

# Il tornado che colpì la laguna di Venezia

l'11 Settembre 1970

Qualche considerazione intorno alla teoria elettrica dei tornado

*(The tornado which struck the Venice lagoon on September 11, 1970.  
Some considerations on the electrical theory of the tornadoes)*

R. JANESELLI (\*)

Ricevuto il 18 Aprile 1972

RIASSUNTO. — Dopo aver accennato alla violenza del tornado che colpì la laguna di Venezia l'11 Settembre del 1970, vengono ricordate le principali ipotesi elaborate nel corso dei secoli intorno all'origine del terrificante vortice. In particolare viene fatta qualche considerazione sulla teoria elettrica dei tornado. All'autore pare che alcune caratteristiche del tornado verrebbero spiegate in maniera semplice supponendo che il tornado sia una cella convettiva percorsa da intense correnti elettriche. Infine, dopo aver ricordato le condizioni meteorologiche che prepararono il tornado dell'11 Settembre, ne vengono descritte le caratteristiche principali.

SUMMARY. — After a short description of the disastrous effects of the tornado which struck the Venice lagoon on September 11, 1970, the principal theories which in the centuries tried to account for the origin of such terrible vortexes, are reviewed. In particular, some remarks are given about the electrical theory of the tornadoes. It seems to the author that some features would be explained in a simple way by considering the tornado as a convective cell with electric currents of high intensity. Finally, after recalling the meteorological conditions preceding the tornado of September 11, its chief features are described.

## INTRODUZIONE.

Prima di addentrarci un po' nell'argomento crediamo opportuno premettere che all'inizio della presente indagine eravamo molto perplessi

---

(\*) Osservatorio Meteorologico dell'Istituto Cavanis di Venezia.

come chiamare il violento vortice che colpì la laguna di Venezia e la provincia di Padova l'11 Settembre del 1970: cioè non sapevamo se chiamarlo tornado o tromba d'aria (\*). In seguito, dopo aver studiato attentamente il violento fenomeno, siamo venuti alla conclusione che si è trattato di un vero tornado. Infatti il violento vortice presentò tutti i caratteri fondamentali di un tornado: una eccezionale attività elettrica, l'ultimo piano di molte case al suo passaggio scoppiò; molte barche pesanti, fornite di motore, divelte dai loro ormeggi, scaraventate in aria e lasciate cadere ad una certa distanza; automobili lanciate a qualche centinaio di metri e ridotte ad un groviglio di lamiere contorte; migliaia di alberi divelti e privati della loro corteccia. Ma ci sembra che la prova più sicura siano i dati che l'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia ci ha cortesemente fornito. Ora l'Osservatorio Meteorologico, che il Magistrato alle Acque di Venezia possiede al Lido, al passaggio della violenta bufera, fu gravemente danneggiato; però fortunatamente due strumenti fondamentali per lo studio del fenomeno rimasero indenni, e precisamente il barografo e l'anemografo che misura le raffiche. Invece altri strumenti, come l'anemografo per la misura della velocità media del vento ed il termoigrografo furono completamente messi fuori uso. L'indice del barografo, pochi istanti prima dell'arrivo del tornado, segnava 756 mm di mercurio (vedi Diagramma 1); al suo passaggio la pressione discese in pochi secondi a 740 mm; poi salì subito al suo valore primitivo; quindi diminuì di nuovo rapidamente a 751 mm per poi salire immediatamente al valore iniziale.

Quindi dall'analisi del diagramma ci sembra di poter dedurre che la proboscide del tornado abbia colpito due volte l'Osservatorio: la prima con violenza molto maggiore della seconda. Ovviamente crediamo che sia impossibile decidere se sia stata la stessa proboscide o se la prima sia stata seguita da una seconda. Infatti è noto che una proboscide può oscillare verticalmente sopra il medesimo posto e che un tornado può dar origine a parecchie proboscidi. Ad ogni modo la prima caduta di pressione fu di circa 16 mm di mercurio in pochi secondi.

---

(\*) Ci pare che sarebbe opportuno far distinzione tra tornado e tromba d'aria, intendendo per tornado un vortice di eccezionale violenza e che nel suo sviluppo percorre almeno qualche decina di chilometri a contatto della superficie terrestre. Altrimenti verremmo a porre sullo stesso piano vortici molto differenti, per es. quello (tornado) considerato nella presente nota e quelli (trombe d'aria), che colpirono la pianura veneta durante l'estate del 1971.

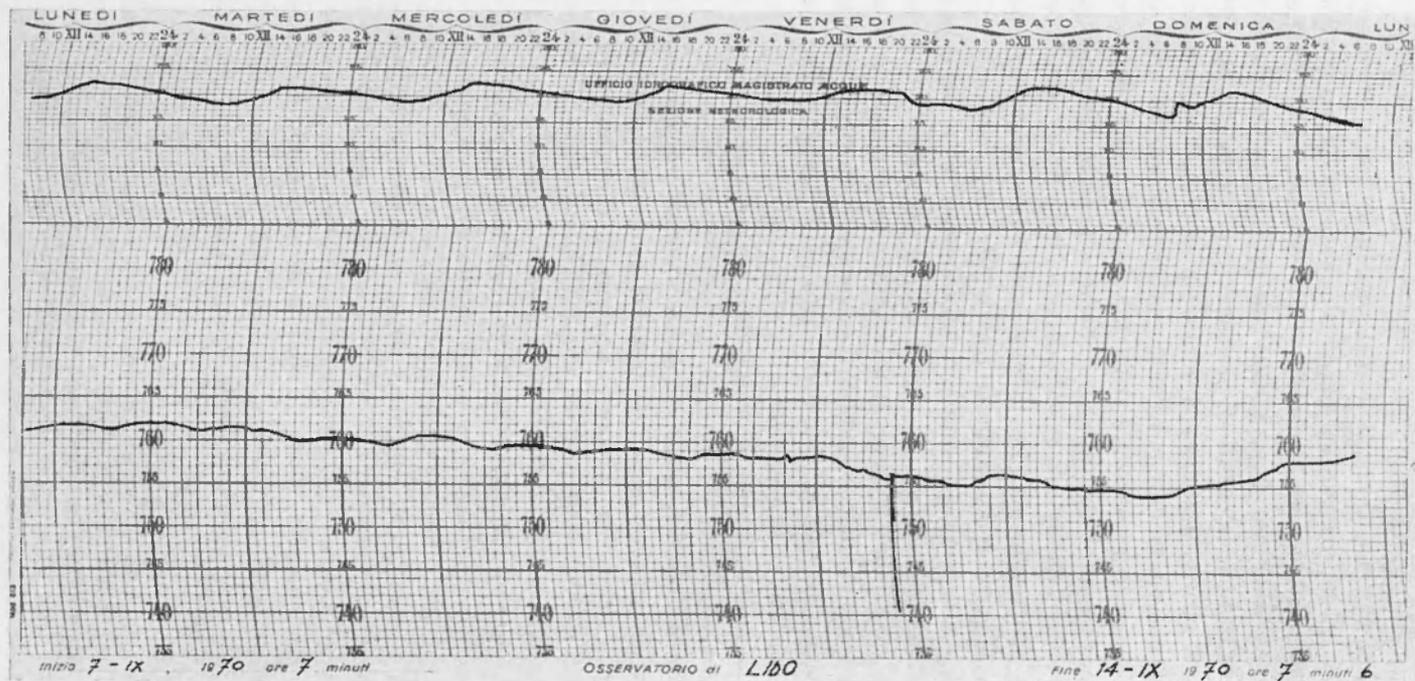


Diagramma I - Grafico del Termobarografo.

D'altra parte è logico pensare che l'Osservatorio non si trovasse proprio nel centro del tornado per cui ci sembra di poter dedurre che la differenza di pressione tra la parte esterna ed il centro del vortice sia stata superiore a 20 mm di mercurio. Tale opinione ci viene anche suffragata dal fatto che le cadute di pressione, probabilmente, sono molto superiori a quelle misurate dai barografi, perché essi generalmente sono stati progettati in modo inadeguato per rispondere alle improvvise (ma non istantanee) variazioni della pressione causate dal tornado nel suo spostamento. Quanto alle raffiche segnalate dall'anemografo « Dines », si rileva dal grafico che al passaggio del vortice esse dovevano superare i 220 km/h, giacché l'indice uscì ampiamente dal campo di registrazione (vedi Diagramma II) (\*).

