

Meteorologia applicata al volo delta

di Plinio Rovesti



IL PRONOSTICO PER IL VOLO TERMICO



Come abbiamo avuto modo di constatare nel corso dei precedenti articoli, per i calcoli aerologici relativi al volo veleggiato l'impiego del diagramma termodinamico, od anche del semplice diagramma "temperatura-altezza", sono di grandissima utilità e, con un pò di pratica, di facile maneggio.

I dati necessari per il tracciato di questi diagrammi si ottengono facilmente mediante il sondaggio aerologico con apparecchio a motore (oppure con i dati dei sondaggi che compiono giornalmente i Centri Meteorologici Regionali dell'Aeronautica). Per chi può farsi il sondaggio con apparecchio a motore, gli strumenti indispensabili sono: un barometro olosterico, un altimetro ed uno psicrometro da montante (termometro secco e umido) (fig. 1).

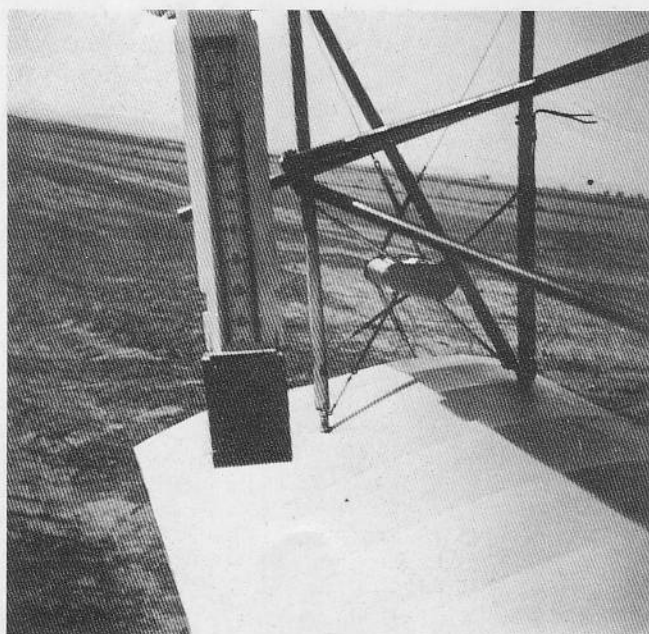


Fig. 1 - Lo psicrometro da montante installato a bordo di un piccolo aereo da turismo per il sondaggio termodinamico dell'atmosfera.

L'osservatore effettua la prima lettura dei termometri al momento del decollo, registrando, nello stesso tempo, la pressione atmosferica in mb regnante al suolo; se il sondaggio serve per tracciare un semplice diagramma temperatura-altezza su carta millimetrata, si effettua la lettura dei termometri ogni 200 metri di quota; se invece si intende tracciare un diagramma termodinamico vero e proprio, conviene effettuare le letture ogni 20 mb, limitandosi

a registrare saltuariamente le altezze dei punti caratteristici (livello delle inversioni termiche, cappe con gradienti termici diversi, ecc.).

La velocità di salita dell'apparecchio durante il sondaggio non deve eccedere i 2 m/sec. Se nella zona esistono montagne, l'apparecchio non deve avvicinarsi molto ad esse, per evitare che la temperatura dell'aria sia influenzata dall'irradiazione dei pendii; il sondaggio deve insomma effettuarsi nella libera atmosfera. Se durante la salita si incontrano correnti ascendenti o discendenti bisogna, nel limite del possibile, cercare di evitarle, perchè i movimenti verticali dell'aria fanno registrare gradienti termici non conformi alle condizioni reali dell'atmosfera, i quali traggono poi in inganno i piloti non ancora ben esperti di meteorologia, inducendoli a credere magari all'esistenza di inversioni che non esistono affatto. Ad ogni modo, questi inconvenienti si possono evitare effettuando il sondaggio nelle prime ore del mattino, cioè prima che abbia inizio l'attività termoconvettiva.

Quando i sondaggi devono servire a voli veleggianti aventi un ambito locale, non c'è bisogno di raggiungere grandi altezze. Ad esempio, se si incontra una forte inversione termica tra i 1.200 ed i 1.500 metri di quota, e si stima che in quel determinato giorno la temperatura in superficie non potrà raggiungere il valore necessario per arrivare a raggiungerla, il sondaggio può essere interrotto all'altezza di 1.600 metri.

Ad ogni modo la quota massima che si deve raggiungere durante l'estate in questi sondaggi locali, è quella dello zero termico (3.000-4.000 metri).

