

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCXVI.

1919

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XXVIII.

2° SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL DOTT. PIO BEFANI

1919

Fisica. — *Sulla determinazione delle proprietà d'un apparecchio aereo durante il volo in funzione della densità attuale dell'aria.* Nota di MARIO TENANI, presentata dal Socio E. MILLOSEVICH ⁽¹⁾.

1. Molte proprietà di un apparecchio aereo sono, come è subito visto, funzione della densità dell'aria in cui esso si sostiene e si muove: eppure nessuno degli strumenti attualmente in uso per la navigazione tiene conto di questo elemento fondamentale. Ciò può trovare le sue ragioni, secondo il mio modo di vedere, principalmente in questi due fatti: 1° che fin qui il consumo di combustibile, che in particolar modo dipende dalla densità dell'aria, aveva un'importanza tutto affatto secondaria: ciò che importava nelle applicazioni belliche era l'ottenimento del massimo effetto dell'aereo nelle condizioni necessariamente imposte del momento dell'azione, e, per i voli generalmente brevi che erano necessari, il rendimento della macchina non preoccupava affatto; 2° che finora le prove in volo degli aerei hanno attraversato uno stadio preparatorio che mal si prestava a stabilire con precisione tale rendimento nelle varie condizioni.

Le esigenze della sicurezza nella navigazione aerea, quale ora si prospetta, richiedono invece una ricerca accurata delle proprietà degli aerei nelle varie condizioni offerte dall'atmosfera alle varie quote, e una più esatta determinazione del consumo.

2. Ritenendo, secondo i risultati dell'esperienza, che la composizione dell'aria si mantenga costante fino alle più alte quote oggi raggiungibili in volo, la densità dell'aria ρ_h a una quota h , ove g sia l'accelerazione della gravità, p la pressione, t la temperatura centigrada, f la tensione del vapore d'acqua in mm. di mercurio è, come è noto, espressa dalla formula

$$(1) \quad \rho_h = 1,293 \left(\frac{p}{760} - 0,377 \frac{f}{760} \right) \cdot \frac{1}{1 + \alpha t} \cdot \frac{g}{g_0},$$

ove α è il coefficiente di dilatazione dei gas, g_0 l'accelerazione della gravità al livello del mare a 45° di latitudine.

Per quanto può riguardare le attuali applicazioni aeronautiche si può osservare che, essendo $\frac{g}{g_0}$ molto prossimo all'unità (superiore sempre a 0,99682) fino a 10 km, trascurandone l'influenza si commette un errore che, dati i valori intorno cui oscillano le pressioni e le temperature anche alle massime quote, è sempre dell'ordine del grammo per metro cubo d'aria.

(1) Pervenuta all'Accademia il 21 giugno 1919.

Occorre inoltre osservare che il rapporto $\frac{f}{760}$ non può assumere alle alte quote valori molto elevati perchè, diminuendo la temperatura, diminuisce rapidamente la tensione massima f_{max} del vapore d'acqua; sicchè si può facilmente verificare che, trascurando di considerare completamente lo stato igrometrico dell'aria, l'errore che si commette nel calcolo della densità è sempre inferiore a 10 grammi per mc. al suolo, a 5 gr. a 3000 metri, a 2 gr. a 5000 metri e molto meno alle altezze superiori. Trascurando pertanto l'influenza dello stato igrometrico dell'aria e dell'accelerazione della gravità, si avrà come espressione della densità dell'aria ai vari livelli

$$(2) \quad \rho_h = 1,293 \cdot \frac{p}{760} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t}$$

3. Le seguenti considerazioni meteorologiche daranno un'idea delle variazioni che la densità subisce alle varie quote nei nostri climi.

La formula altimetrica

$$h - h_0 = A \log \frac{p_0}{p} (1 + \alpha t_m)$$

ci dice che al crescere della temperatura media t_m , ad altezza costante h , la pressione p deve pure essa crescere, fin che p_0 rimane costante, sicchè gli effetti della temperatura e della pressione sulla densità secondo la formula precedente, tenderebbero ad elidersi. Siccome però la pressione al suolo p_0 varia essa pure, solo l'esperienza può decidere se alle alte quote p e t variino insieme in modo da rendere l'oscillazione della densità molto piccola, non ostante le grandi variazioni della temperatura, o se si verifichi il caso contrario e quindi le oscillazioni della densità risultino molto forti e importanti per le applicazioni aeronautiche. Ciò è appunto quanto si verifica.

