ATTI

DELLA

REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCIV.

1907

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XVI.

1° SEMESTRE.

ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1907

Fisica. — *Sopra alcuni problemi di aerodinamica.* Nota di LUCIANO ORLANDO, presentata dal Corrispondente A. SELLA.

Nella Brigata Specialisti del Genio militare, avente sede in Roma, esiste un ventilatore, molto potente e molto ben costruito, il quale, mediante opportuna camera di compressione, può fornire, da una luce di ottanta per ottanta centimetri, una corrente d'aria *non vorticosa* della velocità di venticinque metri al secondo.

Approfittando del cortese consenso del sig. Comandante la Brigata, io ho potuto, col concorso del sig. tenente Crocco, ufficiale addetto al riparto aerodinamico, instituire una serie di curiosi esperimenti, rivolti a cercare la spiegazione di un fenomeno che ho qui l'onore di descrivere [1].

Innanzi alla bocca del ventilatore ora detto presentiamo la parte piana di un bastoncello semicilindrico, imperniato ad un manubrio, in modo che sia libero di rotare in un senso o nell'altro, ma non di retrocedere. Se assumiamo, per precisare le idee, un sistema di coordinate cartesiane ortogonali, e supponiamo che il vento venga dalla direzione positiva dell'asse delle x, il solido che noi consideriamo sarà il luogo dei punti corrispondenti a queste limitazioni:

$$x \leqq 0, \qquad x^2 + z^2 \leqq r, \qquad -k \leqq y \leqq k,$$

dove assegniamo ad r la lunghezza, per esempio di un centimetro, e a k la lunghezza di sette centimetri e mezzo. Il pernio attraverserà il bastoncello secondo l'asse delle x, e il manubrio starà nella regione delle x negative. Il solido ora definito è libero di ruotare, strisciando colla sua faccia piana sul piano yz, ma il contrasto del vento gl'impedisce di avanzare verso le x positive, e il contrasto del manubrio gl'impedisce di retrocedere verso le x negative.

Presentato senz'altro, nel modo ora descritto, il bastoncello all'azione del vento, esso riceve un sistema di spinte parallele che si scaricano sul pernio, e, se anche riceve, come vedremo, altre spinte, la simmetria di queste

[1] Il sig. Patrick, in una Comunicazione al IV Congresso d'aerostazione, tenutosi in Pietroburgo nell'estate 1905, dimostrò d'aver osservato un caso molto simile a quello al quale si riferisce la fig. 1. Il sig. Patrick praticava una scanalatura longitudinale sulla faccia piana del semicilindro. Ma già nel 1897 il sig. P. La Cour aveva applicato ai molini a vento questo ordine di idee (*Forsög med smoa Möllenmodeller*. Ingeniören 1897). Recentemente il sig. Riabouschinsky, coadiuvato da egregi studiosi, ha instituito, in un laboratorio eccellente, una serie di notevoli esperienze. Vedere il Boulletin de l'Institut Aérodinamique de Koutchino, fasc. I, 1906, pag. 18 e seg.

è tale che esso rimane immobile. Ma se invece imprimiamo al bastoncello un movimento di rotazione intorno all'asse delle x, *sia in un senso, come anche nel senso opposto*, noi vediamo che questa rotazione si accelera e tende a diventare molto notevolmente veloce.

L'intera spiegazione, *quantitativa* del fenomeno si presenta molto difficile: sarebbe, nel presente stato della fisica matematica, un arduo problema quello di voler determinare razionalmente l'espressione analitica delle leggi di questo moto. Ma, senza pregiudizio di un ulteriore esame, più matematico, noi possiamo abbastanza facilmente formarci una spiegazione *qualitativa*, avvalorata, come si vedrà, da caratteristici esperimenti.

È noto che, se un corpo si muove nell'aria, ed in generale in un mezzo resistente, esiste, intorno alla *prora* del corpo, una zona di molecole del fluido,

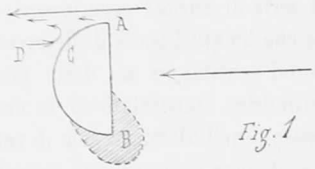

Fig. 1

che non hanno velocità relativa rispetto al moto del corpo. Tale zona costituisce la cosiddetta *prora fluida*, la presenza della quale è stata da molto tempo osservata per le navi nell'acqua, e per le palle lanciate dalle armi da fuoco nell'aria. La natura pratica del presente lavoro c'impedisce di entrare in discussioni analitiche relative a questo fenomeno, che è stato attentamente e variamente studiato.