I tornado, le trombe d'aria e le trombe marine (\*\*) erano conosciuti anche dagli antichi. Infatti intorno a tali vortici hanno scritto Lucrezio (7), Seneca, Plinio il Vecchio e in tempi più recenti Nicolò Machiavelli (8). La descrizione lasciataci dal grande scrittore fiorentino è talmente vivace e ci dà un'idea così esatta del terrificante turbine che crediamo opportuno trascriverla:

*« Ma tornando alle cose di Italia, dico come e' correva l'anno 1456, quando i tumulti mossi da Jacopo Piccinino finirono; donde che, posate l'armi dagli uomini, parve che Iddio le volessi prendere Egli, tanta fu una tempesta di venti che allora seguì, la quale in Toscana fece inauditi per lo addietro, e a chi per lo avvenire lo intenderà, maravigliosi e memorabili effetti. Partissi a' 24 d'agosto, una ora avanti del giorno, dalle parti del mare di sopra di verso Ancona, e attraversando per la Italia entrò nel mare di sotto verso Pisa, uno turbine d'una nugolaglia grossa e folta, la quale, quasi che due miglia di spazio per ogni verso occupava. Questa, spinta da superiori forze, o naturali o soprannaturali che le fussero, in se medesimo rotta, in se medesimo combatteva; e le spezzate nugole, ora verso il cielo salendo, ora verso terra scendendo, insieme si urtavano; e ora in giro con velocità grandissima si movevano, davanti a loro uno vento fuori di ogni modo impetuoso concitavano; e spessi fuochi e lucidissimi vampi intra loro nel combattere apparivano. Da queste così rotte e confuse nebbie, da questi così furiosi venti e spessi*

---

(\*) Non c'è una differenza sostanziale tra tornado e trombe marine. Possiamo dire che le trombe marine sono tornado che si muovono sull'acqua.

(\*\*) I diagrammi I e II sono importantissimi e molto rari, perché tutti gli strumenti degli Osservatori su cui passa un tornado, generalmente sono messi fuori uso.

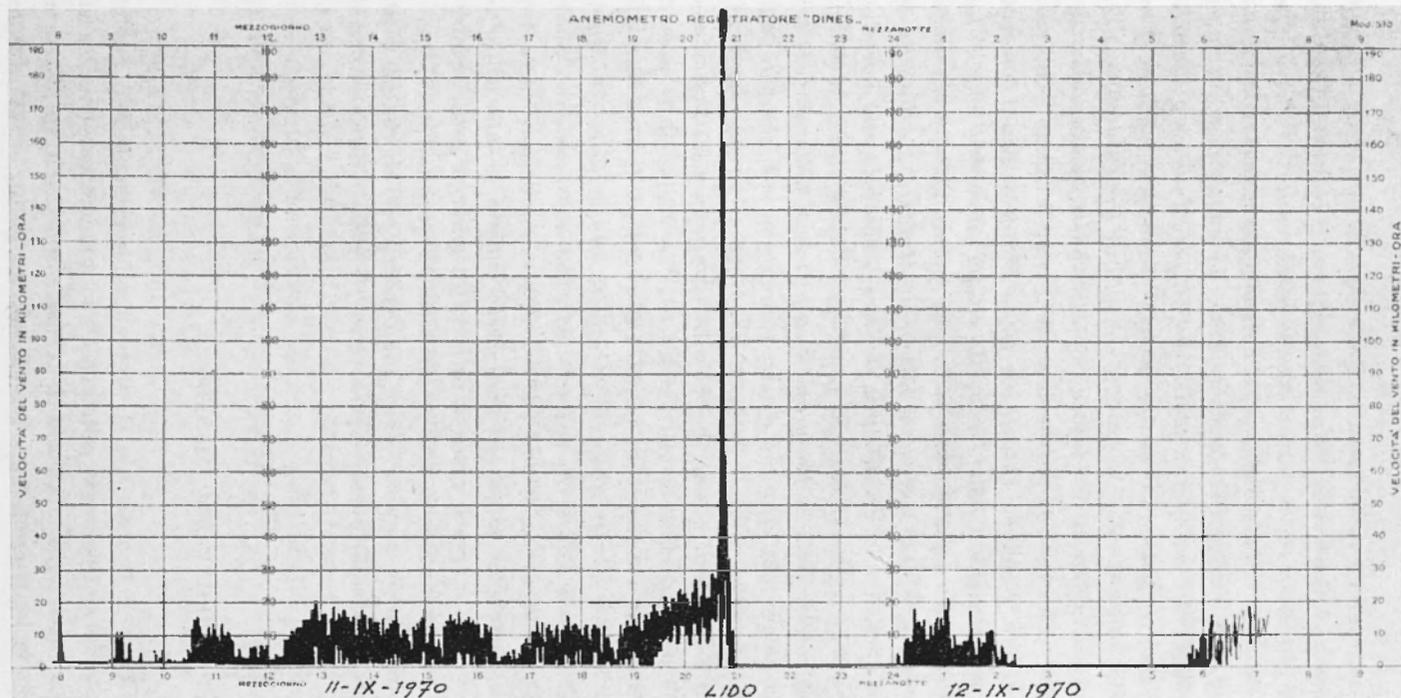


Diagramma II - Grafico dell'Anemometro Registratore « DINES », che misura le raffiche del vento.

*splendori, nasceva un romore non mai più da alcuna qualità o grandezza di tremuoto o di tuono udito; dal quale usciva tanto spavento, che ciascuno che lo sentì giudicava che il fine del mondo fusse venuto, e la terra, l'acqua e il resto del cielo e del mondo, nello antico caos, mescolandosi insieme, ritornassero. Fe' questo spaventoso turbine, dovunque passò, inauditi e maravigliosi effetti: ma più notabili che altrove, intorno al castello di San Casciano seguirono. È questo castello posto propinquo a Firenze a otto miglia, sopra il colle che parte le convalli di Pesa e di Grieve. Infra detto castello, adunque, e il borgo di Santo Andrea, posto sopra il medesimo colle, passando questa furiosa tempesta, a Santo Andrea non aggiunse, e San Casciano rasentò in modo che solo alcuni e cammini d'alcune case abbate; ma fuori, in quello spazio che è dall'uno de' luoghi detti all'altro, molte case furono infino al piano della terra rovinate. I tetti de' templi di San Martino a Bagnolo e di Santa Maria della Pace, come sopra quelli erano, furono più che uno miglio discosto portati. Un vetturale, insieme con i suoi muli, fu, discosto dalla strada, nelle vicine valli trovato morto. Tutte le più grosse querce, tutti i più gagliardi arbori, che a tanto furore non volevano cedere, furono non solo sbarbati, ma discosto molto da dove avevano le loro radici portati. Onde che, passata la tempesta e venuto il giorno, gli uomini stupiti al tutto erano rimasi. Vederasi il paese desolato e guasto: vederasi la rovina delle case e de' templi: sentivansi i lamenti di quelli che vedevano le loro possessioni distrutte, e sotto le rovine avevano lasciato il loro bestiame e i loro parenti morti: la qual cosa a chi vedeva e udiva recava passione e spavento grandissimo. Volle senza dubbio Iddio piuttosto minacciare che castigare la Toscana; perché se tanta tempesta fusse entrata in una città, infra gli abitatori assai e spessi, come la entrò infra querce e arbori e case poche e rade, senza dubbio faceva quella rovina e fragello che si può con la mente conietturare maggiore. Ma Iddio volle, per allora, che bastasse questo poco di esemplo a rinfrescare intra gli uomini la memoria della potenza sua ».*

#### TEORIE SULL'ORIGINE DEI TORNADO

Dice bene il Brooks <sup>(1)</sup> « Il problema fondamentale è quello di trovare la sorgente di energia potenziale e la maniera con cui essa viene trasformata in energia cinetica ». I tornado sono sempre generati da cicloni o da violenti temporali. Quindi tali tempeste, fornite di enormi

energie, potenzialmente contengono sempre dei tornado; però fortunatamente solo pochissimi sono generatori di tornado.

Circa l'origine dei tornado, delle trombe marine e delle trombe d'aria di certo si sa ben poco. Il Brooks nell'articolo testè citato passa brevemente in rassegna le principali teorie ed ipotesi intorno alla formazione di questi disastrosi vortici; ma conclude che tutte presentano dei lati oscuri e vulnerabili.

Secondo Espy, il calore latente di vaporizzazione fornirebbe l'energia necessaria alla formazione di un tornado. Ma tale ipotesi prima di tutto deve render conto della formazione della colonna d'aria ascendente in rapida rotazione.

