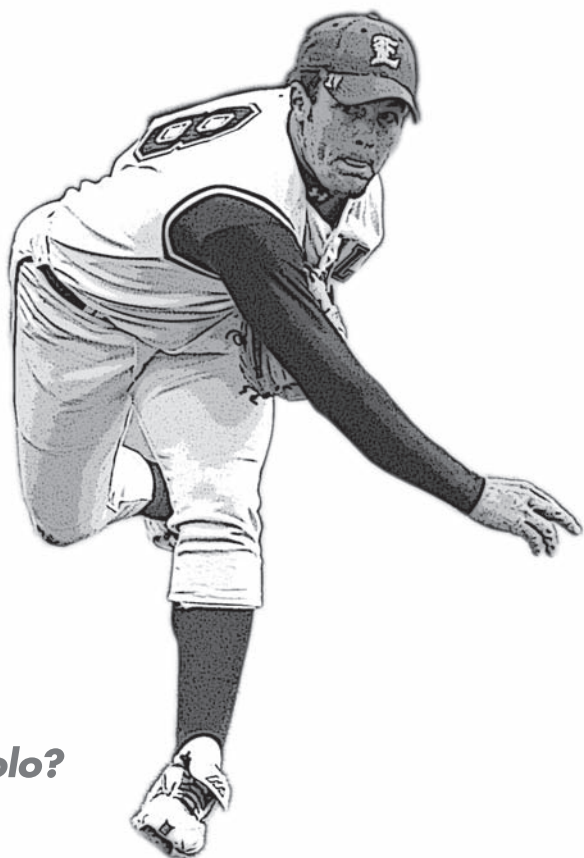




**Che cosa possono avere
in comune gli aeromodelli,
l'equazione di Bernoulli,
il baseball, Einstein,
un professore un po'
ottuso, un misconosciuto
studioso d'aerodinamica
ed uno dei più famosi geni
dell'informatica del XX° secolo?**



Un articolo di JEF RASKIN

EFFETTO COANDA

"Nell'aerodinamica, la teoria è ciò che rende visibile l'invisibile. Cercare di far volare un aeroplano senza conoscere la teoria sarebbe come cercare di fare a pugni con un fantasma".

(Dave Thornburg, 1992)

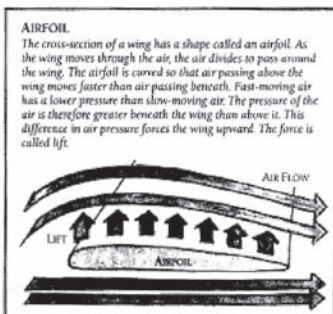
Il fatto di aver scritto un po' di equazioni, non toglie nulla al fascino ed al mistero che circonda il movimento dei fluidi.

(Richard Feynman, 1964)

INTRODUZIONE

Una chiara comprensione della portanza alare era stata raggiunta già vent'anni dopo il primo volo dei fratelli Wright, ma la spiegazione più comune

che si trova nei testi elementari e negli articoli divulgativi lascia perlomeno perplessi. Nella figura qui sotto ne possiamo vedere un tipico esempio.



Il ragionamento, assai incompleto, è basato sul principio di Bernoulli che mette correttamente in correlazione l'aumento della velocità dell'aria su di una superficie e la riduzione di pressione che vi si può rilevare. Infatti, la maggior parte delle ali ha una curvatura considerevolmente maggiore sul dorso piuttosto che sul ventre e ciò porta a credere ulteriormente a questa spiegazione. Ma fin da bambino mi sono trovato di fronte ad un dilemma: come fa un aeroplano a volare sottosopra?

Quando feci questa domanda, il mio insegnante di scienze delle medie non seppe cosa rispondere; negò semplicemente che gli aeroplani potessero volare a testa in giù e cercò di continuare la sua lezione. A me la cosa non andava giù e cercai di continuare a discuterne fino a che il professore disse: *"Basta Raskin, sta' zitto!"* Più avanti vi dirò cosa accadde in seguito. Alcuni anni dopo mi misi a fare alcuni calcoli basandomi su questa semplicistica spiegazione del perché un aeroplano vola ed utilizzando i dati ricavati da un modello, scoprii che la portanza generata era solo il 2% di quella necessaria a mantenerlo in volo!

Se diamo per scontato che l'equazione di Bernoulli sia corretta, la mia domanda originaria resta comunque senza risposta: da dove arriva questa benedetta portanza?

Nei prossimi paragrafi proverò a dare una risposta ed una spiegazione a due fenomeni correlati: cosa fa sì che una palla che ruota su sé stessa compia una traiettoria curva e come il profilo di un'ala influenzi la portanza. Vedremo anche come la comune spiegazione della portanza abbia messo fuori strada un numero sorprendente di scienziati.

LA PALLA ROTANTE

La traiettoria di una palla che ruota attorno ad un asse verticale e si muove attraverso l'aria, subisce una deflessione a destra o a sinistra di una linea retta. Gli esperimenti dimostrano che quest'effetto dipende dal fatto che la palla sta ruotando e che è immersa in un fluido (aria). Le palle che non ruotano o quelle che ruotano nel vuoto, vanno dritte. Prima di proseguire, provate a chiedervi verso quale direzione

possa deviare una palla che, vista dall'alto, ruoti in senso antiorario. Vediamo intanto che cosa dicono cinque diversi libri su questo argomento.

Tre sono stati scritti da fisici, uno è un testo standard di riferimento e l'ultimo, tanto per avere qualche stimolo in più, è un libro scritto dall'allenatore di calcio di mio figlio.

