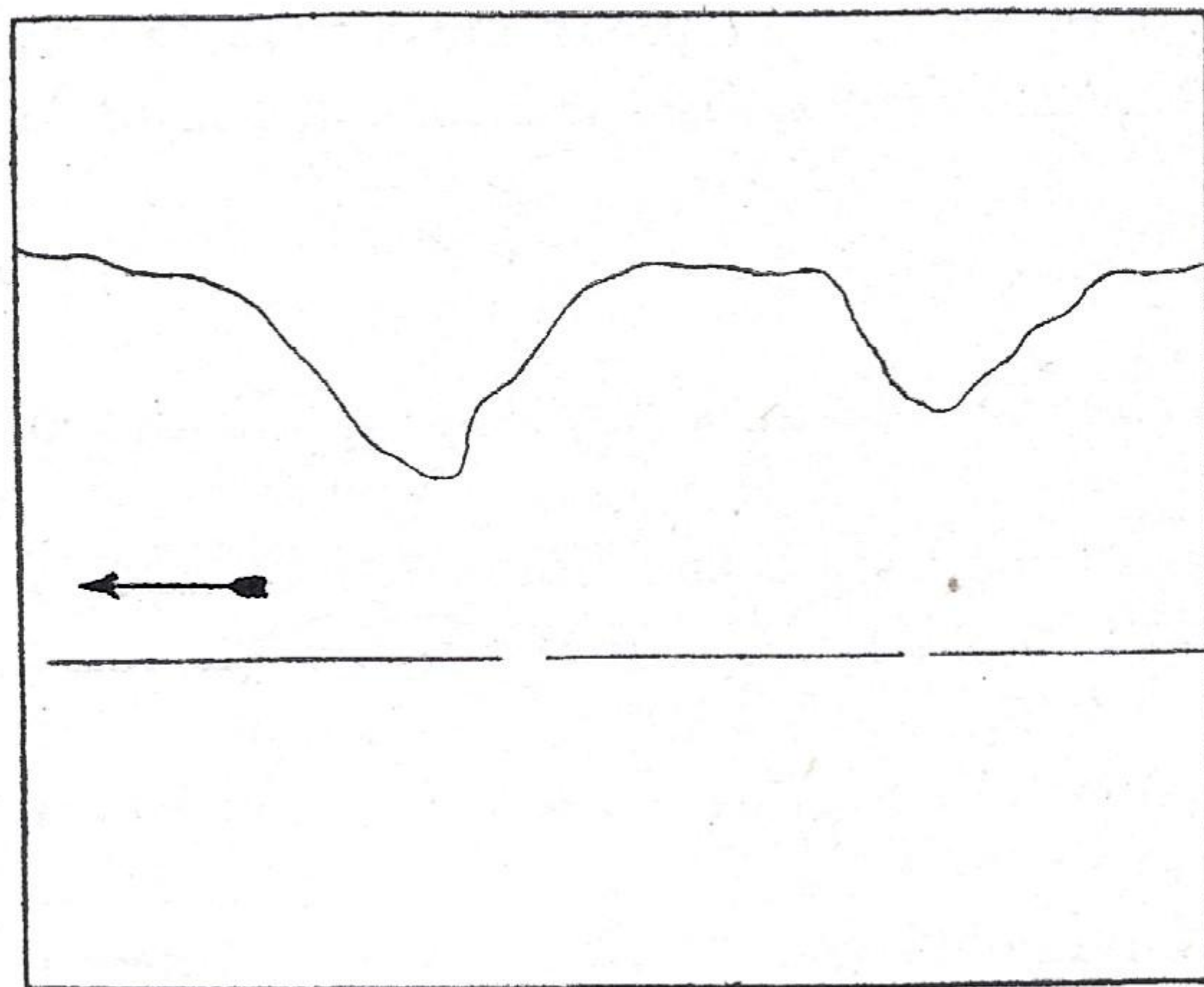


Fig. 4.

La tromba all'innalzamento, dopo « Mandre ».

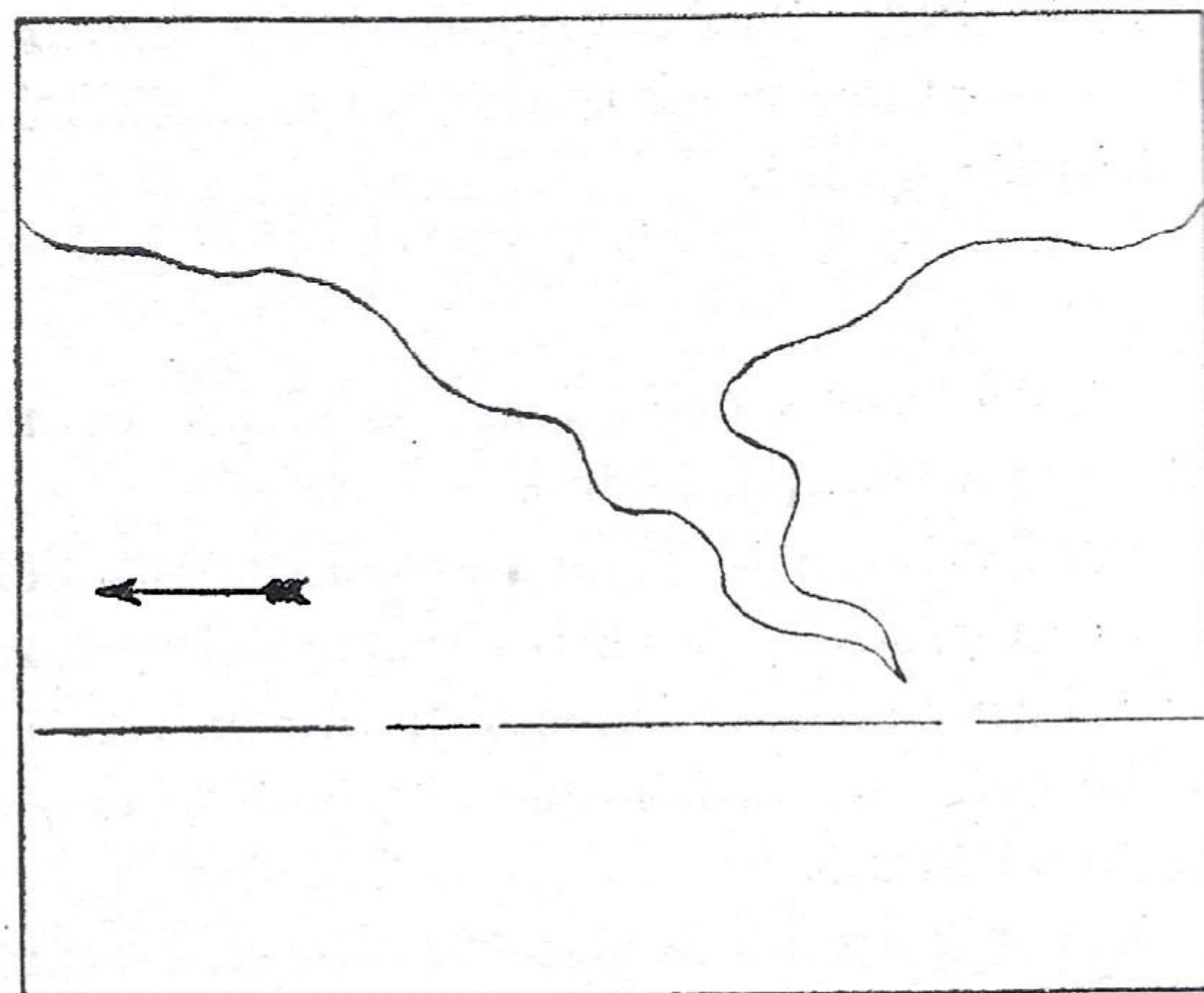


Fig. 5.

La tromba all'innalzamento ai « Camoi ».

mette quindi di stabilire il diametro della superficie di inversione delle correnti ascendenti e discendenti (lungo la quale appunto si verificano le condensazioni che rendono visibile la colonna).

\* \* \*

Trombe multiple furono spesso osservate: non si trattava però di formazioni indipendenti, in quanto esisteva sempre una tromba principale, di dimensioni ben più notevoli delle altre; e queste ultime, che potrebbero chiamarsi « trombe satelliti », non ebbero in generale che vita di breve durata. Oltre a queste trombe multiple si osservarono spessissimo altre formazioni, veri e propri vortici secondari, i quali durarono di norma soltanto brevi istanti, e andarono continuamente distruggendosi e ricostituendosi, senza però assumere le caratteristiche di trombe complete, nè lasciare tracce distinte. La presenza di questi vortici secondari, oltrechè dalle dirette osservazioni, è confermata anche da tipiche irregolarità riscontratesi nelle direzioni di abbattimento e nella distribuzione dei danni lungo la traccia.

Trombe multiple vennero osservate:

prima di « Edifizio », (progr. km. 10) una piccola tromba secondaria di breve durata, con andamento NW-SE; a « Borghi » (progr. km. 14) dove le trombe erano quattro (se ne scorsero solo tre (V. Fig. 6), perchè la quarta passava a Nord del luogo d'osservazione, che infatti fu subito dopo colpito dal vento (SW), dovuto appunto al passaggio della quarta tromba): delle quattro trombe, la principale era la centrale; mentre le tre secondarie la fiancheggiavano, seguendola a breve distanza. Queste quattro trombe, delle quali si è detto scorrendo della traccia, apparivano animate da continui movimenti oscillatori verticali.



Dopo i Borghi si avvicinarono in modo da lasciare unica traccia; ma in realtà esse apparivano sempre come formazioni distinte; e si fusero soltanto successivamente. Gli osservatori affermano che le trombe si avvicinavano fino a toccarsi dando l'impressione « di rimbalzare una contro l'altra, quasi si fosse trattato di corpi elastici ». Tutte le trombe apparivano animate da movimento di rotazione sinistrorso;

a « Casa Balliana » (progr. km. 60) una tromba secondaria, con andamento NW-SE, che si riunì alla principale ai Camoi, poco prima dell'innalzamento;

nei pressi di « S. Foca » (progr. km. 75 circa), una tromba secondaria che si sviluppò parallelamente alla principale, e si innalzò dal suolo simultaneamente a questa, senza però ad essa avvicinarsi (1).

Numerose sono le osservazioni di improvvisi ed effimeri vortici secondari, osservazioni che trovano conferma nei rilievi della traccia, come già si disse. Si osservarono così:

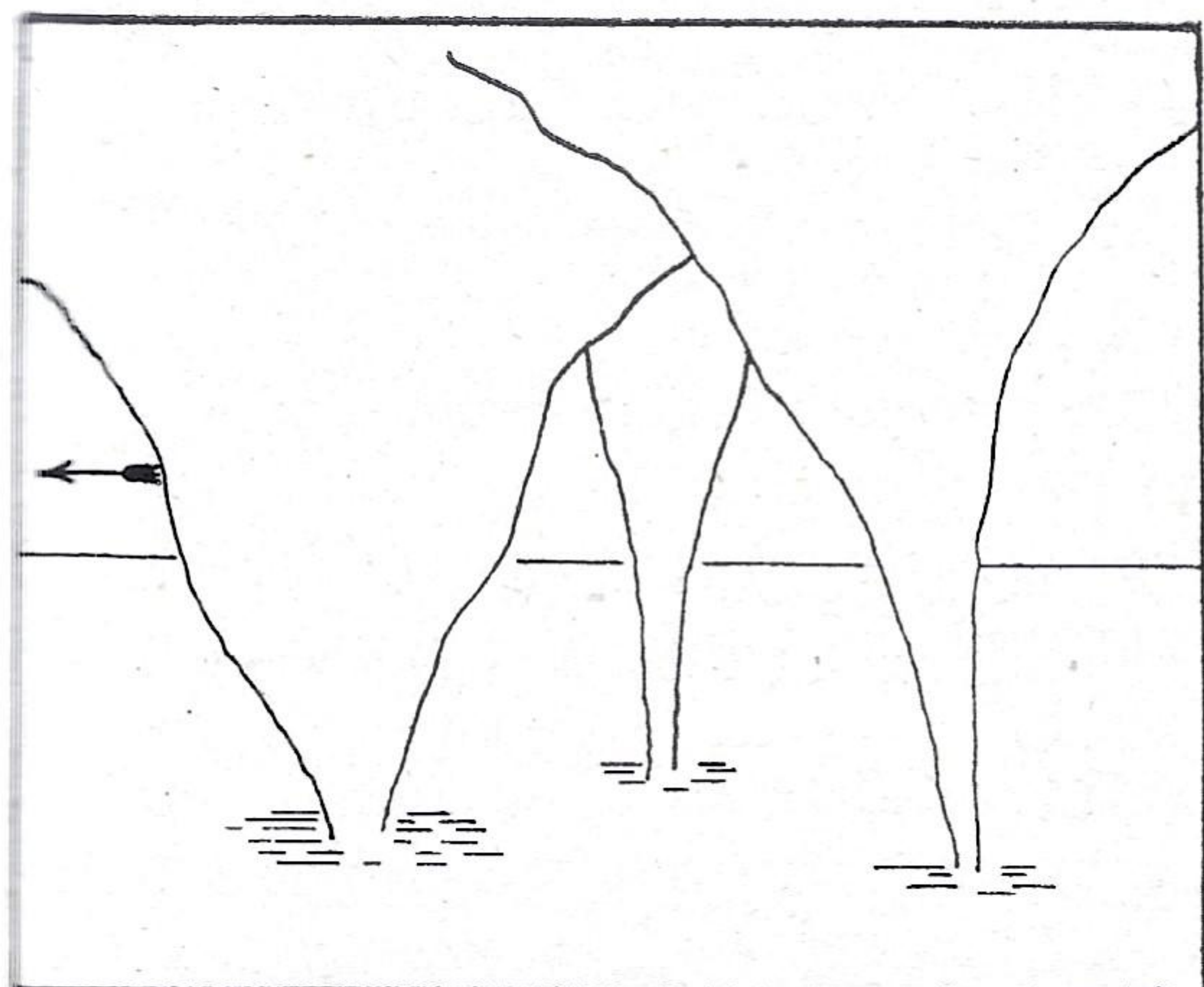


Fig. 6.  
Trombe multiple a « Borghi ».

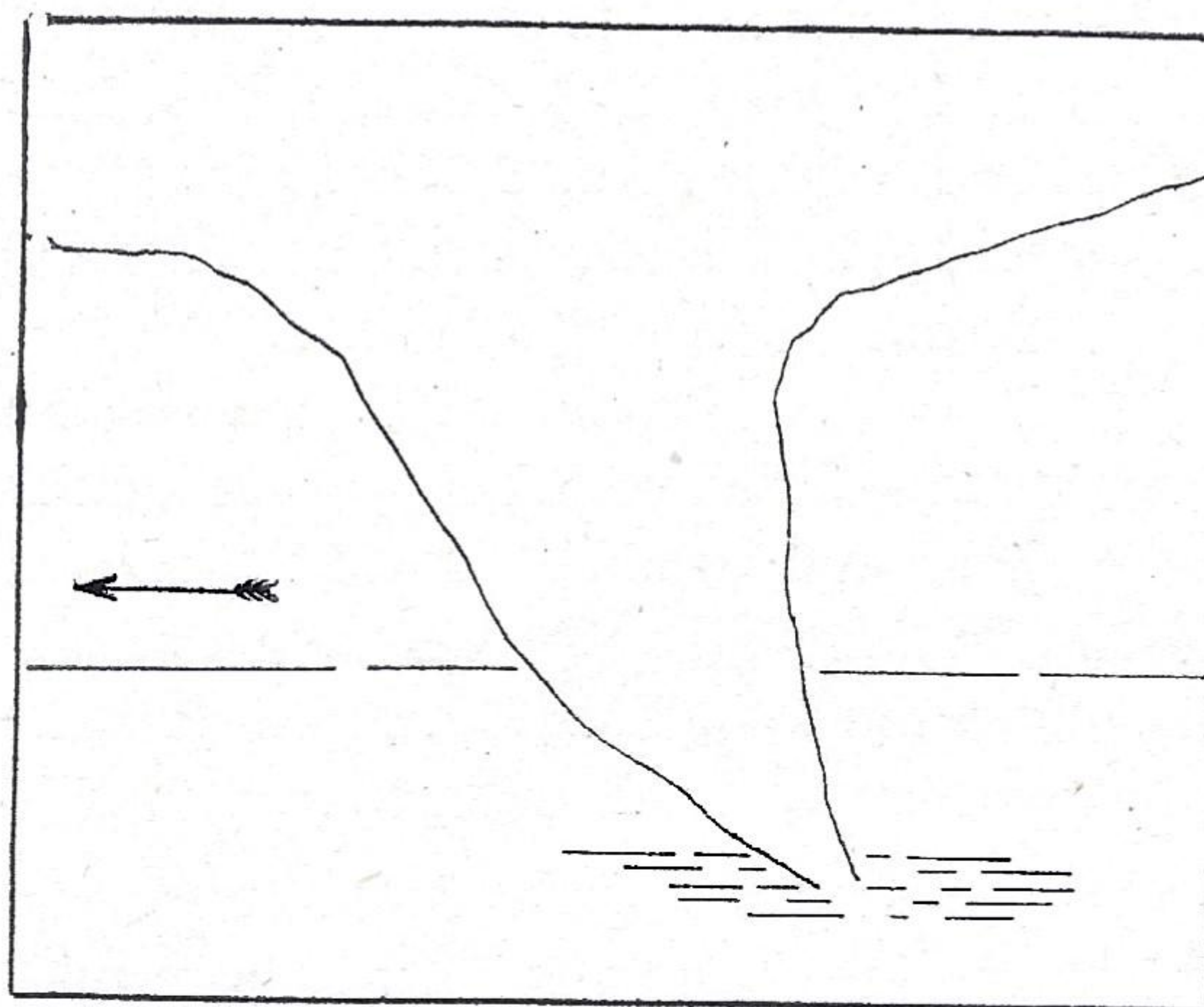


Fig. 7.  
La tromba prima di Volpago.

a « S. Gaetano » (progr. km. 16), oltre al principale, due vortici secondari, che presto si riunirono; poco dopo si formarono ancora due vortici secondari che scomparvero nei pressi del vicino « Maglio ».

dopo Venegazzù (progr. km. 20) due vortici secondari;

un vortice secondario:

all'attraversamento della strada di Volpago (progr. km. 22);

a Selva (progr. km. 23);

a Giavera (progr. km. 25);

al « Barco » (progr. km. 34);

a S. Michele di Ramera (progr. km. 42);

alla progr. km. 43 e a quella di km. 49, dove si sarebbero osservati, oltre al vortice principale, quattro vortici secondari;

nei pressi di « Case Poletto » (progr. km. 56), un vortice secondario, che si fuse poco dopo al principale.