Secondo alcuni scienziati, i tornado sono dovuti alla grandine. Showalter è del parere che la grandine, cadendo dalla sommità di un cumulo-nembo, raffredderebbe per conduzione ed evaporizzazione la massa d'aria sottostante, finché essa raggiunge una grande instabilità. Poiché tale instabilità non può propagarsi al di sopra, nella zona più fredda, nella troposfera più bassa verrebbe concentrata una grande energia convettiva.

Secondo altri scienziati, il tornado dovrebbe la sua origine a convergenze orizzontali di masse d'aria verso un punto di bassa pressione in una zona ciclonica. L'equazione della continuità esige che sopra la regione di bassa pressione sia presente una colonna d'aria ascendente la quale, arrivata ad una certa altezza, diverge verso l'esterno. La rotazione poi della massa d'aria ascendente potrebbe essere prodotta da differenze di velocità sul fronte ciclonico. Anche questa ipotesi non sembra dare una giustificazione sufficiente della formazione della bassa pressione in seno alla zona ciclonica.

Il Wegener ha proposto una teoria secondo la quale il tornado sarebbe prodotto da una nube temporalesca in rapida rotazione, la cui base si abbasserebbe fino a raggiungere il suolo. Ma le osservazioni indicano che le nubi temporalesche possono ruotare indifferentemente in senso orario e antiorario, mentre i tornado nell'emisfero boreale generalmente ruotano in senso antiorario.

#### LA TEORIA ELETTRICA DEI TORNADO

Ora ci fermeremo più diffusamente sulla teoria che spiega il tornado mediante la trasformazione di energia elettrica in energia cinetica. Tale teoria è molto antica, giacché riferimenti ad essa si trovano

già nelle Opere di Lucrezio (60 a.C.) e di Bacone (1622). Nel secolo scorso la teoria elettrica dei tornado fu sostenuta da Peltièr<sup>(10)</sup> e da Hare<sup>(11)</sup>, i quali, indipendentemente l'uno dall'altro, giunsero alla conclusione che i tornado sostanzialmente non fossero altro che correnti elettriche, di eccezionale intensità, tra la terra e le nubi.

In seguito tale teoria è caduta quasi in oblio, in parte per causa delle obiezioni ad essa rivolte da parte di Oersted<sup>(9)</sup> e di Finley (1887), quantunque essa sia stata riesaminata da Hazen<sup>(5)</sup> nel 1890.

Recentemente, in questi ultimi anni, essa è stata ripresa e sostenuta da B. Vonnegut<sup>(12, 14)</sup>. Adesso cercheremo di esporre brevemente le idee fondamentali di Vonnegut a sostegno della sua tesi<sup>(13)</sup>. Ovviamente l'energia elettrica immagazzinata in una nube temporalesca può trasformarsi in energia cinetica in due modi:

1) - Aria, fornita di una grande carica elettrica, può essere accelerata a una forte velocità per mezzo di un intenso campo elettrico<sup>(4)</sup>.

2) - Una grande energia elettrica può riscaldare un certo volume d'aria a una temperatura così elevata da produrre una convezione enormemente intensa (Lucrezio, 60 a.C.).

I meccanismi per mezzo dei quali nei temporali si ha trasporto di carica elettrica sono tre:

1) - Il primo è costituito dalle scariche dei fulmini. In questi uno stretto corridoio di aria diviene fortemente ionizzato e quindi conduttore, e il trasporto di carica attraverso ad esso avviene in una frazione di secondo (Hagenguth, 1951). Tale processo è intermittente e le correnti istantanee possono raggiungere valori molto elevati (molti chiloampere).

2) - Il secondo meccanismo avviene per mezzo di un arco continuo o di una scarica a bagliore. In tale caso il fluire della corrente è continuo, ma non raggiunge mai i valori elevati del primo caso.

3) - Il terzo processo avviene per conduzione: gli ioni o le particelle di una nube fortemente ionizzata sono messi in moto da intensi campi elettrici. Tali processi, quantunque ordinariamente non siano visibili, con ogni probabilità, forniscono la maggior parte della carica elettrica trasportata dalla terra alle nubi durante i temporali<sup>(16)</sup>.

L'autore ha osservato molte volte, durante i temporali, che l'indice dell'elettrometro adoperato per misurare il gradiente del potenziale elettroatmosferaico non passa istantaneamente da una estremità all'altra del campo, come avviene ordinariamente durante le scariche dei fulmini, ma lentamente e con velocità, grosso modo, costante, in

un minuto circa. Il che significa che in un minuto circa il cumulo-nembo situato sopra l'osservatorio ha invertito la sua polarità.

La spiegazione più ovvia di tale fenomeno è che sia avvenuto, per conduzione, il passaggio di una grande quantità di carica elettrica tra due punti a potenziale molto diverso, come nel terzo processo.

In tutti e tre i processi gran parte dell'energia elettrica viene trasformata in calore. Per es. l'energia termica liberata da un singolo colpo di un fulmine ordinario fa aumentare di 13°C la temperatura di una colonna d'aria lunga 5 km e del diametro di 10 m. Nei temporali comuni il calore prodotto dalle scariche elettroatmosferaiche e dalla conduzione viene diffuso in un grande volume, e quindi non può produrre una convezione rilevante. Nel caso dei temporali violenti, che generano i tornado, le condizioni sono del tutto differenti. Se parecchi colpi di violenti scariche seguono il medesimo tragitto, essi possono riscaldare fortemente un volume relativamente piccolo di aria, e quindi produrre correnti verso l'alto d'intensità veramente notevole (13).

Ovviamente nel terzo processo, nel quale il trasporto di cariche avviene per conduzione la trasformazione di energia elettrica in energia cinetica avviene direttamente. Se gli ioni hanno prevalentemente il medesimo segno, come potrebbe verificarsi su una vasta zona per la fuga di elettricità dalle punte, allora gli ioni, mossi da intensi campi elettrici, potrebbero comunicare energia cinetica all'aria in cui sono immersi e quindi costringerla ad accelerare. In tal modo la corrente elettrica avrà un duplice effetto, cioè comunicherà all'aria calore ed accelerazione. Ovviamente l'ammontare dell'accelerazione dovrebbe essere massima quando la velocità del vento è grande e la mobilità degli ioni è piccola, come avviene nel caso in cui i portatori di carica sono, in prevalenza, nuclei di Aitken, polvere o particelle di nube. La qual cosa si presenta normalmente, giacché gli ioni veloci comunemente presenti nell'atmosfera o prodotti per il potere delle punte si attaccano alle particelle delle nubi o degli aerosol (13).

La intensa attività elettrica dei tornado ci viene attestata da coloro che videro l'interno dell'imbuto ed ebbero la fortuna di sopravvivere. Essi narrano di un continuo lampeggiare, di una nube luminosa e brillante, di una chiara od esplodente palla di fuoco; e tutte queste manifestazioni luminose sono sempre accompagnate da rumori ronzanti e sibilanti caratteristici delle scariche elettriche. Inoltre, in vicinanza dell'imbuto, frequentemente vengono osservati intensi fuochi di S. Elmo. Alcuni osservatori hanno raccontato che l'interno del tornado era cavo e sembrava estendersi almeno per un chilometro verso l'alto.

Quindi pare che la parte interna della proboscide sia sgombra di nubi. Questo fatto è di eccezionale importanza, perché verrebbe a dire che l'aria lungo l'asse della proboscide è relativamente secca, e si muove verso il basso. Una volta si riteneva che in tutto l'imbuto l'aria si muovesse verso l'alto; attualmente alcuni scienziati ritengono che l'aria ascendente sia limitata ad un involucro che rappresenta il confine esterno del vortice. Tale struttura del vortice viene confermata dall'avventura incontrata dall'equipaggio di un aeroplano italiano durante l'ultimo conflitto mondiale.

Il sottotenente di Vascello Piero Frosini il 15 Maggio del 1943 rientrava alla base su un idrovolante trimotore, su cui si trovava quale capo equipaggio, da una esplorazione al largo raggio nel Mediterraneo centrale, tra le isole di Cefalonia e S. Maura (Leukas). Erano le undici del mattino, la giornata era splendida e calda, il cielo sereno, l'aria tersa e spirava un vento leggerissimo da NNE. Improvvisamente l'idrovolante incominciò a precipitare verticalmente verso il basso come trascinato da una forza misteriosa (\*). Piero Frosini narra che egli e gli altri cinque uomini dell'equipaggio si sentirono come proiettati verso il soffitto della fusoliera. Il primo pilota si mise ad urlare, perché il velivolo non obbediva più ai comandi. L'idrovolante aveva subito una rapida caduta di 600-700 metri. Sotto la verticale passante per l'aereo il mare era tutto fremente di onde spumeggianti, mentre all'intorno, ad una discreta distanza, il mare era quasi calmo. Per fortuna il secondo pilota, pur essendo anch'esso sbalzato dal suo seggiolino (era letteralmente seduto sulla spalliera), riuscì, con uno sforzo prodigioso poggiando i piedi sulla « cloche », a mandare l'idrovolante in picchiata, e, facendogli acquistare una fortissima velocità, a portarlo fuori del vortice, a circa 100 metri d'altezza.