Supponiamo che al semicilindro da noi considerato si imprima una rotazione iniziale: per fissare le idee, supponiamo che inizialmente si faccia diminuire con violenza la z del punto $(0, k, r)$, che chiameremo punto A; con ciò diminuirà in ugual misura la z del punto $(0, k, -r)$ che chiameremo B, e cresceranno in ugual misura quelle di $(o, -k, r)$, $(0, -k, -r)$.

Intorno allo spigolo definito dalle relazioni $x = 0$, $z = -r$, $0 \leqq y \leqq k$, come anche intorno all'altro definito da $x = 0$, $z = r$, $0 \geqq y \geqq -k$, si formerà una prora fluida. Questa sarà dovuta a due diverse azioni, una che l'aria spinta dal ventilatore esercita sulla faccia piana del bastoncello che le si oppone, l'altra che l'aria esercita resistendo alla rotazione del bastoncello.

Se, per semplicità, consideriamo soltanto la sezione eseguita col piano limitante $y = k$, noi possiamo all'incirca rappresentarci la prora fluida come risulta dalla parte tratteggiata della fig. 1. Ciò avverrebbe ugualmente se c'immaginassimo soppresso il ventilatore ed animato l'apparecchio, non soltanto della rotazione nel senso da A verso B, ma anche di un'opportuna traslazione verso le x positive.

Così stando le cose, la nuova aria, che sopravviene dal ventilatore, non trova da investire una faccia piana, ma investe, come si vede dalla figura, una vera paletta di elica, dunque accelera la rotazione nel senso da A verso B.

Ma, oltre a questo, l'aria spinta dal ventilatore, tende anche a distaccare la prora fluida dalla parete curva posteriore del semicilindro, e determina, in contatto con questa parete, un forte risucchio; l'azione che ne risulta cospira a far ruotare il sistema nel verso indicato.

Non è ancora tutto. Un'altra azione cospirante a farlo così ruotare è dovuta al *mollente*, che si forma nelle vicinanze di A (e di tutto il relativo spigolo, e, simmetricamente, in modo cospirante, anche dalla parte delle y negative). I filetti fluidi, spinti dal ventilatore, sfiorando A, richiamano violentemente le molecole d'aria più vicine, che stanno nella regione D relativamente tranquilla; le altre molecole della stessa regione, le quali si trovano alquanto più lontane, si precipitano a sostituire le altre che più velocemente hanno seguito il filetto fluido; ed alcune, battendo in punti come C (fig. 1), imprimono una vera spinta verso il basso.

Nelle correnti d'acqua molto veloci, per esempio l'Adige, che presenta, in alcuni tratti ed in alcune stagioni, velocità superiori ai quattro metri al secondo, basta un piccolo promontorio, una pila di ponte, uno zatterone ancorato, per determinare il fenomeno ora descritto del *mollente*: i barcaiuoli conoscono bene i pericoli di questi *tagli di corrente*. Per vedere che importanza abbia questo fenomeno nell'aria, noi abbiamo, sull'esempio di Kousnetzov [1], costruito un altro modellino, ed eseguita una decisiva esperienza.

Consideriamo un solido, costituito dalla rigida, geometrica unione di un cubo e di due prismi triangolari, così definiti nel precedente sistema:

$$
\begin{array}{llll}
1. & -1 \leqq x \leqq 1\ , & -1 \leqq y \leqq 1\ , & -1 \leqq z \leqq 1\ , \\
2. & -1 \leqq x \leqq 1\ , & x - z \geqq 0\ , & -1 \leqq z \leqq 1\ , \quad 1 \leqq y \leqq 7\,,5 \\
3. & -1 \leqq x \leqq 1\ , & x + z \leqq 0\ , & -1 \leqq z \leqq 1 \quad -1 \geqq y \geqq -(7\,,5)
\end{array}
$$

dove i numeri esprimono centimetri. Chi volesse vederne la figura in prospettiva, potrebbe consultare il citato Bollettino di Riabouschinsky a pag. 19.

Limitiamoci intanto a esaminare una sezione piana, per esempio quella col piano limite $y = k$.

Esponendo la faccia AB al ventilatore, noi vediamo che, anche senza una spinta iniziale, il bastoncello incomincia abbastanza rapidamente a ruotare nel verso da A a B. Ciò è determinato dalla spinta che il mollente imprime nei punti come C, o, per meglio dire, dalla componente verticale di questa spinta.

[1] Riabouschinsky, loc. cit., pag. 19.

