

Meteorologia applicata al volo delta

di Plinio Rovesti



LE NUBI TEMPORALESCHESCHE ED I FENOMENI CHE LE ACCOMPAGNANO



Nel precedente articolo abbiamo ripetutamente accennato alle formazioni temporalesche ed ai fenomeni che le accompagnano. L'importanza che queste nubi hanno per il volo veleggiato è dovuta alle potenti correnti ascendenti che le caratterizzano; esse richiedono pertanto un'ampia trattazione, sia per quanto riguarda la loro natura, sia per quanto riguarda i fenomeni elettrici che vi avvengono. L'atmosfera, anche in condizioni normali, si trova in stato di continua tensione elettrica e, indipendentemente da ogni fenomeno, temporalesco, essa è sede di notevoli cariche. L'aria può essere quindi considerata un enorme campo elettrico dove predominano le cariche positive, in contrapposizione con le cariche negative distribuite sulla superficie terrestre. Orbene, in base ad una nota legge fisica, queste cariche elettriche contrarie dovrebbero neutralizzarsi reciprocamente. Se ciò non avviene, e la diversità delle cariche si mantiene, è perché esiste un meccanismo che agisce costantemente e fa sì che tale diversità di cariche persista. Questo meccanismo è costituito dalla cosiddetta radiazione cosmica, la quale produce la ionizzazione dell'atmosfera, vale a dire l'elettricità atmosferica. Anche le emissioni radioattive delle rocce terrestri contribuiscono alla ionizzazione dell'atmosfera, però in misura assai minore. Dunque, se la parte superiore dell'atmosfera è ionizzata positivamente, rispetto alla terra si produrrà un flusso continuo di molecole ed atomi positivi (ioni) verso la superficie terrestre, caricata negativamente. È facile capire, però, come anche la terra, per mantenere costantemente la sua carica negativa, debba essere alimentata continuamente con elettricità negativa, poiché, in caso contrario, la diversità di carica esistente tra essa e l'atmosfera verrebbe ben presto eliminata. Orbene, il meccanismo che somministra la carica elettrica alla terra è costituito dai temporali. Le nubi temporalesche sono cariche negativamente alla base, e positivamente nella parte superiore. Un cumulonembo, pertanto, può essere comparato ad un'enorme pila aerea, col polo positivo nell'incudine e quello negativo nella base di condensazione. Da questa formidabile pila aerea salgono verso l'alto le cariche positive; che contribuiscono ad alimentare la positività dell'atmosfera, e verso il basso, piovono le cariche negative che alimentano la negatività della superficie terrestre (fig. 1).

Il potenziale elettrico dell'atmosfera risulta normalmente crescente dal basso verso l'alto, e ciò appunto per l'attrazione che la terra esercita sulle masse positive sparse nell'aria.

È importante rilevare come le masse elettriche sparse nell'aria, per determinate cause si addensino in alcune regioni dell'atmosfera. È noto infatti come la presenza nell'aria di quelle cariche elementari chiamate "ioni" possano costituire, unitamente al pulviscolo atmosferico, dei veri e propri nuclei di condensazione, intorno ai quali si raccolgono stille minutissime d'acqua o microscopici aghetti