La spiegazione di tale avventura ci sembra ovvia. Il trimotore era incappato in una tromba marina, la quale, come è noto, può avvenire anche con cielo sereno. Siccome gli uomini dell'equipaggio durante la caduta si sentivano spinti verso l'alto, ciò sta a significare che non si è trattato di una caduta libera, ma prescindendo dalla gravità, l'idrovolante veniva trascinato da una forza verso il basso. Evidentemente tale forza non poteva non essere prodotta che da una corrente d'aria discendente a grande velocità. Il che dimostra in maniera inequivoca-

---

(\*) Con una caduta chiamata in termine aviatorio a « foglia secca », cioè con movimenti rotatori.

bile che, almeno in questo caso, nell'interno della tromba marina, lungo il suo asse centrale l'aria si muoveva verso il basso.

Queste osservazioni hanno suggerito all'autore che un tornado potrebbe essere una cella convettiva percorsa da intense correnti elettriche. Ricordiamo ora le cose essenziali riguardo alle celle convettive, che da molti anni sono riprodotte anche in laboratorio. Le celle convettive si possono ottenere con fluidi sia allo stato liquido sia allo stato gassoso (6). Una delle maniere più semplici per ottenere una cella di convezione allo stato liquido, è quella di prendere un vaso di vetro di forma cilindrica, pieno di acqua e di riscaldare il centro della base. I movimenti delle particelle liquide sono indicati dalla Fig. 1, che è una sezione del vaso ottenuta conducendo un piano ortogonale alle due basi e passante per i loro centri. Una figura simile si otterrebbe raffreddando il centro della base superiore, per es. collocando in esso un piccolo pezzo di ghiaccio. Però, in tal caso, i movimenti delle particelle avverrebbero in senso opposto; cioè nel centro della base superiore le particelle liquide si muoverebbero verso il basso, mentre alla periferia della base inferiore si muoverebbero verso l'alto (3) (Fig. 2).

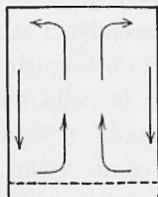


Fig. 1

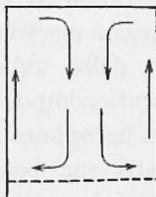


Fig. 2

Per ottenere celle convettive in un gas, basta prendere una scatola piena di gas, per es. di aria, e far in modo che il gas a contatto del fondo abbia una temperatura molto più elevata di quella situata alla sommità (2). Sotto certe condizioni, che qui non possiamo dilungarci a descrivere, il gas contenuto nella scatola si divide in figure prismatiche e cilindriche, le quali sono formate da movimenti sistematici delle molecole del gas. Per il nostro scopo sarà sufficiente solo considerare le celle convettive di forma cilindrica indicate dalle Figg. 1 e 2. Supponiamo ora che la cella convettiva rappresentata dalla Fig. 3 si trovi in un intenso campo elettrico, come viene schematizzato dalla stessa figura. Supponiamo cioè che la cella convettiva sia situata al di sotto di un cumulo-nembo che porti alla base una grande carica negativa.

È intuitivo che, sotto condizioni, potranno formarsi due correnti di ioni: una corrente di ioni negativi diretti verso il basso ed una di ioni positivi diretti verso l'alto. E precisamente la corrente d'aria passando vicino alla base della nube temporalesca porterà verso il basso, lungo l'asse della cella convettiva, una grande quantità di portatori di carica negativa. Arrivati questi in prossimità del suolo, saranno neutralizzati dalle cariche positive, che escono in abbondanza dal suolo per il potere delle punte.

Un numero enorme di cariche positive uscenti dal suolo (sempre per il potere delle punte) si attaccherà alle particelle di aerosol verso la periferia della cella convettiva. È evidente che in tal modo si formeranno due correnti elettriche concordi: la prima, lungo l'asse del cilindro, composta di cariche negative dirette verso il basso, la seconda, lungo la superficie laterale del cilindro, formata da cariche positive dirette verso l'alto. Ovviamente tali correnti potranno assumere intensità veramente notevoli. Inoltre potranno avvenire frequenti scariche, ma relativamente piccole, in vicinanza della base della cella convettiva, tra la terra e la carica negativa della colonna d'aria discendente.

Scariche simili potranno aver luogo in alto alla base della nube temporalesca tra le cariche positive ascendenti alla periferia della cella e le cariche negative della nube. Considerazioni analoghe si possono fare quando i venti componenti la cella hanno direzioni diverse da quelle della figura 3, oppure quando il cumulo-nembo presenta una carica positiva alla sua base, come viene schematizzato dalle Figg. 4, 5, 6.

In esperimenti di laboratorio B. Vonnegut, R.T. Ryan, C.B. Moore e C.K. Harris hanno dimostrato che, in certe condizioni di vorticosità il calore prodotto da una scarica elettrica continua, alla pressione atmosferica, dà origine ad un vortice simile ad un tornado in miniatura. Dalle stesse esperienze è risultato che senza vorticosità la scarica elettrica avviene casualmente, è instabile ed il vortice non si forma mai <sup>(11, 15)</sup>. Siccome le celle convettive, di cui abbiamo trattato sopra, si formano internamente ad un violento temporale, possiamo supporre che le correnti della cella siano animate anche da un moto rotatorio: per es. che le correnti salenti verso l'alto si muovano alla periferia in senso antiorario. Di qui potrebbe aver origine il tornado.

Vediamo ora come le celle convettive percorse dalle suddette correnti possano spiegare in maniera semplice qualche caratteristica fondamentale del tornado:

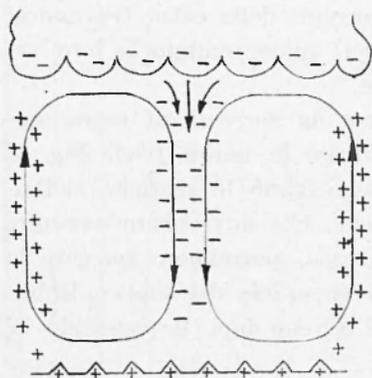


Fig. 3

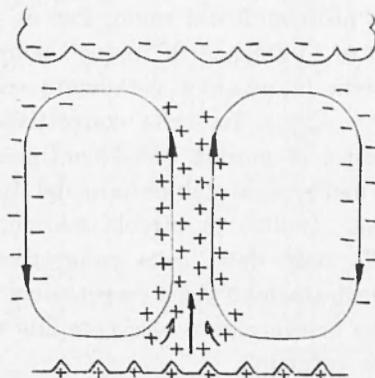


Fig. 4

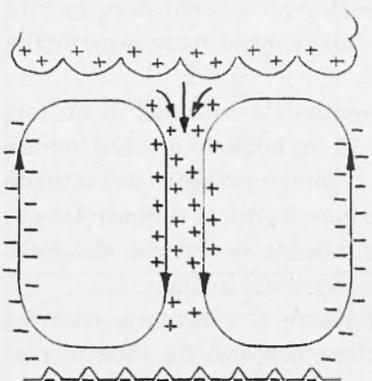


Fig. 5

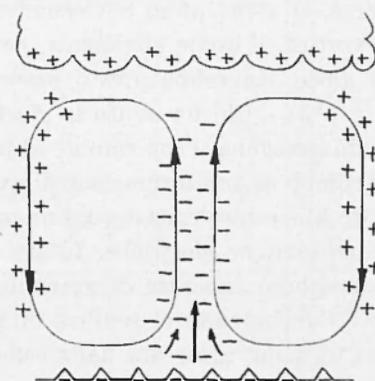


Fig. 6

Fig. 3 - Sezione di una cella convettiva percorsa da intense correnti elettriche. La sezione si è ottenuta conducendo un piano per l'asse centrale della cella. Si osservi che le correnti elettriche discendenti ed ascendenti sono concordi e quindi si attraggono a vicenda. Ciò vale anche per le correnti elettriche delle Figg. 4, 5, 6.

Fig. 4 - Come nella Fig. 3, solo che i venti circolano in senso contrario.

Fig. 5 - Come nella Fig. 3, con la sola differenza che la nube temporalesca presenta alla sua base una grande carica positiva.