Ma noi possiamo subito osservare, con un'esperienza sulla quale richiamiamo in modo speciale l'attenzione del lettore, che l'azione dovuta al mollente ora detto è notevolmente meno efficace delle altre dovute alla prora fluida. È facile vedere che, se incliniamo di una trentina di gradi, *a sinistra*, rispetto alla direzione del vento, l'apparecchio, in modo cioè che il pernio non segua più l'asse della x, ma, per esempio, la retta $s = 0 \quad x + y\sqrt{3} = 0$, l'apparecchio funziona all'incirca come un'elica e si mette rapidamente a

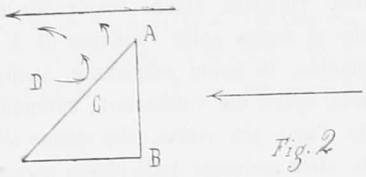

Fig. 2

rotare da B verso A, con una rotazione contraria, cioè, a quella che assume quando si espone *frontalmente*, nel modo sopra indicato, al ventilatore. Se la rotazione ultimamente descritta (da B verso A) è diventata *sufficientemente rapida*, riportando l'apparecchio in posizione frontale, noi vediamo che il movimento continua nello stesso senso. Se la rotazione *non era sufficiente-*

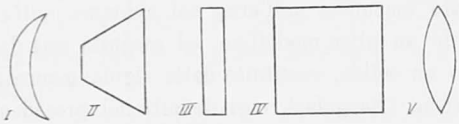

Fig. 3

mente rapida, l'apparecchio a poco a poco si ferma, e poi si mette a ruotare inversamente (da A verso B).

Non insisterò molto sopra altri esperimenti, che potrebbero iniziare una serie di osservazioni non soltanto qualitative: mi basterà d'accennare che la sezione indicata nella fig. 1, esposta col dorso curvo verso il vento, anche con un forte impulso iniziale, tende rapidamente a fermarsi, e che fra le sezioni descritte nella fig. 3, il fenomeno si presenta notevole per le sezioni I e II, meno notevole per la III, meno ancora per la IV, e non si presenta per la V. Per la sezione IV è necessaria una fortissima velocità iniziale di rotazione ed una forte velocità della corrente d'aria, affinchè il fenomeno si presenti.

Debbo aggiungere che ho ripetuto questi esperimenti, con identico successo, in una grossa carrozza automobile, spinta a velocità differenti; in

tale caso, l'aria incontrata presentava rispetto a me una velocità relativa, identicamente paragonabile alla velocità dell'aria del ventilatore.

Riserbandomi di studiare in modo più esauriente questi curiosi fenomeni, anche nelle correnti d'acqua (1), credo che non sia male aver accennato a tre elementi di spiegazione, dei quali, in uno studio razionale del fenomeno, nemmeno uno dovrà essere trascurato.

Meccanica. — *Sul moto di una sfera in un liquido viscoso.* Nota del prof. Giuseppe Picciati, presentata dal Corrispondente T. Levi-Civita.

I primi problemi relativi al moto di corpi solidi in liquidi viscosi sono stati trattati dallo Stokes, il quale nel suo classico lavoro (2), *On the Effect of the Internal Friction of Fluids on the Motion of Pendulums*, studia il moto oscillatorio lento (3) di un piano, di una sfera e di un cilindro, ed anche il moto traslatorio lento di una sfera, il cui centro si muove in linea retta con velocità uniforme.

Altri casi di moti stazionari e di moti oscillatori lenti sono stati posteriormente studiati; però dei problemi che si riferiscono al moto vario e lento di un solido in un liquido viscoso, quando si considerino, per esempio, il corpo ed il solido soggetti ad una forza esterna costante come la gravità, uno solo, che io sappia, è stato trattato dal Basset (4): quello di una sfera pesante.

La trattazione di questo problema fatta dal Basset è però tutt'altro che semplice, chiara e completa. L'autore suppone dapprima che la sfera si muova con velocità uniforme in linea retta, nel liquido inizialmente in quiete, ed in un modo complicatissimo determina la così detta funzione di corrente di Stokes, da cui dipende il movimento del liquido. Da questo caso passa a quello in cui la sfera si muove con velocità variabile, quindi, determinata la resistenza che la sfera incontra a muoversi nel liquido viscoso, studia il moto della sfera pesante. L'equazione a cui giunge, e che determina la velocità di questo moto, non è però da lui integrata che nell'ipotesi particolare in cui il coefficiente cinematico di viscosità sia una quantità tanto piccola che di esso si possano trascurare la prima o la seconda potenza.

Lo stesso problema si può invece risolvere direttamente, supponendo la velocità della sfera variabile e qualunque le condizioni iniziali del liquido,

(1) Riabouschinsky, loc. cit., pag. 39 e seg.

(2) Math. and. Phys. Papers, t. III, Cambridge, 1901.

(3) Si chiama così il moto quando è tale che si possono trascurare i quadrati ed i prodotti delle componenti della velocità e loro derivate.

(4) *A Treatise on Hydrodynamics*, t. II, pag. 285, Cambridge, 1888.