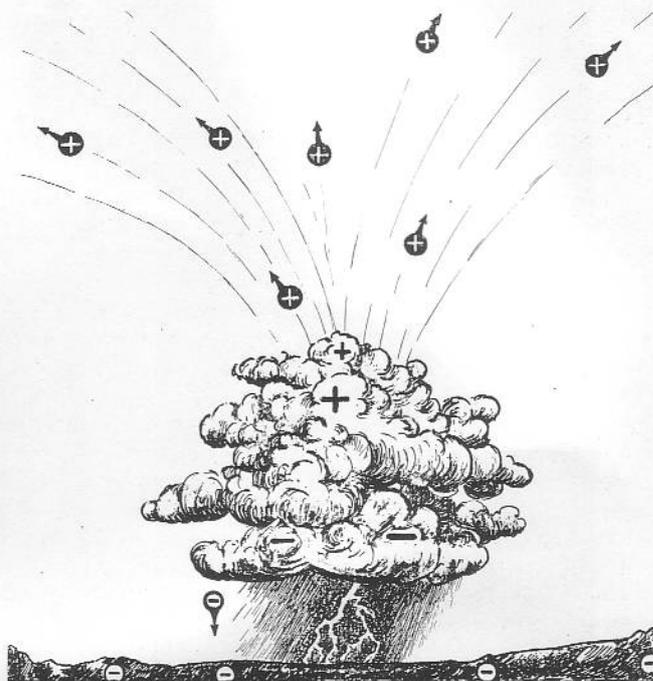


Fig. 1 - Sul globo terrestre agiscono contemporaneamente circa 3600 temporali elettrici, ognuno dei quali invia verso il basso una corrente di 1/2 amper, somministrando così alla terra una carica negativa.

di ghiaccio, favorendo così la formazione delle nubi. Ma di questo fenomeno ci occuperemo quando verremo a parlare del cumulonembo. Qui basti ricordare che le nubi possono essere sede di notevoli cariche elettriche e che il loro potenziale può essere diverso non solo da nube a nube e fra nube e suolo, ma anche fra una zona e l'altra di una nube stessa. Si comprende quindi facilmente come possano prodursi scariche elettriche, oltre che fra una nube e l'altra e fra le nubi e la terra, anche in seno alla medesima nube, dove due distinte masse elettrizzate e potenziali diversi possono determinare quei fulmini di cui i lampi sono la luce ed il tuono il rombo.

Anche i velivoli posseggono una carica elettrica propria e può verificarsi il caso che un aeroplano venga a trovarsi in volo in una massa atmosferica a potenziale elettrico diverso. Allora, se la rapidità di dispersione della carica posseduta dal velivolo non è tale da uguagliare celermente il suo potenziale con quello dell'aria ambiente, si possono produrre scariche elettriche pericolose. Per questo è opportuno che i velivoli (aquiloni compresi) destinati a voli in quota e fra le nubi, siano muniti di uguagliatori di potenziale, atti a provocare una rapida dispersione dell'elettricità statica di cui sono caricati. Tali dispositivi, fondati sul noto potere delle punte, si applicano in coda

ed alle estremità alari e sono collegati con tutte le parti metalliche del velivolo. Negli aeroplani a motore i gas di scarico contribuiscono notevolmente alla dispersione dell'elettricità di cui sono caricati. I residui dei gas combusti, infatti, allontanandosi dalla massa dell'apparecchio disperdono nell'aria una parte della sua elettricità. Osserviamo, tuttavia che gli uguagliatori di potenziale, pur dando buoni risultati in condizioni normali, non riescono sempre ad impedire che un velivolo venga raggiunto da un fulmine quando vola nell'ambito di una nube temporalesca con le conseguenze che ognuno può immaginare.

Il problema concernente l'origine dell'elettricità che si sviluppa in seno ai temporali non può dirsi ancora risolto definitivamente. Sembra però ormai stabilito che la causa prima di questa elettricità sia soprattutto dovuta alle forti correnti ascensionali che si producono nelle nubi temporalesche. Senza voler approfondire le varie teorie sulla scorta delle quali è stata tentata una spiegazione dei fenomeni, diremo che quelle che oggi godono maggior credito sono quella della "rottura" di Simpson e quella della "cattura" di Wilson.

Secondo Simpson la carica bipolare dei cumulonembi è dovuta all'effetto Lenard, e cioè al fatto che al frazionarsi delle grandi gocce nell'interno delle nubi, durante la loro caduta, si separa l'elettricità negativa dalla positiva, e l'aria ascendente porta verso l'alto una carica negativa (fig. 2). Stando a questa teoria, però, le nubi temporalesche dovrebbero essere negative in alto e positive in basso, mentre, come abbiamo detto, avviene esattamente il contrario.

Wilson ha dimostrato, invece, che le gocce, cadendo nell'interno della nube, catturano gran quantità di ioni negativi, mentre le correnti ascendenti portano verso la parte superiore del cumulonembo gli ioni positivi (fig. 3).

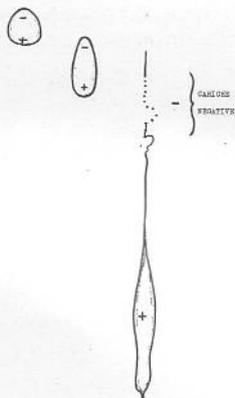


Fig. 2 - Teoria della rottura secondo Simpson.



