

Fisica degli Sport Lezione 17:

Aerodinamica e Portanza

Aggiornata al 12/5/1999

Dinamica dei fluidi

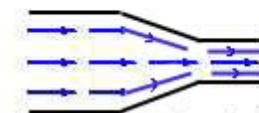
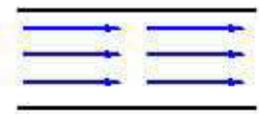
Fino ad ora abbiamo evitato di parlare in modo approfondito degli effetti dell'aria. Abbiamo spesso sostenuto che tali effetti fossero trascurabili nei casi che stavamo considerando, ma si sottintendeva sempre che fossero negativi. La resistenza dell'aria rallenta le palle da baseball e rende più difficile battere dei fuoricampo; fa in modo che i ciclisti consumino più energia di quanta ne avrebbero bisogno altrimenti *etc. etc.* Adesso considereremo casi in cui muoversi in aria produce effetti positivi che favoriscono la prestazione piuttosto che ostacolarla. Per esempio, un disco (o un frisbee) può effettivamente percorrere distanze più lunghe in aria di quanto non potrebbe fare nel vuoto. E che ne sarebbe del baseball senza la palla curva? Per trattare tali questioni dobbiamo parlare di dinamica dei fluidi.

Perché stiamo parlando di fluidi se l'aria è un gas? E' vero che i gas e i liquidi sono abbastanza diversi a livello microscopico. Ma quando si parla di quantità macroscopiche di una sostanza che si muove (scorre) allora un gas si comporta esattamente come un liquido. Beninteso, un liquido a bassa densità, ma pur sempre un liquido. Quindi discutendo cose come la portanza aerodinamica possiamo utilizzare concetti derivati dallo studio del flusso dei liquidi, come il Principio di Bernoulli.

Il Principio di Bernoulli

Il Principio di Bernoulli mette in relazione la velocità di flusso

di un fluido con la sua pressione. Non abbiamo bisogno di preoccuparci dei dettagli della relazione; per i nostri scopi è sufficiente sapere che una pressione alta implica un flusso lento, mentre una pressione bassa implica un flusso veloce. Questo all'inizio può andare contro l'intuizione, ma considerate la figura a destra. In corrispondenza di un restringimento del lume del tubo la velocità di flusso aumenta mentre la pressione nel fluido diminuisce. Pensate anche al tubo di plastica usato per annaffiare i fiori.



Il Principio di Bernoulli viene invocato spesso per spiegare la portanza aerodinamica. Di solito la spiegazione è tipo questa: considerate due molecole d'aria che oltrepassano un profilo alare; una passa sopra l'ala mentre l'altra passa sotto, come mostrato di seguito.



La molecola che passa sopra l'ala percorre una distanza maggiore e quindi va più veloce. Il Principio di Bernoulli afferma che un flusso più veloce comporta una pressione più bassa. Dunque la pressione dell'aria sopra l'ala sarà inferiore a quella sotto di essa, dando come risultato una forza che spinge l'ala verso l'alto.

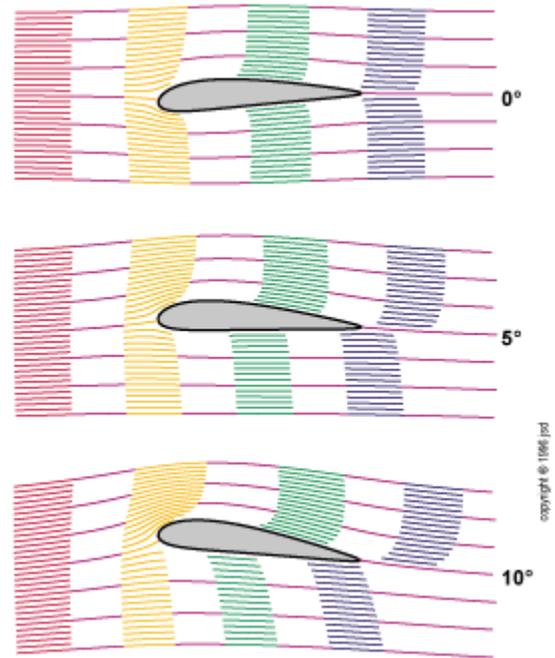
Questa è una mezza verità. Vedete, ESISTE un Effetto Bernoulli sull'ala di un aeroplano; il flusso tende DAVVERO ad andare più veloce sopra l'ala MA questo effetto è responsabile solo di una porzione della forza di portanza. Per capire l'origine della maggior parte della forza di portanza agente sull'ala di un aeroplano (o, più pertinente ai nostri scopi, su una palla da baseball) dobbiamo discutere il trasferimento della quantità di moto.