E' necessario effettuare la lettura del termometro secco ed umido con molto scrupolo, poichè i calcoli dell'umidità relativa che si effettuano sulla scorta di dati raccolti da osservatori poco attenti sono erronei e possono trarre in inganno il pronosticatore. Quando, ad esempio, nel sondaggio preconvettivo si registra sotto una superficie di inversione termica, una forte umidità relativa, il pronosticatore è indotto a prevedere una cappa di stratocumuli, non appena inizieranno i movimenti convettivi.

È necessario quindi che le indicazioni dell'umidità di cui si va prendendo nota nel corso del sondaggio, siano quanto più possibile esatte.

A questo punto del nostro studio è probabile che qualche pilota, ancor poco esperto dei segreti del volo e ancora meno delle leggi della meteorologia, ci

ponga la seguente domanda. Si può stabilire con criteri semplici e pratici se una giornata è, o non è favorevole al veleggiamento senza bisogno di ricorrere ai sondaggi aerologici, ai calcoli ed ai diagrammi? Rispondiamo che non vi sono criteri pratici sicuri per risolvere un tale problema. In una giornata serena, infatti, la quale a prima vista può parere la più propizia al volo veleggiato, può aversi equilibrio stabile e non aversi buone condizioni. Può aversi anche, con uguale probabilità, un'atmosfera termicamente labile, ma asciutta; ed allora si avranno certe correnti termiche, ma mancando le nubi mancherà anche la possibilità di localizzarne la presenza. Può accadere anche, che in una giornata molto umida, il pilota sia tratto in inganno dalla presenza nel cielo di nubi che, per il loro aspetto, egli ritiene cumuli, sotto le quali pensa di trovare ascendenze fervide, mentre si tratta invece di falsi cumuli, che hanno scarsissimo interesse per il volo veleggiato, dato che, sotto di essi, le ascendenze sono assai deboli, se pur non mancano del tutto. Ebbene, in tali casi, solo un sondaggio aereo, eseguito da bordo di un velivolo col sussidio di uno psicrometro e di un altimetro, potrà fornire dati sicuri per stabilire se, in quella giornata e in quella zona, sussistano condizioni favorevoli al volo veleggiato. Ci si varrà allora, se non proprio del diagramma termodinamico, almeno del semplice diagramma "temperatura-altezza" che già conosciamo, e da esso, interpretando i dati raccolti durante il sondaggio, si potrà arguire solo la possibilità di formazione di ascendenze termiche nella atmosfera, ma anche le condizioni che dovranno verificarsi perché si possa avere lo sviluppo di una convezione organizzata. Per non deludere del tutto il nostro immaginario interlocutore, esporremo qui di seguito alcuni criteri che pensiamo possano tornare particolarmente utili a quei deltaplanisti che non hanno molta dimestichezza con la meteorologia. Cominceremo col raccomandare un preliminare esame delle condizioni di equilibrio dell'atmosfera. A tale proposito si tenga presente che uno stato di equilibrio indifferente (cioè con un gradiente di 1°C per ogni 100 m d'altezza) è più che sufficiente perché si abbia una buona labilizzazione dell'atmosfera, e anzi, un gradiente termico di $0,8^{\circ}\text{C}$, può essere considerato come un limite per le stratificazioni stabili e quelle instabili (questo vale soprattutto per la stagione calda).

In condizioni meteorologiche nelle quali il gradiente termico scende sotto $0,8^{\circ}\text{C}$ per ogni 100 metri, la possibilità di veleggiare diminuisce sempre più. Ovviamente, le ascendenze termiche che si riscontrano con gradienti termici inferiori a $0,8^{\circ}\text{C}$, difficilmente raggiungono quote elevate. Il loro moto ascendente (come abbiamo avuto già modo di rilevare) va infatti diminuendo, di mano in mano che si sale, fino a cessare del tutto alla quota di equilibrio termico, ossia quando le correnti abbiano raggiunto quel livello a cui la loro temperatura e quella dell'ambiente siano uguali.

D'altronde è facile capire che per l'esatta previsione dell'attività termoconvettiva non è sufficiente fermarsi all'esame delle condizioni dell'equilibrio atmosferico: occorre tener presente anche tutti quegli altri fattori, che possono favorire od ostacolare lo sviluppo e l'organizzazione dei movimenti convettivi, come qui di seguito diremo. Tali fattori sono:

- 1) la velocità del vento in superficie ed il suo andamento con l'altezza;
- 2) la distribuzione verticale dell'umidità;
- 3) lo stato nuvoloso del cielo;
- 4) il sollevamento generale delle masse d'aria;
- 5) le variazioni della pressione atmosferica;
- 6) il cambio delle caratteristiche fisiche delle masse d'aria che si trovano sopra gli strati inferiori.