Fig. 3 - Cattura degli ioni negativi secondo Wilson.

Pare perciò che questa teoria risponda, meglio della precedente, alla realtà dei fatti: tuttavia permangono anche riguardo ad essa molti dubbi e molti punti interrogativi. Sembra pertanto che le due teorie accennate debbano considerarsi come complementari tra loro e che la verità, come già la virtù, debba ricercarsi in un giusto mezzo.

Le manifestazioni temporalesche, a seconda dei fenomeni fisici che le producono, possono essere divise in due grandi categorie, che ora specificheremo, distinguendo i casi che si possono presentare per ognuna di esse.

1) TEMPORALI FRONTALI, cioè prodotti dal sollevamento di masse d'aria lungo i fronti, oppure associati all'attività di una superficie di discontinuità fra due masse d'aria con caratteristiche distinte. Questi temporali sono di tre tipi: a) **Temporali di fronte freddo**, che sono i più intensi e di maggiore interesse per il volo veleggiato; b) **temporali di fronte caldo**, che si sviluppano a maggiori altezze e che difficilmente possono essere sfruttati dal volo veleggiato; c) **Temporali prefrontali**, che per cause diverse si sviluppano (come il loro stesso nome indica) nella regione prefrontale. Come vedremo in uno dei prossimi articoli, questi temporali sono caratterizzati dalla loro estrema violenza, come, ad esempio, i tornados.

2) TEMPORALI DI MASSE D'ARIA, cioè che si producono in masse d'aria omogenee e che sono dovuti principalmente alle condizioni di instabilità regnanti nelle masse stesse. esse comprendono i seguenti tipi: a) **Temporali termoconvettivi**, che sono i più comuni ed hanno carattere locale; sono di grande interesse per il volo veleggiato; b) **Temporali orografici**, dovuti all'ascendenza forzata di masse d'aria lungo i pendii montuosi; pure interessanti per il volo veleggiato, quando la base di condensazione del cumulonembo è più alta delle montagne;

c) **Temporali di avvezione convergente**, generati da masse d'aria convergenti orizzontalmente nel settore caldo di un ciclone; difficilmente sfruttabili per il volo veleggiato. Di questi tre tipi, quello che maggiormente interessa il volo delta, è il temporale termoconvettivo. Esso si produce nelle giornate estive, quando il suolo, fortemente riscaldato dalla radiazione solare, trasmette calore agli strati inferiori dell'atmosfera. La quale diventa in tal modo fortemente instabile e dà luogo alla formazione di intense correnti termiche, associate a nubi cumuliformi che assumono spesso aspetti imponenti. Quando le condizioni di instabilità e l'umidità regnanti sopra il livello di condensazione dei cumuli sono favorevoli, le cellule temporalesche non tardano a formarsi. La figura 4 illustra, in una sezione verticale, uno di questi temporali termici locali. La nube che in essi domina è il classico cumulonembo, accompagnato da una più o meno grande quantità di cumuli, distribuiti nella zona anteriore del temporale, la quale è facilmente individuabile, specialmente se si conoscono i venti regnanti alla quota di 3.000 metri, venti che determinano la direzione di avanzamento del temporale.

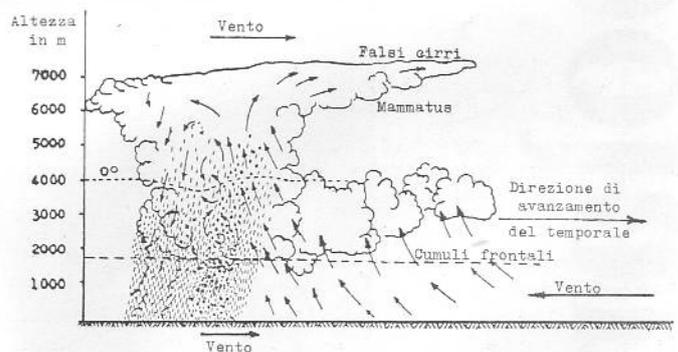


Fig. 4 - Sezione verticale di un caratteristico temporale locale.

