NUOVO METODO DI MISURA DEI MOTI ORIZZONTALI E VERTICALI DELL'ATMOSFERA PER MEZZO DI UN PALLONE PILOTA FRENATO.

NOTA DEL DOTT. MARIO TENANI.

Trasmessa dal Prof. A. BATTELLI.

In un recente articolo ¹⁾ il prof. Hergesell ha proposto un metodo per misurare la velocità e la direzione del vento alle varie altezze per mezzo di un pallone pilota frenato. È noto come i metodi più comunemente adoperati (le banderuole, i piloti ad un solo inseguimento) si limitino a fornirci la sola componente orizzontale del vento in velocità e direzione. Accennerò in breve al principio del metodo proposto dal Prof. Hergesell per ovviare a queste difficoltà. Esso consiste nel lanciare il pallone attaccato ad un filo che parta dal centro del cerchio verticale di un teodolite; su tale cerchio può leggersi l'angolo che la tangente inferiore alla curva descritta dal filo fa con l'orizzontale, e, traguardando il pallone, l'angolo che la corda della curva forma con l'orizzontale. Per mezzo di un piccolo dinamometro a molla si determina la tensione del filo e si ha quanto occorre per calcolare l'angolo β (vedi figura 1) che la tangente nell'estremo superiore alla curva stessa forma con l'orizzontale.

Ottenuto quest'angolo e conoscendo la lunghezza del filo si può determinare facilmente la tensione T del filo all'estremo superiore; scomponendo allora con la regola del parallelogrammo tale forza in due, di cui una sia la forza ascensionale libera del pallone, l'altra componente viene a dare con

Fig. 1.

la sua direzione la direzione effettiva del vento e con la sua intensità fornisce il modo di calcolarne la velocità. (V. fig. 1).

¹⁾ *Beitrage zur Ph. der fr. Atmosph.*; Leipzig 1914, hft. 4, pag. 214.

Tale metodo come si vede rende necessario il traguardare il pallone. Ora ciò può essere in molti casi impedito da diverse circostanze (nebbia, nuvole) e mi è sembrato quindi importantissimo cercare se questo fosse effettivamente necessario.

Evidentemente il metodo può dare risultati giusti finchè si ammetta la costanza della forza ascensionale del pallone nelle varie condizioni di pressione e di temperatura in cui viene a trovarsi ¹⁾. Tuttavia, poichè nei casi da me sopra enunciati siamo finora rimasti nell'assoluta mancanza di un metodo che ci fornisse la vel. e la dir. del vento, credo opportuno esporre le seguenti considerazioni. E ciò non solo per l'utilità che può derivarne per la navigazione aerea, ma anche perchè alle misure di velocità e di direzione del vento finora eseguite si poteva fare l'appunto che rappresentassero le particolarità dell'oceano aereo solo nei giorni di bel tempo e si riferissero per una data altezza alle condizioni di un solo istante.

Consideriamo la curva BP descritta dal filo: con vento sufficientemente debole essa sarà poco diversa da una catenaria il parametro della quale che chiamerò m , potrà facilmente dedursi misurando la tensione del filo con un dinamometro nel punto B che suppongo essere il punto di partenza del filo avente all'estremità P il pallone; essa tensione sarà diretta secondo la tangente al filo in B facilmente determinabile con un cerchio graduato con centro in B. Se di questa forza si costruisce la componente orizzontale, si ha la tensione nel punto più basso della catenaria e , dividendo questa forza pel peso p dell'unità di lunghezza del filo, si ha il parametro della curva.

Riferendoci ad assi cartesiani disposti come in figura 2^a con l'origine alla distanza m , contata lungo l'asse z dal punto più basso C della catenaria, l'equazione della catenaria è

$$z = m \cosh \frac{x}{m}$$

Il suo arco s a partire da C è dato dalla formula

$$s = \int_0^x \sqrt{dx^2 + dz^2} = \int_0^x \cosh \frac{x}{m} dx = m \sinh \frac{x}{m}$$

¹⁾ V. Dietzius. *Akad. Wiss. Wien, Ber.* 122, 2a, p. 543, mar. 1913.

e quindi, per l'arco σ compreso tra B e P si ha

$$(1) \quad \sigma = m \left(\operatorname{sen} h \frac{x}{m} - \operatorname{sen} h \frac{x_0}{m} \right)$$

essendo (x_0, z_0) le coordinate di B e (x, y) quelle dell'estremo P. Tale arco è conosciuto se è nota la lunghezza del filo tra B e P.

