

DESCRIZIONE ESPERIMENTI PLS2: FISICA DEL VOLO

L'ordine di presentazione degli esperimenti non è da considerare quello da eseguire in classe, in quanto questo dipende dal percorso e dall'approccio didattico scelti.

ESPERIMENTO 1: Il cilindro con e senza "coda"

Materiale:

- 2 bilance
- Un mezzo cilindro di metallo o PVC
- Una lamina di larghezza pari all'altezza del cilindro, dello stesso materiale

Scopo: Dimostrare che la portanza è una conseguenza del *downwash*, ovvero della deviazione dell'aria verso il basso, come conseguenza della sua interazione con l'ostacolo. N.B. L'esperimento è fatto con un getto d'aria. Pertanto non corrisponde alla situazione reale di un ala immersa nell'aria. Questo esperimento mette in evidenza che ad una deviazione di flusso del fluido corrisponde una forza di reazione (III Principio della Dinamica).

Esperimento:

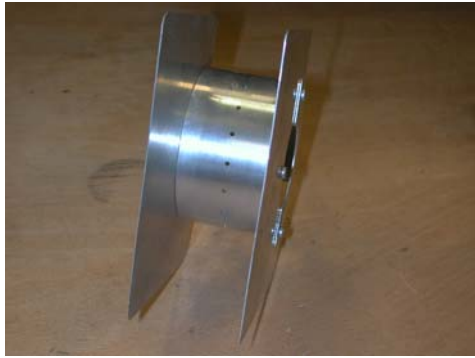
Si posizionano le due bilance una accanto all'altra. Su di una si colloca il mezzo cilindro su di un'asta, e sulla seconda la lamina piatta, facendo attenzione che la lamina ed il cilindro siano separati. Si procede ad accendere il getto d'aria ~~che provoca il vento~~, e si vede che la bilancia con il mezzo cilindro registra un peso minore (esperimenta dunque una portanza, viene sollevata) mentre l'altra bilancia registra un peso maggiore pari a quello dell'altra.



Si ripete l'esperimento ma questa volta si attacca al mezzo cilindro la coda (la lamina piatta) e si sistema il tutto su un'unica bilancia. Si accende di nuovo il getto e si verifica che in questo caso non si misura una diminuzione di peso nella bilancia, come conseguenza di aver bloccato la deviazione verso il basso del flusso d'aria.



N.B. Si potrebbe argomentare che, anche in presenza della "coda", le linee di flusso sopra il cilindro vengono curvate e questo provoca un gradiente di pressione trasverso, che si traduce in una forza che agisce in su. Infatti, lì dove c'è curvatura delle linee di flusso c'è sempre un gradiente trasverso di pressione. Tuttavia, questo non è sufficiente a giustificare la portanza necessaria a sollevare un aereo. Il grosso della portanza è una conseguenza diretta della forza di reazione al *downwash* che, viene eliminato con la lamina dietro il profilo curvo. E' da ribadire che questo esperimento non modella il comportamento di un'ala totalmente immersa in un fluido. Siamo ancora nell'ambito del cosiddetto effetto Coanda, v. esperimenti 3.2 e 5 di questa dispensa.



ESPERIMENTO 2: Misura della pressione lungo la parte superiore (e inferiore) dei cilindri

Questo è uno degli esperimenti proposti che permette di fare osservazioni quantitative e calcolare la portanza dalle misure di pressione.

Materiale:

- Un mezzo cilindro di metallo o PVC
- Manometro differenziale
- Tubicini di plastica da inserire nei forellini del cilindro

Scopo: Misurare il profilo di pressione sopra il mezzo cilindro.

Esperimento:

Il cilindro è dotato di forellini che permettono di misurare la pressione punto per punto sulla sua superficie (usando un manometro differenziale). La portanza risulta essere pari all'integrale delle pressioni misurate localmente lungo la superficie del cilindro.