Cominciamo col fisico James Trefil che nel 1984 scrive:

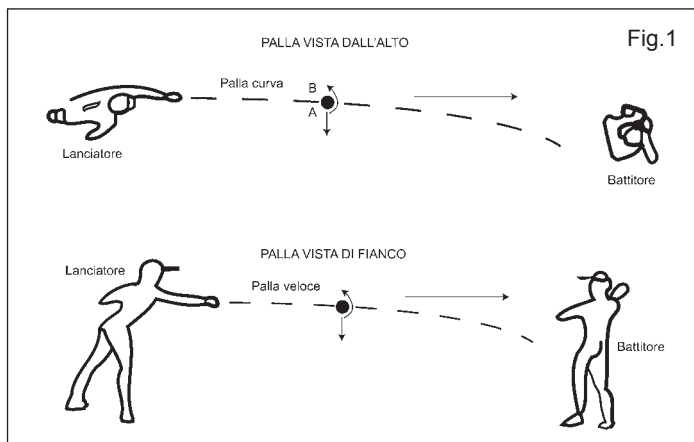
"Prima di chiudere il discorso sull'effetto Bernoulli, vorrei portare l'attenzione su di un altro aspetto le conseguenze del quale meriterebbero di essere esplorate: sto parlando dello sport del baseball. Prendiamo in considerazione ad esempio la "palla curva". Questo particolare tipo di lancio viene effettuato come si vede nella Fig. 1. Poiché la superficie della palla è ruvida⁽¹⁾, l'effetto delle forze viscoso è quello di creare un sottile strato d'aria che ruota con la superficie. Guardando la figura, notiamo che l'aria al punto A si muove più velocemente di quella al punto B, perché nel primo caso il movimento della superficie della palla si somma alla velocità complessiva della stessa mentre nel secondo viene sottratto. L'effetto quindi è la generazione di una portanza che

tende a far muovere la palla nella direzione mostrata"⁽²⁾.

Gli appassionati del baseball direbbero che la palla gira verso la terza base. Trefil mostra quindi il diagramma di una "palla veloce" che curva verso il basso mentre ruota, poiché la parte inferiore della palla ruota in avanti. E' un fenomeno identico al precedente, ma con l'asse di rotazione girato di 90°. Nel libro "La fisica del baseball" (1990) Robert K. Adair immagina una palla lanciata verso la casa-base e che ruota in senso antiorario vista dall'alto, come nel diagramma di Trefil. La prima base è alla sinistra del lanciatore mentre alla sua destra c'è la terza. Adair scrive:

"Possiamo quindi aspettarci che la pressione dell'aria sul fianco della palla rivolto verso la terza base, che si muove più velocemente nell'aria, sia maggiore di quella sul fianco verso la prima base che si muove più lentamente. La palla quindi verrà deflessa verso la prima base."

Questa conclusione è esattamente opposta a quella di Trefil, sebbene entrambi concordino sul fatto che il fianco che ruota in avanti, si muova più velocemente attraverso l'aria. Abbiamo quindi imparato da queste due fonti che un movimento



più veloce attraverso l'aria fa aumentare o diminuire la pressione da quella parte. Io, per il momento, non prendo posizioni a favore dell'uno o dell'altro. L'"Enciclopedia Britannica" (1979) ci dà una spiegazione che introduce nella discussione il concetto di resistenza:

"La resistenza del fianco della palla che si muove "nell'aria" (cioè nella direzione in cui la palla sta viaggiando) ritarda il flusso mentre sull'altro fianco la resistenza lo fa accelerare. La maggiore pressione sul fianco dove il flusso viene rallentato spinge la palla nella direzione della regione a pressione inferiore, sul fianco opposto, dove c'è un aumento relativo di flusso".

A questo punto sappiamo che la palla che ruota fa sì che l'aria si muova o più velocemente o più lentamente oltre il fianco che ruota in avanti e che quest'aria che si muove più velocemente fa aumentare o diminuire la pressione. Questo, a seconda dell'autorità che avete deciso di seguire e parlando di "autorità" forse è appropriato citare uno dei giganti della fisica del XX° secolo, Richard Feynman. Egli non è d'accordo con Trefil ed usa un cilindro invece di una sfera. (Feynman 1964 - Il corsivo è dell'autore e la portanza alla quale si fa riferimento punta verso l'alto):

"La velocità del flusso è maggiore nella parte superiore di un cilindro (che sta ruotando

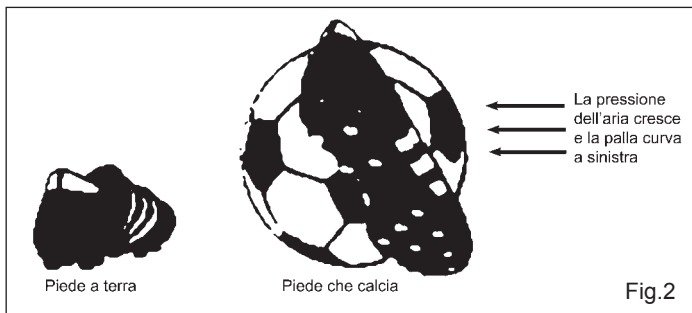


Fig.2

in modo tale che la sua parte superiore si muova in direzione opposta al senso del suo avanzamento) che nella parte inferiore. Le pressioni sono quindi *minori* nella parte *superiore* che in quella inferiore. Quindi, quando abbiamo la combinazione fra una circolazione attorno ad un cilindro ed un flusso orizzontale, si crea una precisa *forza verticale* sul cilindro che possiamo chiamare *portanza*". Chiudiamo col libro dell'allenatore di mio figlio, George Lamptey. Qui di teoria ce n'è ben poca, ma possiamo essere ragionevolmente certi che Lamptey abbia fatto spesso l'esperienza di cui parla e sappia quindi bene quale sia la direzione verso la quale la palla viene deviata. Egli scrive: "Il calcio a banana" (o "ad effetto") è più o meno un calcio decentrato che fa ruotare il pallone su sé stesso: colpendo il pallone fuori centro sulla destra esso curva a sinistra, colpendolo invece fuori centro sulla sinistra, esso curva a destra. Il raggio di curvatura della traiettoria dipende dalla

velocità di rotazione" (Fig. 2).