\* \* \*

Sulla inclinazione della tromba difettano le notizie; essa si mostrò quasi sempre verticale; solo prima di Volpago essa aveva una debole inclinazione nel senso del moto (piede spostato a SW rispetto alla sommità (Fig. 7).

(1) La presenza di trombe multiple è molto frequente: citiamo quella di Livorno del 29 agosto 1747, nella quale si osservarono ben 18 distinti vortici.

#### IV. — *Campo di caduta degli oggetti trasportati dalla tromba.*

(V. Carta d'assieme, Tav. IV).

Sul campo di caduta di oggetti trasportati dalla tromba si ebbero notizie in numero scarso, ma per contro molto attendibili; molti fatti probabilmente sfuggirono alle nostre indagini, per essere la zona di caduta boschiva, spesso montuosa, e scarsamente popolata.

I punti nei quali si può con tutta certezza affermare siano caduti corpi trasportati dalla tromba sono i seguenti:

S. Michele di Feletto (km. 6 a sinistra della traccia): paglia e fieno (un cumulo di fieno fu raccolto rivestito di ghiaccio);

Collalbrigo (km. 4,5 a sinistra della traccia): un ramo di platano — pali di sostegno di viti — una tavola — paglia e fieno;

S. Pietro di Feletto (km. 9 a sinistra): paglia e fieno — una stuoia di soffitto;

Conegliano (km. 3,5 a sinistra): paglia;

Vittorio Veneto (km. 13 a sinistra): paglia;

Cozzuolo di Vittorio (km. 11 a sinistra): tavole;

Pendici e Bosco del Cansiglio (km. 16 a sinistra): paglia, foglie, ramoscelli — qualche tavola — lamiere zincate — un quadro;

Pian del Cavallo (km. 13 a sinistra): un quadro sollevato a Volpago (è questa l'unica notizia indicante la provenienza dell'oggetto). La distanza del punto di caduta da quello di sollevamento è di ben km. 48 (1).

Si osserva che il campo di caduta è situato a sinistra della traccia, ad una distanza da questa (misurata in direzione normale) che varia fra km. 3,5 e km. 16. Se ne può inferire, anche in relazione al trasporto dell'oggetto sul Pian del Cavallo, e alla mancanza di notizie relative a cadute prima di S. Michele di Feletto (km. 35 dall'origine della tromba) che: la tromba doveva proseguire per parecchi chilometri nell'interno del cumulo-nembo con andamento orizzontale; che la direzione di tale ramo orizzontale, doveva essere press'a poco SW-NE, cioè deviata a sinistra rispetto alla direzione media della traccia (2).

#### V. — *Fenomeni osservati nell'interno della tromba: Rumori, odori, effetti luminosi e termici, ecc.*

Sul rumore della tromba si hanno una ventina di osservazioni, concordanti nell'affermare che esso era intensissimo, pauroso, e che ricordava il rombo di un grosso stormo di aeroplani. A Nervesa si osservò nettamente che il rumore proveniva dalle parti più basse della tromba, quasi esso fosse dovuto in preminenza al cozzo di materiali divelti e travolti dalla meteora. Non si rilevarono invece, come in altre trombe, rumori paragonabili a scoppi (3).

---

(1) Riportiamo dal Wegener (op. cit., p. 237 e segg.) i seguenti esempi, molto significativi, nei quali il campo di caduta ha situazione, rispetto alla traccia, analoga a quella attuale:

tromba di Monville del 19 agosto 1845: oggetti furono raccolti a km. 38 dal luogo di sollevamento;

tromba di S. Claude del 19 agosto 1890: il campo di caduta giaceva a sinistra della traccia, ad una distanza variabile fra km. 6 e km. 25; oggetti furono trasportati a km. 50 dal punto di sollevamento.

(2) La traiettoria dell'oggetto caduto sul Pian del Cavallo (supposta rettilinea) forma con la direzione media della traccia un angolo di 20°.

(3) Questi fatti sono in accordo con le osservazioni eseguite su un gran numero di trombe, nella maggior parte delle quali si paragona il rumore della tromba a quello di un grosso carro carico rotolante su un selciato, di artiglierie lanciate al galoppo, ecc.

\* \* \*

Fu in generale avvertito al passaggio della tromba un caratteristico inesplicabile odore: gli osservatori si limitano a parlare di « odore di solfo », di « atmosfera irrespirabile ». La concordanza delle osservazioni, il fatto che in alcuni locali tale odore permase lungamente (come ad esempio a Casa Brescancin), fanno sì che si debba senz'altro escludere doversi trattare di un fenomeno di suggestione, e quindi di una illusione dei sensi. In generale l'odore è paragonato a quello del solfo bruciato: questo parallelo, che potrebbe avere sua causa nel fatto che tale odore è uno dei più noti, è però in armonia con molte osservazioni eseguite su altre trombe (Wegener, op. cit., p. 265, cita 20 casi di trombe in cui si avvertì odore di solfo). Che si tratti poi effettivamente di odore di solfo noi non possiamo ovviamente asserire. Nè vogliamo qui entrare nella controversa questione, se si possa attribuire l'odore a una intensa ozonizzazione dell'atmosfera, come vorrebbe il Finley. È meglio che ci limitiamo ad accettare il fatto sperimentale, indiscutibile; e circa la natura e la causa dell'odore, dire invece con Wegener che « se questo odore esiste, esso è di natura ancora inspiegata ».

\* \* \*

Il colore della tromba apparve in generale variabile; e questo forse per più cause; diversa illuminazione della tromba, qualità dei materiali trasportati (terriccio, foglie, paglia, ecc.); diverso spessore dei vapori avviluppanti la colonna, ecc. Così al « Barco » la tromba aveva, secondo diversi informatori, un colore giallastro nella sua parte centrale, che era circondata da vapori biancastri: è probabile che il colore giallastro fosse dovuto alle ingenti masse di paglia che, appunto in quella località, erano state sollevate.

La parte inferiore fu spesso celata da dense masse di vapori biancastri.

A « Borghi », dove si osservarono trombe multiple, lo spazio compreso fra le trombe appariva di colore rosso cupo, ciò che a qualche osservatore fece inevitabilmente pensare alle fiamme (come sempre capita in tali ordini di manifestazioni!). La colorazione rossa è probabilmente da attribuirsi a fenomeni di rifrazione dei raggi solari, che dovevano talvolta giungere fino alla tromba, per essere questa una formazione marginale del temporale.

\* \* \*

Circa i fenomeni luminosi qualche osservatore asserì di avere scorto vampate, fiamme, ecc. Si tratta però di informazioni vaghe, dovute probabilmente ad illusioni ottiche, o a falsi apprezzamenti di illuminazione. D'altro canto non furono mai scorti lampi nei paraggi della tromba, come fu già detto. Occorre qui notare che si ebbe notizia di diversi fenomeni termici, i quali, ove fossero sicuramente provati, potrebbero anche spiegare l'apparizione di fiammate. Nulla però si può concludere in proposito.

\* \* \*

Circa fenomeni termici manifestatisi nel corso della tromba si hanno le seguenti notizie:

a « Case Fabris » (S. Gaetano, progr. km. 16) nella adiacenza si manifestò subito dopo il passaggio della tromba, un piccolo incendio; nella casa, che è sprovvista di illuminazione elettrica, ogni fuoco era spento;

a Sud di S. Gaetano (progr. km. 16): parecchi alberi presentavano le foglie avvizzite, come scottate;

a « Case Baseggio », Sud di Venegazzù (progr. km. 20): si ebbe un principio di incendio, subito dopo il passaggio;

a Nord di Giavera (progr. km. 25): nei campi si rinvennero indumenti bruciacchiati; grosse lamiere, pure rinvenute nei campi, erano contorte ed annerite, come se avessero subito

un arroventamento; diversi alberi ebbero la corteccia completamente essiccata, dal lato onde furono investiti dal vento, (constatammo pure noi tale fatto, e prelevammo campioni);

nei pressi di Sovilla (progr. km. 28): si rinvennero indumenti bruciacchiati;

al « Barco » (progr. km. 34): si raccolsero lamiere contorte e annerite; l'erba lungo la scarpata della ferrovia era per qualche tratto bruciata; si poterono osservare le ceneri, residuo della combustione;

a « Casa Masino » (progr. km. 47): si rinvennero delle lamiere, che appartenevano ad una tettoia nuova, annerite (constatammo personalmente il fatto, e prelevammo campione); poco oltre, i gelsi fiancheggianti una strada presentavano la corteccia completamente annerita; e anche qui furono raccolte lamiere annerite; della paglia presentava traccia di combustione; un albero presentava al piede un colore nerastro, ed era completamente secco, nonostante le radici non fossero state danneggiate sensibilmente (fatto constatato personalmente);

a « Case del Comune » (progr. km. 48): dopo il passaggio della tromba l'erba appariva in più punti completamente secca; ed erano avvizzite le foglie degli alberi che non erano state strappate;

poco oltre si rinvennero in un fosso lamiere annerite, e le tavole di uno steccato furono ritrovate bruciacchiate;

a « le Campanelle » (progr. km. 48): gelsi e viti apparvero anneriti, e con le foglie avvizzite; lo stesso fatto fu riscontrato lungo il « Fosso Vistorto » (progr. km. 54).

Un riscaldamento così intenso da produrre la combustione, sia pure parziale, di corpi, è molto strano, nè si saprebbe dare di esso — se pure ha avuto luogo — alcuna spiegazione attendibile.

D'altro canto negare a priori il fenomeno, per il solo fatto che di esso non si sa dare ragione plausibile, ci sembra illecito. È pur vero che alcuni fatti potrebbero essere spiegati in modo diverso: così qualche principio di incendio fu forse dovuto a corti circuiti, o al propagarsi di fuoco preesistente; la apparente scottatura delle piantagioni è, probabilmente dovuta al violento strappamento delle foglie, o ad altre azioni meccaniche, o a rapida evaporazione. Restano però sempre fenomeni dei quali non si saprebbe dare ragione, se non ammettendo l'azione di elevate temperature; tali, ad esempio, gli annerimenti di lamiere, le tracce manifeste di combustione presentate dall'erba della scarpata ferroviaria al « Barco », ecc. Si aggiunga ancora che il numero di informazioni analoghe è elevato: e qui non riportammo, per non ripeterci inutilmente, che le principali (1).

Resta dunque un quesito insoluto, in merito al quale noi non possiamo nè vogliamo avanzare alcuna ipotesi.

## VI. — *Danni causati dalla tromba. — Effetti meccanici.*

Il numero di vittime umane dovute alla tromba ascende a 23, mentre quello dei feriti supera il centinaio. Se si tiene conto della particolare violenza ed estensione del fenomeno, e dei danni materiali arrecati, il numero dei colpiti appare al confronto non rilevante: non è però questo un fatto nuovo, chè anzi, di norma, il numero delle vittime fatto dalle trombe è appunto modesto; tanto che, per circa 250 trombe osservate in Europa, il numero totale delle vittime si aggira intorno al centinaio (2).

(1) Fenomeni analoghi, specialmente per ciò che riguarda l'apparente scottatura di piante, furono osservati in gran copia in altre trombe: ma di essi si poté sempre dare ragione attraverso fatti meccanici (Wege-ner, op. cit., p. 285 e segg.).

(2) La tromba di Wiener-Neustadt, del 10 luglio 1916, è, fra le trombe europee delle quali si conosce il numero di vittime, quella che mietè il maggior numero di vite umane: i morti ascensero a 30.

\* \* \*

I danni al bestiame non sono precisati: essi furono comunque ragguardevoli, e si può ritenere che si siano perdute alcune centinaia di capi.

\* \* \*

Si ebbero nella tromba parecchi casi di persone, animali e cose sollevati e trasportati lontano. Citiamo i fatti secondo le informazioni attinte:

a « S. Gaetano » (progr. km. 16), un ragazzo fu sollevato, trasportato per circa 100 metri in direzione Nord e deposto incolume;

a « Case Baseggio » (progr. km. 20), una vacca che si trovava nella stalla venne ritrovata viva a circa km. 1 a Nord;

a « S. Eurosia » (progr. km. 20), un uomo fu trasportato insieme al coperto della casa a circa m. 50 a Nord-Est, e ricadde indenne;

nel cimitero di Volpago (progr. km. 22): una piastra di cemento (coperto di una cella mortuaria) di circa q.li 56 di peso fu trasportata a m. 20 a Sud-Est;

a « Case Cagnolo », presso Volpago: un uomo fu trasportato a m. 60 a Nord, e ricadde senza alcun danno;

nei pressi della Stazione Ferroviaria di Nervesa (progr. km. 28): una donna, che si trovava nell'interno di una baracca, fu presa dal vento e sbalottata in diverse direzioni; ricadde con lievi ferite;

a « Case Gaietto », sulla sponda sinistra del Piave: alcuni pezzi di trave furono trovati confitti obliquamente nel terreno, per oltre un metro;

al « Barco » (progr. km. 34): un ragazzo fu trasportato dal vento a m. 70 in direzione Nord-Est: non riportò alcuna ferita;

presso « Casa Romanato » (progr. km. 49): un ponticello di cemento armato, della luce di circa m. 3, e della larghezza di m. 2, fu scosso in modo così violento, da venire fessurato;

Centrale Elettrica sulla sponda destra del Livenza (progr. km. 56): un operaio che si trovava su una armatura fu trasportato a circa m. 20; ricadde ferito (secondo i giornali gli operai trasportati dal vento sarebbero stati otto: certamente questa notizia è... ampliata).

Tutte le notizie concordano nell'affermare che l'altezza di sollevamento fu sempre modestissima; ciò che mostra come il trasporto venisse operato prevalentemente dalla componente orizzontale del vento.

A « Case Gaietto » (sinistra Piave): un porcile situato in un cortile circondato da case e stalle in parte distrutte rimase intatto;

al « Barco » (progr. km. 34): due pollai ed una siepe accosto ad essi, a pochi metri dalla casa il cui primo piano fu completamente demolito, non subirono alcun danno.

Si hanno inoltre diverse notizie, secondo le quali la tromba avrebbe in molti punti lasciato sul suolo un vero e proprio solco, sollevando e asportando la terra.