1) **Velocità e distribuzione del vento.** Come sappiamo, la velocità del vento in superficie, unitamente all'andamento della temperatura, giuoca un ruolo preponderante nell'organizzazione termoconvettiva. Infatti, per veleggiare, non è sufficiente l'esistenza di movimenti convettivi; occorre, inoltre che questi movimenti siano convenientemente organizzati. E ciò non è tutto; anche la distribuzione del vento in quota ha la sua importanza nel pronostico per il volo termico; tanto che, spesso, è questo fattore determinante la scelta del tipo di volo da compiere in un determinato giorno. Le stratificazioni instabili, nelle quali i venti sono costanti in direzione e velocità, sono favorevoli alla formazione di cilindri ascensionali continui. Quelle, nelle quali i venti sono costanti nella direzione e la cui forza cresce regolarmente con l'altezza, sono propizie alla formazione di strisce ascendenti associate a strade di nubi cumuliformi, parallele alla direzione del vento. In condizioni ideali per tentativi di voli di disatanza, il vento deve raggiungere una velocità di 30-35 Km/h nello strato sottostante all'inversione termica, con una favorevole distribuzione verticale dell'umidità atmosferica (fig. 2).

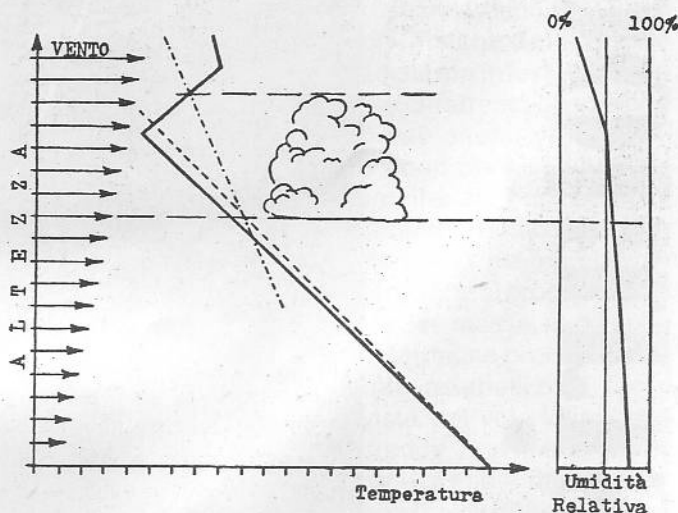


Fig. 2 - Favorevole distribuzione dell'umidità relativa con l'altezza e graduale aumento del vento con la quota sono fattori che favoriscono la formazione di strade di nubi cumuliformi che segnalano al pilota il cammino da seguire.

Contrariamente, un forte aumento di velocità del vento nello strato di inversione è nettamente sfavorevole, tanto più se gli strati sotto l'inversione sono molto umidi. Tali situazioni, infatti, presentano condizioni propizie alla formazione di spesse cappe di stratocumuli (fig. 3), sotto le quali le ascendenze sono irregolari e turbolente, e quindi difficilmente utilizzabili per il volo veleggiato.

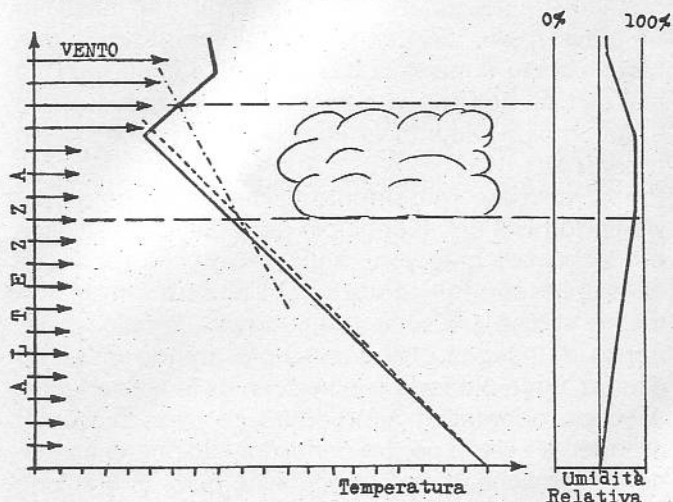


Fig. 3 - Un forte aumento di velocità del vento nello strato di inversione ed il graduale aumento dell'umidità relativa con la quota, sono condizioni sfavorevoli alla formazione dei cumuli, i quali finiscono col degenerare in spesse cappe di stratocumuli.