Fig. 6 - Come nella Fig. 5, solo che i venti circolano in senso contrario.

1) - Prima di tutto una cella convettiva (non ancora elettrizzata) può agevolare la formazione di un tornado. Infatti supponiamo che una cella convettiva del primo tipo (vedi Fig. 3) si formi sotto un cumulonembo, internamente ad un temporale molto violento. È evidente che nelle correnti convettive da cui è percorsa la cella, troveranno un cammino facile sia le cariche negative sia le cariche positive che si trovano rispettivamente in abbondanza sotto la base della nube e

in prossimità del suolo. Per di più le correnti della cella, trovandosi sotto l'influenza di intensi campi elettrici, aumenteranno la loro velocità in maniera veramente eccezionale.

2) - La cella convettiva, percorsa da correnti di segno opposto, ci mostra come continuamente lungo le pareti (vedi Fig. 6) e nell'interno dell'imbuto del tornado avvengano le scariche elettriche. Inoltre le piccole scariche elettriche, che dovrebbero avvenire alla base della cella convettiva elettrizzata, potrebbero spiegare la disidratazione della vegetazione e della superficie del suolo e le buche bruciacciate osservate alle volte sul terreno dopo il passaggio di un tornado.

3) - Le correnti della cella, essendo parallele e dirette nello stesso verso, si attireranno a vicenda e così serviranno a mantenere in vita il vortice, il quale altrimenti, per causa delle enormi forze centrifughe in gioco, dovrebbe presto esaurirsi.

4) - Chi ha avuto la sfortuna di sentire l'avvicinarsi di un tornado paragona il suo rumore al passaggio di un migliaio di treni oppure al rombo di una formazione di aviogetti. Il rombo prodotto dal tornado potrebbe essere causato dal moto rapidissimo degli ioni durante le continue scariche elettriche. Infatti tali ioni durante le scariche elettriche dovrebbero superare di gran lunga la velocità del suono.

Concludendo ci sembra di poter affermare che la teoria elettrica dei tornado, integrata dalle celle convettive percorse da intense correnti elettriche, possa portare un po' di luce sull'origine e sullo sviluppo dei tornado, e quindi sia degna della massima attenzione. In certi casi le celle convettive ci offrono la spiegazione più naturale del terribile vortice. Infatti i tornado (specialmente le trombe marine) frequentemente si osservano nascere in gruppi, come negli esperimenti di laboratorio, nei quali ordinariamente si forma un vero mosaico di piccole celle convettive (2). Ricordiamo che un enorme incendio di olio in California nel 1923 riscaldò l'aria in tal modo da generare un centinaio di vortici, uno dei quali fu così violento da uccidere due persone e danneggiare gravemente una casa (1). L'analogia tra tali vortici e le celle convettive ottenute in laboratorio è veramente sorprendente.

Si potrebbe obiettare che le correnti elettriche, da cui è percorsa la cella convettiva, dovrebbero neutralizzare presto la carica elettrica della nube temporalesca sovrastante. Ma dobbiamo ricordare che il tornado è sempre collegato con il temporale gigante (14), da cui è stato generato e dal quale ovviamente può ricevere una quantità enorme di energia anche per parecchie ore.

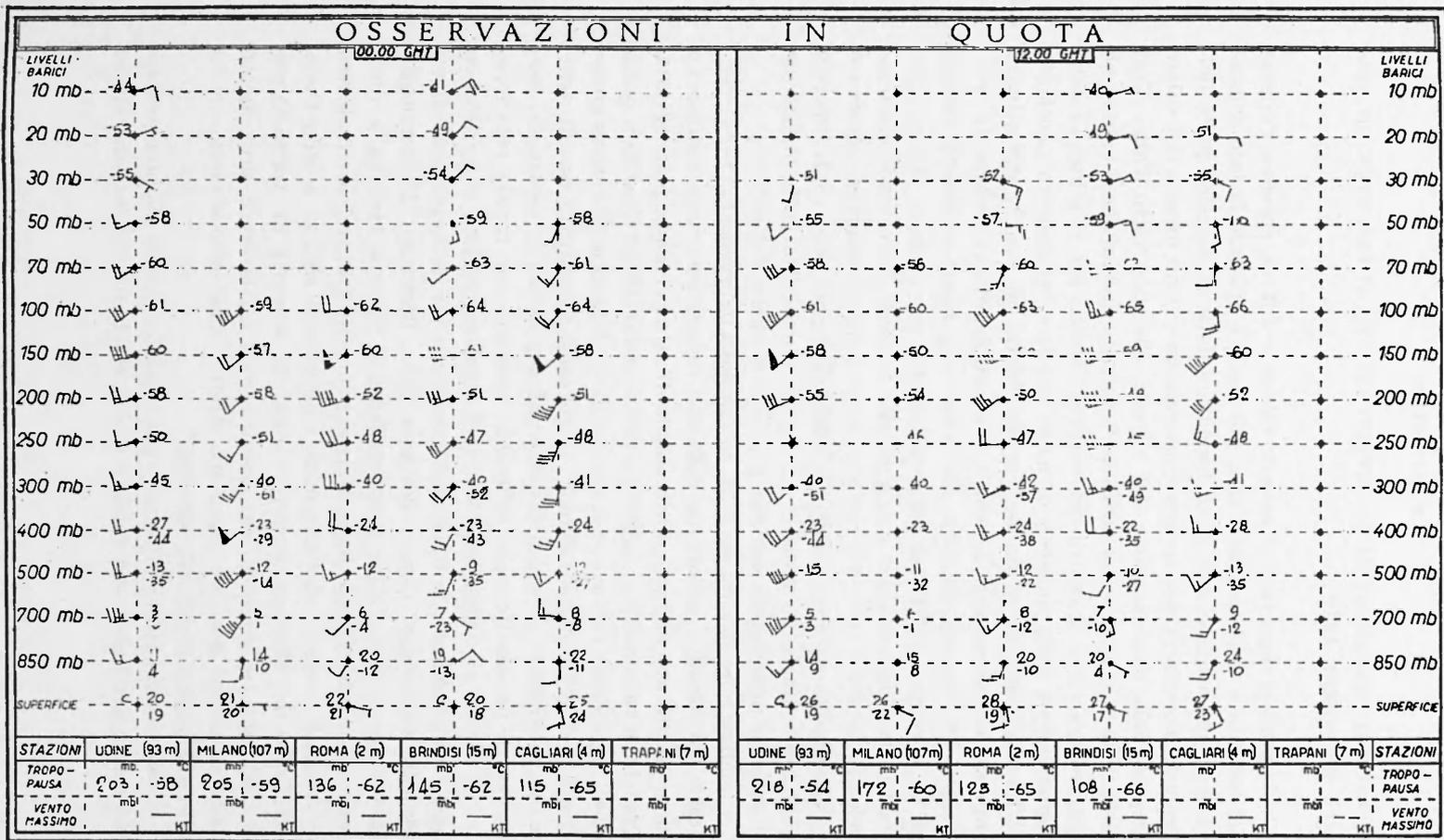


Fig. 7 - Tabella dei venti in quota l'11 Settembre 1970, (dal « Bollettino Meteorologico Quotidiano dell'Aeronautica Militare Italiana »).

## CARATTERI FONDAMENTALI ED EFFETTI DISASTROSI DEL TORNADO DELL'11 SETTEMBRE 1970

I geofisici sono tutti d'accordo che se è difficile spiegare l'origine dei tornado e delle trombe d'aria, più facile è spiegare la loro conservazione una volta che si siano formati. Infatti la maggior parte dell'energia necessaria per la loro conservazione viene fornita dal calore emesso dalla condensazione del vapore, che sale verso l'alto. Così facilmente ci si può render conto delle velocità enormi che il vento può raggiungere verso il centro del vortice. Infatti, per il principio della conservazione della quantità di moto angolare, quando un pacchetto d'aria ruota intorno ad un asse, avvicinandosi ad esso, la sua velocità aumenta continuamente e può raggiungere dei valori veramente eccezionali. Le velocità massime non sono mai state registrate, perché gli anemometri situati nel posto più adatto per eseguire misure sono stati messi fuori uso dal passaggio del turbine. Sono state misurate velocità di 200 km/h, ma per provocare i danni osservati occorrono velocità molto superiori. Molti scienziati ritengono che i venti superino i 600 km/h; qualcuno stima che in regioni circoscritte della proboscide si possano raggiungere velocità prossime a quella del suono.