Ecco un quadro dei valori estremi della densità in kg. per mc. osservati in Italia alle varie quote, da me calcolati in base ai risultati dei lanci di pallone sonda effettuati a Pavia (anni 1906-1912):

Altezza km.	0 ⁽¹⁾	1	2	3	4	5	6	7	8
Minimi	1,173	1,073	0,974	0,884	0,800	0,718	0,644	0,575	0,517
Massimi	1,304	1,181	1,034	0,926	0,831	0,760	0,681	0,603	0,539
Differenza	0,131	0,108	0,060	0,042	0,031	0,042	0,037	0,028	0,022

(¹) Gli estremi al suolo qui riportati si riferiscono agli istanti in cui furono effettuati lanci di pallone-sonda: la densità al livello del mare durante l'anno può variare nei nostri climi da 1,127 a 1,340 con una differenza di 0,213 equivalente al 18% della minima e al 17% della media. I dati della tabella furono calcolati in base alle osservazioni ottenute e pubblicate per cura del prof. P. Gamba negli Annali dell'Uff. Centr. di Meteorologia, vol. 28, 30, 32, 33, 34, 35 e 36, parte I, già da me riassunte nelle Memorie del R. Osserv. al Collegio Romano, ser. III, vol. VII, parte I.

Si può facilmente calcolare, in base ai valori medi annui della densità dell'aria alle varie quote, che queste oscillazioni equivalgono rispettivamente, agli effetti del volo, ai seguenti cambiamenti di quota:

Altezza km.	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Metri	1085	1000	600	500	400	600	500	420	350

Si noti inoltre che i numeri della precedente tabella rappresentano le densità corrispondenti alle condizioni estreme realmente osservate alle varie quote, e che è probabile che a tutte le quote le massime oscillazioni della densità siano anche notevolmente superiori.

I numeri precedenti si prestano poi a un'importante constatazione di indole meteorologica.

Confrontiamo le predette oscillazioni della densità alle varie quote con le corrispondenti oscillazioni della temperatura:

Altezza km.	0 ⁽¹⁾	1	2	3	4	5	6	7	8
Mass. temp. oss.	26° 8	22° 0	15° 8	9° 3	3° 7	-2° 4	-8° 5	-14° 9	-21° 7
Min. temp. oss.	-4° 0	-7° 9	-9° 2	-15° 7	-23° 1	-31° 6	-40° 9	-48° 5	-56° 0
Differenza	30° 8	29° 9	25° 0	25° 0	26° 8	29° 2	32° 4	33° 6	34° 3

e notiamo che, se la pressione fosse rimasta costante alle varie quote non ostante la variazione di temperatura, queste differenze avrebbero dato luogo a una variazione di densità tra il massimo e' e il minimo e espressa da

$$e' - e = e \frac{T - T'}{T}$$

ove T e T' rappresentano gli estremi della temperatura in gradi dallo 0 assoluto, e cioè nel nostro caso alle seguenti variazioni:

Altezza km.	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Oscill. tra gli estr. della dens.	0,149	0,121	0,092	0,086	0,084	0,087	0,090	0,086	0,082

Si vede chiaramente quanto si è detto prima che, nella zona qui considerata, ed astraendo i primi strati prossimi al suolo, alle temperature più alte si accompagnano pressioni più alte e inversamente, per modo che l'oscillazione nella densità viene in effetto considerevolmente diminuita.

4. Si comprende pertanto l'impossibilità di enunciare le proprietà di un aereo in funzione della quota e la necessità di enunciarle invece in funzione della densità dell'aria, o di qualche elemento che le sia univocamente legato, come possono essere, ad esempio, le altezze sul livello del mare alle quali in media durante l'anno si manifestano i singoli valori della densità: così si è effettivamente cominciato a fare nella tecnica.

(1) Id., ib.

Tali altezze risultano leggermente diverse per le singole regioni per le quali è stato potuto effettuare il calcolo delle densità medie e, finchè non si saranno prese opportune convenzioni internazionali, assisteremo a questo fatto imbarazzante e poco compatibile con una scienza che si sviluppa in questi giorni, che uno stesso numero esprimerà secondo i paesi una diversa densità dell'aria.

Durante il volo interesserà dunque al pilota per giudicare delle proprietà della macchina il conoscere il valore della densità dell'aria in cui naviga, oppure, ciò che è equivalente, il valore delle corrispondenti altezze secondo quanto è stato detto; e queste soltanto e non la quota di navigazione sul livello del mare saranno quelle che possono interessarlo per quanto riguarda le proprietà della macchina che sono funzione della densità.