Questi temporali termoconvettivi, sono generalmente preceduti da prodromi inconfondibili, i quali permettono ad un osservatore attento, di pronosticarli con relativa facilità, pur mancando i sondaggi termodinamici dell'atmosfera. Infatti fin dalle prime ore del mattino appaiono nel cielo ciuffi cumuliformi sparsi, o bande di altocumulus castellatus; la temperatura è molto alta per quell'ora; i venti sono soavi

o calmi; ben presto si formano cumuli imponenti e, nelle prime ore del pomeriggio, la pressione atmosferica denuncia una rapida caduta. Quando si riscontrano queste condizioni è facile preannunciare la formazione di temporali termici locali per le ore pomeridiane.

È interesse rilevare che durante la fase preliminare in cui il temporale si sta formando, il vento converge verso il settore del cumulonembo. Quando invece iniziano le precipitazioni, la caduta della pioggia e dei cristalli di ghiaccio raffredda l'aria in superficie dove si registra un brusco aumento di pressione (dell'ordine di alcuni millibar), unitamente al cambio della direzione del vento, che da questo momento comincia a soffiare dalla zona centrale del cumulonembo verso l'esterno. Poiché i fenomeni che si riscontrano nel cumulonembo sono gli stessi che caratterizzano qualsiasi tipo di temporale, dovremo parlare di questa classica nube (già tante volte citata nel corso di questo articolo) con alquanto larghezza.

Cominceremo col distinguere, nella vita del cumulonembo, tre fasi fondamentali: 1) la nascita della nube; 2) lo sviluppo ed il successivo sviluppo delle precipitazioni; 3) la dissoluzione.

1° fase: **Nascita del cumulus.** Per le cause termiche e dinamiche che già conosciamo, ha luogo la formazione del cumulus. Infatti, in questa fase iniziale la struttura interna della nube è omogenea: ogni sua parte è percorsa da correnti ascendenti. Mancano, durante questa fase, le precipitazioni. Il calore liberato dal processo di condensazione fa aumentare lo squilibrio di temperatura e di densità esistente tra la nube e l'aria che lo circonda, favorendone il rapido sviluppo ed incrementando la velocità delle correnti ascendenti. Finché permane questa omogeneità di struttura e non cominciano le precipitazioni, si dice che la nube è in stato di "stabilità colloidale".

Come già sappiamo, in questa fase i cumuli non presentano nessun pericolo per i deltaplanisti. Essi sono facilmente riconoscibili per le loro basi orizzontali e perfettamente definite, nonché per il fatto che si vanno sviluppando verticalmente e simmetricamente e le loro cime presentano l'aspetto caratteristico del cavolfiore. Inoltre le superfici delle nubi si mantengono compatte ed i loro contorni si staccano chiaramente nel cielo **fig. 5/A**.

2° fase: **Ulteriore sviluppo del cumulus ed inizio delle precipitazioni.** Le energiche correnti ascendenti che

percorrono la nube ed il rapido progredire della condensazione, la portano rapidamente a quote dove regnano temperature sotto zero. Tuttavia l'omogeneità di struttura segnalata nella prima fase di formazione del cumulus può rimanere fino a quando la temperatura interna della nube non discende sotto il livello di -12°C , che è quella a cui le goccioline d'acqua sopraffuse cominciano a congelare. (V'è però da tener presente come il velivolo che si trova ad attraversare il cumulo in tali condizioni, vada soggetto ad incrostazioni di ghiaccio fin dalla isoterma di 0°C). È questa la fase del "**cumulus congestus**"; il quale, se possiede sufficiente energia interna, si trasforma rapidamente in "**cumulonimbus**". Durante questa evoluzione, la nube perde la sua classica struttura cumuliforme; le sue protuberanze non si staccano più nitidamente nel cielo e la sua parte superiore si trasforma fino ad assumere l'aspetto di un'incudine (**fig. 6**).