Lamptey quindi, come Adair, pone la pressione maggiore sul fianco che si muove nell'aria. Mi fermo qui. Ci sarebbero molti altri autori da citare, per alcuni dei quali la palla curva da una parte, per altri verso quella opposta. Alcune spiegazioni si basano sull'interpretazione dell'effetto Bernoulli da parte dell'autore, alcune sulla viscosità, altre sulla resistenza, altre ancora sulla turbolenza. Torneremo sull'argomento più avanti, ma ancora non abbiamo finito di trovare problemi nella comune spiegazione della portanza.

ALTRI PARADOSSI

La comune spiegazione del perché un'ala possa volare ci porterebbe a concludere, per esempio, che un profilo che abbia una certa concavità sul ventre generi una portanza inferiore di un profilo col ventre piatto (Fig. 3).

Questa conclusione è errata. A questo punto ci potremmo chiedere in che modo possa un'ala a lastra piana, come quella ad esempio di un aeroplano di carta, generare portanza. Notiamo che l'ala piana viene leggermente inclinata e quest'inclinazione, che si chiama angolo d'attacco, è necessaria perché l'ala piana possa generare portanza (Fig.4). Un profilo molto efficiente per modelli piccoli e molto lenti è costituito

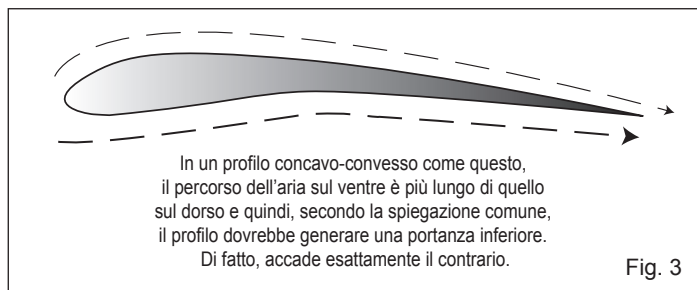


Fig. 3

da un sottile strato di materiale curvo (Fig. 5), ma se ci si basa sulla comune spiegazione della portanza non si riesce a capire come questa possa essere generata dato che dorso e ventre del profilo hanno all'incirca la stessa lunghezza.

Se ci dovesse realmente basare sulla spiegazione comune, allora dovremmo avere dorsi dei profili molto più curvi di quanto siano in realtà. In questo modo l'aria dovrebbe viaggiare ancor più velocemente e noi otterremmo ancor più portanza.

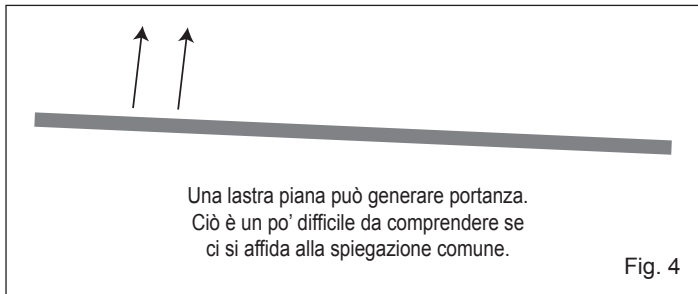


Fig. 4

unita alla rassicurante plausibilità della spiegazione comune è, probabilmente, la ragione principale che ha portato fuori strada alcuni eccellenti fisici.

maggior portanza da un profilo ridisegnandone la curvatura superiore come in fig. 7.

Questa è una versione "ragionevole" del profilo pieno di gobbe che vi ho presentato prima. L'idea del mio amico è naturalmente basata sul concetto secondo il quale una più lunga superficie superiore fornisce più portanza.

Stavo per dirgli che la sua idea non avrebbe funzionato quando mi è capitato di parlare con Jørgen Skøgh⁽³⁾ il quale mi ha raccontato di un profilo disegnato da Albert Einstein⁽⁴⁾ durante la I^a Guerra Mondiale che si basava sullo stesso ragionamento fatto dal mio amico (Fig. 8).

Quindi, invece di dirgli che la sua idea non avrebbe funzionato, gli ho detto più semplicemente che aveva creato una moderna versione dell'errore di Einstein, il quale, in seguito, ammise con fair-play di aver preso un granchio⁽⁵⁾!

Quindi, invece di dirgli che la sua idea non avrebbe funzionato, gli ho detto più semplicemente che aveva creato una moderna versione dell'errore di Einstein, il quale, in seguito, ammise con fair-play di aver preso un granchio⁽⁵⁾!

Quindi, invece di dirgli che la sua idea non avrebbe funzionato, gli ho detto più semplicemente che aveva creato una moderna versione dell'errore di Einstein, il quale, in seguito, ammise con fair-play di aver preso un granchio⁽⁵⁾!

Quindi, invece di dirgli che la sua idea non avrebbe funzionato, gli ho detto più semplicemente che aveva creato una moderna versione dell'errore di Einstein, il quale, in seguito, ammise con fair-play di aver preso un granchio⁽⁵⁾!

Quindi, invece di dirgli che la sua idea non avrebbe funzionato, gli ho detto più semplicemente che aveva creato una moderna versione dell'errore di Einstein, il quale, in seguito, ammise con fair-play di aver preso un granchio⁽⁵⁾!

Quindi, invece di dirgli che la sua idea non avrebbe funzionato, gli ho detto più semplicemente che aveva creato una moderna versione dell'errore di Einstein, il quale, in seguito, ammise con fair-play di aver preso un granchio⁽⁵⁾!

Quindi, invece di dirgli che la sua idea non avrebbe funzionato, gli ho detto più semplicemente che aveva creato una moderna versione dell'errore di Einstein, il quale, in seguito, ammise con fair-play di aver preso un granchio⁽⁵⁾!

Quindi, invece di dirgli che la sua idea non avrebbe funzionato, gli ho detto più semplicemente che aveva creato una moderna versione dell'errore di Einstein, il quale, in seguito, ammise con fair-play di aver preso un granchio⁽⁵⁾!

Quindi, invece di dirgli che la sua idea non avrebbe funzionato, gli ho detto più semplicemente che aveva creato una moderna versione dell'errore di Einstein, il quale, in seguito, ammise con fair-play di aver preso un granchio⁽⁵⁾!