Inoltre sono abbastanza noti i presupposti indispensabili per il verificarsi del tornado. All'origine della sua formazione esiste sempre un surriscaldamento di masse d'aria stagnanti su una regione pianeggiante. Quando la temperatura raggiunge valori molto elevati rispetto a quelli medi, si generano forti correnti ascendenti e che hanno alla stessa quota direzione e velocità molto diverse. L'aria calda ascendente, quindi, assume un movimento rotatorio, il quale può degenerare in vortice. In particolare si possono formare delle celle convettive in rapida rotazione.

Il giorno 11 Settembre 1970 nella pianura padana, in particolare quella sud-orientale, le condizioni necessarie per la formazione di un tornado esistevano. Come rileviamo dal « Bollettino Meteorologico Quotidiano » (Figg. 7-7a) dell'Aeronautica Militare Italiana e dalle osservazioni dell'Osservatorio Meteorologico di Padova, le condizioni erano simili a quelle che preparano i tornado in vicinanza della Costa del Golfo del Messico durante i mesi di Marzo e di Aprile, in cui nell'atmosfera è presente uno spesso strato d'aria secca proveniente dalle Montagne Rocciose sopra uno strato d'aria calda e molto umida proveniente dal Golfo del Messico.

Da parecchi giorni sui bassi strati atmosferici della pianura padana sud-orientale affluiva aria calda e molto umida proveniente dal vicino

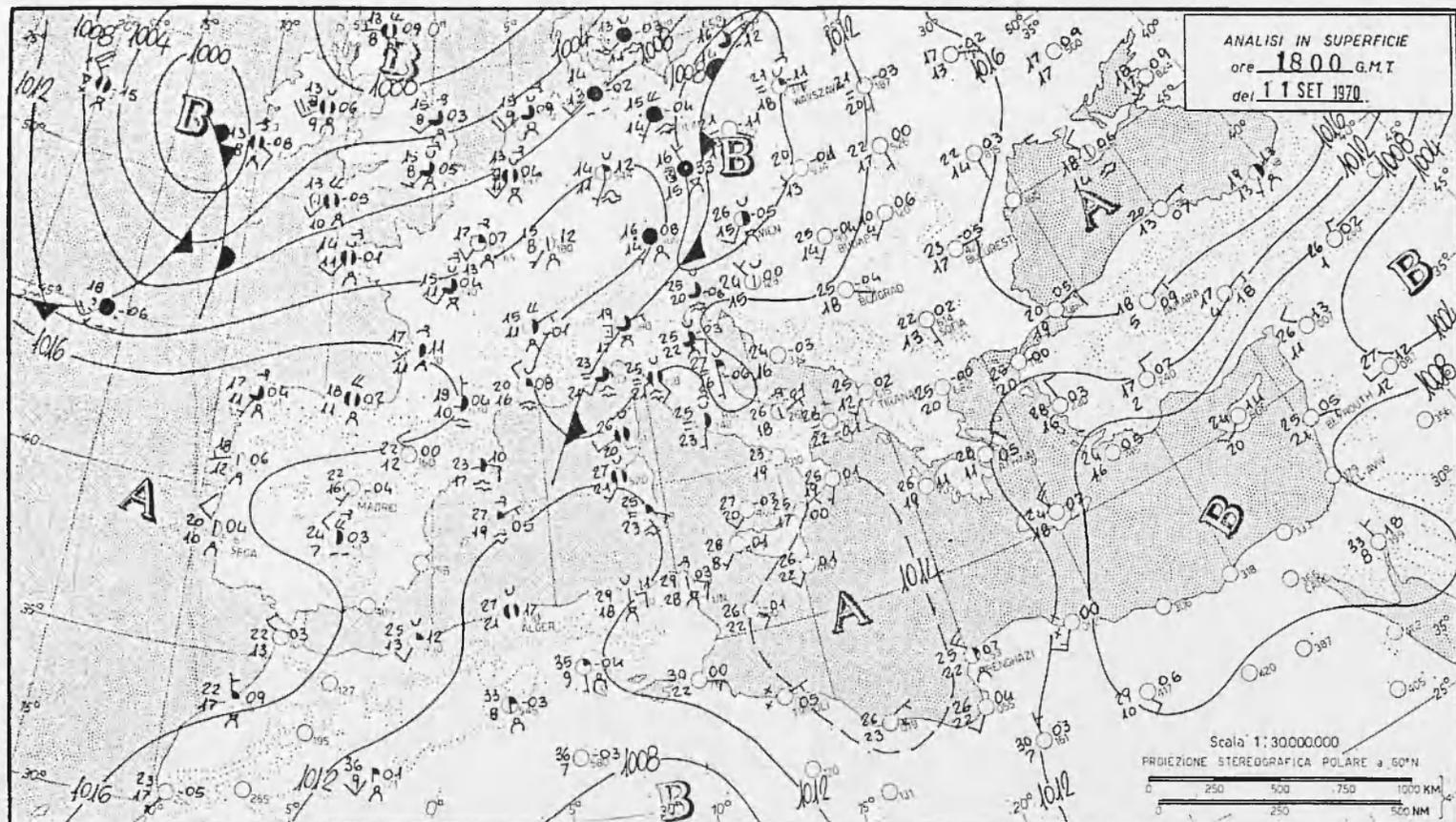


Fig. 7a - Evoluzione generale del tempo e tempo sull'Italia l'11 Settembre 1970 (dal « Bollettino Meteorologico Quotidiano dell'Aeronautica Militare Italiana »).

L'aspetto più importante nella evoluzione delle correnti in quota sull'Europa centro-occidentale è dato dal rapido movimento verso nord-est della saccatura inizialmente dal golfo di Guascogna al vicino Atlantico. Tale saccatura, muovendosi lungo il forte flusso sud-occidentale in atto dalla Spagna alla Germania, si porta con i suoi massimi di curvatura ciclonica sui Paesi Bassi, Francia orientale e Svizzera. Si viene così a determinare sul versante settentrionale delle Alpi un accumulo d'aria fredda che, traboccando attraverso i valichi sul territorio italiano ed in particolare nel settore nord-orientale delle Alpi stesse, provoca fenomeni di fortissima instabilità soprattutto per la presenza nei bassi strati sul nord Italia, di un persistente debole flusso da sud-est di aria calda molto umida e già convettivamente instabile. Sull'Europa orientale, sui bacini del Mediterraneo centro-orientale e sui paesi limitrofi non si segnalano variazioni importanti. Sull'Italia a nord inizialmente piogge locali ed estese foschie con locali banchi di nebbia in Val padana. Durante la giornata graduale peggioramento a partire dalle regioni nord-occidentali per il passaggio di un fronte freddo particolarmente attivo; manifestazioni temporalesche anche di forte intensità si sono rapidamente propagate durante il pomeriggio dalle Alpi centro-occidentali a tutte le regioni settentrionali. In serata i fenomeni temporaleschi hanno assunto una forte intensità sulle Venezie provocando anche una violenta tromba d'aria che sulla laguna di Venezia ha causato numerose vittime e danni ingenti. Al centro, al sud e sulle isole tempo caldo afoso.

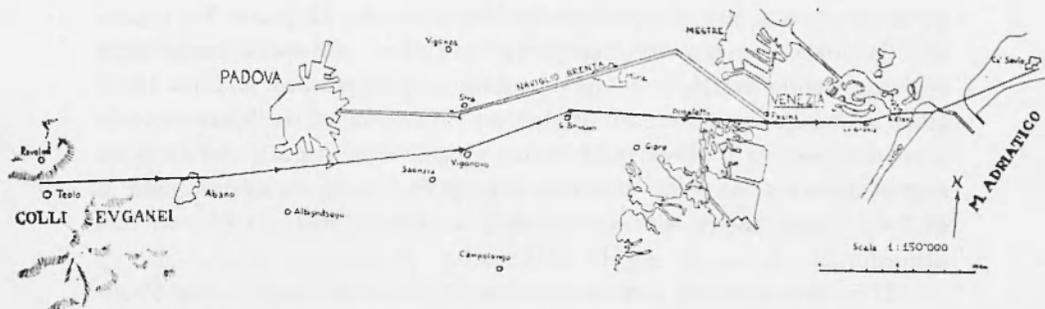


Fig. 8 - La linea con frecce indica il tragitto seguito dal tornado dal punto di formazione fino a Ca' Sairo.

mare Adriatico, mentre in quota affluiva aria calda e secca proveniente da Ovest. L'instabilità di queste masse d'aria, che si andavano surriscaldando, aumentava rapidamente. Inoltre il giorno 10, oltre le Alpi, si stava