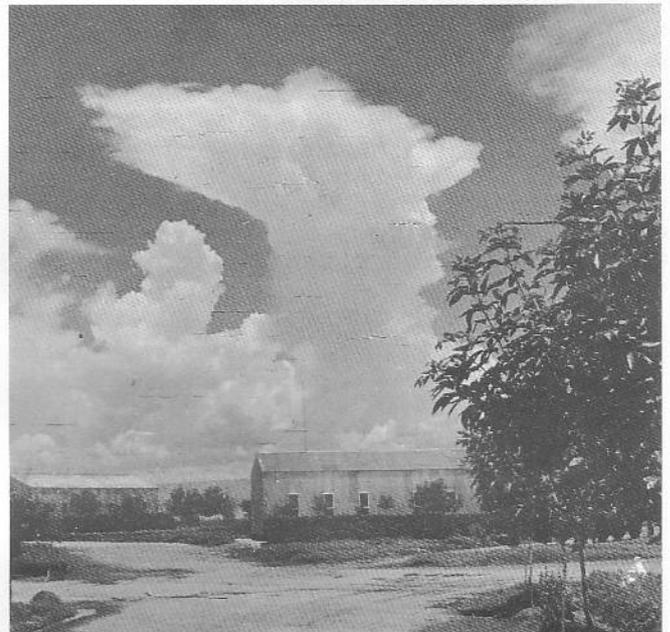


Fig. 6 - Il cumulus congestus, se possiede sufficiente energia interna, si trasforma rapidamente in cumulonimbus. La parte superiore della nube si trasforma fino ad assumere l'aspetto di un'incudine (fotografia dell'autore: Valle de La Cruz - Cordoba - Argentina, gennaio 1953).

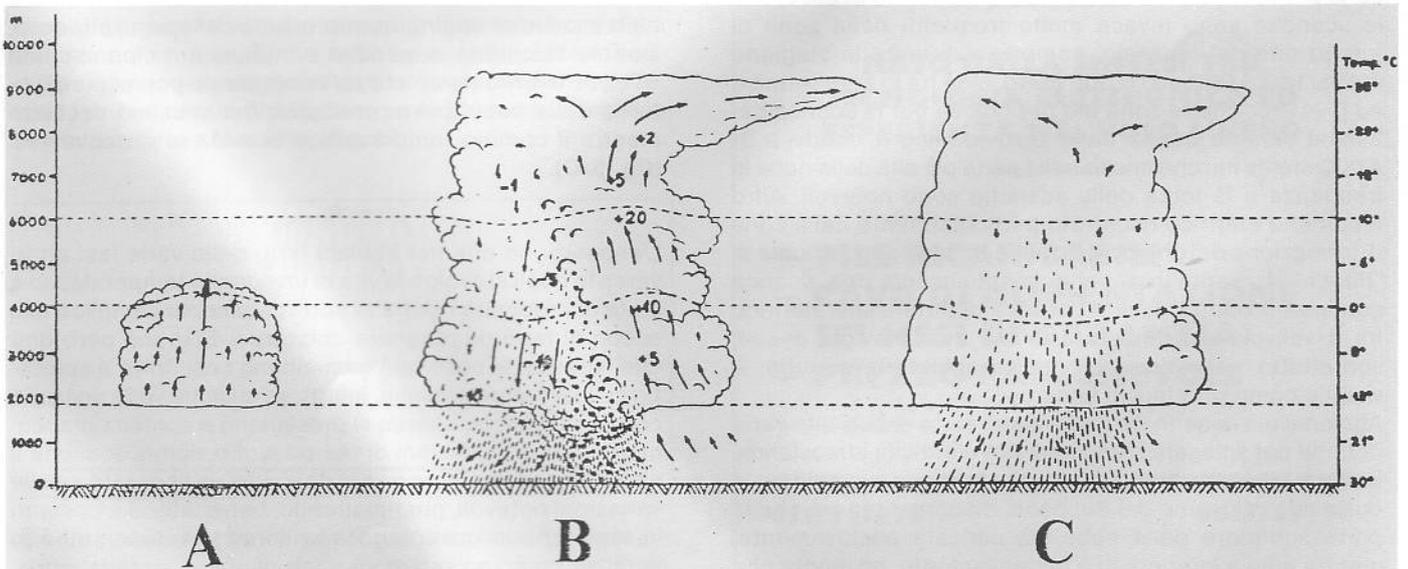


Fig. 5 - Le tre fasi fondamentali della vita del cumulonembo: "A" nascita della nube; "B" sviluppo e successivo sviluppo delle precipitazioni; "C" dissoluzione.