Fig. 2.

Osserviamo poi che essendo

$$\frac{dz}{dx} = \operatorname{sen} h \frac{x}{m},$$

se nel punto B si misura come già si è detto l'angolo α che la tangente alla catenaria fa coll'orizzontale, si avrà:

$$t g \alpha = \operatorname{sen} h \frac{x_0}{m}$$

Se come prima indichiamo con β l'angolo formato dalla tangente alla catenaria nel punto P con l'orizzontale, avremo

$$t g \beta = \operatorname{sen} h \frac{x}{m}$$

Dalla (1) sostituendo avremo:

$$\sigma = m (t g \beta - t g \alpha)$$

d'onde

$$(2) \quad t g \beta = \frac{\sigma}{m} + t g \alpha$$

in cui tutto il secondo membro è noto.

Si vede di qui che per ottenere l'angolo della tang. superiore alla catenaria con l'orizzontale basta conoscere la lun-

Fig. 3.

ghezza del filo σ , la costante m della catenaria che si determina come sopra abbiamo detto, e l'angolo α della tangente inferiore con la orizzontale. Ora osservando la fig. 3 si vede che indicando con φ l'angolo con l'orizzonte della corda e con ψ l'angolo tra la corda e la tangente si ha:

$$\alpha = \varphi - \psi_0$$

$$\beta = \varphi + \psi_1$$

Con sufficiente approssimazione si può ritenere $\psi_0 = \psi_1$ e ne segue

$$\varphi = \frac{\alpha + \beta}{2} \quad , \quad \psi_0 = \frac{\beta - \alpha}{2}$$

e ricordandoci allora che l'altezza h del punto P può ottenersi dalla formula:

$$h = \sigma \frac{\sin \phi_v}{\phi_0} \sin \varphi .$$

si può con questa calcolare l'altezza del pallone ¹⁾.

La tensione T in P, che forma l'angolo β prima trovato con l'orizzontale, è ora completamente nota perchè (come è noto) data dalla tensione t al dinamometro più il peso di un tratto di filo verticale di altezza h cioè $h.p.$

Come si vede facendo in tal guisa noi abbiamo potuto determinare la tensione T e l'angolo β che essa forma con l'orizzontale, avendo fatto uso di questi soli elementi:

peso dell'unità di lunghezza del filo p

tensione segnata al dinamometro t

angolo della tangente inferiore al filo α .

Indicando la componente orizzontale della forza esercitata dal vento con W e la componente verticale con Ω avremo

$$(3) \quad \begin{aligned} T \cos \beta &= W, \\ T \sin \beta &= A \pm \Omega \end{aligned}$$

ove A è la forza ascensionale libera del pallone e vale il segno $\pm$ a seconda che si tratti di correnti ascendenti o discendenti. Ma se il pallone è sferico, con grande approssimazione ²⁾, avremo

$W = \gamma_0 w^2$ ove γ_0 è una costante e w la componente orizzontale della velocità del vento.

$\Omega = \gamma_0 \omega^2$ ove ω è la componente verticale del vento.

$A = \gamma_0 v_0^2$ ove v_0 è la velocità normale di salita del pallone secondo la formula di Hergesell.

¹⁾ Nella pratica tale espressione approssimata dall'altezza h si dimostra meglio applicabile della espressione esatta:

$$h = z - z_0 = m \left(\frac{1}{\cos \beta} - \frac{1}{\cos \alpha} \right) .$$

²⁾ Nei limiti di applicabilità del presente metodo i fattori γ possono ritenersi praticamente identici e costanti (cfr. Eiffel C. R. 155, 1912, II, p. 1598).