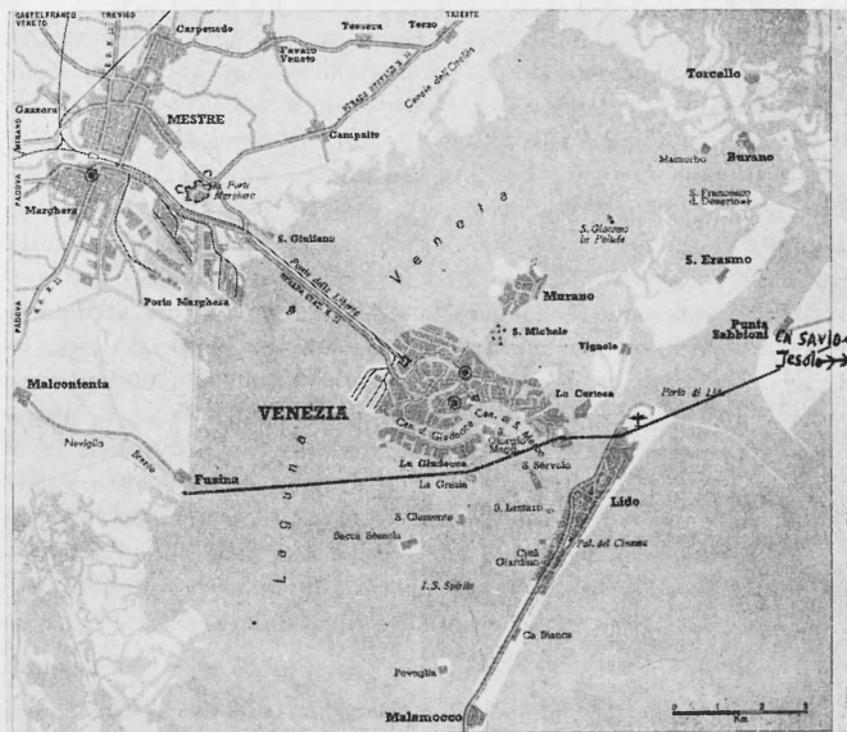


Fig. 8a - La linea nera rappresenta il tragitto del tornado da Fusina fino a Ca' Savio.

avvicinando alla pianura padana un fronte freddo. Il giorno 11, a partire dal mattino si avevano temporali convettivi. Nel tardo pomeriggio il fronte freddo valicava le Alpi e penetrava nella pianura padana. Ciò è stato sufficiente a dar l'avvio al vortice. Gli strumenti dell'Osservatorio Meteorologico di Padova qualche ora prima del formarsi del turbine segnavano una umidità relativa del 100%, temperatura uguale a 28,7°C, valori molto elevati rispetto ai valori medi. La pressione atmosferica alle ore 19 era di 1009,2 mb.

Il vortice si formò verso le 20h40m (\*) sui colli Euganei, tra Teolo e Rovolon, probabilmente sotto forma di tromba d'aria, e andando a zig-zag prima investì Abano poi la periferia meridionale di Padova. Al suo arrivo il barografo dell'Osservatorio dipendente dal Magistrato alle Acque di Venezia subì un'improvvisa diminuzione, cioè da mm 758,2 passò a mm 755,5; quindi in circa 30 secondi subì un abbassamento di mm 2,7. Poi la pressione salì immediatamente a mm 759,5. All'Osservatorio si ebbe pure la caduta di un po' di pioggia e grandine. La pioggia caduta misurata dagli strumenti fu di mm 5,4.

Alle 21h15m circa il tornado entra nella provincia di Venezia in prossimità di Vigonovo, e quindi passando per Sanbruson di Dolo, Dogaletto e Giare di Mira alle 21h27m raggiunge Fusina (\*\*) (Figg. 8,8a). Il Camping di Fusina, situato nella località omonima è stato raso al suolo. Nel Camping erano installate una trentina di tende, che sono volate via come fucelli; circa 2000 alberi sono stati abbattuti travolgendo uomini e cose; anche 7 bungalows sono stati completamente distrutti. La gente, che si trovava sotto le tende e nei bungalows ha riferito di aver udito prima un tuono, seguito subito da un rumore assordante e poi di essersi trovati improvvisamente allo scoperto. Qualcuno ha detto: « Tutto volava intorno a noi: alberi, mattoni, tende, materassi ecc. ». Sul Camping è piombata una pioggia di lamiere contorte provenienti da un capannone della Sava-Fusina, distante 500 metri; il capannone è stato scoperchiato. C'è chi assicura di aver visto volare i motorini di due barche che erano state portate a secco sulla spiaggia.

Le rovine sono irrilevanti subito dopo Fusina tra la 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> Zona Industriale. Il che farebbe supporre che la proboscide del tornado si sia alzata per qualche secondo. Dopo esser penetrato nella la-

---

(\*) Le ore riportate nel testo si riferiscono all'ora legale italiana ancora in vigore in quel periodo. Per avere l'ora solare basta togliere un'ora.

(\*\*) Le notizie di cronaca sono state prese dal Gazzettino di Venezia (12, 13, 14 Settembre 1970).

guna, il vortice ha investito i piloni in cemento armato che trasportano l'energia elettrica tra l'isola di Sacca Sessola e l'ospedale di Santa Maria delle Grazie. Sono una cinquantina, ma la proboscide ne ha colpiti 11, per un fronte di 100 m o poco più. Sono stati tutti piegati verso S. Elena con la parte terminale a fior d'acqua. Il vortice ha avuto su quei piloni in cemento armato lo stesso effetto di una lama affilatissima. Tutti sono tagliati al limite del basamento e solo l'anima di ferro ha resistito, però piegandosi.

Quindi il tornado passando un po' a Sud dell'isola della Giudecca (\*), alle 21h32m circa sfiora la parte settentrionale dell'Ospedale



Foto C - Questa fotografia mostra come il tornado non solo ha asportato il capannone del cantiere Celli, ma ha anche abbattuti tutti i muri di cinta.

della Grazia. L'intera balaustra sulla laguna verso la Giudecca è come disintegrata dal vortice. Alle 21h35m il tornado raggiunge il Bacino di S. Marco verso S. Elena. Al suo passaggio le sovrastrutture della motonave Aquileia sono state asportate e trascinate a parecchi metri di distanza. Alle 21h36m viene investito in pieno il motoscafo 130, che da S. Marco navigava verso il pontile di S. Elena. Il pilota ha raccontato:

---

(\*) La gente, che in quel momento si trovava sulle zattere, racconta di aver visto il turbine passare dietro l'isola della Giudecca sotto forma di una nube molto oscura, percorsa da lampi molto frequenti e vividi, naturalmente seguiti da un continuo rumboreggiare del tuono.



Foto A - Alberi devastati davanti alle prime case di S. Elena. Si noti in primo piano l'albero a cui il tornado ha strappato la corteccia.

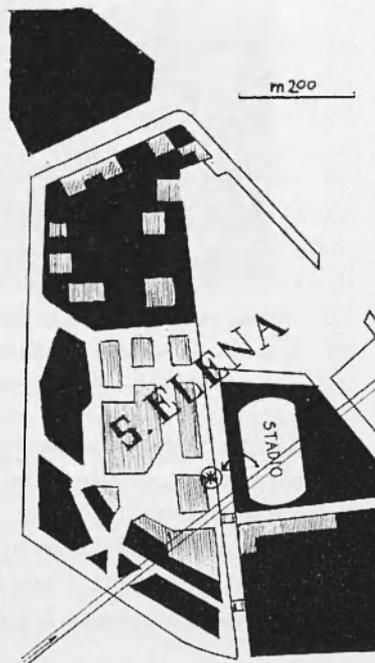


Foto B - I tubi in acciaio sono stati asportati dalle tribune dello stadio «Pierluigi Penzo», a circa 50 m di distanza. Da questa fotografia si rileva che il vortice circolava in senso antiorario; osservando la cartina a destra, infatti, le due rette parallele indicano il tragitto del tornado, la freccia il verso ed il cerchietto il luogo in cui furono trasportati i tubi.

« Ad un certo momento ho avvertito una furiosa folata di vento. Ho cercato inutilmente di accostarmi all'approdo di S. Elena, che era il punto più prossimo. Mi è stato impossibile. È stata questione di pochi secondi. Ho visto il motoscafo sollevarsi e quindi capovolgarsi ». Orribilmente devastato nel suo interno, è stato trovato qualche ora dopo dai sommozzatori con il suo tragico carico umano (21 morti), adagiato sul fondo a 3 m di profondità a ridosso dell'isola di S. Elena.