Quindi, invece di dirgli che la sua idea non avrebbe funzionato, gli ho detto più semplicemente che aveva creato una moderna versione dell'errore di Einstein, il quale, in seguito, ammise con fair-play di aver preso un granchio⁽⁵⁾!

Quindi, invece di dirgli che la sua idea non avrebbe funzionato, gli ho detto più semplicemente che aveva creato una moderna versione dell'errore di Einstein, il quale, in seguito, ammise con fair-play di aver preso un granchio⁽⁵⁾!

Quindi, invece di dirgli che la sua idea non avrebbe funzionato, gli ho detto più semplicemente che aveva creato una moderna versione dell'errore di Einstein, il quale, in seguito, ammise con fair-play di aver preso un granchio⁽⁵⁾!

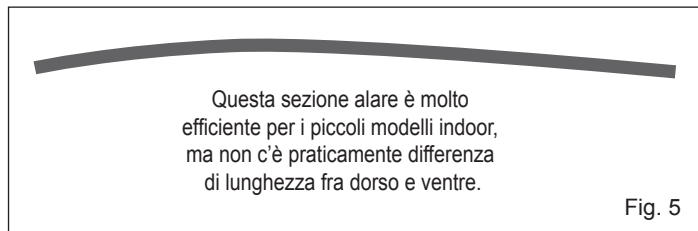


Fig. 5

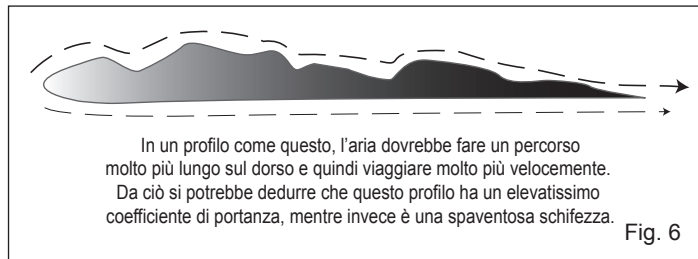


Fig. 6

za. Il disegno della fig. 6 è chiaramente paradossale, ma poco più avanti incontreremo "gobbe" più realistiche.

Il fatto è che le equazioni di Bernoulli sono corrette, ma la loro appropriata applicazione alla portanza aerodinamica avviene in maniera completamente differente rispetto a quella indicata dalla spiegazione comune.

Comunque, applicate correttamente o no, le equazioni non ci forniscono un'accettabile visualizzazione di ciò che lega la portanza alla forma di un profilo e non ci dicono nulla riguardo alla resistenza. Questa mancanza di un modello mentale prontamente visualizzabile

L'ALA DI ALBERT EINSTEIN

Un mio amico che lavora nell'industria aeronautica (non come progettista) mi ha proposto un profilo alare migliorato. Basandosi sulle linee-guida della spiegazione comune, egli suggerisce che si possa ottenere una

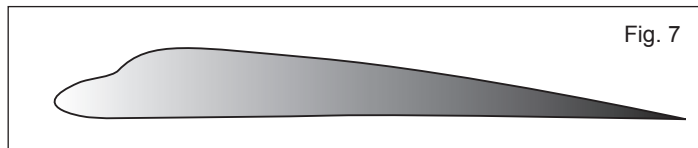


Fig. 7



Fig. 8

Il profilo di Albert Einstein

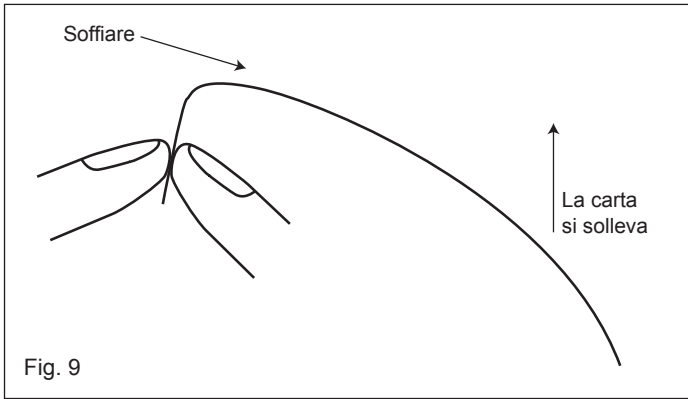


Fig. 9

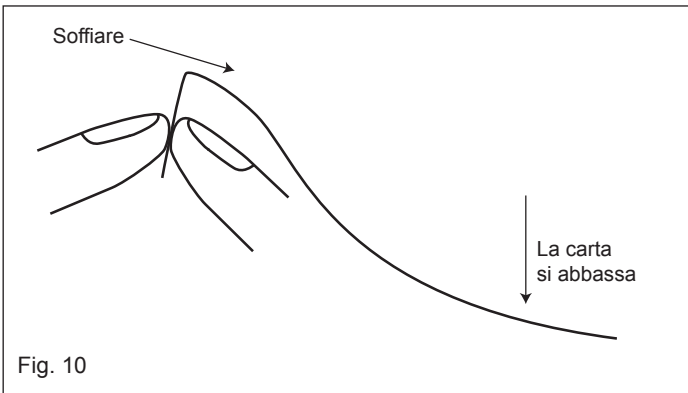


Fig. 10

sulla sua superficie allora se la superficie è curva poco importa che sia piana, concava o convessa. La spiegazione comune si basa solo sul flusso parallelo alla superficie. Ecco qui alcuni esperimenti che potete fare per verificare quest'idea.

1) Tagliate una striscia di carta di 5x25 cm circa. Tenetela da-

vanti alle labbra in modo che penda verso il basso formando una superficie convessa verso l'alto. Se soffiare sopra alla carta questa si solleva (Fig. 9). Molti testi attribuiscono questo effetto alla riduzione della pressione dovuta all'effetto Bernoulli. Ora piegate la carta in maniera che risulti leggermente

concava (Fig. 10). Soffiateci nuovamente sopra. La carta ora si piega verso il basso.