\* \* \*

Le vegetazioni lungo il percorso della tromba non vennero risparmiate; senza entrare in dettagli, basti qui dire che si ebbero danni molto ingenti: numerosissimi furono gli alberi d'alto fusto colpiti, e in modo particolare quelli di notevoli dimensioni; ovviamente perchè, per il maggiore sviluppo della chioma, offrivano una grande superficie di presa al vento; i campi di granturco e i vigneti furono completamente devastati. Dalle numerose osservazioni si rileva come la tromba abbia agito sugli alberi in modi diversi; e precisamente si ebbero:

- 1) Alberi abbattuti, le cui radici non furono sollevate dal suolo che da un solo lato (Fig. 8);
- 2) Alberi sradicati completamente, e trasportati lontano; così noci secolari, di grandissima mole, con radici enormi, furono completamente sollevati, lasciando buche che avevano dimensioni di crateri di granate;

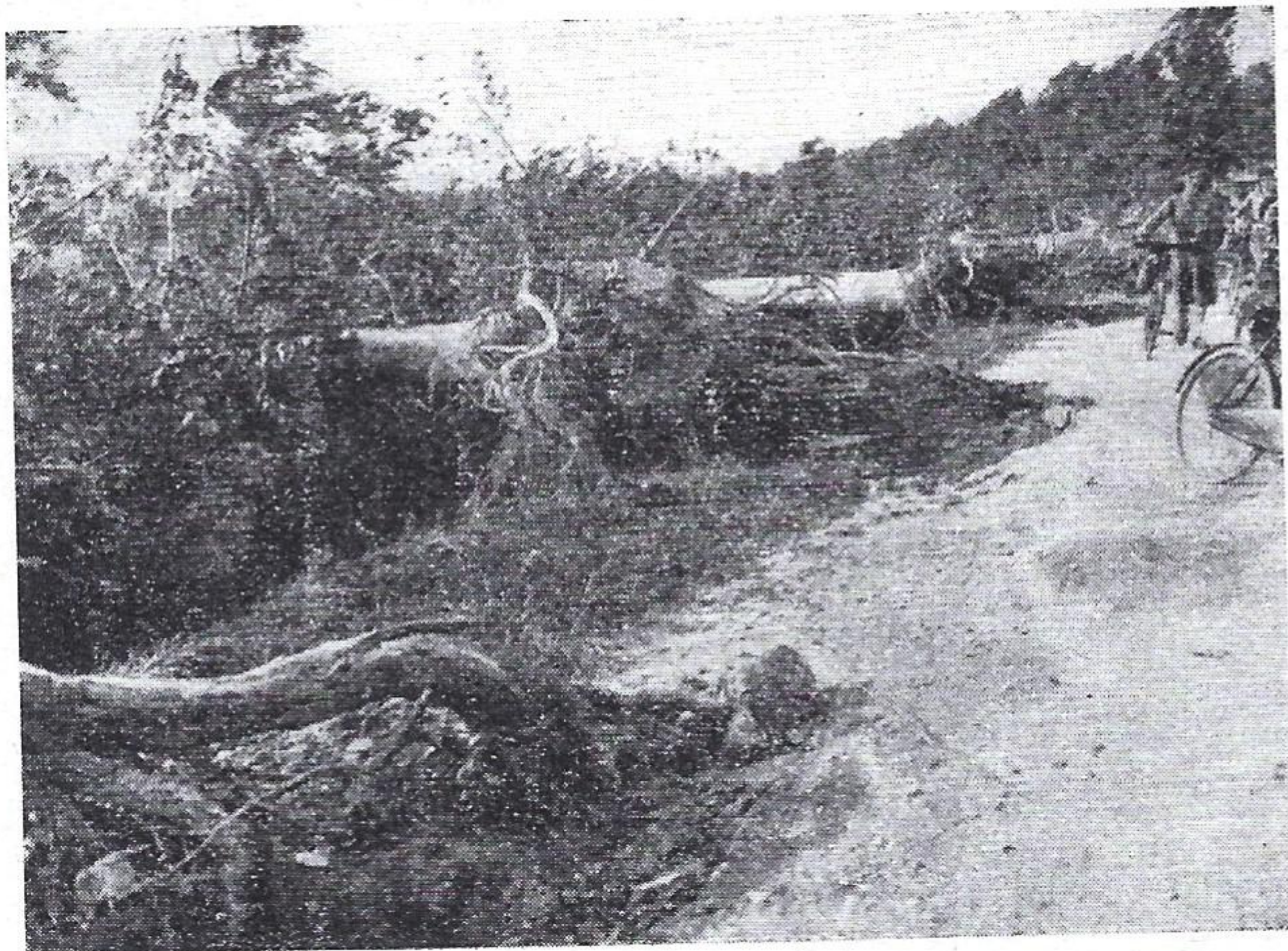


Fig. 8.  
Alberi abbattuti.

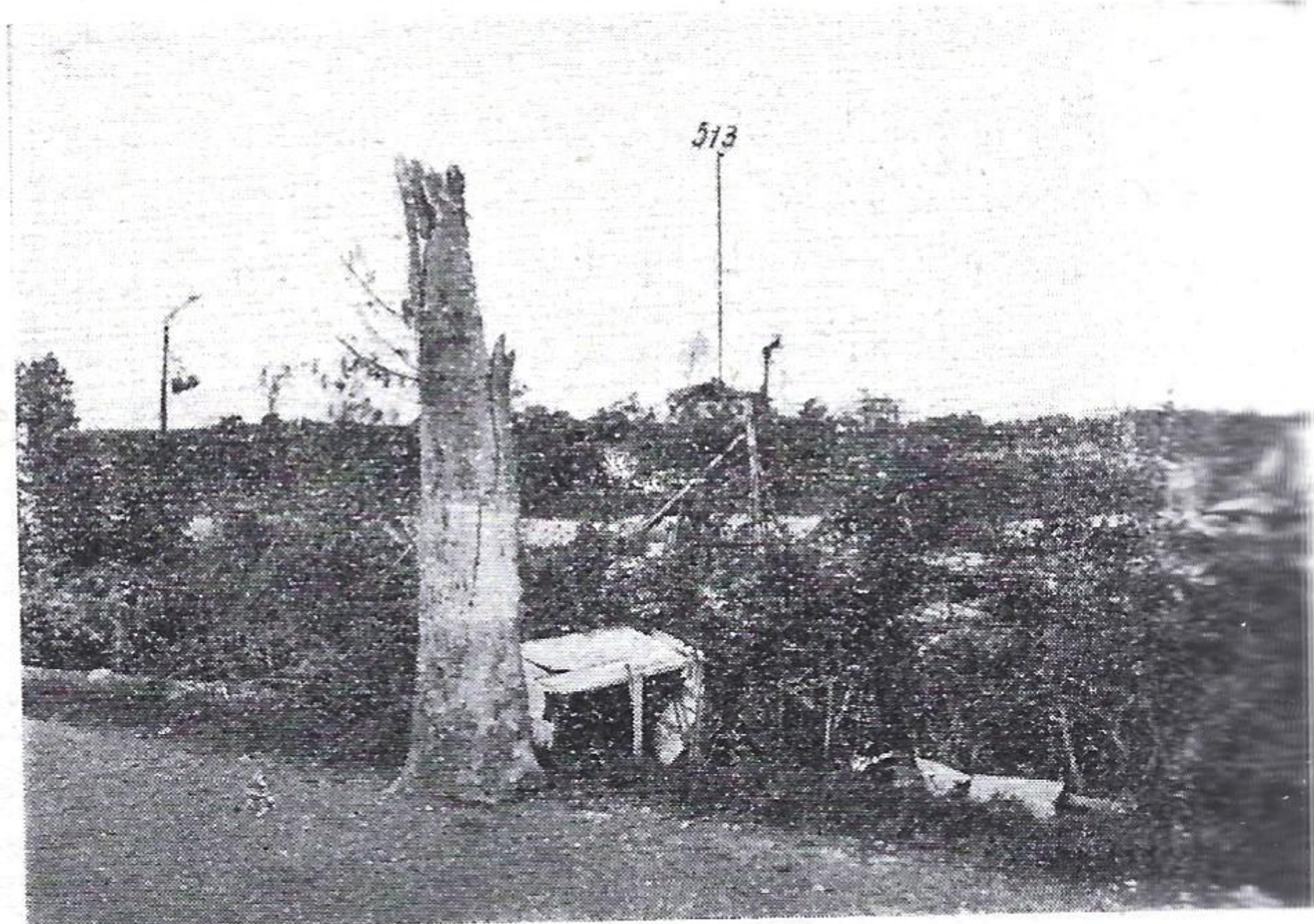


Fig. 9.  
Alberi abbattuti.

- 3) Alberi contorti, che presentavano, per effetto della torsione, tipiche scheggiature e fenditure longitudinali; fenditure che si estendevano talvolta fino alle radici (Fig. 8);



Fig. 10.  
Alberi abbattuti.

- 4) Alberi spezzati nettamente ad una certa altezza sul suolo; l'altezza della sezione di troncatura si aggira mediamente intorno a m. 1 (Fig. 9);

- 5) Su alberi rimasti in piedi, lo strappamento totale delle foglie (Fig. 10) (1).

\* \* \*

I danni agli edifici cominciano a Castel di Godego; ma, come già s'è accennato, in un primo tratto sono sovente limitati alle parti alte delle fabbriche: il che conferma come in questo intervallo il piede della tromba si mantenesse spesso alzato sul suolo.

Tutte le fabbriche colpite furono da noi rilevate; e dei danni estendemmo una

accurata statistica; dalla quale togliamo le notizie che qui, in riassunto, riportiamo.

In totale si ebbero 712 edifici in muratura e 78 costruzioni in legno colpiti. I danni sono stati da noi distinti in tre classi, e precisamente:

- 1° Danni lievi (sollevamento di tegole, abbattimento di camini, rottura di serramenti, ecc.);
- 2° Danni gravi (rovina di coperti, gravi lesioni ai muri, caduta di pavimenti, soffitti, ecc.);
- 3° Danni gravissimi, e cioè distruzione totale o quasi totale.

(1) Questi effetti concordano perfettamente con quelli osservati spesso in altre trombe; così, ad esempio, nella tromba di Monville, del 19 agosto 1845, si riscontrarono fenomeni che si possono ritenere identici agli attuali.

Per ognuna di queste tre classi abbiamo così rispettivamente:

edifici in muratura: 275, 309, 128;

costruzioni in legno: 3, 13, 62.

Furono inoltre abbattuti 23 pali a traliccio di linee ad alta tensione.

Ed ecco come sono ripartiti i guasti lungo la striscia colpita:

da Castel di Godego a Venegazzù (km. 20 di sviluppo), tratto in cui la tromba non incontrò veri centri abitati, salvo quello di Castel di Godego (all'origine) e il piccolo borgo di « Edifizio »:

	1ª classe	2ª classe	3ª classe	Totale
Edifici in muratura.....	57	76	27	160
Costruzioni in legno .....	—	3	6	9

2 tralicci abbattuti;

da Venegazzù al Piave (sviluppo km. 9), lungo le pendici meridionali del Montello, la tromba investì gli abitati di Volpago (79 edifici colpiti); Selva (40 edifici colpiti); Giavera; Bavaria; Sovilla (82 edifici colpiti):

	1ª classe	2ª classe	3ª classe	Totale
Edifici in muratura.....	86	162	65	313
Costruzioni in legno .....	3	10	49	62

3 tralicci abbattuti;

dal Piave all'innalzamento della tromba nei pressi di Mandre (sviluppo km. 7) furono investite case sparse in aperta campagna, e quindi i danni furono di gran lunga minori, e quasi totalmente accentrati nella località « il Barco », presso Susegana:

	1ª classe	2ª classe	3ª classe	Totale
Edifici in muratura.....	2	5	14	21
Costruzioni in legno .....	—	—	3	3

10 tralicci abbattuti;

da S. Michele di Ramera ai Camoi (II tronco della traccia, sviluppo km. 19) furono pure investite esclusivamente case isolate:

	1ª classe	2ª classe	3ª classe	Totale
Edifici in muratura.....	27	52	21	100
Costruzioni in legno .....	—	—	4	4

8 tralicci abbattuti;

da NE di Fontanafredda al Torrente Cellina (III tronco della traccia, sviluppo km. 16) furono interessati gli abitati di Ceolini, S. Quirino, S. Foca:

	1ª classe	2ª classe	3ª classe	Totale
Edifici in muratura.....	103	14	1	118
Costruzioni in legno .....	—	—	—	—



Fig. 11.  
Casa colpita presso Venegazzù.

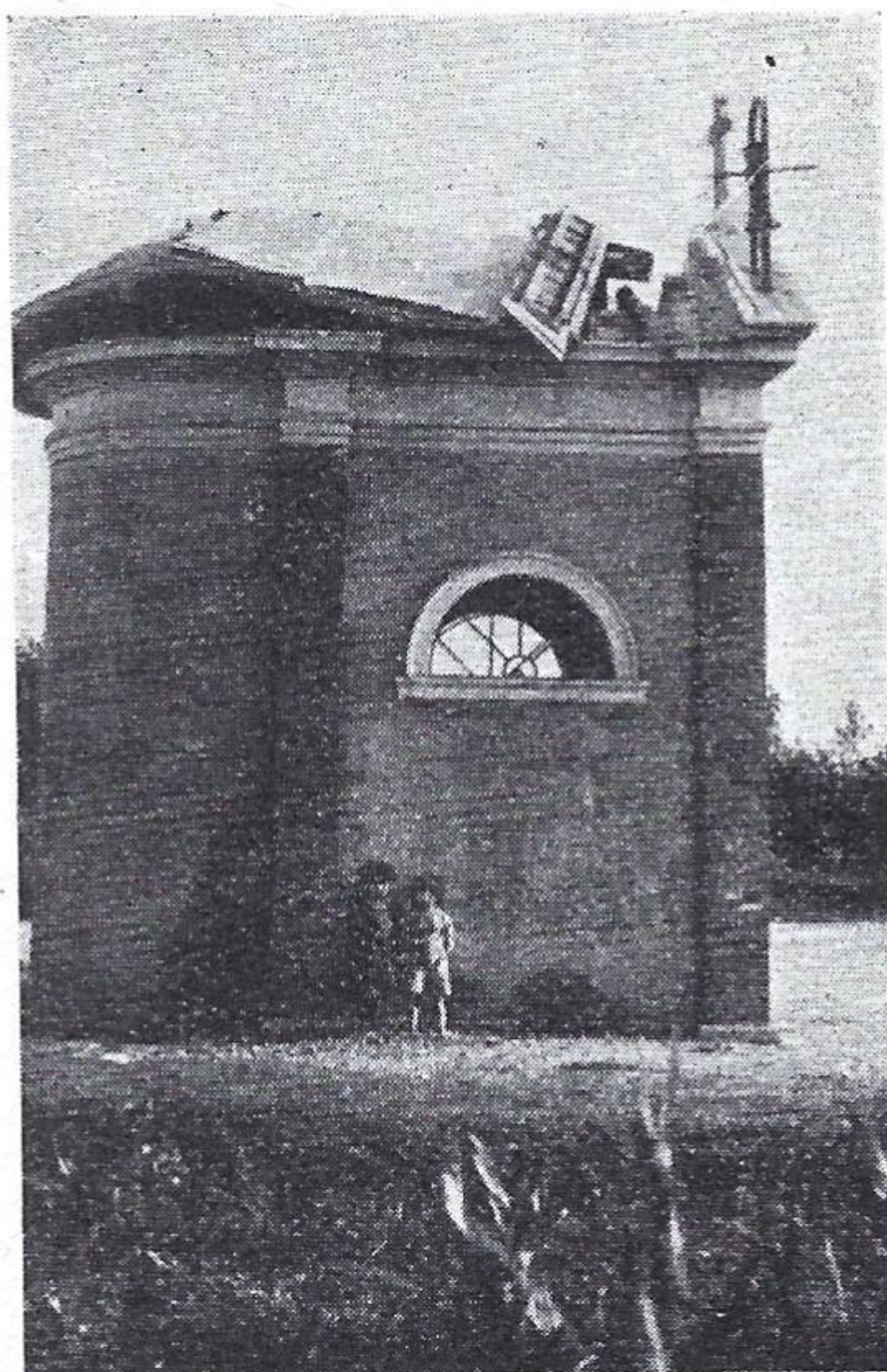


Fig. 12.  
L'oratorio di S. Eurosia presso Venegazzù

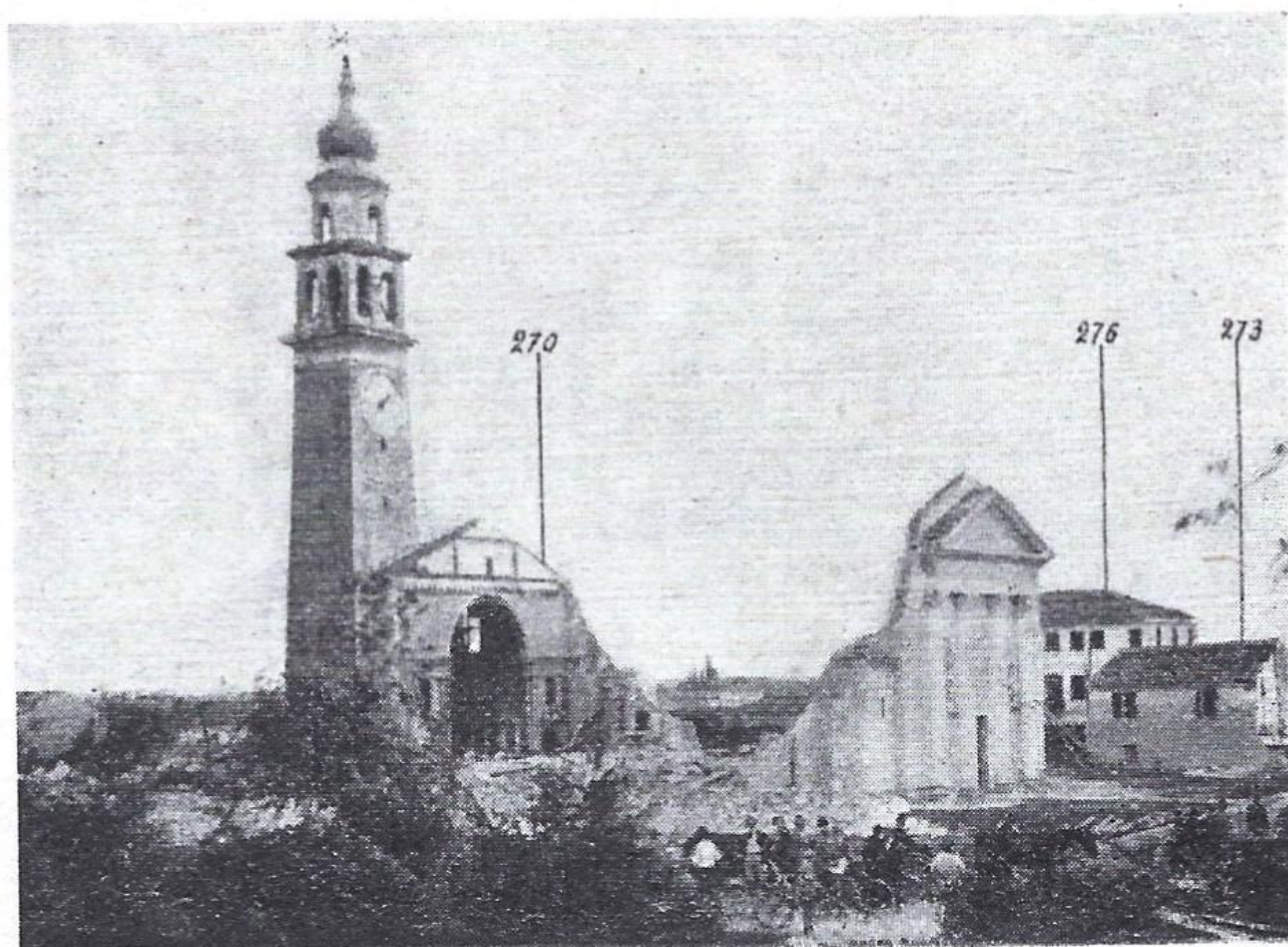


Fig. 13.  
La Chiesa di Selva.