Portanza

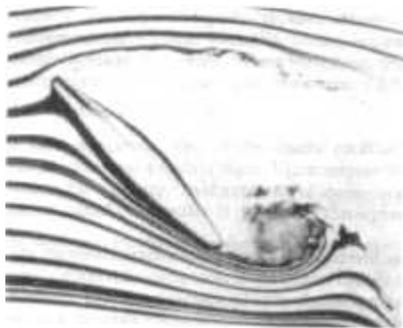
La portanza è principalmente il risultato della deviazione di una corrente d'aria. Se una corrente d'aria cambia direzione, la sua quantità di moto cambia. E sappiamo dalla 2^a Legge di Newton che una variazione nella quantità di moto richiede una forza. Di conseguenza l'ala deve esercitare una forza sull'aria. Ma sappiamo dalla 3^a Legge di Newton che se l'ala esercita una forza sull'aria, allora quest'ultima esercita una forza uguale e contraria sull'ala. Se l'aria viene spinta verso il basso, allora l'ala viene spinta verso l'alto. Questa spinta verso l'alto è la portanza.

Il diagramma a destra spiega che la portanza non è soltanto una funzione della forma dell'ala, ma dipende anche dall'“angolo di attacco”, cioè dall'angolo formato dall'ala rispetto alla corrente d'aria. La figura in alto mostra un angolo di 0°; questo è il classico caso Bernoulli. Notate che l'aria

che passa sopra l'ala si incontra al bordo d'uscita con quella che passa sotto. Notate anche che la corrente d'aria non viene deviata in modo considerevole, quindi non si ha una portanza apprezzabile. Non appena l'angolo di attacco aumenta (come nelle due figure in basso), l'aria viene deviata sempre di più, per cui viene prodotta più portanza. Osservate inoltre che la corrente che passa sopra e quella che passa sotto non coincidono più perfettamente al bordo d'uscita dell'ala; maggiore è la portanza prodotta, PEGGIORE diventa l'ipotesi di Bernoulli che i tempi di percorrenza siano uguali.



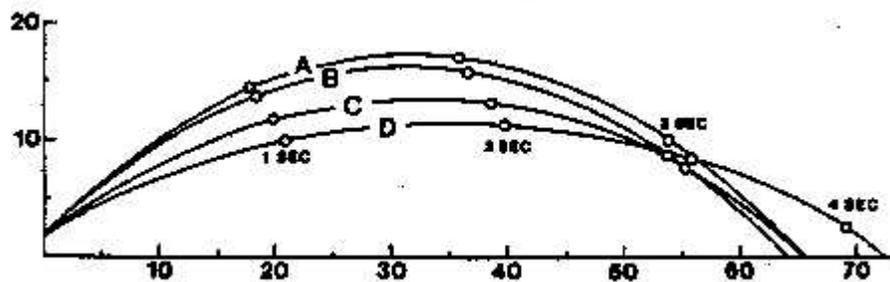
Potete esaminare ulteriormente l'effetto prodotto dalla forma dell'ala e dall'angolo d'attacco sulla portanza usando un programma di simulazione chiamato [FoilSim](#).