Quando le correnti ascendenti nell'interno della nube raggiungono uno strato molto stabile, sono infatti frenate ed obbligate ad estendersi orizzontalmente, allora le cose cambiano notevolmente. Superato il livello di -12°C , le stille d'acqua che costituiscono la nube cominciano a trasformarsi in minutissimi cristalli di ghiaccio, i quali, poi, riunendosi, danno origine a larghi cristalli di neve, che raggiungono una mole ed un peso tale da determinarne la caduta. Vengono così a trovarsi nello stesso ambiente goccioline d'acqua, cristalli di ghiaccio e fiocchi di neve; cioè elementi che si trovano in fase fisica distinta. Il vapore acqueo che circonda le goccioline si condensa o sublima sui cristalli di ghiaccio, i quali aumentando di peso precipitano: la nube entra nella fase di "instabilità colloidale", ed in questo punto termina la fase iniziale della vita del cumulus congestus e comincia quella che costituisce il temporale propriamente detto. In questa seconda fase vien meno quella omogeneità di struttura interna che si era osservata nella fase iniziale della nube. Adesso, infatti, nella massa nuvolosa che costituisce il cumulonembo è dato osservare la formazione di due zone caratterizzate da fenomeni contrastanti: una zona anteriore calda, percorsa da correnti ascendenti, ed una zona posteriore fredda percorsa da correnti discendenti. Tra l'una e l'altra è una terza zona, differente per il grado di temperatura dalla prima e dalla seconda e caratterizzata da una vivace turbolenza, dovuta al confluire ed al confondersi in essa dei moti contrastanti delle zone attigue. È appunto in questa zona che si riscontrano le raffiche più forti dei venti, le quali, col progredire della vita della nube, vanno spostandosi sempre più nella zona anteriore di essa, restringendo sempre più la zona delle correnti ascendenti. È frequente il caso di formazioni di scariche di grandine nella seconda fase della nube testé descritta ed illustrata nella figura 5/B.

★

Per quanto riguarda i fenomeni elettrici, le osservazioni di vari piloti che hanno volato (in aliante) in seno ai cumuli temporaleschi, hanno permesso di accertare alcuni fatti, che hanno notevole importanza per la condotta del volo veleggiato nell'interno di queste nubi: ed i fatti sono questi, che nella parte inferiore del cumulonembo, le scariche sono poco frequenti e non riescono a costituire un pericolo serio per i velivoli che si trovino a volare dentro di esso; che le scariche sono invece molto frequenti nella zona di formazione del ghiaccio, compresa durante la stagione estiva, tra i 3.000 ed i 6.000 metri, cioè tra lo zero termico ed i -12°C ; che la zona più pericolosa per la scarica dei fulmini sembra quella dello zero termico (d'estate a 3-4.000 metri), ma che anche nella parte più alta della nube la frequenza e la forza delle scariche sono notevoli. Altro fenomeno elettrico riscontrato particolarmente nella zona di formazione del ghiaccio è quello conosciuto col nome di "Fuochi di Sant'Elmo", che costituiscono una scarica continua prodotta dalla differenza di potenziale elettrico fra il velivolo e l'atmosfera in cui esso naviga, e che, soprattutto nelle zone più ombreggiate della nube, è visibile come un effluvio luminoso.

Abbiamo già accennato come siano state escogitate varie dottrine per spiegare i fenomeni dell'elettricità atmosferica. Ebbene, secondo studi recenti che tendono a conciliare le dottrine di Wilson e del Simpson, bisogna ritenere che la parte superiore della nube sia caricata positivamente, mentre quella inferiore lo è negativamente, ed inoltre che nuclei aventi cariche elettriche contrarie si vengano formando in quella zona della nube la cui temperatura

s'aggira sullo zero termico. A questo livello, data la possibilità di scariche elettriche orizzontali, i pericoli per i velivoli sono notevoli. Altre scariche poi sono possibili (queste, però, verticali) tra il nucleo negativo sotto lo zero termico e quello positivo esistente sopra di esso, come pure tra la nube e il suolo e, a volte, anche tra una nube e l'altra (fig. 7).