Fig. 14.  
Case colpite a Sovilla.



Fig. 15.  
Casa colpita al « Barco ».



Fig. 16.  
Case colpite al « Barco ».

VII. — Tentativo di determinazione della velocità del vento in base agli effetti meccanici.

Fra gli effetti meccanici dovuti alla tromba, particolarmente interessante è, ai fini di un tentativo di determinazione della velocità del vento, l'abbattimento di alcuni pali a traliccio di linee ad alta tensione (1). Infatti, fra tutte le opere demolite dalla furia devastatrice del vento, sono queste le sole che, per avere caratteristiche di resistenza determi-

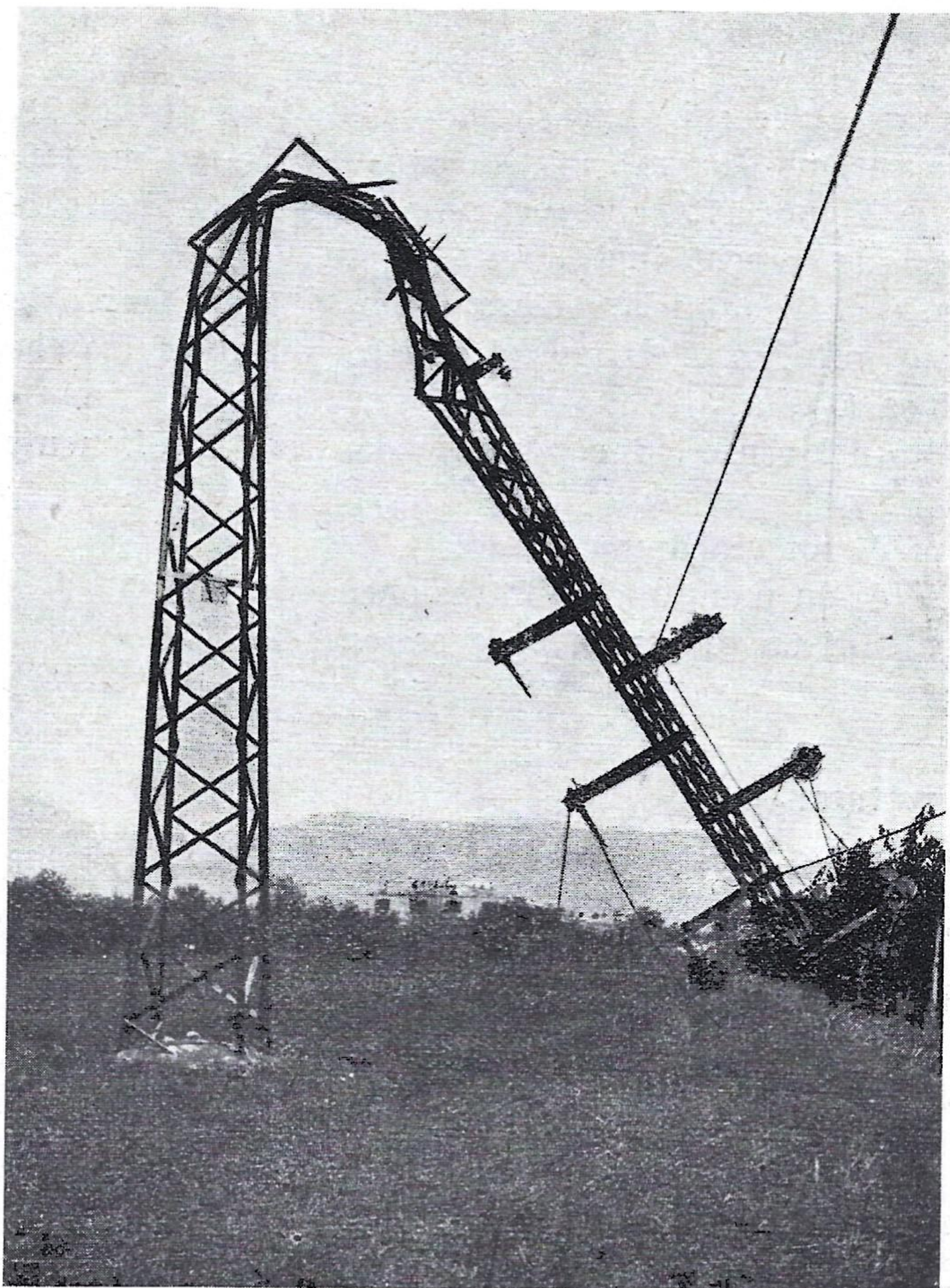


Fig. 17.

Palo colpito della linea a 50 KV Fadalto-Treviso al « Bareo ».

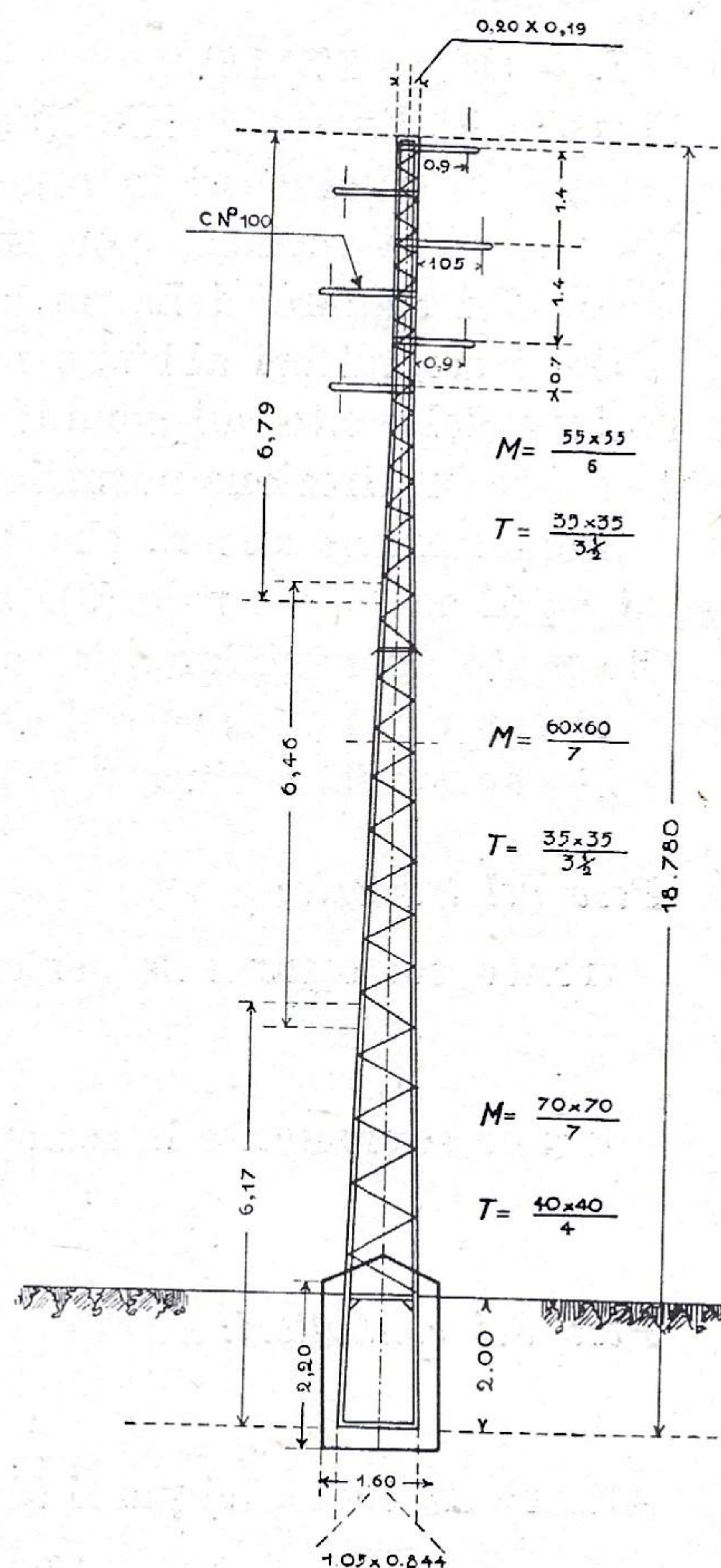


Fig. 18.

Elementi del palo a traliccio della fig. 17.

nabili con una certa approssimazione, permettano di appoggiarvi un calcolo della velocità del vento. Alcuni autori tentarono, in mancanza di meglio, di calcolare tale velocità in base all'abbattimento di muri, al rovesciamento di ostacoli, ecc. Ma è manifesto che queste determinazioni non possono avere che un indice di approssimazione molto lato: basta, per convincersene, porre ad esempio mente alle incertezze che si incontrano nell'apprezzamento della resistenza di un muro, resistenza che dipende da tanti elementi difficili a valutarsi in giusta misura. Del resto anche la ricerca da noi istituita non può condurre che a risultati aventi carattere di larga approssimazione, perchè, per necessità di calcolo, il fenomeno, nella realtà molto complesso, viene semplificato e schematizzato.

(1) Cogliamo qui l'occasione per porgere i nostri ringraziamenti al Ch.mo Ing. Mainardis, Direttore d'esercizio della Società Italiana per la utilizzazione delle forze idrauliche del Veneto: alla sua cortesia abbiamo gli elementi geometrici delle strutture, che ci servirono per il calcolo.

Fra i molti pali abbattuti ne scegliemmo, ai fini del calcolo, due (per uno d'essi riportiamo nelle Figg. 17 e 18 la fotografia eseguita dopo la rottura, e gli elementi geometrici). Non prendemmo in considerazione la rottura di conduttori, sia perchè non ci consta che essa si sia verificata, sia e soprattutto perchè, data la cospicua lunghezza delle tesate (tutte superiori ai m. 100), sarebbe stato improprio ritenere la velocità del vento costante lungo di esse: infatti, come sarà detto più oltre, la variazione della velocità del vento — risultante delle due velocità di traslazione e di rotazione — è nello spazio rapidissima (si hanno variazioni di decine di m/s. o addirittura inversione del senso del moto, nello spazio di un centinaio di metri).

I. — (Figg. 17, 18).

Il traliccio (linea a 50 KV Fadalto-Treviso), le cui dimensioni sono indicate in fig. 18, sopportava sei conduttori in rame, della sezione di mm<sup>2</sup>. 67, con tesate di circa m. 150.

La rottura si verificò, come mostra la Figura 17, nella sezione a circa m. 8 di altezza sul suolo. Nei riguardi della rottura faremo le seguenti ipotesi:

che i conduttori abbiano resistito, e che quindi la rottura del palo si sia verificata per l'azione del vento sui conduttori e sul sostegno. Tale ipotesi è suffragata dal fatto che il palo cadde in direzione normale alla linea (1);

ammetteremo ancora che la velocità del vento sui conduttori sia stata mediamente pari ai  $\frac{2}{3}$  di quella sul palo (2).

Ciò posto determiniamo le condizioni di rottura ammettendo:

1° che si sia verificato il cedimento di un montante nella sezione;

2° che si sia verificato il cedimento di un diagonale nella sezione.

*Peso del traliccio:*

tronco sottostante la sezione di rottura:

$$P'_1 = \text{kg. } 370;$$

tronco sovrastante la sezione di rottura:

$$P'_2 = \text{kg. } 400;$$

*Peso dei conduttori:*

$$P'_3 = \text{kg. } 550.$$

Altezza sul suolo dei punti di applicazione delle forze  $P'_1, P'_2, P'_3$  (3):

$$h_1 = 4,00 ; h_2 = \text{m. } 12,40 ; h_3 = \text{m. } 14,95.$$

---

(1) Un altro palo cadde in direzione obliqua rispetto alla linea, mostrando manifesti i segni della flessione deviata; tale fatto potrebbe esser dovuto: alla rottura di tutti o parte dei conduttori di una tesata; o ai valori della velocità del vento, molto diversi fra loro, nelle due tesate; o ancora alla direzione del vento sul palo, formante con la faccia di questo un angolo molto diverso da 90°.

(2) La rapidissima variazione della velocità del vento nel tempo e nello spazio potrà far apparire (in considerazione della notevole lunghezza dei conduttori) il coefficiente di riduzione  $\frac{2}{3}$  molto elevato; facciamo rilevare, a giustificazione di tale valore, come nel calcolo dell'area colpita dei conduttori noi abbiamo tenuto conto del solo diametro di questi, mentre l'area effettiva risultava certamente maggiore, per i corpi (paglia, foglie, ecc.) che avevano qua e là avvolti i conduttori stessi; per cui, in mancanza di meglio, abbiamo cercato di tenere conto di tale fatto assumendo per il coefficiente di riduzione un valore appunto piuttosto elevato.

(3) Molto spesso nei calcoli di progetto il punto di applicazione del peso del traliccio viene assunto coincidente con il centro di figura del poligono avente per perimetro il contorno del palo. Tale procedimento è, ai nostri fini, insufficientemente approssimato, perchè il peso del palo decresce molto più lentamente della sezione compresa nel contorno. Lo stesso dicasi per i centri di pressione del vento, che verranno da noi assunti coincidenti con i baricentri dei singoli tronchi del palo, l'area colpita variando in modo poco diverso dal peso.

Area colpita dal vento (1):

Palo:

tronco sottostante la sezione di rottura:

$$A_1 = \text{mq. } 2,79;$$

tronco sovrastante la sezione di rottura:

$$A_2 = \text{mq. } 2,90;$$

Conduttori:

$$A_3 = \text{mq. } 8,30.$$

I centri di pressione si assumono (per le ragioni dette in nota (1)) coincidenti con i punti di applicazione dei carichi verticali.

Ritenuto che la pressione esercitata dal vento,  $R$ , varii con la velocità  $V$  di questo secondo la relazione:

$$R = \gamma A V^2,$$

assegniamo al coefficiente  $\gamma$  i seguenti valori:

$$\gamma = 0,075 \text{ per il traliccio;}$$

$$\gamma = 0,045 \text{ per i conduttori (secondo Eiffel e Foppl).}$$

Forze esterne applicate al palo:

Esse sono in definitiva:

Carichi verticali	Altezza del punto di applicazione sul suolo
$P'_1 = \text{kg. } 370$	$h_1 = \text{m. } 4,00$
$P'_2 = \text{kg. } 400$	$h_2 = \text{m. } 12,40$
$P'_3 = \text{kg. } 550$	$h_3 = \text{m. } 14,95$

Orizzontali (pressioni del vento) (2)

$R'_1 = \text{kg. } 0,209 V^2$	$h_1 = \text{m. } 4,00$
$R'_2 = \text{kg. } 0,218 V^2$	$h_2 = \text{m. } 12,40$
$R'_3 = \text{kg. } 0,166 V^2$	$h_3 = \text{m. } 14,95$

Siccome noi estendiamo la ricerca ad una parete del palo, dobbiamo introdurre nel calcolo forze di intensità metà, ovvero:

$$P_1 = \text{kg. } 180; \quad P_2 = \text{kg. } 200; \quad P_3 = \text{kg. } 280;$$

$$R_1 = \text{kg. } 0,105 V^2; \quad R_2 = \text{kg. } 0,109 V^2; \quad R_3 = \text{kg. } 0,083 V^2.$$

1° ipotesi:

La rottura sia avvenuta per cedimento del montante. Il calcolo del momento nella sezione considerata viene eseguito con procedimento semplificato, e cioè senza tener conto

(1) L'area colpita dal palo venne calcolata come somma della superficie effettiva della prima faccia del traliccio, e della superficie della seconda faccia moltiplicata per un coefficiente di riduzione

$$i = \frac{\text{area compresa nel contorno} - \text{area della prima faccia}}{\text{area compresa nel contorno.}}$$

$$(2) R'_1 = 0,075 \times 2,79 \times V^2$$

$$R'_2 = 0,075 \times 2,90 \times V^2$$

$$R'_3 = 0,045 \times 8,30 \times \left(\frac{2}{3} V\right)^2$$

dei momenti di  $P_2$ ,  $P_3$  per effetto della deformazione elastica: la piccola entità degli sforzi  $P_2$ ,  $P_3$  giustifica il procedimento (1), specie ove si tenga conto dell'ordine di approssimazione conseguito.