ESPERIMENTO 3: Carrelli a basso attrito con cilindri per visualizzare gli effetti Magnus (1) e Coanda (2)

Effetto Magnus (1)

Materiale:

- Cilindro ruotante a basso attrito
- Carrello a basso attrito come supporto per il cilindro

Scopo: dimostrazione dell'effetto Magnus, ovvero la forza di portanza che agisce su un solido ruotante quando viaggia in un mezzo viscoso ad una certa velocità.

Esperimento:

Il cilindro ruotante è appoggiato con il suo asse perpendicolare al piano del carrello, inserito in un perno che permette al cilindro di girare attorno al suo asse. Inizialmente si mette il cilindro in rotazione, tenendo il carrello fermo. Una volta che il cilindro ha acquisito una velocità di rotazione sufficiente, si procede a fare scorrere dell'aria proveniente da una ventola, lasciando il carrello libero di muoversi e spazzando l'intera lunghezza del carrello, in modo che il cilindro sia, ad un certo punto, completamente immerso nel flusso d'aria. Si osserva che il carrello si mette in moto lungo la direzione perpendicolare alla direzione del flusso d'aria.



Effetto Coanda (2)

Materiale:

- Carrello senza attrito
- Tubo leggermente incurvato da appoggiare nel piano del carrello

Scopo: dimostrazione dell'effetto Coanda, ovvero la forza agente su un solido che presenta una superficie curva quando viene immerso in un getto di fluido a velocità maggiore del fluido circostante (in quiete)

Esperimento:

Il tubo incurvato si appoggia sul carrello, con la sua lunghezza parallela al piano del carrello. Si fa scorrere un getto d'aria proveniente da un phon, e si osserva che il carrello si mette in moto nella direzione perpendicolare alla curvatura del cilindro.

ESPERIMENTO 4: Tunnel del vento “fai da te”

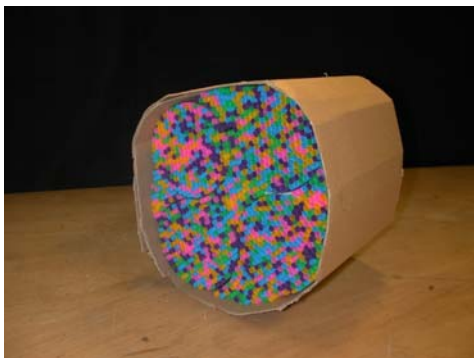
Materiale

- Ventilatore casalingo
- Cilindro di cartone riempito di cannucce (tagliate eliminando la parte pieghevole)
- Profilo alare di plastica o cartone rigido
- Stecca di plastica liscia

Scopo: dimostrazione del *downwash* e relativa portanza, studio del flusso con l'angolo di attacco

Esperimento:

Il profilo alare deve essere di dimensioni tali da essere completamente immerso nel flusso d'aria (come avviene in una galleria del vento). Il profilo alare è posizionato (usando la stecca di plastica che lo attraversa da un forellino) davanti al cilindro (che serve a rendere il flusso il più laminare possibile). Nel bordo di uscita del profilo si incollano dei fili bianchi in modo da visualizzare la traiettoria del flusso d'aria. Si accende il ventilatore e si osserva il comportamento del profilo a seconda dell'angolo di attacco, che può essere modificato tirando i fili (se è sospeso) o inclinando il piano della stecca di plastica (se si usa il sostegno fisso). I fili rendono visibile il *downwash* e anche lo stallo (il distacco dell'aria dal profilo nei suoi 2/3 finali) se l'angolo di attacco supera un valore critico.



ESPERIMENTI 5: L'EFFETTO COANDA E L'“ENTRAINMENT”

Premessa: l'effetto Coanda (“incollamento” di un fluido su parte di una superficie che viene percorsa – ad esempio l'acqua che si incurva quando si muove lungo il dorso di un cucchiaio) può essere osservato con getti di fluido nello stesso fluido (aria-aria, acqua-acqua...) o con getti di fluido in fluidi diversi (acqua-aria oppure liquido-liquido dove le densità e



viscosità relative sono diverse). Noi siamo interessati fondamentalmente al caso aria-aria e aria-acqua. Nel primo caso, l'*entrainment*, e cioè il trascinamento di aria circostante (in quiete) da parte del getto gioca un ruolo importante, come vedremo in seguito. Nel caso acqua-aria, le densità relative dei due fluidi sono così diverse da rendere l'*entrainment* trascurabile in confronto all'effetto Coanda, a meno che la velocità del flusso sia molto elevata.