Bene, questo è molto interessante, istruttivo e tutto, ma cosa c'entra con lo sport?

C'è una specialità dell'atletica leggera che sfrutta molto bene il concetto di portanza: il lancio del disco. A sinistra abbiamo un'immagine tratta da uno studio dell'aerodinamica del disco effettuato nella galleria del vento. Ciò che dovrete notare immediatamente è la significativa deviazione dell'aria verso il basso quando essa oltrepassa il disco. Questo implica una quantità significativa di portanza.

Senz'altro significativa! Il grafico sotto mostra le traiettorie di dischi lanciati all'angolo ottimale per diverse condizioni del vento.



Nel caso della Traiettorie A non c'è vento. In realtà non c'è aria; è stata calcolata nel vuoto. Nella Traiettorie B il vento soffia a 10 m/s (22 miglia orarie) in direzione del lancio. La Traiettorie C rappresenta l'aria ferma; non c'è il vuoto, ma neanche vento. Infine nella Traiettorie D il vento soffia a 10 m/s in direzione contraria al lancio. Notate che le Traiettorie A e C hanno la stessa distanza. Ciò significa che la portanza prodotta dall'aria annulla esattamente l'ostacolo dato dalla resistenza dell'aria. Le traiettorie sono differenti – è necessario un angolo di lancio minore se l'aria è presente – ma la distanza raggiunta nel lancio è la stessa. E con un leggero vento contrario è davvero possibile battere il lancio nel vuoto. Questo perché tale vento aumenta il flusso d'aria intorno al disco e fornisce un'ulteriore forza di portanza “gratis” (ecco anche perché gli aeroplani decollano e atterrano in condizioni di vento). Un vento di 20 miglia orarie è una brezza piuttosto tesa, ma non è certo un uragano; e risulta in un aumento della distanza di 7-8 m – cioè 25 piedi! Adesso tutto questo è stato calcolato in condizioni ottimali; un po' del vantaggio verrà perso a causa di errori nella prestazione (angolo di lancio impreciso, etc.), ma è ovvio che essere sottovento rappresenta un vantaggio significativo nel lancio del disco. E' sorprendente, allora, che gli organi direttivi dell'atletica (per es. la [IAAF](#)) non richiedano che le condizioni del vento vengano registrate per il lancio del disco – specialmente alla luce del fatto che RICHIEDONO tali misurazioni per il salto in lungo, il salto triplo e le gare di velocità.

Alcune sottigliezze sulla portanza

Rivediamo il diagramma multicolore sulla portanza riportato sopra. E' ragionevole aspettarsi che l'aria che passa sotto l'ala venga deviata; colpisce l'ala e rimbalza. Ma notate che anche l'aria che passa SOPRA l'ala viene deviata verso il basso... perché?

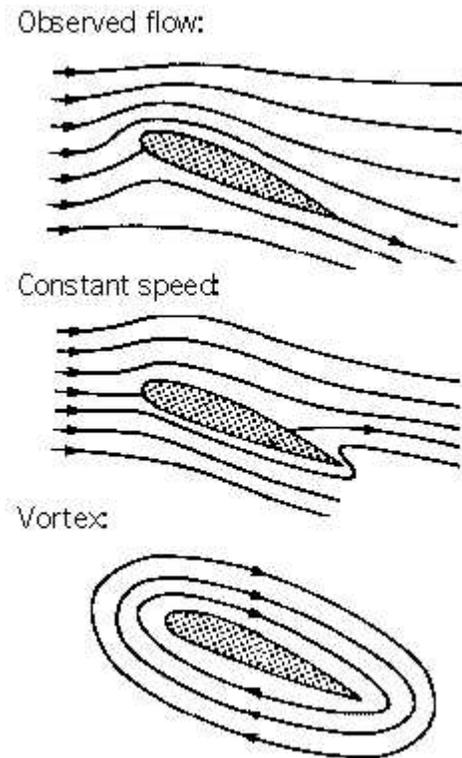
Il motivo è che l'aria (come tutti i fluidi) è viscosa. Pensateci. Per far sì che la corrente d'aria NON si adatti alla forma dell'ala e venga deviata verso il basso dovrebbe separarsi dall'ala ad un certo punto e proseguire orizzontalmente. Se l'aria si comportasse così causerebbe una zona di pressione molto bassa (cioè un vuoto) vicino all'ala nel punto di separazione; non ci sarebbe più aria in quel punto perché verrebbe separata dall'ala. Ciò produrrebbe una notevole forza che spingerebbe l'aria in tale zona, in modo da distruggere il vuoto. Perciò è difficile che la corrente d'aria si separi dalla superficie dell'ala, così l'aria che passa sopra la parte superiore segue la curvatura dell'ala e viene spinta in basso, aggiungendosi alla portanza.