Il momento nella sezione di rottura è:

$$M_x = R_2 (h_2 - 8,00) + R_3 (h_3 - 8,00) = \text{kgcm. } 99,6 \text{ V}^2.$$

Elementi del montante:  $(60 \times 60 \times 7)$ :  
sezione:

$$F' = \text{cmq. } 8,1;$$

sezione effettiva (ridotta per effetto della chiodatura):

$$F = \text{cmq. } 6,8;$$

lunghezza libera:

$$l = \text{cm. } 75;$$

momento d'inerzia minimo:

$$J_{min} = \text{cm.}^4 \text{ } 10,7;$$

raggio d'inerzia:

$$e = \sqrt{\frac{J_{min}}{F'}} = \text{cm. } 1,15.$$

Lo sforzo di compressione che può essere sopportato dal montante allo snervamento è per unità di superficie (Navier-Schwarz):

$$\sigma' = \frac{\sigma_s}{1 + \chi \left(\frac{l}{e}\right)^2};$$

assunti:

$$\sigma_s = 2650 \text{ kg/cmq (Tetmajer);}$$

$$\chi = 0,00008 \text{ (Schübler e Krohn),}$$

si ha

$$\sigma' = \frac{2650}{1 + 0,00008 \left(\frac{75}{1,15}\right)^2} \simeq \text{kg/cmq. } 2000.$$

Il montante sopporta inoltre uno sforzo di compressione unitario

$$\sigma'' = \frac{P_2 + P_3}{2F} = \frac{200 + 280}{2 \times 6,8} \simeq \text{kg/cmq. } 35,$$

che può essere trascurato.

La sollecitazione unitaria a snervamento dovuta alla flessione si può quindi ritenere pari a

$$\sigma = \sigma' - \sigma'' \simeq \text{kg/cmq. } 2000.$$

---

(1) Eseguimmo comunque anche la ricerca più rigorosa, tenendo conto delle deformazioni elastiche; e giungemmo a risultati praticamente identici a quelli qui riportati.

Il modulo di resistenza della sezione considerata risulta, in via approssimata

$$\frac{J}{z} = \text{cm.}^3 350;$$

onde

$$M_x = \frac{J}{z} \sigma,$$

ovvero

$$99,6 V^2 = 2000 \times 350,$$

da cui

$$V = \text{m/s } 84 = \text{km/h } 300.$$

Al fine di controllare questo risultato eseguiamo la identica ricerca per il montante della sezione d'incastro, che resiste.

Si ha, in modo analogo:

$$M_{max} = R_1 h_1 + R_2 h_2 + R_3 h_3 = \text{kgcm. } 301 V^2.$$

Elementi del montante (70 × 70 × 7):

$$F' = \text{cmq. } 9,4$$

$$l = \text{cm. } 100$$

;

;

$$F = \text{cmq. } 8,0$$

$$J_{min} = \text{cm.}^4 17,5$$

$$\rho = \sqrt{\frac{J_{min}}{F'}} = \text{cm. } 1,37;$$

$$\sigma' = \frac{\sigma_s}{1 + 0,00008 \left(\frac{l}{\rho}\right)^2} \cong \text{kg/cmq. } 1900;$$

$$\sigma'' = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{2F} = \frac{180 + 200 + 280}{2 \times 8,0} \cong \text{kg/cmq. } 40,$$

trascurabile;

$$\sigma = \sigma' - \sigma'' \cong \text{kg/cmq. } 1900.$$

$$\frac{J}{z} = \text{cm.}^3 800;$$

$$M_{max} = \sigma \frac{J}{z}$$

$$301 V^2 = 1900 \times 800,$$

da cui

$$V \cong \text{m/s } 71 \cong \text{km/h } 260.$$

2<sup>a</sup> ipotesi:

La rottura sia avvenuta per cedimento del diagonale.

Elementi del diagonale: (35 × 35 × 4):

$$F' = \text{cmq. } 2,67$$

$$l = \text{cm. } 65$$

;

;

$$F = \text{cmq. } 1,5;$$

$$J_{min} = \text{cm.}^4 1,24;$$

$$\rho = \sqrt{\frac{J_{min}}{F'}} = \text{cm. } 0,68;$$

$$\sigma = \frac{\sigma_s}{1 + \chi \left(\frac{l}{\rho}\right)^2} = \frac{2650}{1 + 0,00008 \left(\frac{65}{0,68}\right)^2} = \text{kg/cmq. } 1530.$$

D'altro canto lo sforzo totale è dato dalla espressione:

$$P = (R_2 + R_3) \frac{b_1}{b \cos \alpha}$$

in cui  $b_1$  è la larghezza del palo nella sezione in cui è applicata la risultante delle  $R_2, R_3$  (1), e  $b$  la larghezza nella sezione di rottura.

Nel caso attuale:

$$b_1 = \text{cm } 33$$

$$b = \text{cm. } 60;$$

e infine  $\alpha$  è l'angolo che il diagonale forma con l'orizzonte, pari, nel caso attuale, a circa  $35^\circ$ .

Sostituendo:

$$P = (0,109 V^2 + 0,083 V^2) \frac{33}{60 \times 0,82} = \text{kg. } 0,129 V^2.$$

D'altronde è:

$$P = \sigma F,$$

ovvero:

$$P = 1530 \times 1,5 = \text{kg. } 2300.$$

Si ha, uguagliando:

$$2300 = 0,129 V^2,$$

da cui

$$V = \text{m/s } 133 = \text{km/h } 480,$$

valore molto maggiore di quello prima trovato.

(Eseguita analoga ricerca per la sezione d'incastro trovammo ancora per  $V$  un valore dello stesso ordine).

In definitiva:

la velocità calcolata risulta di m/s 84 ove si consideri la sezione nella quale si verificò la rottura; risulta d'altronde che una velocità minore, di m/s 71, sarebbe stata sufficiente per provocare la rottura nella sezione d'incastro, che resistette. Ora, se teniamo conto dell'ordine di approssimazione conseguito in calcoli, come il presente, nei quali il grado di incertezza nell'apprezzamento di diversi elementi non è indifferente; del fatto che la sezione di rottura può aver ceduto per uno sforzo minore del calcolato, per effetto di qualche vizio di costruzione o del materiale; mentre la sezione d'incastro può aver offerto una resistenza maggiore della calcolata; se ancora teniamo conto del numero non lieve di pali abbattuti in condizioni analoghe; possiamo asserire che la velocità del vento fu dell'ordine di m/s 75 a 80, cioè di km/h 270 a 290.

Poichè nel traliccio ora preso in esame l'incastro resistette, è interessante determinare la sollecitazione subita dal terreno.

Calcolo del momento motore:

$$\begin{array}{l} \text{Forze} \\ R_3 = \text{kg. } 0,209 V^2 \end{array}$$

$$R_2 = \text{kg. } 0,218 V^2$$

$$R_3 = \text{kg. } 0,166 V^2$$

bracci

$$\text{m. } 5,10$$

$$\text{m. } 13,50$$

$$\text{m. } 16,05$$

$$M_m = (0,209 \times 5,10 + 0,218 \times 13,50 + 0,166 \times 16,05) V^2 = 6,67 V^2;$$

e, ove noi consideriamo una velocità di m/s 75:

$$M_m = \text{kgm. } 37.500.$$

(1) L'altezza della sezione nella quale è applicata la risultante delle  $R_2, R_3$  è:

$$h = \frac{R_2 h_2 + R_3 h_3}{R_2 + R_3} = \frac{0,109 V^2 \cdot 12,40 + 0,083 V^2 \cdot 14,95}{0,109 V^2 + 0,083 V^2} = \text{m. } 13,50$$

Detti:

$a$  il lato di base del prisma di fondazione,

$p$  la profondità d'interramento del prisma,

$g$  il peso del beton per mc.,

$K$  la resistenza del terreno (in kg/mq),

il momento resistente è:

$$M_r = \frac{a^3 p g}{2} - 0,445 p^2 \sqrt{\frac{g^3 a^5}{3 K}} + 0,082 a p^2 K.$$

Poichè nel caso attuale:

$$a = \text{m. } 1,60$$

;

$$p = \text{m. } 2,20,$$

posto:

$$g = \text{kg/mc. } 2400,$$

si ha, sostituendo, uguagliando il momento resistente al motore, e risolvendo l'equazione cubica che si ottiene rispetto a  $K$

$$K \cong \text{kg/mq. } 45.000.$$

\* \* \*

II. —

Consideriamo qui un palo (ancora della stessa linea), il quale cedette per rotazione dell'incastro. Il traliccio sosteneva una terna di conduttori in rame di mmq. 80 di sezione, con tesate di circa m. 160. Siccome il palo cadde in direzione normale alla linea, ammetteremo, come nel caso precedente, che il rovesciamento si sia effettuato per azione del vento sul palo e sui conduttori. E come nel caso precedente ammetteremo che la velocità del vento sui conduttori sia stata mediamente pari ai  $\frac{2}{3}$  di quella sul traliccio.

*Calcolo del momento motore:*

L'area del palo colpita dal vento venne calcolata procedendo come nel caso prima trattato. Il traliccio venne diviso in tre tronchi, al fine di determinare con sufficiente approssimazione la posizione del centro di pressione.

L'area totale colpita del traliccio risulta:

$$A_1 = \text{mq. } 4,21,$$

e il braccio rispetto al centro di rotazione:

$$a_1 = \text{m. } 7,35;$$

l'area dei conduttori colpita dal vento è:

$$A_2 = \text{mq. } 4,90,$$

e il corrispondente braccio:

$$a_2 = \text{m. } 14,20.$$

Assegnati al coefficiente  $\gamma$  gli stessi valori del caso precedente, otteniamo in definitiva, come espressione del momento motore,

$$\begin{aligned} M_m &= 0,075 A_1 a_1 V^2 + 0,045 A_2 a_2 \left(\frac{2}{3} V\right)^2 = \\ &= 0,075 \times 4,21 \times 7,35 \times V^2 + 0,045 \times 4,90 \times 14,20 \left(\frac{2}{3} V\right)^2 = 3,72 V^2. \end{aligned}$$



*Calcolo del momento resistente:*

Presunta in kg/mq. 40.000 la resistenza  $K$  del terreno; assunto  
 $g = \text{kg/mc. } 2400,$

ed essendo:

$$a = \text{m. } 2,00 \quad ; \quad p = \text{m. } 1,40,$$

abbiamo:

$$\begin{aligned} M_m &= \frac{a^3 p g}{2} - 0,445 p^2 \sqrt{\frac{g^3 a^5}{3 K}} + 0,082 a p^2 K = \\ &= \frac{2,00^3 \times 1,40 \times 2400}{2} - 0,445 \times 1,40^2 \sqrt{\frac{2400^3 \times 2,00^5}{3 \times 40.000}} + \\ &\quad + 0,082 \times 2,00 \times 1,40^2 \times 40.000 = \text{kgm. } 24.500. \end{aligned}$$

Eguagliando i due momenti, resistente e motore, si ha:

$$3,72 V^2 = 24.500,$$

da cui:

$$V \cong \text{m/s } 81 \cong \text{km/h } 290$$

(Abbiamo, per riprova, determinata la velocità corrispondente alla rottura della sezione d'incastro — sezione pericolosa — ed abbiamo trovato un valore maggiore di quello ora calcolato).

\* \* \*

Un terzo tentativo di determinazione della velocità del vento facemmo, prendendo in esame il caso di una soletta in calcestruzzo armato (copertura della cella mortuaria del cimitero di Volpago), che fu sollevata dal vento e trascinata a una ventina di metri di distanza. La soletta aveva una superficie di circa mq. 18, ed un peso (stimato valutando in kg/mc. 2400 il peso del materiale), di circa kg. 5600. Detto  $P$  il peso della soletta, e conservando agli altri simboli i noti significati, abbiamo:

$$P = \gamma A V^2$$

ed assumendo ancora  $\gamma$  pari a 0,075, e sostituendo

$$5600 = 0,075 \times 18 \times V^2,$$

da cui:

$$V = \text{m/s } 65 = \text{km/h } 230 \text{ (1).}$$

**VIII. — Alcune considerazioni sulla distribuzione delle velocità nella tromba.**

Il notevole numero di elementi rilevati ci induce a tentare di costruire uno schema della distribuzione delle velocità del vento nella tromba.

A tal fine ammettiamo che la velocità di rotazione varii con il raggio secondo la relazione:

$$(1) \quad v = k \rho$$

per:

$$0 \leq \rho \leq \rho_m ;$$

(1) Questo valore ci rappresenta evidentemente l'entità della componente verticale della velocità. Ove noi accettiamo come valore della componente orizzontale m/s 80, avremmo che la velocità vera (risultante) risulterebbe pari a m/s 103, con una inclinazione sull'orizzonte di circa 39°.

Poche sono le trombe per le quali si potè, in qualche guisa, tentare una determinazione della velocità del vento. Ricordiamo qui soltanto quelle per le quali si hanno dati di qualche attendibilità: così la tromba di St. Claude, del 19 agosto 1890, con m/s 83; quella di Chatenay, del 18 giugno 1839, con m/s 75; quella di Novska, del 31 maggio 1892, con m/s 100. (V. Wegener, op. cit., p. 182 e segg.).

e secondo la relazione:

$$(2) \quad v = c \rho^{-\lambda}$$

per:

$$\rho \geq \rho_m;$$

essendo nella (2):

$$+1 \leq \lambda \leq +\infty.$$

Le costanti  $k, c$  sono legate dalla relazione

$$(3) \quad c = k \rho_m^{\lambda+1}$$

che si ottiene uguagliando le (1), (2) per  $\rho = \rho_m$ .

In queste ipotesi si viene ad ammettere che il vortice sia costituito di due parti (fig. 19): una parte centrale, «nucleo», di raggio  $\rho_m$ , nella quale si ha costanza di velocità angolare; nella quale cioè i filetti aerei si muovono solidalmente, come elementi di uno stesso sistema rigido;

una parte periferica, «mantello», nella quale si ha invece trascinamento dei filetti esterni da parte degli interni; nella quale cioè la velocità tangenziale decresce con l'aumentare del raggio. Il mantello sarebbe quindi costituito dalla massa d'aria alla quale, per effetto degli attriti, il nucleo trasmette il movimento di rotazione; mentre il nucleo costituirebbe invece la parte originaria del movimento vorticoso. In queste ipotesi l'esponente  $\lambda$  sarebbe uguale a  $+\infty$  all'istante iniziale (formazione della tromba), cioè quando il nucleo non ha ancora trasmesso alcun movimento alla massa d'aria circostante; e decrescerebbe man mano che il moto vorticoso si propaga, tendendo al valore limite  $+1$ , corrispondente alla costanza del momento di rotazione (1).

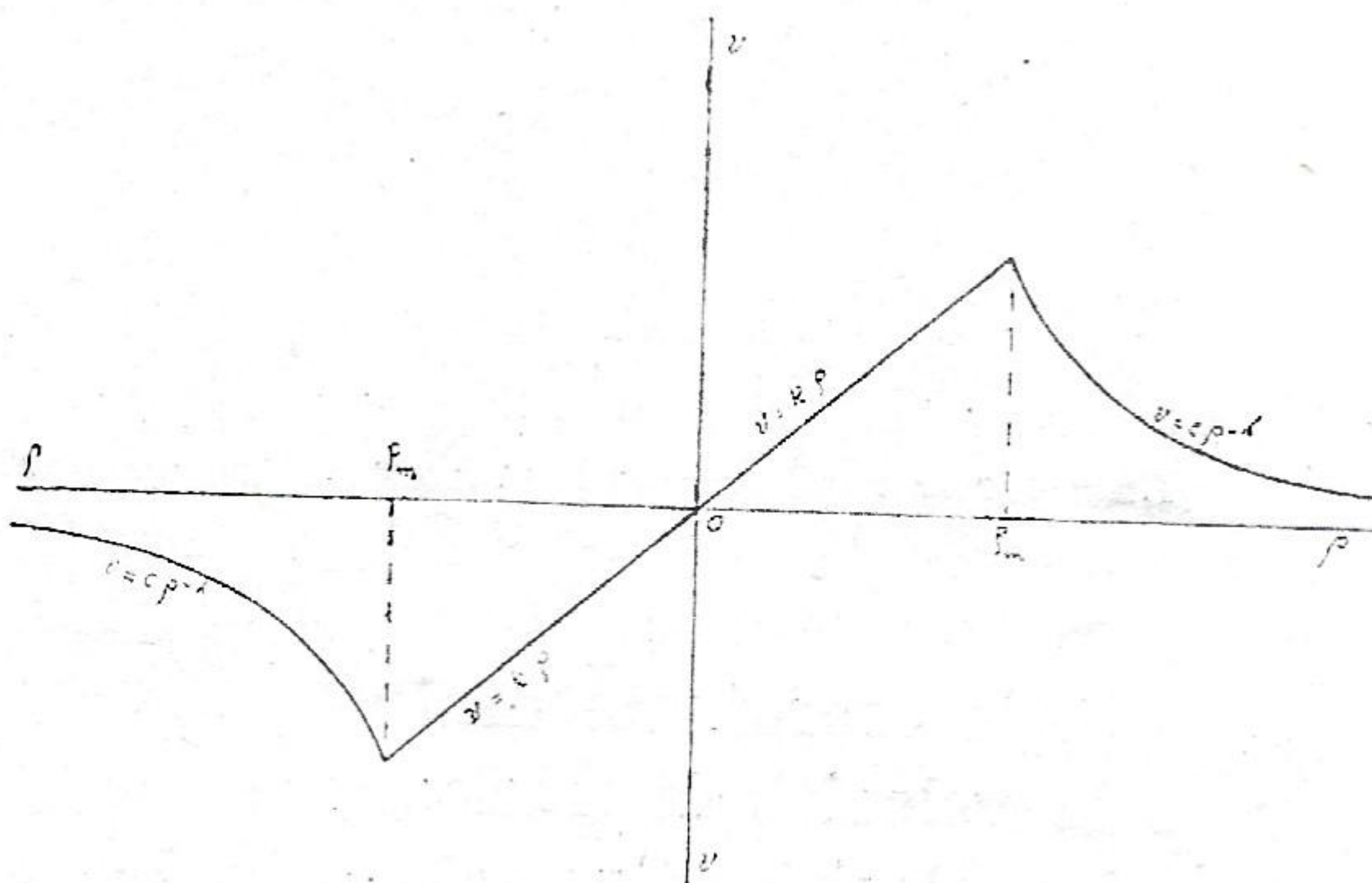


Fig. 19.