(A) COANDA ACQUA-ARIA

Vedere l'articolo: "Back of the spoon outlook of Coanda effect", dove si descrive in maniera dettagliata l'esperimento, e il modello per descrivere il fenomeno. Una versione semplificata senza misura quantitativa della forza che sperimenta il cilindro richiede un semplice cilindro sostenuto da una asticella perpendicolare al suo asse, e un getto d'acqua.

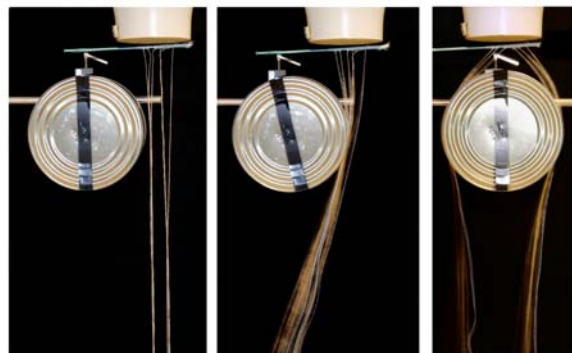
Versioni semplici da fare a scuola sono, per esempio, sentire la forza che sperimenta un cucchiaino quando viene "attirato" dal flusso di acqua (bisogna sostenere il cucchiaino lasciandolo libero di muoversi, a pendolo), oppure mettere in equilibrio sotto il getto d'acqua del rubinetto un bicchiere appoggiato di lato sul lavello.

(B) COANDA ARIA-ARIA

Materiale:

- Ventola
- Cilindri di diametri diversi
- Sostegni e aste

Scopo: Osservare la forza che agisce sul cilindro quando questo viene parzialmente immerso nel getto d'aria. Se il rapporto tra le dimensioni (diametro) della ventola e quelle del cilindro è adeguato, il cilindro viene "risucchiato" dentro il flusso e rimane in una posizione stabile. Questo si può visualizzare attaccando una striscia di nastro nero lungo un diametro del cilindro, e sospendendo quest'ultimo in un'asta lungo il suo asse (la posizione di equilibrio corrispondendo alla striscia verticale). Quando il getto sfiora il cilindro, nella nuova posizione di equilibrio il nastro si è inclinato di un certo angolo rispetto alla verticale.



Esperimento:

Avvicinare il cilindro sospeso da un'asta lungo il suo asse (o più semplicemente da due dita, lasciandolo libero di muoversi), con questo perpendicolare al asse del flusso d'aria. Osservare che il cilindro viene tirato verso il getto. Se si avvicina al getto d'aria una asticella di legno con dei fili bianchi attaccati, si può anche osservare come il getto di aria si curva lungo la superficie del cilindro (Terzo Principio).

(C) COANDA ACQUA- ACQUA

Materiale:

- Piccoli cilindri
- Vaschetta piatta
- Colorante
- Siringa o tubo di plastica

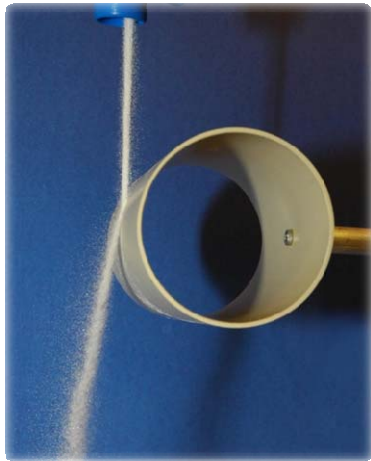
Scopo: l'esperimento è equivalente al (A), ma qui l'*entrainment* gioca un ruolo più importante (essendo il getto dello stesso fluido in cui è immerso il cilindro). Questo si può visualizzare semplicissimamente (è più difficile nel caso aria-aria a meno che si usi fumo bianco, ma l'immagine più banale e quella del fumo della sigaretta appoggiata nel portacenere che è laminare e poi diventa turbolento) iniettando acqua colorata in un bicchiere di acqua pulita, per esempio. Si osservano i vortici che il getto crea nel passare nel fluido fermo, segno del trascinarsi del fluido.