2) Costruite una scatola di compensato o cartone con un profilo di balsa tenuto in posizione da uno spillo che gli permetta di muoversi liberamente su e giù, come nelle figg. 11 e 12. L'aria viene soffiata con una cannuccia da bibite.

Questa è una delle cose belle della scienza: non siete costretti a prendere le parole di nessuno per oro colato, ma potete provare voi stessi⁽⁶⁾. In questa piccola galleria del vento, l'aria scorre solo sul dorso del profilo. Un mio studente ne ha realizzata un'altra dove un aspirapolvere soffia aria sul dorso e sul ventre, ma richiede un maggior lavoro ed i modelli dei profili necessitano di corretti bordi d'entrata e d'uscita. Incidentalmente, ho cercato di convincere un'azienda che produce apparecchi per dimostrazioni scientifiche a produrre qualcosa di simile. Hanno rifiutato perché "non fornisce risultati corretti". Bene, ho chiesto, allora come funziona, secondo lei? "Non lo so", mi ha risposto il progettista-capo. Un esperimento può essere difficile da interpretare, ma, a meno che non sia fraudolento, non può fornire risultati errati.

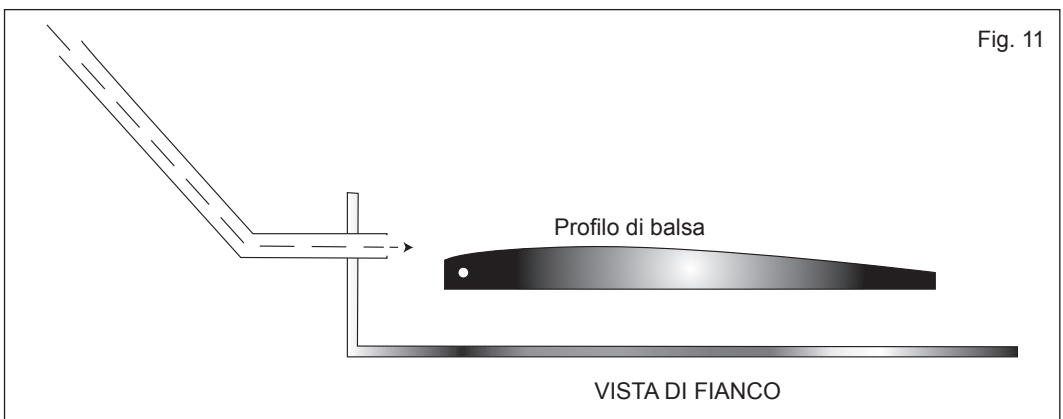
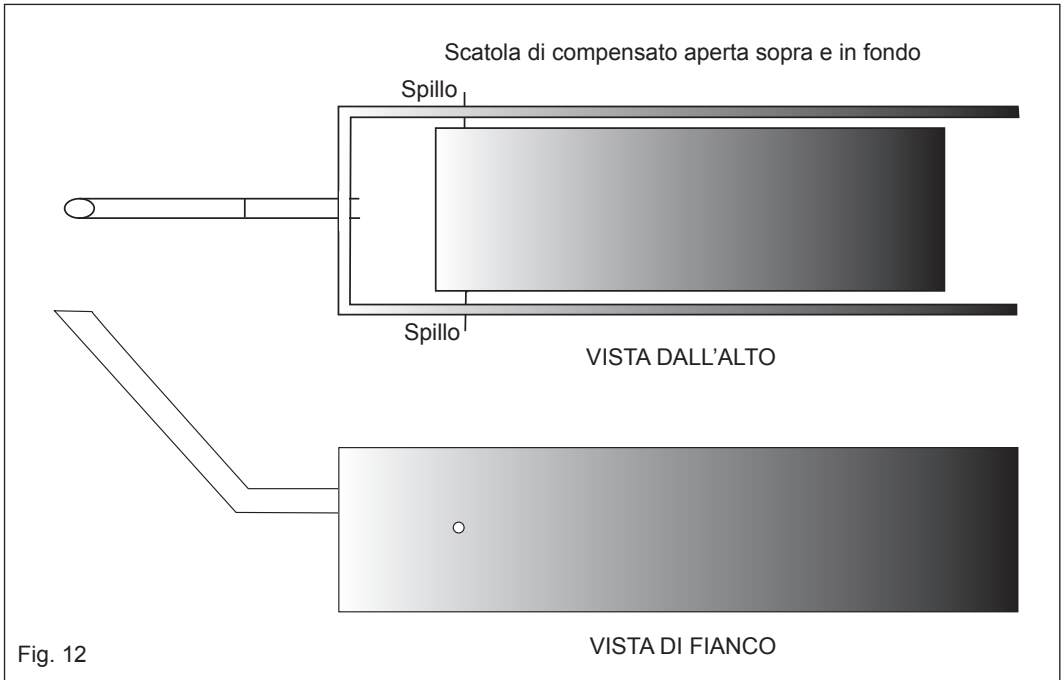


Fig. 11

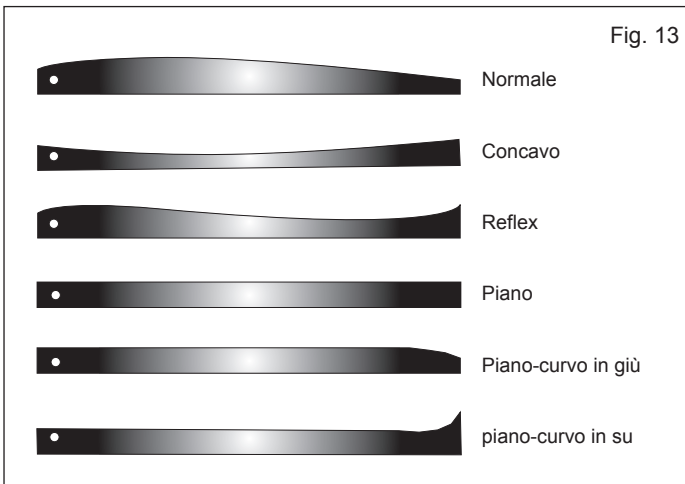


RISULTATI SPERIMENTALI

Quando si soffia nella cannuccia il profilo normale solleva immediatamente la coda e galleggia nell'aria. Smettendo di soffiare, si poggia nuovamente sul fondo. Questo è esattamente ciò che tutti si aspettano. Ora prendiamo in considerazione il profilo concavo. La curvatura è esattamente quella del precedente, salvo