Schema della variazione della velocità di rotazione nel vortice.

In base a queste ipotesi determiniamo:

- 1) la velocità risultante e la direzione del moto nei diversi punti del vortice, nello stesso istante;
- 2) la velocità risultante e la direzione del moto nei diversi punti del piano, in funzione del tempo;
- 3) la velocità massima e la corrispondente direzione del moto nei diversi punti del piano;
- 4) la traiettoria dei diversi filetti aerei e le corrispondenti velocità nei successivi istanti.

(1) Infatti per  $\lambda = 1$  la (2) dà

$$v = c \rho^{-1};$$

ovvero:

$$\frac{v}{\rho} \rho^2 = c,$$

in cui il primo membro è appunto il momento di rotazione, il secondo una costante.

1. — *Velocità risultante e direzione del moto nei diversi punti del vortice, nello stesso istante.*

Assunto come polo il centro del vortice; come asse polare la normale alla traiettoria del centro; come senso positivo degli argomenti il senso di rotazione (sinistrorso nel caso nostro), siano (fig. 20):

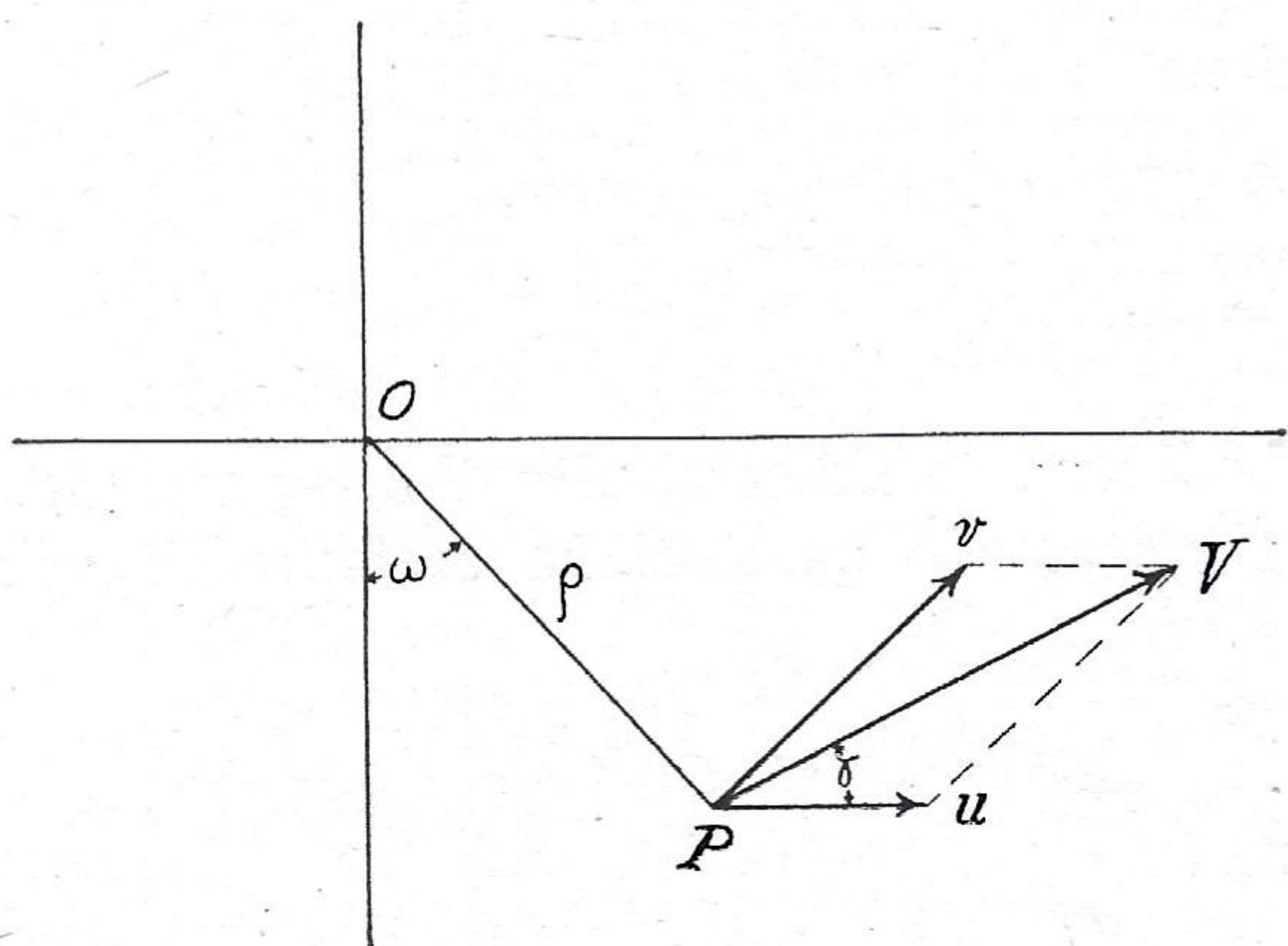


Fig. 20.

La velocità risultante nel punto generico del vortice.

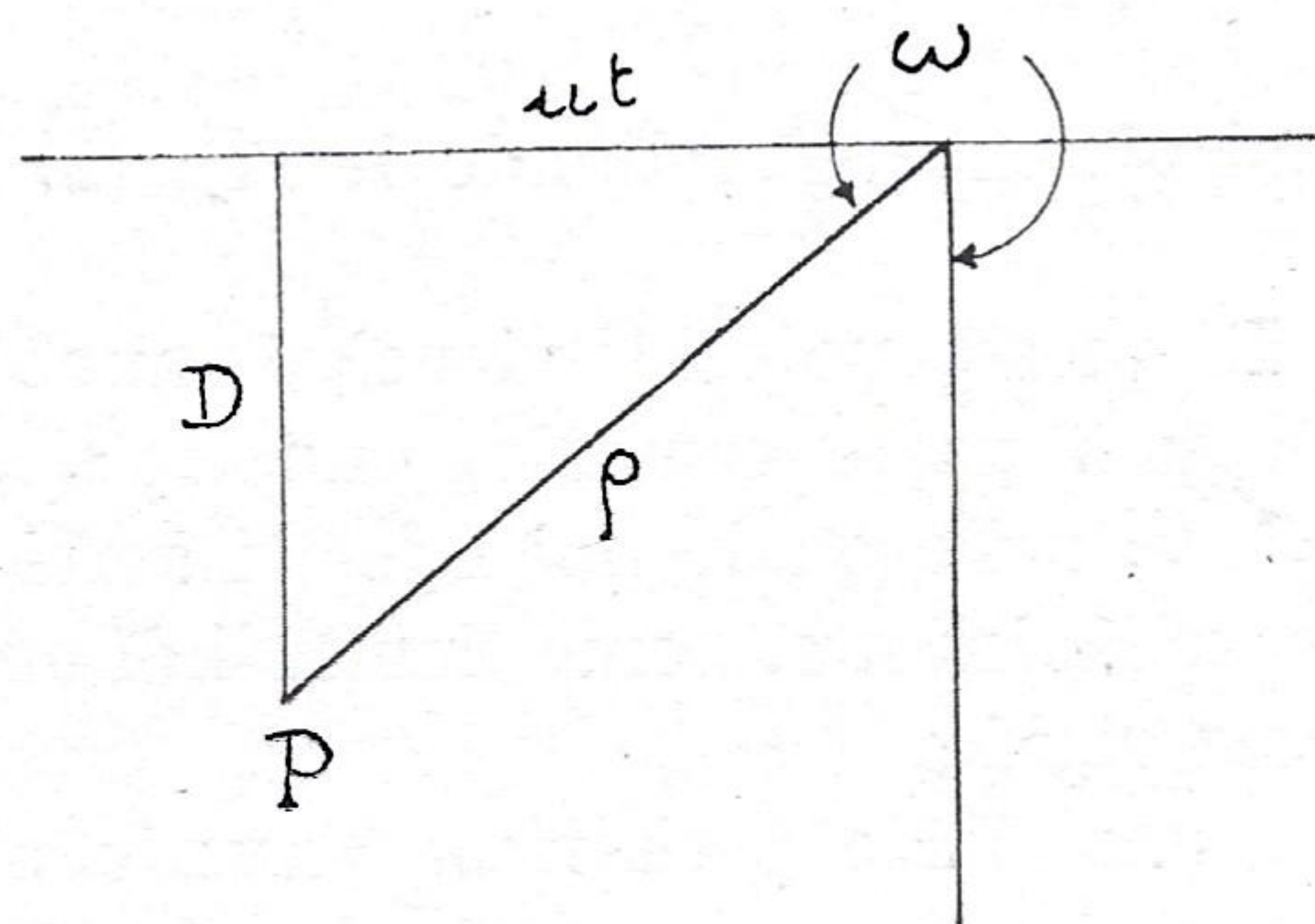


Fig. 21.

Coordinate di un punto del piano rispetto al centro del vortice in funzione del tempo.

$\rho, \omega$  le coordinate di  $P$ ;  
 $u$  la velocità di traslazione;  
 $v$  la velocità di rotazione in  $P$ ;  
 $V$  la velocità risultante in  $P$ ;

$\gamma$  l'angolo che la direzione del moto forma con la traiettoria del centro (senso positivo sinistrorso).

Si ha:

$$(4) \quad V = \sqrt{u^2 + v^2 + 2uv \cos \omega},$$

$$(5) \quad \operatorname{tg} \gamma = \frac{v \operatorname{sen} \omega}{u + v \cos \omega}.$$

Sostituendo in (4), (5) i valori di  $v$  dati dalle (1), (2), si ha rispettivamente: per  $\rho \leq \rho_m$  cioè per i punti appartenenti al *nucleo*:

$$(6) \quad V = \sqrt{u^2 + k^2 \rho^2 + 2uk \cos \omega};$$

$$(7) \quad \operatorname{tg} \gamma = \frac{k \rho \operatorname{sen} \omega}{u + k \rho \cos \omega};$$

per  $\rho \geq \rho_m$  cioè per i punti appartenenti al *mantello*:

$$(8) \quad V = \sqrt{u^2 + c^2 \rho^{-2\lambda} + 2c \rho^{-\lambda} u \cos \omega};$$

$$(9) \quad \operatorname{tg} \gamma = \frac{c \operatorname{sen} \omega}{u \rho^\lambda + c \cos \omega}.$$

2. — *Velocità risultante e direzione del moto nei diversi punti del piano, in funzione del tempo.*

Sia  $D$  la distanza all'istante  $t$  del punto  $P$  dalla retta dei centri (traiettoria del centro del vortice), distanza che assumeremo positiva per i punti giacenti a destra (rispetto al senso della traslazione) di tale retta, negativa per quelli a sinistra. Assumiamo come origine dei tempi l'istante del passaggio del centro di rotazione sul piede della normale condotta da  $P$  alla retta dei centri.

Le coordinate di  $P$  rispetto al centro di rotazione sono, all'istante  $t$  (fig. 21):

$$(10) \quad \varrho = \sqrt{D^2 + u^2 t^2};$$

$$(11) \quad \omega = \operatorname{arctg} - \frac{u t}{D}.$$

a) se

$$|D| \leq \varrho_m$$

$P$  appartiene al nucleo (cioè  $0 \leq \varrho \leq \varrho_m$ ) per

$$|t| \leq \frac{\sqrt{\varrho_m^2 - D^2}}{u};$$

sostituendo in (6), (7) i valori di  $\varrho$  e di  $\omega$  dati dalle (10), (11) si ha:

$$(12) \quad V = \sqrt{u^2 + k^2 D^2 + k^2 u^2 t^2 + 2 k u D};$$

$$(13) \quad \operatorname{tg} \gamma = - \frac{k u t}{u + k D};$$

$P$  appartiene al mantello (cioè  $\varrho \geq \varrho_m$ ) per

$$|t| \geq \frac{\sqrt{\varrho_m^2 - D^2}}{u};$$

sostituendo in (8), (9) i valori di  $\varrho$  e di  $\omega$  dati dalle (10), (11), si ha:

$$(14) \quad V = \sqrt{u^2 + c^2 (D^2 + u^2 t^2)^{-\lambda} + 2 c u D (D^2 + u^2 t^2)^{-\frac{\lambda+1}{2}}};$$

$$(15) \quad \operatorname{tg} \gamma = - \frac{c u t}{u (D^2 + u^2 t^2)^{\frac{\lambda+1}{2}} + c D}.$$

b) se:

$$|D| \geq \varrho_m$$

$P$  appartiene al mantello (cioè  $\varrho \geq \varrho_m$ ) qualunque sia il valore di  $t$ . La velocità e la direzione del moto sono ancora date dalle (14), (15), le quali non soffrono in questo caso alcuna limitazione, essendo valide per tutti i valori di  $t$  ( $-\infty \leq t \leq +\infty$ ).

3. — *Velocità massima e corrispondente direzione del moto nei diversi punti del piano.*

$$a) \quad D \geq 0, \quad |D| \leq \varrho_m.$$

Il punto appartiene al nucleo per

$$|t| \leq \frac{\sqrt{\varrho_m^2 - D^2}}{u},$$

come già abbiamo detto. La (12) assume valor massimo con il termine

$$k^2 u^2 t^2;$$

e quindi per

$$t = \pm \frac{\sqrt{\varrho_m^2 - D^2}}{u},$$

che è, in valore assoluto, il massimo  $t$  compatibile con la (12); sostituendo in questa tale valore di  $t$  si ha

$$(16) \quad V_{max} = \sqrt{u^2 + k^2 \varrho_m^2 + 2 k u D};$$

e sostituendo lo stesso valore in (13) si ha la corrispondente direzione del moto:

$$\operatorname{tg} \gamma = \mp \frac{k \sqrt{\varrho_m^2 - D^2}}{u + k D}.$$

Se consideriamo il punto come appartenente al mantello, e quindi i valori di  $t$  esterni all'intervallo

$$(17) \quad -\frac{\sqrt{\varrho_m^2 - D^2}}{u}, + \frac{\sqrt{\varrho_m^2 - D^2}}{u};$$

e corrispondentemente determiniamo le condizioni di massima della (14), troviamo ancora gli stessi valori di  $V_{max}$  e di  $\operatorname{tg} \gamma$  dati dalle (16), (17). Possiamo quindi concludere, asserendo che la velocità massima si verifica nei due istanti, simmetrici rispetto all'istante zero, nei quali la distanza del punto dal centro di rotazione è uguale al raggio del nucleo  $\varrho_m$ .

È facile vedere che nel caso limite

$$D = \varrho_m,$$

si ha:

$$V_{max} = u + k \varrho_m,$$

$$\operatorname{tg} \gamma = 0,$$

cioè i due massimi coincidono nell'istante  $t = 0$ , istante nel quale il centro del vortice passa sul piede della normale condotta da  $P$  alla retta dei centri; e le due velocità, di rotazione e di traslazione, si sommano linearmente.

$$b) \quad D > 0, \quad |D| \geq \varrho_m.$$

Il punto appartiene sempre al mantello. La (14) assume valor massimo per  $t = 0$ , e diventa

$$(18) \quad V_{max} = u + c D^{-\lambda};$$

mentre la (15) dà, per  $t = 0$ :

$$(19) \quad \operatorname{tg} \gamma = 0;$$

cioè la velocità massima si verifica nell'istante  $t = 0$ ; e le velocità di rotazione e di traslazione si sommano linearmente.

$$c) \quad D < 0, \quad |D| \leq \varrho_m.$$

Se consideriamo i valori di  $t$  per i quali il punto appartiene al nucleo ritroviamo ancora, come al caso  $a$ ), le (16), (17).