Ad esempio recentemente il Col. Crocco ⁽¹⁾ ha definito una quantità, cui ha dato il nome di consumo orario unitario (il consumo di benzina di un'aeronave corrispondente alla velocità di un km. ora), che entro certi limiti comprendenti tutti i casi pratici, è funzione della sola densità dell'aria e che permette facilmente di calcolare il consumo totale per un determinato viaggio, la velocità propria da tenersi, la massima velocità del vento superabile durante tutto il percorso ecc., senza avere pertanto nessuna relazione fissa con la quota contata dal l. d. m. Questa quantità, così importante per la navigazione, si può facilmente determinare alle prove, ma rimane inutilizzata per la pratica se non si ha il modo di conoscere con una certa precisione e prontezza la densità attuale dell'aria o l'altezza corrispondente secondo le accennate convenzioni; non si può infatti ammettere che durante il volo si debba calcolare con la formula precisata o con l'uso di tabelle la densità attuale dell'aria o l'altezza corrispondente.

5. Credo opportuno pertanto descrivere qui una semplice trasformazione che possono subire i barometri aneroidi che servono per i comuni altimetri, atta a trasformarli in strumenti che indichino direttamente la densità dell'aria o l'altezza convenzionale corrispondente o qualunque altro elemento che, come il consumo orario unitario predetto, sia funzione unicamente della densità dell'aria.

L'applicazione ricorda molto da vicino quella da me esposta in questi stessi Rendiconti ⁽²⁾ a proposito della misura delle altezze dal livello del mare, e consiste nel sostituire alla mostra comune dell'altimetro una rappresentazione della formula (2) in coordinate polari.

L'indice dell'aneroide si muove in funzione della pressione: se pertanto si prende la pressione come anomalia della rappresentazione grafica, l'indice segnerà ad ogni istante l'anomalia corrispondente alla pressione del momento.

⁽¹⁾ L'Aeronauta, Roma, anno II (1919), n. 2; vedi pure applicazioni nel n. 4.

⁽²⁾ Vol. XXVI, s. 5^a, 2^o sem., pag. 343, e XXVII, s. 5^a, 1^o sem., pag. 51.

Prendiamo poi come raggio vettore della rappresentazione i valori della temperatura. Potremo così disegnare una serie di cerchi concentrici corrispondenti ciascuno a un particolare valore della temperatura. Preso ora un valore qualunque della densità (ad esempio quello corrispondente all'altezza convenzionale 0 m. o a un dato valore del consumo orario unitario ecc.) calcoliamo le coppie di valori p e t a lui corrispondenti. Su ogni cerchio potremo segnare un punto che rappresenta ciascuna di tali coppie di valori e, riunendo i punti così ottenuti, avremo una curva (di densità costante) sulla mostra dell'aneroido.

Tracciando molte di tali curve, ad esempio quelle corrispondenti alle densità di 50 in 50 grammi per mc., oppure corrispondenti in media alle quote di 100 in 100 m., oppure quelle corrispondenti ai vari valori del consumo orario unitario, e contrassegnando tali curve col valore dell'elemento che ha servito a tracciarle, avremo una mostra che ci permetterà senz'altro di determinare, con la conoscenza della temperatura, o la densità dell'aria, o l'altezza convenzionale del momento, o il consumo orario unitario del momento, o qualsiasi altro elemento necessario alla navigazione che sia funzione della densità dell'aria.

Basterà infatti leggere sul cerchio contrassegnato col valore della temperatura attuale dell'aria, sotto l'indice il valore dell'elemento cercato.

Questo semplice strumento, e gli analoghi che si potranno costruire su tale principio, permetteranno al pilota di conoscere con precisione e rapidità durante il viaggio quegli elementi che, come si disse in principio, si tende oggi a determinare con gran cura nelle prove, e potrà offrirgli, molto più precisamente dell'altimetro, le informazioni necessarie per una sicura navigazione.

Il metodo di trasformazione degli attuali strumenti è però generale e si può applicare anche ad altro genere di apparecchi, che indicando indirettamente una determinata quantità, devono poi essere corretti per tener conto della densità variabile del mezzo.

•Ne è esempio l'indicatore di velocità che misura la velocità dell'aereo misurando la pressione che il vento relativo all'aereo stesso esercita in un manometro. La velocità corrispondente a una determinata pressione è però funzione della densità dell'aria; sicchè, volendo rilevare direttamente dallo strumento l'indicazione della velocità propria effettivamente tenuta dall'aereo senza laboriose correzioni, si potrà sostituirne la mostra con una rappresentazione grafica, analoga alle precedenti, in cui si prenda per anomalia la pressione direttamente indicata dall'indice dello strumento e per raggio vettore si prenda la densità dell'aria (o qualche altro elemento, come l'altezza convenzionale, il consumo orario unitario ecc., che ne dipenda univocamente). In tale principio rientra una mostra corretta per indicatore di velocità, da me precedentemente descritta (1).

(1) L'Aeronauta, Roma, anno I (1918), n. 6.