che è girata sottosopra. Se la spiegazione comune fosse vera quindi, dato che la lunghezza della curva è la stessa di quella del profilo normale, ci si dovrebbe aspettare che anche questo profilo si sollevi. Dopotutto, il flusso sulla superficie dovrebbe ridurre la pressione, permettendo così alla pressione ambientale che si trova al di sotto di spingere il profilo verso l'alto.

Invece il profilo concavo resta immobile e se terrete l'apparato in posizione verticale lo vedrete allontanarsi dal flusso. In altre parole, un esperimento citato spesso e che viene solitamente ritenuto una valida dimostrazione della comune spiegazione della portanza, in realtà non funziona affatto; c'è un altro effetto ed è molto più forte. Gli altri profili (fig. 13) sono per puro divertimento. Provate a prevedere il comportamento di ciascuno di essi prima di montarli nell'apparecchio e soffiarvi sopra. E' stato rilevato che: "Il progresso nella scienza giunge quando gli esperimenti contraddicono la teoria" (Gleick 1992) sebbene che in questo caso la scienza sia nota da tempo e l'esperimento non contraddice la teoria aerodinamica, ma solo una diffusa interpretazione di essa. Un altro semplice esperimento ci guiderà verso una spiegazione che può aiutare ad avere una miglior comprensione di questi effetti aerodinamici.

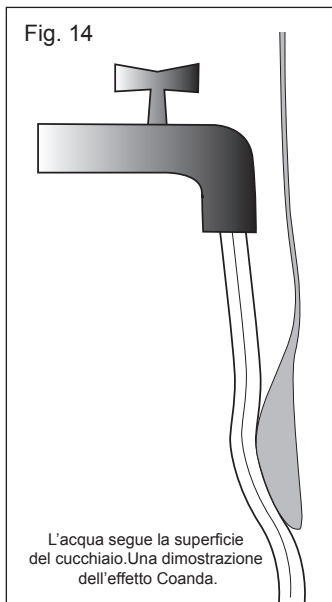


L'EFFETTO COANDA

Se una corrente d'acqua scorre lungo una superficie solida che è leggermente curvata al di fuori di essa, l'acqua tende a seguire tale superficie (Fig. 14). Questo è un semplice esempio dell'effetto Coanda⁽⁷⁾ e lo si può facilmente dimostrare tenendo il fondo di un cucchiaino verticalmente sotto ad un piccolo getto d'acqua di un rubinetto. Se tenete il cucchiaino in modo tale che possa oscillare, lo sentirete chiaramente attrarre verso il getto. Questo effetto ha dei limiti: se usate una sfera al posto del cucchiaino, vedrete che l'acqua circonda solo una parte di essa. Inoltre, se la superficie ha un raggio di curvatura troppo stretto, l'acqua non lo segue più, ma si limita a piegarsi un po' ed allontanarsi subito dalla superficie.

L'effetto Coanda funziona con tutti i comuni fluidi, come appunto l'aria, a temperature, pressioni e velocità relativamente normali. Faccio questa distinzione perché (solo per fare qualche esempio) l'elio liquido, i gas agli estremi (bassi ed alti) di temperatura e pressione ed i fluidi a velocità supersonica spesso si comportano in maniera differente.

Fortunatamente coi nostri modelli non ci dobbiamo preoccupare di questi casi estremi. Un'altra cosa della quale non dobbiamo necessariamente preoccuparci è il perché dell'effetto Coanda. Possiamo accontentarci di assumerlo come fatto sperimentale, ma io spero che a questo punto la vostra curiosità sia insoddisfatta e ne vogliate sapere di più. Un'espressione spesso usata per chiarire l'effetto Coanda è che il flusso viene "imbarcato" dalla superficie. Un vantaggio del discutere di portanza e resistenza in termini di effetto Coanda è che noi possiamo visualizzare le forze coinvolte in

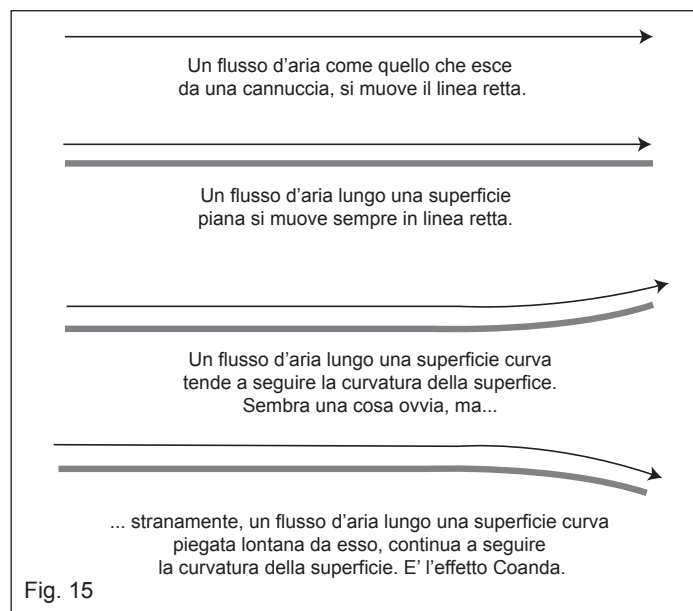


maniera diretta. La spiegazione comune (ed i metodi usati in alcuni seri testi di aerodinamica) sono tutt'altro che chiari quando cercano di mostrare come il movimento dell'aria sia fisicamente legato all'ala. Questo accade in parte perché molte delle teorie sviluppate negli anni '20 si conformavano alla necessità delle equazioni differenziali risultanti

(basate principalmente sul teorema di Kutta-Joukowski⁽⁸⁾), di avere soluzioni in forma chiusa o di fornire risultati numerici utilizzabili con i metodi disponibili all'epoca (carta e penna). L'approccio moderno fa invece uso del computer. Ed ora cercheremo di sviluppare un metodo alternativo per visualizzare la portanza che rende più facile la previsione dei fenomeni ad essa associati.