Potete constatare voi stessi questo effetto tenendo un cucchiaio quasi verticalmente contro il flusso d'acqua di un lavandino. Se lasciate che l'acqua colpisca il cucchiaio dalla parte della “conca” (dove si raccoglie la minestra) la corrente verrà deviata nel modo aspettato; come fa l'aria con la parte inferiore dell'ala. Ma se rigirate il cucchiaio in modo tale che l'acqua colpisca l'altro lato e lo tenete in posizione verticale, allora il getto d'acqua aderirà al cucchiaio, seguirà la sua curvatura, per poi schizzare via dalle parti.

Adesso le cose cominciano a diventare davvero strane. Riprendete il diagramma multicolore e notate che l'aria che giunge da sinistra viene deviata verso l'alto ancora PRIMA che raggiunga l'ala. Notate inoltre che l'aria che passa sopra l'ala va più veloce di quella che passa sotto. Come possiamo capire questo comportamento?

La figura in alto a destra mostra un modello di flusso intorno ad un'ala che si adatta ad osservazioni tipiche. Al centro viene mostrato un modello di flusso nel quale la velocità dell'aria viene resa costante in tutti i punti. Notate che l'aria non viene più deviata verso l'alto davanti all'ala come avveniva prima. In più, anche se non lo si deduce dal disegno, l'aria che passa sopra e sotto l'ala ha lo stesso tempo di percorrenza. Questo tipo di modello di flusso a velocità costante è ciò che potreste ingenuamente aspettarvi; ignora tutti gli effetti della viscosità dell'aria. E' ciò che vedreste con un profilo alare privo di attrito e con dell'aria non viscosa.

La parte strana arriva quando fate una sottrazione vettoriale. Sottraendo i vettori del modello di flusso al centro da quelli in alto si ottiene il modello di flusso in basso: un vortice d'aria perfetto che circola intorno all'ala.

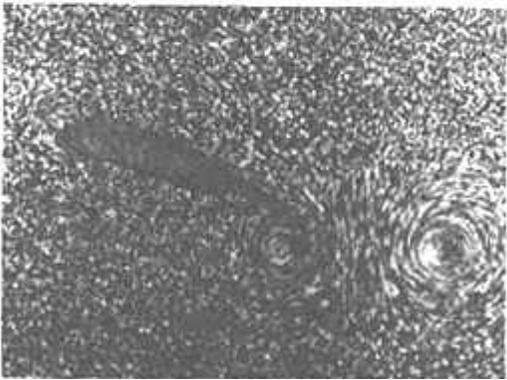


La presenza di tale vortice spiega perché l'aria viene spinta verso l'alto di fronte all'ala; è spinta in alto dal flusso d'aria che circola nel vortice. Spiega anche perché l'aria si muove più velocemente sopra l'ala che sotto di essa. Sopra l'ala il vortice procede nella stessa direzione del flusso d'aria generale, quindi questi vettori si sommano per produrre un vettore più grande. Sotto l'ala il vortice si oppone al flusso d'aria generale per cui qui il vettore somma è più piccolo.