In particolare, le condizioni ideali per voli veleggiati in circuiti triangolari, con computo della velocità di crociera, oppure per voli di distanza con ritorno al punto di partenza, sono quelle caratterizzate da venti moderati, non superiori in ogni caso ai 15-20 Km/h.

2) La distribuzione verticale dell'umidità relativa. Sono condizioni favorevoli: una buona umidità in superficie ed una distribuzione verticale uniforme o leggermente in diminuzione con l'altezza (fig. 2). Sono condizioni sfavorevoli: troppa umidità in superficie (formazioni di nubi basse) oppure un massimo di umidità vicino allo strato di inversione (formazione di spesse cappe di stratocumuli, o degenerazioni dei cumuli, in un primo tempo formati, in stratocumuli (fig. 3).

3) Lo stato nuvoloso del cielo. Quando il cielo è coperto per oltre 5/8 di nubi basse o medie, le condizioni termiche sono sfavorevoli per il volo veleggiato, anche se le nubi presenti sono di natura convettiva. In questo caso, infatti, le correnti ascendenti, sono appena sufficienti per eventuali voli locali di allenamento, poiché i movimenti convettivi sono deboli, non solo sotto i cumuli, ma anche dentro di essi. E ciò si verifica anche quando la base di condensazione delle nubi è alta.

È importante rilevare che quando le nubi convettive sono molto sviluppate in senso verticale, sono generalmente anche parecchio distanziate l'una dall'altra: ciò determina lo svantaggio che le correnti discendenti di ritorno che si stabiliscono tra una

nube e l'altra comprendono vaste zone e sono piuttosto intense. In tali condizioni, un pilota che voglia tentare un volo di distanza, senza essere in grado di volare senza visibilità nell'interno delle nubi, confidando unicamente nelle correnti che si sviluppano sotto la base dei cumuli, è destinato a terminare il suo tentativo a pochi chilometri dal punto di partenza. Infatti, quando le nubi convettive sono molto sviluppate, volando unicamente sotto la loro base, la possibilità del volo veleggiato nel campo della distanza per i motivi sopra addotti, sono enormemente ridotte (questa regola è valida soprattutto nelle grandi pianure).

4) Sollevamento generale delle masse d'aria. Il sollevamento generale delle masse d'aria, sia per causa orografica che per convergenza orizzontale, diminuisce la stabilità ed aumenta l'instabilità atmosferica. In via di massima, si può dire, pertanto che tale fenomeno è favorevole al veleggiamento termico. Tuttavia, non bisogna dimenticare che, durante il sollevamento, le masse d'aria si raffreddano adiabaticamente e che, quando sono molto umide, producono nuvolosità. In quest'ultimo caso, quando le nubi coprono il cielo per oltre 5/8, le condizioni termiche, come abbiamo detto, non sono favorevoli al veleggiamento.

5) Le variazioni della pressione atmosferica. Ogni variazione notevole della pressione atmosferica, rispetto al suo andamento normale, deve essere interpretato come un indice sicuro di cambi importanti nelle masse d'aria. Quando pertanto è accertato tale mutamento, se si pensa di effettuare qualche volo di distanza, è indispensabile consultare il Centro Regionale più vicino del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica per conoscere la distribuzione generale della pressione ed il possibile arrivo di "fonti" o di perturbazioni nella zona che interessa. Come vedremo in seguito, questo fattore giuoca un ruolo importantissimo nelle previsioni. Ci riserviamo, pertanto, di riprendere l'argomento nei prossimi articoli.

6) Cambi nelle caratteristiche fisiche delle masse d'aria che si trovano sopra le cappe inferiori. Come già sappiamo, un cambio nelle caratteristiche fisiche delle masse d'aria superiori può alterare favorevolmente o sfavorevolmente le condizioni di equilibrio termico esistenti nelle cappe inferiori. Per esempio, l'arrivo di una corrente orizzontale fredda sopra una massa aerea sottostante, non solo ne incrementa l'instabilità, ma il rimescolamento che si produce nella superficie di separazione delle due masse, può anche eliminare eventuali inversioni termiche preesistenti e stabilire in esse un gradiente adiabatico. È facile capire come dal punto di vista del volo veleggiato convenga che tali masse fredde non siano molto umide, per evitare la formazione di abbondante nuvolosità. Nel caso che una corrente calda penetri, invece, in uno strato freddo, le condizioni termiche diventano labili nella parte superiore (dove generalmente si producono condensazioni) e stabili nella parte inferiore. A questo punto, il nostro immaginario interlocutore,

sarà giustamente indotto a pensare che l'esame fisico delle masse d'aria, ai fini del pronostico per il volo veleggiato, richiede una esperienza ed una preparazione teorica che non si possono improvvisare. Tuttavia, assicuriamo il nostro amico che qualsiasi deltaplanista di buona volontà può arrivare, con tempo, a una tale preparazione, che, d'altra parte, consideriamo indispensabile per chi voglia veleggiare... alto e lontano.