UN MODELLO MENTALE DI COME UN'ALA POSSA GENERARE PORTANZA E RESISTENZA

Com'è tipico dei fisici, ho spesso parlato dell'aria che scorre sull'ala. In realtà, negli aeroplani, è l'ala che si muove nell'aria. La cosa non fa una reale differenza pratica, quindi d'ora in avanti parlerò di un aereo che si muove nell'aria o di aria che scorre sull'ala a seconda delle necessità di chiarezza in un determinato punto del discorso. Ad esempio, nella prossima illustrazione, sarà più comodo guardare l'aria dal punto di vista di un aeroplano



in movimento. Pensate all'ala che si muove verso sinistra mentre l'aria sta ferma. L'aria si muove verso l'ala come se vi fosse attaccata con elastici invisibili. Spesso fa comodo pensare alla portanza come all'azione di elastici che tirano l'ala verso l'alto (Fig. 16a). Un altro dettaglio è importante: l'aria viene "trascinata" anche nella direzione del movimento dell'ala. Quindi ciò che avviene è più simile a quel che si vede nella fig. 16b.

Se voi foste dentro ad una canoa e cercaste di tirare qualcuno che si trova nell'acqua con una corda verso di voi, la vostra canoa si muoverebbe verso quella persona. E' un classico esempio di azione e reazione. Voi spingete una massa d'aria verso il basso e l'ala si muove verso l'alto. Questa è una pratica visualizzazione della portanza generata dal dorso dell'ala. Come il disegno suggerisce, l'ala ha speso parte della propria energia, necessariamente, nello spostare in avanti l'aria e gli elastici immaginari la tirano un po' indietro. Questo è un modo semplice per visualizzare la resistenza provocata dalla portanza che l'ala genera. Non si può avere portanza senza resistenza. L'accelerazione dell'aria attorno alla stretta curvatura della parte anteriore del-

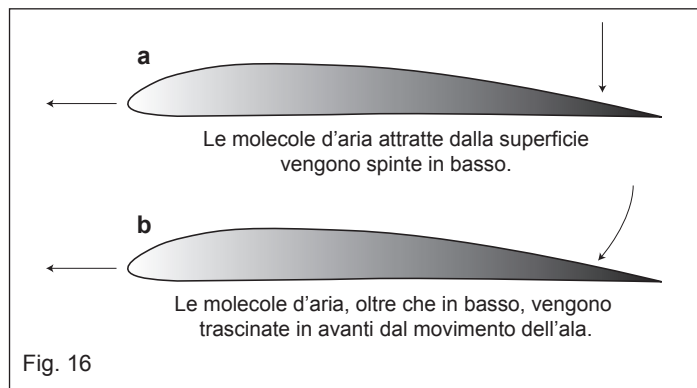
l'ala contribuisce a fornire una componente verso il basso ed in avanti al movimento delle molecole d'aria (in effetti si tratta di un rallentamento verso l'alto ed un movimento all'indietro, che è equivalente) e ciò contribuisce alla portanza. Gli esperimenti con la galleria del vento in miniatura descritti prima sono facilmente comprensibili in termini di effetto Coanda. Il profilo normale costringe il flusso dell'aria a muoversi verso il basso e, per reazione, si sviluppa una forza verso l'alto. Il profilo concavo costringe il flusso a muoversi verso l'alto ed in questo caso ne risulta una forza che spinge in basso. Il profilo ricurvo genera un sacco di resistenza facendo muovere molecole d'aria verso l'alto e verso il basso in continuazione. Ciò consuma energia (generando calore da attrito) ma questo non crea un preciso movimento verso il basso dell'aria e quindi non crea un preciso movimento verso l'alto dell'ala. E' facile, basandosi sull'effetto Coanda, visualizzare perché l'angolo d'attacco abbia un'importanza cruciale per i profili simmetrici, perché gli aeroplani possono fare il volo rovescio, perché le lastre piane ed i profili sottili funzionano e perché il primo esperimento, quello con le strisce di carta convesse e concave, dà quei risultati.

Quello che vi ho presentato finora, ovviamente, non è una precisa analisi fisica di portanza e resistenza, ma permette di avere una più chiara visione di tali fenomeni. Ora cercheremo di utilizzare tutto questo per capire meglio il problema della palla rotante.