Se invece consideriamo i valori di  $t$  esterni all'intervallo:

$$-\frac{\sqrt{\varrho_m^2 - D^2}}{u}, + \frac{\sqrt{\varrho_m^2 - D^2}}{u},$$

in corrispondenza dei quali il punto appartiene al mantello, nulla possiamo dire a priori circa i valori di  $t$  che rendono massima la (14): le condizioni di massimo dipendendo dai valori delle costanti, come mostra l'ispezione delle derivate della (14) rispetto a  $t$ .

Non riportiamo qui la discussione relativa, che ha un-interesse analitico, ma esula dagli scopi che ci siamo prefissi. Basti qui dire che per velocità di rotazione alla periferia del nucleo (cioè dei filetti distanti  $\varrho_m$  dal centro di rotazione) abbastanza elevata rispetto a quella di traslazione (ed è questo il caso delle trombe), le condizioni di massimo conducono ancora alle (16), (17).

Anche in questo caso possiamo quindi asserire che la velocità massima si verifica in due istanti simmetrici rispetto all'istante zero, e precisamente quando la distanza del punto considerato dal centro di rotazione è uguale al raggio del nucleo.

Se anche qui consideriamo il caso particolare:

$$|D| = \varrho_m,$$

troviamo ancora, ferme restando le limitazioni suddette, che i due massimi coincidono nell'istante  $t = 0$ , e che le due velocità, di rotazione e di traslazione, si sottraggono linearmente.

$$d) \quad D < 0 \quad , \quad |D| \geq \varrho_m.$$

Il punto appartiene sempre al mantello.

Anche in questo caso nulla si può asserire a priori circa i valori di  $t$  che rendono massima la (14). Così nell'istante  $t = 0$  si può avere, a seconda dei valori delle costanti, un massimo assoluto, o un minimo relativo, o un minimo assoluto. Se si considerano le derivate successive della (14) rispetto a  $t$  si trova però ancora che per elevate velocità di rotazione alla periferia del nucleo, e per valori di  $D$  abbastanza piccoli (ed è il caso nostro, perchè noi ci limitiamo ad estendere la ricerca fino al margine sinistro della traccia), la velocità massima si ha all'istante  $t = 0$ , ed è data dalla differenza lineare delle velocità di rotazione e di traslazione. Velocità e direzione del moto sono ancora date dalle (18), (19).

Riassumendo:

per i punti che distano dalla retta dei centri di una quantità minore del raggio del nucleo la velocità massima si verifica in due istanti simmetrici rispetto all'istante zero, e precisamente negli istanti nei quali la distanza del punto dal centro di rotazione è uguale al raggio del nucleo; velocità e direzione del moto sono date dalle (16), (17);

per i punti che distano dalla retta dei centri di una quantità uguale o maggiore del raggio del nucleo la velocità massima si verifica nell'istante in cui il centro di rotazione passa sul piede della normale condotta dal punto alla retta dei centri (cioè nell'istante in cui la distanza del punto dal centro di rotazione è minima); la velocità massima è data dalla somma o dalla differenza delle velocità di rotazione e di traslazione, secondochè il punto si trova a destra o a sinistra della retta dei centri (per senso di rotazione sinistrorso); la direzione del moto forma con la traiettoria di traslazione un angolo in  $0^\circ$  o di  $180^\circ$  secondochè il punto si trova alla destra o alla sinistra della retta dei centri (sempre per senso di rotazione sinistrorso).

#### 4. — *Traiettoria dei filetti aerei e corrispondenti velocità nei successivi istanti.*

Sia  $\varrho$  la distanza del filetto generico dal centro di rotazione; e ancora  $u$ ,  $v$ ,  $V$  le velocità di traslazione, di rotazione, e risultante (1). Riferita la traiettoria a un sistema di assi ortogonali, e precisamente: assunto l'asse delle  $x$  coincidente con la retta dei centri (e come senso positivo il senso del moto di traslazione), l'asse delle  $y$  ad esso normale nel punto

---

(1) Naturalmente in tutte le considerazioni che seguono si dovrà sostituire a  $v$  il suo valore dato dalla (1) o dalla (2) secondochè il filetto appartiene al nucleo o al mantello.

occupato dal filetto nell'istante zero, le equazioni parametriche della traiettoria (fig. 22) rispetto al tempo  $t$  sono manifestamente

$$(20) \quad \begin{cases} x = u t - \rho \left( 1 - \cos \frac{v}{\rho} t \right) \\ y = \rho \operatorname{sen} \frac{v}{\rho} t. \end{cases}$$

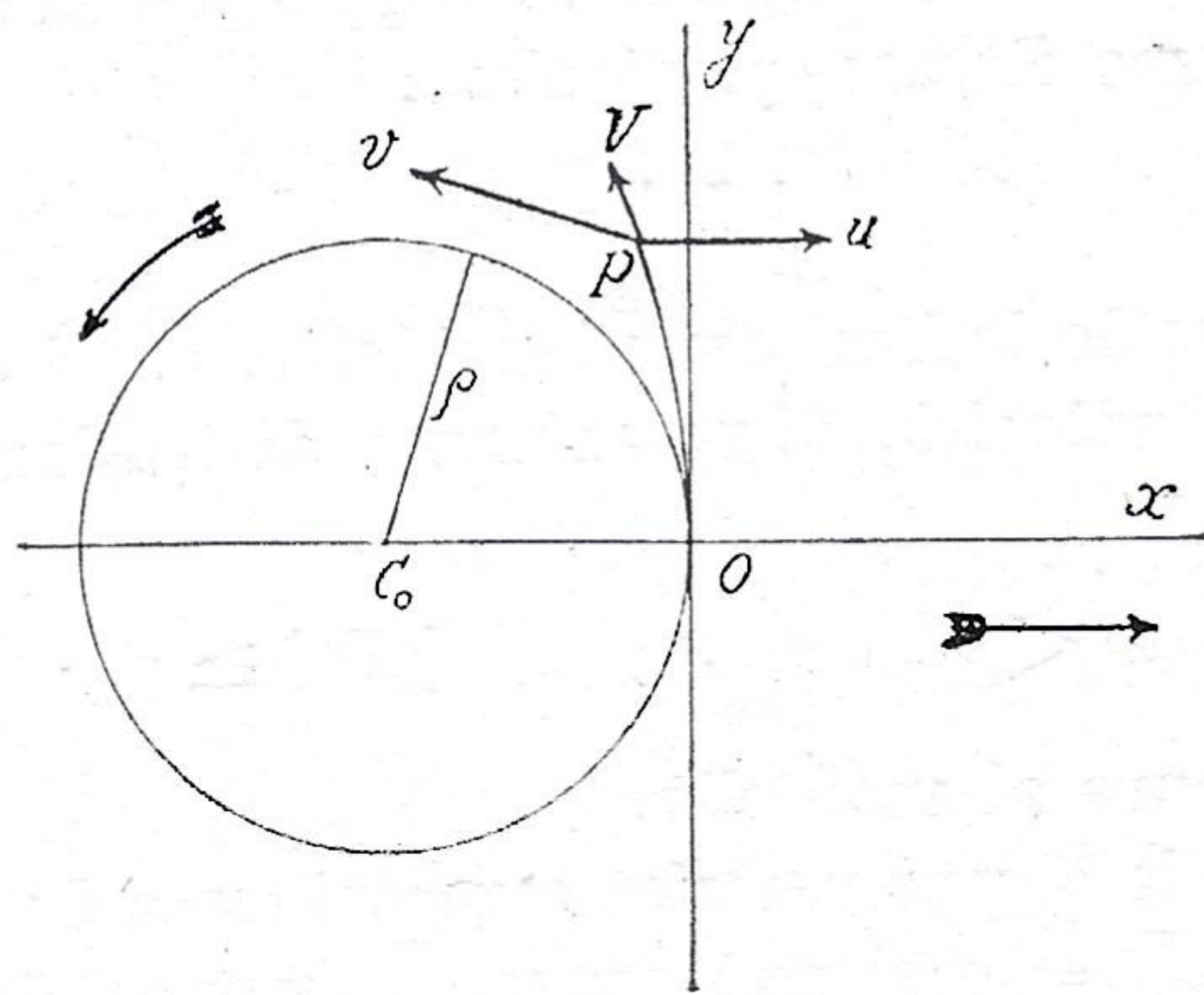


Fig. 22.  
Traiettorie dei filetti d'aria.

Differenziando rispetto a  $t$  si ha:

$$\begin{aligned} dx &= \left( u - v \operatorname{sen} \frac{v}{\rho} t \right) dt \\ dy &= v \cos \frac{v}{\rho} t dt; \end{aligned}$$

e poichè

$$\begin{aligned} ds &= \sqrt{dx^2 + dy^2}, \\ ds &= \sqrt{u^2 + v^2 - 2 u v \operatorname{sen} \frac{v}{\rho} t} dt, \end{aligned}$$

la velocità istantanea risulta:

$$(21) \quad V = \frac{ds}{dt} = \sqrt{u^2 + v^2 - 2 u v \operatorname{sen} \frac{v}{\rho} t};$$

e l'accelerazione

$$(22) \quad \frac{d^2 s}{dt^2} = \frac{u v^2 \cos \frac{v}{\rho} t}{\rho \sqrt{u^2 + v^2 - 2 u v \operatorname{sen} \frac{v}{\rho} t}}.$$

La Fig. 23 mostra l'andamento della velocità e dell'accelerazione.

Nei quattro istanti nei quali il raggio vettore forma con l'asse delle  $x$  angoli di  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$ , la velocità e l'accelerazione hanno i seguenti valori:

$$0^\circ \quad , \quad t = 2 m \pi \frac{\rho}{v} :$$

$$V = \sqrt{v^2 + u^2} \quad , \quad \frac{d^2 s}{dt^2} = - \frac{u v^2}{\rho \sqrt{v^2 + u^2}} ;$$

90° , 
$$t = (4m + 1) \frac{\pi}{2} \frac{\rho}{v} :$$

$$V = v - u \quad , \quad \frac{d^2 s}{dt^2} = 0 ;$$

180° , 
$$t = (2m + 1) \pi \frac{\rho}{v} :$$

$$V = \sqrt{v^2 + u^2} \quad , \quad \frac{d^2 s}{dt^2} = \frac{u v^2}{\rho \sqrt{u^2 + v^2}} ;$$

270° , 
$$t = (4m + 3) \frac{\pi}{2} \frac{\rho}{v} :$$

$$V = v + u \quad , \quad \frac{d^2 s}{dt^2} = 0 .$$

(m. = 0, 1, 2, 3, ...)

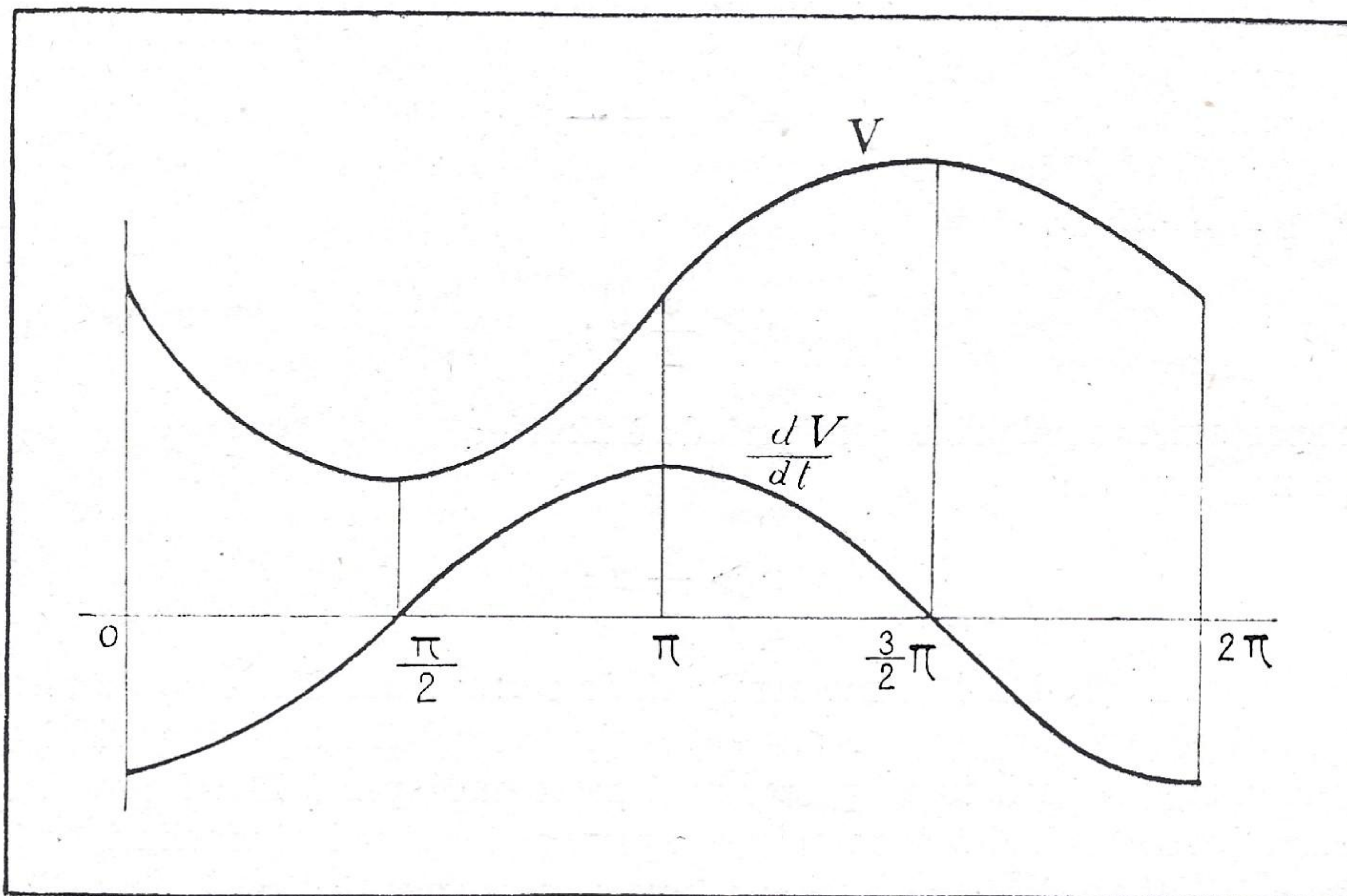


Fig. 23.  
Velocità e accelerazione dei filetti d'aria.

La massima e la minima velocità si verificano in corrispondenza degli angoli di 270° e di 90° rispettivamente.

Nei tre successivi istanti

$$t_1 = 2m\pi \frac{\rho}{v} \quad , \quad t_2 = (2m + 1)\pi \frac{\rho}{v} \quad , \quad t_3 = 2(m + 1)\pi \frac{\rho}{v} \quad ,$$

le (20) diventano rispettivamente:

per  $t = t_1$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = 2m\pi\rho \frac{u}{v} \\ y_1 = 0 ; \end{array} \right.$$



per  $t = t_2$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} x_2 = (2m + 1) \pi \varrho \frac{u}{v} - 2 \varrho \\ y_2 = 0; \end{array} \right.$$

per  $t = t_3$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} x_3 = 2(m + 1) \pi \varrho \frac{u}{v} \\ y_3 = 0; \end{array} \right.$$

ovvero nei tre istanti consecutivi  $t_1, t_2, t_3$  la traiettoria del filetto taglia l'asse delle  $x$ .

Consideriamo ora le differenze

$$\Delta' x = x_2 - x_1, \quad \Delta'' x = x_3 - x_2,$$

ovvero gli spostamenti, misurati lungo l'asse delle  $x$ , subiti dal filetto durante il primo ed il secondo semiperiodo (cioè negli intervalli  $t_2 - t_1$  e  $t_3 - t_2$ ).

Abbiamo

$$a) \quad \Delta' x = \pi \varrho \frac{u}{v} - 2 \varrho;$$

e quindi  $\Delta' x$  è positivo se:

$$v < \frac{\pi}{2} u;$$

in tal caso lo spostamento nel primo semiperiodo è diretto;

$\Delta' x$  è invece negativo se:

$$v > \frac{\pi}{2} u;$$

in tal caso lo spostamento è nel primo semiperiodo retrogrado. Nel caso di filetti appartenenti al vortice di una tromba si verificano entrambe le condizioni, per le variazioni subite da  $v$  con  $\varrho$ ; e precisamente si hanno spostamenti retrogradi per i filetti prossimi alla periferia del nucleo, dove la velocità di rotazione raggiunge i suoi valori massimi, ed è assai maggiore della velocità di traslazione; si hanno invece spostamenti diretti per i filetti prossimi al centro di rotazione o molto lontani da questo (cioè appartenenti alle parti estreme del mantello), dove la velocità di rotazione ha valori minimi.

È interessante rilevare come per

$$v = \frac{\pi}{2} u,$$

si abbia

$$\Delta' x = 0,$$

ovvero la traiettoria presenti i nodi sull'asse delle  $x$ .

Abbiamo inoltre

$$b) \quad \Delta'' x = \pi \varrho \frac{u}{v} + 2 \varrho,$$

e quindi  $\Delta'' x$  è sempre positivo, cioè il moto nel secondo semiperiodo è sempre diretto.