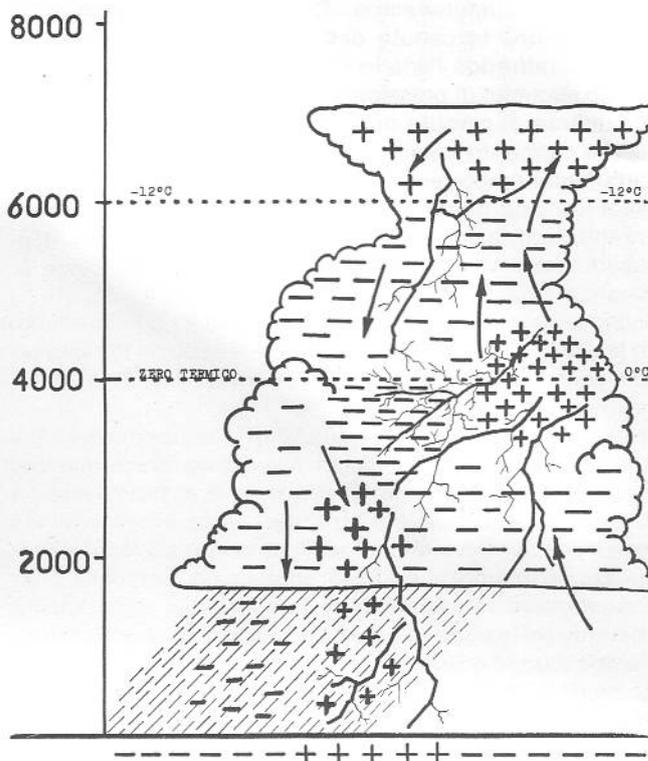


Fig. 7 - Scariche elettriche orizzontali e verticali attorno allo zero termico, nonché tra la nube e il suolo.

3° fase: **Dissoluzione del cumulonembo.** Intanto, col progredire del tempo, la nube temporalesca si avvia alla fase finale. Infatti, il fronte delle precipitazioni va estendendosi sempre più verso la parte anteriore del cumulo, sempre più allargando, per conseguenza, la zona percorsa dalle correnti discendenti e sempre più restringendo quella delle correnti ascendenti, fino ad annullarla del tutto. Il cumulonembo perde a questo punto la compattezza della sua forma originaria, soprattutto nella parte inferiore, mentre l'incudine superiore continua a svilupparsi fino all'esaurimento completo dell'energia disponibile nell'interno della nube, poi le precipitazioni cessano del tutto mentre il cumulo temporalesco si avvia al disfacimento (fig. 5/C).

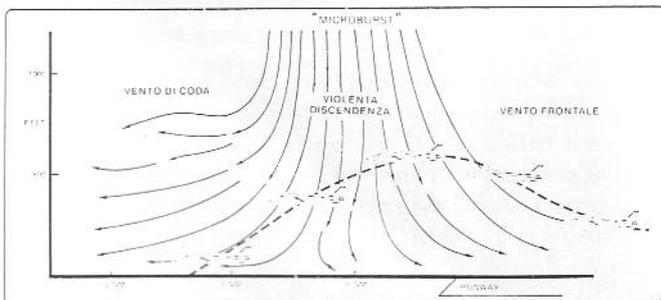
★

L'esposizione che noi abbiamo fatto delle varie fasi attraverso le quali si svolge la vita di un cumulo temporalesco è stata di proposito ridotta al suo schema più semplice allo scopo di farle guadagnare chiarezza. Bisogna però dire che, spesso, le cose non camminano così dritte e spicce. Le cellule temporalesche, infatti, se qualche volta possono comparire isolate, spesso si presentano o contemporaneamente o in successioni di tempo molto vicine, così che il sistema fondamentale da noi descritto, va soggetto a delle variazioni notevoli, pur rimanendo, ben s'intende, costanti le leggi che lo governano e uniformi i fenomeni che lo caratterizzano.

Ora le osservazioni, le dottrine, i fatti, che abbiamo raccolto fin qui, non sono per noi che premesse per giungere a

conclusioni d'ordine pratico, le quali debbono servire di norma per chi intende fare del volo veleggiato d'ampio respiro.