Si è indotti a pensare questo vortice come una sorta di costrutto matematico astratto privo di esistenza "reale". Tuttavia è del tutto reale e lo si può osservare. A sinistra vi sono due foto di profili alari immersi in dell'acqua cosparsa di limatura per rendere il flusso più visibile. Nella foto in alto il flusso è stato avviato all'improvviso. Notate il vortice che gira contro la



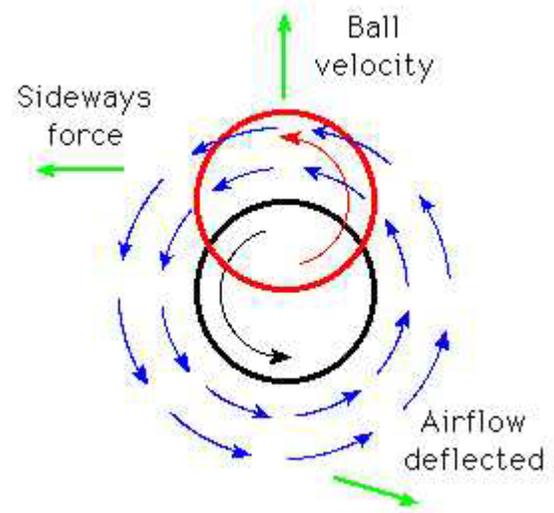
parte posteriore dell'ala. Questo è il vortice REAZIONE; ruota in direzione contraria al vortice posto intorno all'ala. Nella foto in basso il flusso viene interrotto improvvisamente. In questo caso l'ala diffonde il suo vortice che allora diventa chiaramente visibile.



Tale vortice può essere usato per dare una spiegazione alternativa della portanza. L'idea è che non appena l'ala si sposta in avanti incontra la parte del vortice che va verso l'alto e riceve una spinta verso l'alto. Allo stesso tempo l'ala si allontana dal flusso che va verso il basso nella parte posteriore dell'ala e quindi manca la spinta verso il basso complementare. Ne risulta una forza netta verso l'alto e si spiega perché l'aria dietro l'ala viene deviata verso il basso: la parte posteriore del vortice è diretta verso il basso, e l'ala si sposta prima che possa continuare a circolare, così prosegue in quella direzione. Questa descrizione della portanza è molto simile alla spiegazione della palla curva.

L'effetto Magnus

Una palla da baseball è abbastanza simmetrica, non vi è alcun modo ragionevole per definire il suo angolo di attacco. Quindi, sembrerebbe che una palla da baseball sia simile all'ala in alto nella figura colorata e che non produca alcuna portanza; però la situazione cambia se la palla da baseball gira intorno a se stessa. In questo caso l'aria viscosa viene trascinata dalla palla in rotazione e crea – avete indovinato – un vortice. La palla, muovendosi in avanti, incontra il vortice e viene spinta da una parte. Ancora più importante, il flusso d'aria dietro alla palla è deviato nella direzione opposta. E' questo trasferimento di quantità di moto all'aria che produce la forza. Tutto questo viene mostrato nella figura a destra.



Questo effetto è chiamato Effetto Magnus, da Heinrich Magnus. Come si capisce, Heinrich non era un appassionato di baseball; studiava la deviazione dei proiettili di artiglieria rotante per la Commissione di Artiglieria Prussiana. Comunque, il suo nome si è legato indissolubilmente al baseball perché l'effetto che scoprì spiega la palla curva.

Lezione 17 PUNTI PRINCIPALI:	Lezione 18 ANTEPRIMA:
<ul style="list-style-type: none"> • Il principio di Bernoulli non fornisce una descrizione completa della portanza. • La portanza è il risultato di una deviazione della corrente d'aria. • La teoria del vortice è utile per descrivere il volo delle palle curve. 	<p>Il numero di Reynolds, il coefficiente di ostacolo, perché la palla da golf ha le fossette.</p>