Dalle  $a)$ ,  $b)$  si ha, risolvendo rispetto a  $v$ :

$$(23) \quad v = \frac{\pi \rho u}{2 \rho + \Delta' x},$$

$$(24) \quad v = \frac{\pi \rho u}{\Delta'' x - 2 \rho}.$$

( $\Delta' x$  deve essere considerato affetto del proprio segno).

\* \* \*

Determinate così — in base alle presupposte leggi di variazione della velocità di rotazione — le relazioni intercedenti fra gli elementi cinematici del moto, tentiamo ora di calcolare, per mezzo di esse relazioni e delle grandezze misurate sperimentalmente, i valori delle costanti per la tromba del 24 luglio 1930, in modo da fornire di essa una rappresentazione schematica.

Ovviamente, al risultato al quale perverremo si deve attribuire esclusivamente il valore e il significato di un puro schema rappresentativo del fenomeno.

Come si è visto nel corso della nostra esposizione, le grandezze delle quali si poterono, con un certo ordine di approssimazione, determinare sperimentalmente i valori, sono le seguenti:

velocità di traslazione:

$$u = \text{m/s } 16;$$

velocità massima:

$$V_{max} = \text{m/s } 80;$$

distanza media della striscia di massimo danno dal margine destro della traccia:

$$d = \text{m. } 130;$$

larghezza media della traccia (1):

$$l = \text{m. } 420;$$

assegniamo inoltre alla velocità massima corrispondente ai margini della traccia (minima velocità dannosa) il valore

$$V_{min} = \text{m/s } 30 \text{ (2)}.$$

Per mezzo di questi valori ci proponiamo di determinare  $k$ ,  $c$ ,  $\rho_m$ ,  $\lambda$ , e le distanze  $D_1$ ,  $D_2$  dei margini destro e sinistro della traccia dalla retta dei centri.

La velocità massima di rotazione,  $v_{max}$ , è

$$v_{max} = V_{max} - u,$$

ovvero

$$v_{max} = 80 - 16 = \text{m/s } 64;$$

---

(1) Introduciamo nei calcoli la media dei valori determinati in corrispondenza dei punti nei quali potremmo individuare la striscia di massimo danno, e non già la media calcolata estesamente a tutta la zona colpita.

(2) Si obietterà che questa velocità, corrispondente a circa km/h 110, è, come minima velocità dannosa, troppo elevata: in quanto spesso velocità di vento anche minori provocano sollevamento di tegole, sradicamento di alberi, ecc. Ma se si tien conto del fatto che questa velocità è raggiunta nel caso attuale in un solo istante, si vedrà che il valore da noi assunto non è troppo discosto dal vero.

valore che introdurremo nella relazione

$$(a) \quad v_{max} = k \varrho_m \cdot$$

La distanza del margine destro della traccia dalla retta dei centri è manifestamente

$$(b) \quad D_1 = \varrho_m + d \cdot$$

Poichè i punti giacenti sul margine destro della traccia appartengono al mantello, per cui la velocità massima in essi è uguale alla somma delle velocità di rotazione e di traslazione, abbiamo

$$(c) \quad V_{min} = c D_1^{-\lambda} + u \cdot$$

Per i punti situati sul margine sinistro della traccia abbiamo invece:

$$(d) \quad V_{min} = c D_2^{-\lambda} - u ;$$

inoltre

$$(e) \quad l = D_1 + D_2 ;$$

e finalmente per la (3)

$$(f) \quad c = k \varrho_m^{\lambda+1} \cdot$$

Facendo coesistere le (a), (b), (c), (d), (e), (f), e sostituendo in esse i valori di  $u$ ,  $v_{max}$ ,  $V_{min}$ ,  $d$ ,  $l$ , prima trovati, si ottiene il sistema:

$$\begin{aligned} k \varrho_m &= 64 \\ D_1 &= \varrho_m + 130 \\ c D_1^{-\lambda} + 16 &= 30 \\ c D_2^{-\lambda} - 16 &= 30 \\ D_1 + D_2 &= 420 \\ c &= k \varrho_m^{\lambda+1} ; \end{aligned}$$

risolvendo il quale si ha:

$$\begin{aligned} \varrho_m &= \text{m. } 135 \\ D_1 &= \text{m. } 265 \\ D_2 &= \text{m. } 155 \\ c &= 8,3 \times 10^6 \\ k &= 0,474 \\ \lambda &= 2,4 \cdot \end{aligned}$$

Possiamo in definitiva assumere come elementi medii del vortice:  
raggio del nucleo:

$$\varrho_m = \text{m. } 135$$

larghezza della traccia:

$$l = \text{m. } 420$$

distanza del margine destro della traccia dalla retta dei centri:

$$D_1 = \text{m. } 265 ;$$

distanza del margine sinistro della traccia dalla retta dei centri:

$$D_2 = \text{m. } 155 ;$$

velocità di rotazione:

$$u = \text{m/s } 16 ;$$

velocità massima di rotazione:

$$v_{max} = \text{m/s } 64 ;$$

velocità massima verificatasi:

$$V_{max} = \text{m/s } 80 ;$$

velocità massima verificatasi ai margini della traccia:

$$V_{max} = \text{m/s } 30 ;$$

costanti (1):

$$k = 0,474 ; \quad \lambda = 2,4 ; \quad c = 8,3 \times 10^6 .$$

Introducendo i valori ora calcolati nelle formole prima trovate, abbiamo potuto dare delle rappresentazioni grafiche del fenomeno, ponendo in rilievo l'andamento di esso.

Così, calcolando un numero elevato di particolari valori delle (6), (7), (8), (9), abbiamo potuto costruire le curve isotache del vortice, e la direzione del vento nei singoli punti di esso.

La Tav. VII fornisce la rappresentazione diagrammatica della velocità in funzione del tempo (calcolata per mezzo delle (12), (14)) per alcuni punti caratteristici della traccia, e precisamente per i punti giacenti:

sulla retta dei centri;

a destra della retta dei centri, a distanza da questa pari al raggio del nucleo (punti appartenenti alla linea di massimo danno);

a sinistra della retta dei centri, a distanza uguale al raggio del nucleo;

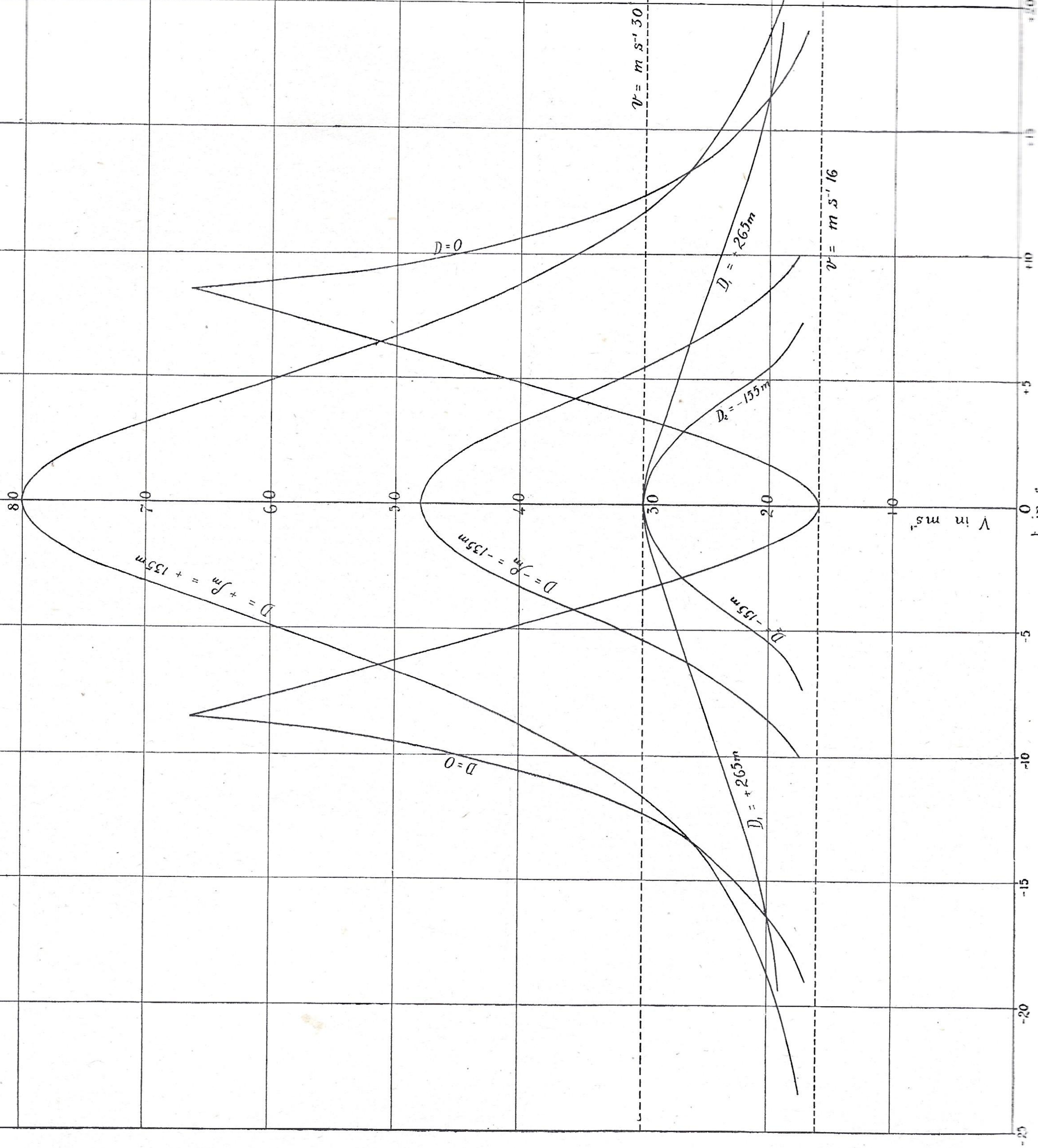
sui margini della traccia.

Come mostra il diagramma, nei punti giacenti sulla linea di massimo danno la velocità conserva un valore non inferiore ai m/s 30 per un intervallo di 24 secondi. Mentre nei punti situati sui margini della traccia la velocità raggiunge il valore di m/s 30 in un solo istante ( $t = 0$ ). Nei punti giacenti sulla retta dei centri i due massimi della velocità vengono raggiunti a un intervallo di 17 secondi: tale intervallo decresce man mano che si passa dalla retta dei centri ai punti distanti  $\rho_m$  da essa, nei quali ed oltre i quali i due massimi coincidono in uno solo, che si verifica all'istante  $t = 0$ .

Per mezzo delle (16), (17), (18), (19), abbiamo determinate le velocità massime, in intensità e direzione, per diversi punti giacenti su una trasversale della traccia. Si ebbe così una chiara interpretazione delle direzioni di abbattimento, e specialmente del fatto, spesso rilevato, di direzioni di abbattimento relative a uno stesso punto, formanti fra loro un angolo notevole (punti delle tracce in cui si hanno due massimi distinti di velocità). Non si vuol con questo asserire che le direzioni di abbattimento coincidano con le direzioni delle velocità massime, chè anzi dovrebbero, se mai, essere deviate a sinistra rispetto a queste, perchè durante la caduta la velocità ruota rapidamente in senso sinistrorso. Se teniamo conto di questa osservazione, e confrontiamo, con sguardo d'assieme (tenendo presenti le irregolarità dovute a trombe multiple, vortici secondarii, ecc.) le direzioni trovate per le velocità max. e quelle riportate sulla Carta 1:10.000, non possiamo a meno di rimarcare una notevole analogia.

---

(1) Nei riguardi di  $\lambda$  ricordiamo qui che il suo valore tende a diminuire con il progredire del vortice: derivandone una maggior propagazione della velocità di rotazione nel mantello; e quindi un allontanamento del margine destro della traccia dalla striscia di maggior danno (luogo dei punti la cui distanza dalla retta dei centri è positiva ed uguale al raggio del nucleo): tale fatto parrebbe confermato dai rilievi eseguiti, come già avemmo occasione di osservare a pag....



Velocità in funzione del tempo in alcuni punti particolari della traccia.

IX. — Tentativo di determinazione della caduta di pressione atmosferica nell'interno della tromba.

Se noi ammettiamo che la caduta di pressione atmosferica equilibri in ogni punto del vortice la reazione centrifuga, abbiamo, detta  $dh$  la variazione della pressione atmosferica corrispondente alla variazione  $d\rho$  del raggio:

$$(1) \quad \frac{dh}{d\rho} = a \frac{v^2}{\rho},$$

in cui  $v$ ,  $\rho$ , hanno i noti significati; mentre  $a$  è una costante che dipende dalle unità di misura, e precisamente (come è facile vedere)

$$a = 0,0097,$$

ove si misurino le pressioni in mm. di mercurio, gli spazi in metri, le velocità in metri/secondo.

Nel nucleo della tromba abbiamo quindi, sostituendo a  $v$  il suo valore (dato dalla (1) del § VIII)

$$\frac{dh}{d\rho} = a k^2 \rho.$$

Detti  $h_0$ ,  $h_{\rho_m}$ , i valori della pressione sull'asse del vortice e sulla periferia del nucleo (corrispondenti cioè ai valori  $0$  e  $\rho_m$  di  $\rho$ ), abbiamo, integrando,

$$h_{\rho_m} - h_0 = \int_0^{\rho_m} a k^2 \rho d\rho,$$

ovvero

$$(2) \quad h_{\rho_m} - h_0 = a k^2 \frac{\rho_m^2}{2}.$$

Nel mantello abbiamo, sostituito in (1) a  $v$  il suo valore (dato dalla (2) del § VIII),

$$\frac{dh}{d\rho} = a c^2 \frac{1}{\rho^{2\lambda+1}};$$

e poichè ((3) del § VIII)

$$c = k \rho_m^{\lambda+1};$$

sostituendo si ha

$$\frac{dh}{d\rho} = a k^2 \rho_m^{2\lambda+2} \frac{1}{\rho^{2\lambda+1}}.$$

Detta  $H$  la pressione corrispondente a  $\rho = \infty$ , abbiamo, integrando,

$$H - h_{\rho_m} = \int_{\rho_m}^{\infty} a k^2 \rho_m^{2\lambda+2} \frac{1}{\rho^{2\lambda+1}} d\rho,$$

ovvero

$$(3) \quad H - h_{\rho_m} = a k^2 \frac{\rho_m^2}{2\lambda};$$

e sommando le (2), (3)

$$H - h_0 = \frac{1}{2} a k^2 \rho_m^2 \left(1 + \frac{1}{\lambda}\right);$$

od anche, essendo

$$k^2 \varrho_m^2 = v_{max}^2,$$

$$(4) \quad H - h_0 = \frac{1}{2} a v_{max}^2 \left( 1 + \frac{1}{\lambda} \right);$$

e quindi, per

$$v = \text{m/s } 64, \quad \lambda = 2,4,$$

la caduta di pressione risulta

$$H - h_0 = \text{mm. } 28.$$

Poichè la pressione  $H$  era, all'istante del passaggio della tromba, di mm. 742,6 (Conegliano), il valore della pressione sull'asse del vortice risulterebbe così di mm. 714 circa.

Il valore della caduta della pressione ora calcolato è però certamente inferiore al vero, perchè nel calcolo non si tiene conto dell'attrito del piede della tromba sul suolo; attrito che ha per effetto di deformare la curva della depressione (curva che abbiamo costruita per mezzo delle relazioni precedenti). A questo riguardo è anzi facile vedere come tale deformazione sia causa di correnti discendenti nelle parti centrali della tromba, di correnti ascendenti nelle periferiche: si considerino infatti due sezioni del vortice a differenti altezze, e precisamente l'una al piede l'altra ad altezza tale che in essa non si faccia più risentire la deformazione della curva di depressione dovuta agli attriti; se, eseguendo le differenze fra le depressioni nei punti corrispondenti delle due sezioni, costruiamo il diagramma del gradiente relativo a tali sezioni, noi vediamo chiaramente come il gradiente sia negativo nelle parti centrali, positivo nelle periferiche, e quindi come si debbano avere correnti discendenti nelle prime, ascendenti nelle seconde (nelle parti estreme si può avere una nuova inversione del gradiente, e quindi una seconda zona nella quale le correnti sono discendenti).

L'insieme dei punti nei quali si ha inversione del gradiente costituisce la superficie di separazione delle correnti opposte, superficie che, per effetto delle condensazioni che lungo di essa si formano, si rende visibile, materializzando, per così dire, la tromba.

Si osserva ancora che ad aumento dell'attrito al suolo corrisponde una maggior deformazione della curva di depressione, e quindi un aumento del valore del gradiente; e perciò maggior richiamo di aria, ovvero di energia, dalle parti superiori della tromba; tale fatto può in un certo senso spiegare la maggior violenza mostrata dalla tromba all'incontro di ostacoli.

È finalmente facile vedere come la forma della tromba, cioè della superficie di condensazione che la rende visibile, sia strettamente legata all'andamento del gradiente, e quindi dell'attrito al suolo; la maggiore o minore conicità della superficie di condensazione dipendendo dall'attrito al suolo e dall'altezza della sezione nella quale l'attrito (come causa di deformazione della curva di depressione) non si fa più sentire: è evidente che quanto maggiore è l'attrito al suolo, e quanto più bassa è la sezione anzidetta, tanto maggiore è la conicità della camicia di condensazione.