Foto D - Fotografia ottenuta verso l'estremità nord-orientale del Lido da Giampietro Penso, studente di matematica e collaboratore dell'Osservatorio meteorologico dell'Istituto Cavanis di Venezia. Da essa si rileva che il tornado, dopo aver attraversato il Lido, si dirige, sotto forma di tromba marina, verso Cà Savio.

Quindi il turbine si è abbattuto sull'isola di S. Elena, dove per una striscia della larghezza di circa 120 m le piante, situate davanti alle prime case, sono state sradicate, abbattute e scorticate per un'area di oltre 800 m<sup>2</sup>. Urtando contro gli alberi antistanti alle case, il tornado, per attrito, ha perso una parte della sua energia. Nonostante ciò, i danni recati alle case di S. Elena furono ingenti. Infatti il vortice, infilando la strada che porta allo stadio, ha scoperchiato case, devastato negozi, bar, chioschi, ha trascinato via nel suo moto vorticoso una congerie di oggetti, ha scardinato imposte e saracinesche, ha demolito mura di cinta, ha scaraventato contro le case (a qualche decina di metri) la tettoia di un pontile, ha completamente cancellato ogni traccia del Cantiere

Celli, ha abbattuto il capannone del porto velico, ha devastato il campo sportivo sbracciando le gradinate in cemento e facendo volare oltre il canale, verso ovest, a circa 50 metri, quelle di metallo (vedi Foto A, B, C).



Foto E - Il Camping di Ca' Savio fotografato da un aeroplano il giorno dopo il disastro.

Attraversata l'isola di S. Elena, il tornado si diresse verso S. Nicolò del Lido, dove arrivò alle 21h40m. Anche qui portò la distruzione: una cinquantina di case sinistrate, molti alberi sradicati, un aereo

venne trovato a 100 m dal posto dove era stato lasciato dal proprietario. Per fortuna attraversò il Lido in un punto poco popoloso. Quindi, attraversato il porto di Lido alle 21h41m raggiunse Punta Sabbioni ed un minuto dopo il Camping « Vianello » a Ca' Savio, dove erano alloggiate circa 300 persone. Furono distrutte 80 tende, 57 bungalows rasi al suolo; rese inservibili 40 automobili, e quel che è peggio si ebbero 12 morti e 151 feriti, di cui 50 molto gravi. Roulottes sollevate come fucelli, tende lanciate in aria, bungalows cancellati, automezzi fatti rotolare come palle da gioco: tutto questo in appena due minuti (vedi Foto D, E, F).

« È stata la fine del mondo — racconta Giuseppe Solman chef del Camping — ho sentito un gran boato, poi un colpo in testa e sono svenuto ».

Finalmente il tornado andò a spegnere la sua furia in mare di fronte a Jesolo.

Ho calcolato che da Teolo a Ca' Savio sono circa 70 km. Siccome il tornado ha impiegato circa 77 minuti a percorrere tale distanza, un semplice calcolo ci dice che la sua velocità di traslazione fu di circa 54 km/h.



Foto F — Particolare del Camping di Ca' Savio fotografato dall'aeroplano.

Dalle rovine prodotte al suo passaggio, si rileva che la sua larghezza fu poco più di un centinaio di metri. La direzione di traslazione fu, in buona approssimazione, da SW verso NE. Inoltre da testimonianze molto attendibili e da osservazioni personali eseguite sopra gli effetti prodotti, abbiamo potuto dedurre che la rotazione del vortice fu antiorario, come generalmente avviene nei tornado.

### CONCLUSIONE

Concludendo, ci sembra di poter osservare che alla formazione di un tornado possano concorrere molte e svariate cause, come avviene anche per altri fenomeni, ad esempio l'Acqua Alta a Venezia. A provocare l'Acqua Alta, infatti, concorrono, oltre all'attrazione del sole e della luna, la direzione e la velocità del vento, la differenza di pressione tra il basso e l'alto Adriatico, le sasse e l'abbondanza delle precipitazioni nel retroterra prossimo alla laguna. Ora è evidente che ciascuna di queste cause, presa da sola, ha una influenza relativamente piccola; invece se tutte queste cause confluiscono insieme, la loro azione può divenire veramente rilevante. Così probabilmente sono molte le cause che possono favorire il formarsi di un tornado. Tali cause possono essere individuate in quelle che abbiamo ricordate parlando delle varie teorie ed ipotesi circa l'origine dei tornado. Fortunatamente, in via ordinaria, esse si presentano isolate; però se si presentano insieme ed uniscono le loro azioni in modo coerente, potrà aver origine il terribile vortice.

Dobbiamo tuttavia mettere in evidenza la causa, che sembra la più importante. Infatti dai dati sperimentali degli Stati Uniti si rileva che la condizione necessaria per l'avvento del tornado sia la presenza di un sistema atmosferico formato da uno strato d'aria molto umido a contatto del suolo e di uno strato d'aria secca ad esso sovrapposto. Se al confine tra i due strati la temperatura aumenta con l'altezza, il sistema si trova in uno stato di equilibrio stabile. Tuttavia basta poco per rompere tale equilibrio, giacché l'aria umida, a parità di altre condizioni, è più leggera dell'aria secca. Se per una ragione qualunque lo strato superiore viene raffreddato in modo da eliminare l'inversione termica, il sistema passerà in uno stato di grande instabilità. Quindi insorgeranno moti convettivi molto intensi, in particolare potranno formarsi delle celle convettive molto pronunciate.

Applicando tali considerazioni alla pianura padana, è sufficiente che aria fredda, accumulata a Nord delle Alpi, trabocchi attraverso i valichi alpini sul territorio italiano, per provocare fenomeni di fortissima instabilità. A maggior ragione tale instabilità può essere prodotta dall'arrivo sulla pianura padana di un fronte freddo. Tutto ciò, come si rileva dal « Bollettino Meteorologico Quotidiano » dell'Aeronautica Militare Italiana (Figg. 7-7a), è avvenuto sulla pianura padana l'11 Settembre del 1970.

Per fortuna, la condizione suddetta non è sufficiente per provocare un tornado, perché, come abbiamo osservato sopra, ad essa deve aggiungersi l'azione di molte altre cause.

#### BIBLIOGRAFIA

- (1) BROOKS E.M., 1951. - *Tornadoes and related phenomena*, Compendium of Meteorology, Am. Meteor. Society, pp. 673-680.
- (2) CHANDRA K., 1936. - *Instability of fluids heated from below*, « Royal Society - London Proceeding Ser. A », **164**.
- (3) FULTZ D., 1951. - *Experimental Analogies to Atmospheric Motions*, Compendium of Meteorology, « Am. Meteor. Soc. », pp. 1235-1248.
- (4) HARE R., 1837. - *On the causes of the tornado or waterspout*, « Am. J. Sci. and Arts », **32**, pp. 153-161.
- (5) HAZEN H.A., 1890. - *The Tornado*, « N.D.C. », p. 80.
- (6) JANESELLI R., 1969. - *Celle convettive e variazioni periodiche del gradiente verticale del campo elettro-atmosferico*, « Annali di Geofisica », **XXII**, 1, pp. 85-101.
- (7) LUCRETIVS C.T., 1969. - *De Rerum Natura*, Liviana Editrice, Padova, pp. 232-233.
- (8) MACHIAVELLI N., 1929. - *Tutte le opere*, a cura di G. Mazzoni e M. Casella, Firenze, G. Barbera Editore, pp. 557-558.
- (9) OERSTED H.C., 1839. - *On waterspouts*, « Am. J. Sci. and Arts », **37**.
- (10) PELTIER J.C.A., 1840. - *Translation by Robert Hare*, « Am. J. Sci. and Arts », **38**, pp. 73-86.
- (11) RYAN R.T. and VONNEGUT B., 1970. - *Miniature Wirlwinds Produced in the Laboratory by High-Voltage Electrical Discharges*, « Science », **169**, pp. 1349-1351 (12 June).
- (12) VONNEGUT B., 1955. - *Thundercloud Electricity*, « Discovery » (March).
- (13) VONNEGUT B. - *Electrical Theory of Tornadoes*, « Journal of Geophysical Research », **65**, 1, pp. 203-212.

- (14) VONNEGUT B. and MOORE C.B., 1959. - *Giant Electrical Storms*, « Recent Advances in Atmospheric Electricity », Pergamon Press, London, pp. 399-411.
- (15) VONNEGUT B., MOORE C.B. and HARRIS C.K. - *Stabilization of High-Voltage Discharge by a Vortex*, « Journal of Meteorology », **17**, 4, pp. 468-471.
- (16) WORMELL T.W., 1930. - *Vertical electric currents below thunderstorms and showers*, « Proc. Roy. Soc. », London, **127**, pp. 567-590.
-