PERCHÉ UNA PALLA ROTANTE PERCORRE UNA TRAIETTORIA CURVA SECONDO I TERMINI DELL'EFFETTO COANDA

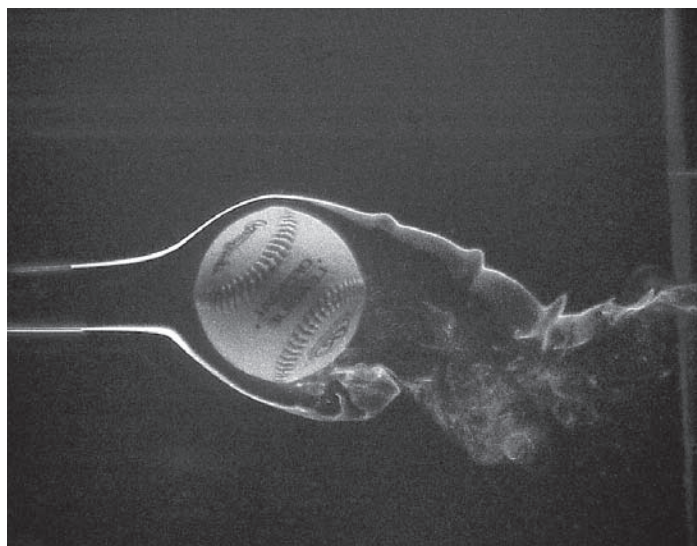
L'effetto Coanda ci dice che l'aria tende a seguire la superficie della palla. Prendiamo in considerazione il lato A dell'esempio di Trefil con la palla che ruota nella direzione del volo. Mentre ruota, la palla cerca di trascinare l'aria con essa ma a questa azione si oppone l'aria che sta arrivando. Quindi, per catturare l'aria attorno alla palla su questo fianco la palla la deve prima far decelerare e poi riaccelerare in direzione opposta. Nell'esempio B, con la palla che ruota in direzione opposta rispetto al suo volo, l'aria si sta già muovendo (relativamente alla palla) nella stessa direzione e quindi viene catturata più facilmente. L'aria segue più prontamente la curvatura del lato B ed acquista velocità verso il lato A. La palla quindi curva verso il lato B per reazione. Facciamo un nuovo semplice esperimento.

E' difficile fare esperimenti con le palle da baseball perché la loro massa è molto grande rispetto alle forze aerodinamiche che agiscono su di esse ed è molto difficile riuscire a controllare magnitudo e direzione della rotazione. Quindi proviamo a vedere un caso nel quale la palla è più leggera e gli effetti aerodinamici sono più facili da vedere. Per fare ciò useremo un pallone da spiaggia. Lanciandola con la parte infe-



riore che si muove in avanti, questa palla compirà una curva ascendente, mentre si muove. La portanza dovuta alla rotazione può essere così forte da superare la forza di gravità. Ben presto la resistenza dell'aria arresta sia la rotazione sia il movimento in avanti della palla e questa cade, ma non prima di aver mostrato che la spiegazione di Trefil sul perché la rotazione influisce sul volo di una palla è sbagliata. La portanza causata dalla rotazione mentre l'oggetto si muove attraverso l'aria viene solitamente chiamata "Effetto Magnus"⁽⁹⁾. Alcuni libri di aerodinamica descrivono anche il "rotore Flettner" che è un tentativo ormai superato di usare l'Effetto Magnus nella concezione di una barca a vela efficiente. Mi piacerebbe poter inviare questo saggio al mio insegnante di scienze delle medie che non volle stare a sentire il mio ragionamento. Ecco cosa accadde: quando il giorno successivo mi presentai in classe con un modello di balsa con le ali completamente piane, mi spedì di corsa dal preside. Il modello poteva volare indifferentemente

dritto o rovescio in funzione di quanto fosse stato piegato un elevatore d'alluminio. L'usai per dimostrare che la spiegazione che il professore ci aveva dato il giorno prima, in qualche modo doveva essere errata. Il preside comunque fu informato che la mia colpa era stata quella di "far volare aeroplanini di carta in classe" chiaramente con l'intenzione di fare casino. Dopo essere stato avvertito che in futuro mi sarei dovuto comportare meglio, me ne andai dal mio amato professore di matematica che mi suggerì di fare un salto in biblioteca per scoprire perché gli aeroplani volano. Ci andai, ma solo per scoprire che tutti i libri concordavano col mio insegnante di scienze! Fu un vero shock capire che il mio insegnante ed anche i libri della biblioteca si sbagliavano. Gli anni trascorsi a "giocare" con gli aeromodelli mi hanno portato a fare notevoli passi in avanti verso quell'indipendenza intellettuale e quello spirito d'innovazione che in seguito, da adulto, mi portò a creare il computer Macintosh ed a fare altre meno famose invenzioni. ➔



NOTE:

(1) - Ludwig Prandtl (1875-1953) fisico tedesco, spesso definito il "padre dell'aerodinamica" Il suo libro più famoso sulla teoria dei profili alari, "Tragflugeltheorie", venne pubblicato nel 1918.

(2) - La rugosità della superficie non è essenziale. E' possibile osservare l'effetto anche se la palla è liscia.

(3) - Jörgen Skögh è stato un noto progettista di aeroplani per la Saab in Svezia e per la Lockheed negli USA.

(4) - Albert Einstein (1879 -1955), fisico tedesco-americano, è stato uno dei più grandi scienziati di tutti i tempi. Il suo piccolo errore nel disegno dei profili alari non toglie nulla all'enorme rivoluzione che il suo pensiero ha portato nella fisica.

(5) - Jörgen Skögh scrive: "Durante la 1^a Guerra Mondiale Albert Einstein venne assunto dalla LVG come consulente. Alla LVG disegnò un profilo alare con una gobba molto pronunciata a metà della corda che doveva essere un'innovazione tesa ad incrementare la portanza. Questo profilo fu testato nella galleria del vento di Gottinga e pure su di un aeroplano, ma in entrambi i casi si rivelò un fallimento. Nel 1954 Einstein scrisse: "Sebbene sia probabilmente vero che il principio del volo possa essere spiegato in questo modo (Bernoulliano), è sicuramente una sciocchezza costruire un'ala simile!"

(6) - In alcuni campi, come ad esempio nello studio delle particelle subatomiche, occorrono miliardi ed uno staff di centinaia di persone per costruire un acceleratore per fare prove in maniera indipendente, ma il principio rimane sempre valido.

(7) - Negli anni '30, lo studioso di aerodinamica rumeno Henri-Marie Coanda (1885-1972) osservò che una corrente d'aria (o di altro fluido) che esce da un ugello, tende a seguire una superficie curva o piana posta nelle vicinanze. Questo sempreché la curvatura della superficie o l'angolo al quale essa si trova rispetto al flusso non siano troppo grandi.

(8) - Scoperto in maniera indipendente dal matematico tedesco M. Wilhelm Kutta (1867-1944) e dal fisico russo Nikolaj loukovsky (1847-1921).

(9) - H. G. Magnus (1802-1870). Fisico e chimico tedesco che dimostrò questo effetto nel 1853.