Introducendo questi valori nelle (3) avremo

$$(4) \quad \begin{aligned} w^2 &= \frac{T}{A} \cos \beta \, v_0^2, \\ \omega^2 &= \frac{(\pm T \operatorname{sen} \varphi \mp A)}{A} v_0^2. \end{aligned}$$

Nei secondi membri tutto essendo conosciuto, si potrà dedurne i valori cercati di w e ω , cioè la componente orizzontale e la componente verticale della velocità del vento.

* * *

Da quanto sopra è esposto risulta che una misura di velocità e direzione del vento con pallone pilota frenato può effettuarsi, quando la curva del filo sia praticamente identica alla catenaria, senza bisogno di traguardare il pallone.

Basterà eseguire le seguenti operazioni:

1. — Determinare il parametro m della catenaria, misurando l'angolo α del filo con l'orizzontale all'estremità inferiore, costruendo la componente orizzontale della tensione t misurata con un dinamometro e dividendo poi tale componente per il peso p dell'unità di lunghezza del filo.

2. — Conoscere la lunghezza σ del filo svolto e applicare la formula

$$t g \varphi = \frac{\sigma}{m} + t g \alpha,$$

per conoscere l'angolo φ della tangente superiore.

3. — Calcolare i due angoli

$$\varphi = \frac{\alpha + \beta}{2} \qquad \psi_0 = \frac{\beta - \alpha}{2}$$

4. — Calcolare l'altezza del palloncino con la formula

$$h = \sigma \frac{\operatorname{sen} \psi_0}{\psi_0} \operatorname{sen} \varphi.$$

5. — Calcolare la tensione del filo all'estremità superiore

$$T = t + h \cdot p .$$

6. — Introdurre questo valore nella formole (4) e ricavarne la velocità e direzione desiderata.

I calcoli precedentemente accennati si possono ovviare in gran parte, quando non si richieda una scrupolosa precisione, col seguente procedimento grafico: conservando le notazioni precedenti, tracciamo su un foglio (vedi fig. 4) il vettore (t) (tensione al dinamometro) che forma l'angolo α coll'orizzon-

Fig. 4.

tale, e di seguito ad esso portiamo il vettore di modulo $\sigma \cdot p$ (peso del filo) diretto a 90° sull'orizzontale. Come si dimostra nella teoria dei poligoni funicolari, la somma di questi due vettori (T) ci dà in grandezza e direzione la tensione del filo nella sua estremità superiore P . Evidentemente è dunque:

$$\overline{AB} = T \cos \beta , \quad \overline{BC} = T \sin \beta .$$

Le formole (4) si possono dunque scrivere:

$$w = r_0 \sqrt{\frac{\overline{AB}}{A}} , \quad \omega = r_0 \sqrt{\frac{\overline{BC} - A}{A}}$$

che possono immediatamente calcolarsi con un regolo calcolatore. L'altezza a cui le velocità così calcolate si riferiscono si ottiene facilmente pensando che $T = t + h \cdot p$. Basterà quindi riportare su (T) a partire da A un segmento uguale a t ; il segmento rimanente sarà $T - t = h \cdot p$ d'onde si ha subito h .

Il metodo sopra descritto si presta bene con palloni piloti ordinari (di gomma del peso di 30 gr.) e con forza ascensionale libera di 80 gr.) per venti di velocità limitata, inferiori ai 3,5 metri per secondo. Entro tali limiti vennero eseguite misure di confronto con eccellente risultato. Un'altra buona verifica della precisione raggiungibile col metodo accennato, si può avere prendendo dal citato lavoro di Hergesell i dati necessari (t, α, σ, p) per eseguire il calcolo qui indicato e confrontando i risultati del calcolo con gli altri dati da lui direttamente osservati. Per venti più forti occorrerebbe usare palloni di forza ascensionale maggiore; inoltre è pensabile che questi venti alterino sensibilmente la forma della curva descritta dal filo rendendo così il calcolo meno preciso. Ad ogni modo, oltrechè per le ragioni già dette, per la grande importanza che ha in meteorologia lo studio delle correnti verticali, il metodo può fornire risultati notevoli che in nessun altro modo attualmente potrebbero ottenersi, e sui quali dirò in altro luogo.

R. Stazione Aerologica Princ. di Vigna di Valle, giugno 1915.