Per completare l'argomento di questo articolo, accenneremo da ultimo alla previsione dell'intensità dei movimenti convettivi. La velocità delle correnti termiche si può determinare matematicamente con un calcolo abbastanza semplice, che si fonda sulla differenza esistente tra la temperatura dell'aria e quella dell'aria ambiente. Una particella d'aria riceve nel salire un'accelerazione che è data dalla formula:

$$a = g \frac{T' - T}{T}$$

dove g indica l'accelerazione di gravità, T' la temperatura dell'aria ascendente secondo l'adiabatica secca, T la temperatura dell'aria ambiente. La velocità verticale (V_V), per uno strato di un metro, di una corrente termica secca si può pertanto calcolare con la seguente formula:

$$V_V = \sqrt{0,05 \Sigma (T' - T)}$$

Se volessimo determinare la velocità di salita in strati superiori ad un metro, sarebbe necessario moltiplicare il valore 0,05 per il numero che esprime in metri lo spessore dello strato. Così, ad esempio, per strati di 100 metri, avremmo 5, per strati di 200 metri, avremmo 10, e così via.

La formula surriferita non tiene conto però dell'attrito che si produce tra l'aria ascendente e quella che costituisce l'ambiente che diminuisce la velocità di salita di circa un terzo del valore risultante dal calcolo.

Ad ogni modo, poiché il deltaplanista non sempre dispone del tempo necessario per effettuare il calcolo matematico, detteremo alcune norme pratiche sulla previsione dell'intensità dei movimenti verticali.

1) Quando nel sondaggio preconvettivo la curva della temperatura reale presenta un gradiente medio leggermente inferiore a quello adiabatico, si possono prevedere ascendenze abbastanza veloci, ampie e tranquille (2-3 m/sec), e correnti discendenti di

compenso assai calme, dell'ordine di 0,5-1 m/sec.

2) Quando nel sondaggio preconvettivo la curva della temperatura reale presenta un gradiente medio superadiabatico, si possono prevedere corretti ascendenti di notevole intensità, ma strette e turbolente. Le discendenze, invece, saranno vaste e per di più agitate e veloci quanto le ascendenze. Tuttavia, bisogna rilevare che in una massa d'aria un gradiente superadiabatico può durare al massimo un paio d'ore, esistendo, in tali condizioni, una tendenza più o meno rapida verso una stratificazione più stabile dell'aria e pertanto più favorevole allo sviluppo di movimenti verticali più tranquilli e meglio organizzati.

Per concludere l'argomento di questo articolo, rileviamo tuttavia che il principio generale più semplice per stabilire la maggiore o minore velocità ascensionale delle correnti termiche, è l'altezza che le termiche stesse possono raggiungere. Infatti, l'esperienza ci insegna che quanto più grande è la loro altezza, tanto più forte è la velocità delle ascendenze. A scopo orientativo riportiamo uno specchio comprendente i valori per tre condizioni tipiche di ascendenze termiche, e cioè: a) termiche pure, b) termiche associate a piccoli cumuli, c) termiche con cumuli potenti ed avvezione di aria fredda al suolo.

Com'è facile capire questi valori sono validi per le regioni pianeggianti durante la stagione estiva, ed inoltre non sono applicabili nel caso di cumulus congestus molto sviluppati o di cumulonembi.

Tipo di termica	Altezza massima dello strato adiabatico secco	Velocità ascensionale media
a) Termiche pure	1.000 m	1 m/sec
	2.000 m	2 m/sec
	3.000 m	3 m/sec
b) Termiche con piccoli cumuli	1.000 m	1,2 m/sec
	2.000 m	2,4 m/sec
	3.000 m	3,6 m/sec
c) Termiche con cumuli potenti ed avvezione fredda al suolo.	1.000 m	1,5 m/sec
	2.000 m	3,0 m/sec
	3.000 m	4,5 m/sec

o ————— o