Esperimento:

Si immerge il cilindro in acqua appoggiato sulla sua base. Con la siringa si fa scorrere un getto di acqua colorata vicino alla superficie del cilindro e si osserva che il getto segue la curvatura del cilindro e si distacca dopo un certo giro.

(D) COANDA SABBIA-ARIA

Premessa: la sabbia utilizzata in questa piccola dimostrazione fluisce come quella di una clessidra. In realtà non è sabbia ma è un insieme di microsferi di silicio. La sua capacità di fluire, però, non la rende un fluido. Infatti, la sabbia è un solido che si presenta in forma granulare. A seconda del tipo di sabbia, della quantità di acqua che assorbe, ecc, la sabbia presenta delle proprietà caratteristiche di un solido (si può modellare, per esempio, come nei castelli di sabbia) e anche dei liquidi (fluisce, per l'appunto). Non si può definire, però, lo sforzo di taglio, la viscosità, e altre proprietà e, soprattutto, non risponde alla così detta ipotesi del continuo, necessaria a qualunque trattamento della fluidodinamica classica. In più, le forze di coesione tra le particelle (i granelli, da non confondere con le particelle di fluido!) della sabbia sono diverse da quelle dei solidi e dei liquidi. Nell'interagire con la superficie curva la sabbia scambia momento con il cilindro come lo farebbero tante palline, ad una ad una, e non come un insieme coeso dalle forze viscosi.



Materiale:

- Cilindro
- Sabbia fine asciutta

Scopo: rendere evidente che l'effetto Coanda è strettamente legato alla viscosità

Esperimento: Fare scorrere la sabbia sul cilindro, e osservare che viene deviata verso l'esterno (come farebbero delle palline), in contrasto con il comportamento dei fluidi (liquidi o gassosi)

ESPERIMENTO 6 : LA POMPA AD ARIA

Materiale:

- Cilindro di plastica con beccuccio laterale (vedi foto)
- Aria compressa (si trova in farmacia ☺)



Scopo: dimostrazione del sunnominato *entrainment* o trascinamento di aria circostante da un getto d'aria a velocità superiore.

Esperimento: si immerge il beccuccio laterale in un bicchiere di acqua e si osserva che quando un getto d'aria fluisce all'interno del tubo, l'acqua viene risucchiata, come accade in uno spruzzatore (di profumo, ad esempio).

ESPERIMENTO N.6 : ESPERIMENTI QUALITATIVI SEMPLICI PER LA DIMOSTRAZIONE DELL'EFFETTO COANDA

Materiale:

- Palline di polistirolo o plastica di varie dimensioni
- phon casalingo
- carta

Scopo: Dimostrazione dell'effetto Coanda. Un flusso d'aria che scorre vicino ad una superficie curva segue il profilo piegandosi. Per il terzo principio della dinamica, alla forza che piega il flusso d'aria segue una reazione (la forza di portanza).

Esperimenti:

- La pallina sul phon
- La striscia di carta piegata. Soffiando tangenzialmente alla superficie, il pezzetto di carta si solleva
- Due palline sospese che si avvicinano quando tra di loro passa un getto di fluido (equivalente ad (a))
- Mezzo foglio di carta sotto la mano incurvata: soffiando tra le dita da sopra con una cannucchia, la carta rimane attaccata alla mano

ESPERIMENTO 7 : ESPERIMENTI QUALITATIVI SEMPLICI PER LA DIMOSTRAZIONE DELL' ENTRAINMENT

Materiale:

- Carta
- Superficie piatta (piano di PVC, o simile)

Scopo: dimostrazione dell'*entrainment* o trascinamento di aria da un getto

Esperimenti:

(a) Le due striscioline di carta

Due strisce di carta parallele si attraggono se si fa scorrere un getto d'aria tra di loro (basta soffiare)