Rimane tutto confermato che il cumulonembo costituisce una importantissima risorsa per il volo veleggiato. Tuttavia, le possibilità che quella nube offre non rimangono identiche durante tutto il periodo del suo sviluppo: grandissime nella fase iniziale, quando il cumulo è animato in ogni sua parte da forti correnti ascendenti che possono portare rapidamente il deltaplano ad alte quote; quelle possibilità, però, vanno di mano in mano riducendosi con lo svilupparsi della seconda fase, fino ad annullarsi del tutto nella fase finale. Se pertanto può essere indifferente, nella fase iniziale, volare all'interno di esso, da una parte piuttosto che dall'altra, **sempre che il pilota sia allenato al volo cieco ed abbia a bordo gli strumenti necessari**, la cosa cambia assai nelle altre fasi della vita del cumulonembo, dovendosi qui tener presente che il fronte della pioggia segna press'a poco, la linea di separazione tra la zona delle correnti ascendenti e quella delle correnti discendenti. Un segnale indicatore della pericolosità di certe nubi temporalesche è fornito dalla presenza di specie di "virga" (ciuffi o striscie d'acqua che cadono dalla nube ed evaporano prima di raggiungere il suolo), fenomeno che si riscontra vicino alla base di condensazione dei cumulonembi. In questo punto si incontrano spesso violente raffiche di vento dirette verso il basso, che recentemente i meteorologi dell'Università di Chicago hanno denominato "Microburst". Il fenomeno è stato studiato a fondo nel corso di una inchiesta su un incidente di volo occorso ad un velivolo di linea in un aeroporto a sud della Luisiana. Secondo il Dott. Theodore Fujita, meteorologo del dipartimento di scienze geografiche dell'Università di Chicago, oggi non esiste più alcun dubbio sull'origine del "Microburst", che è costituito da un intenso e ben localizzato scoppio di raffiche violente di vento diretto verso il basso, con una velocità di oltre 110 km/h (più di 30 m/sec), il quale prorompe dalla base di condensazione dei cumulonembi, accompagnato da scrosci di pioggia più o meno violenti. Secondo lo scienziato americano John Mc Carty, esistono due tipi di Microburst. Un tipo è associato a grandi manifestazioni temporalesche, mentre l'altro tipo sembra svilupparsi in temporali molto più modesti. Questo secondo tipo, pur apparendo innoquo, in effetti può produrre micro-raffiche verticali molto violente, accompagnate da un notevole "shear" de vento (shear significa variazione nella direzione ed intensità). Le raffiche verticali discendenti raggiungono il suolo rimbalzando lateralmente e generando un turbolento flusso divergente dal punto d'impatto con la superficie terrestre (fig. 8).



Un altro pericolo che il pilota saggio non deve ignorare nè sottovalutare, è quello delle incrostazioni di ghiaccio, le quali non solo appesantiscono il velivolo (di cui deformano anche il profilo alare) rendendone faticoso il volo, ma

ostacolano pure il funzionamento degli strumenti di bordo. Come abbiamo notato più addietro, il fenomeno delle incrostazioni di ghiaccio si riscontra tra le isoterme di 0°C e di -12°C, le quali, suppergiù, durante la stagione estiva si trovano fra i 3.000 ed i 6.000 metri d'altitudine. Il freddo è un altro grande nemico per il deltaplanista, che pur ben equipaggiato, è pur sempre completamente esposto alle intemperie. Infine il pilota deve tener presente anche il pericolo costituito dalle scariche elettriche, che suole presentarsi più grave - come già si disse - intorno allo zero termico, e cioè alla quota di 3-4.000 metri. Al quale riguardo noi riteniamo indispensabile, come già accennammo, che i deltaplani destinati al volo nelle nubi siano muniti di uguagliatori di potenziale, aventi al funzione di evitare che i deltaplani stessi assumano forti cariche elettriche proprie.

Al termine della nostra rapida rassegna sulle nubi temporalesche, rileviamo che i **deltaplanisti non devono sottovalutare o addirittura dimenticare le difficoltà ed i seri pericoli che si riscontrano nella condotta del volo entro o sui margini dei temporali.**

Crediamo doveroso concludere dicendo che **imprese del genere non debbono venir tentate da deltaplanisti con spavalderia incosciente; ma con severa preparazione. Infatti, solo un delta solido, un pilota espertissimo, un equipaggiamento studiato in tutti i particolari, possono offrire la speranza di una buona riuscita**, che sia premio all'ardimento e rechi reale vantaggio al progresso del volo delta.

PLINIO ROVESTI