(b) Il piano che si solleva

Un asse piano si solleva quando un getto d'aria scorre vicino parallelamente alla superficie

ESPERIMENTO 8: DIMOSTRAZIONE DELLA CONDIZIONE DI MANCATO SLITTAMENTO (“NO-SLIP CONDITION”)

Materiale:

- Polvere da gesso
- Cilindro
- Ventola

Scopo: Dimostrazione del fatto che le *particelle di fluido* (non le molecole di cui il fluido è composto!) nello strato a contatto con la superficie solida sulla quale un fluido scorre sono ferme. Ovvero: quando un fluido scorre ad una certa velocità su una superficie solida, la velocità relativa tra la superficie e lo strato di fluido a contatto con essa è nulla.

Esperimento:

Si butta un po' di polvere da gesso su un cilindro scuro lucido. Si può appoggiare la mano e lasciare l'impronta. Si mette il cilindro sotto la ventola e si osserva che la polvere non va via completamente anche se il flusso d'aria è di 60-70 km/h: l'impronta della mano rimane!

Difatti, le macchine non si puliscono mentre si viaggia, non è nemmeno sufficiente spruzzarle con acqua (anche qui vale la “no-slip condition”): bisogna strofinarle con un panno per eliminare tutte le tracce di polvere.

ESPERIMENTO 9: VERSIONE QUANTITATIVA DELL'ESPERIMENTO 5 (B)

Questo esperimento permette di fare misure quantitative dell'effetto Coanda. E' un esperimento ingombrante e quindi può essere necessario ridurre il numero di studenti presenti in laboratorio.

Materiale:

- Ventola
- 4 carrelli PASCO a basso attrito
- Due guide PASCO a basso attrito (non a cuscino ad aria)
- Interfaccia PASCO 750
- Sensore di rotazione PASCO
- Software DataStudio per la raccolta dati
- Cilindri di diametri diversi
- Misuratore di forza PASCO
- Base piatta di PVC

Scopo: Fare misure quantitative della forza di “portanza” (forza trasversale) e di resistenza (forza longitudinale) su di un cilindro quando questo viene immerso in un flusso d’aria. Questo esperimento permette di fare considerazioni sulla differenza tra effetto Magnus ed effetto Coanda, in base al rapporto tra i diametri relativi della ventola e del cilindro.

Esperimento:

Il cilindro viene sistemato su una base piatta quadrata che poggia su quattro carrelli a basso attrito, disposti a due a due su altrettante guide parallele (vedi foto). Alla base quadrata viene attaccato un misuratore di forza. La ventola, che è messa su un carrello libero di muoversi indipendentemente, viene orientata perpendicolarmente e all’asse del misuratore di forza e all’asse del cilindro. Per mezzo di una puleggia connessa al sensore di rotazione si può misurare in maniera precisa la posizione della ventola mentre spazza il cilindro per tutto il suo diametro. Si posiziona la ventola ad una certa distanza dall’asse del cilindro. Si avvia la ventola e la si sposta da un estremo all’altro delle guide sulle quali poggia il cilindro, registrando la forza dovuta all’effetto Coanda in funzione dello spostamento della ventola.



Nella seconda parte dell’esperimento la disposizione sperimentale rimane invariata soltanto che la ventola viene posizionata in modo che il flusso d’aria arrivi lungo l’asse del misuratore di forza. Si procede come nella prima parte. In questo caso la forza misurata corrisponde alla resistenza del cilindro al flusso incidente.

ESPERIMENTI N.10: ESPERIMENTI “ALLA SHAPIRO”

Vedere il libro “Profili veloci” di Shapiro. Proveremo ad implementare alcuni degli esperimenti lì descritti, nello specifico quelli più attinenti al percorso proposto. Quelli che più ci interessano riguardano lo studio del ruolo della viscosità, del numero di Reynolds, della superficie dei solidi immersi nel fluido, i moti laminare e turbolento, che ci permettano di capire come e perché si forma lo strato limite nonché la dinamica alla base della sua stabilità.