

**PROPOSTA PRELIMINARE PERCORSO SUL VOLO
PROGETTO LAUREE SCIENTIFICHE (2008-09)**

Incontro 3 ottobre 2008

Premessa

Le nostre ricerche ci hanno portato a concludere che nel contesto scolastico la portanza viene spiegata nella maggior parte dei casi facendo ricorso al P. di Bernoulli (P.B.). Questa spiegazione porta a delle inconsistenze, pur rimanendo un schema valido per capire la distribuzione di pressione dell'aria attorno ad un profilo alare. Le inconsistenze nascono fondamentalmente dall'accostamento del P.B. a certi altri cosiddetti principi (come quello dell'uguale tempo di transito), che non sono tali, e delle ipotesi errate sul profilo delle ali. Inoltre, il concetto di pressione come utilizzato nel teorema di Bernoulli non viene approfondito e può portare a ulteriore confusione. Non per ultimo, l'aria viene sempre considerata un fluido ideale (ipotesi necessaria all'applicazione di P.B), e che per altro che rimane valida in certe condizioni e regimi, ma che contrasta con l'esperienza quotidiana: facciamo fatica ad andare in bicicletta controvento, spendiamo più benzina se la forma aerodinamica della nostra macchina non è ottimale, per esempio, caricandola con il portapacchi. Tutte queste considerazioni ci portano a pensare che un primo passaggio richiederà approfondire certi concetti basi quali: pressione, viscosità, inerzia, per dirne alcuni.

Finora non abbiamo usato la parola forza. La portanza è soltanto una delle quattro forze in gioco nel volo di un aereo, le altre tre essendo il peso, la resistenza e la propulsione. Ciascuna di queste forze offre una ampia finestra su svariati fenomeni fisici, che vanno dalla termodinamica, alla fisica dei materiali e delle superfici, alla teoria cinetica, per citarne soltanto alcuni.

Per un primo e corretto approccio alla fisica del volo, la considerazione di queste quattro forze e la applicazione delle leggi della dinamica dovrebbe essere sufficiente. Questo ci risparmia, non soltanto la difficoltà di affrontare in un primo momento le leggi della fluidodinamica, molto più complesse, ma allo stesso tempo, evitare di fare uso (o sradicare l'uso o, per meglio dire, l'abuso) del P.B.

Da un punto di vista didattico, sarebbe meglio non iniziare dimostrando che il P.B. non può essere banalmente invocato per spiegare la portanza, ma lavorando soltanto sulle forze in gioco e ascoltando quello che gli studenti hanno da dire, per poi passare alla fase di sperimentazione. Le considerazioni prettamente fluidodinamiche dovrebbero essere lasciate per una seconda fase, nella quale si deve arrivare a capire il perché del comportamento dell'aria (legato alla sua viscosità) e soltanto per ultimo, stabilendo quando e in quali condizioni la viscosità può essere effettivamente trascurata (fuori dallo strato limite) arrivare ad una corretta applicazione del P.B.

L'approccio al volo dal punto di vista strettamente dinamico permette inoltre di analizzare fin da subito la storia dell'ingegneria aeronautica, il perché delle parti dell'aereo e del loro funzionamento, il volo di altri ingegni, e questo prima di visitare la mostra sui simulatori, fondamentale per usufruire in modo corretto di quest'ultima. Questo aiuta anche a dare una prospettiva storica e umana che è sempre accattivante, sfruttando la collezione esposta al Caproni.

Le considerazioni sulla propulsione ci portano, per ultimo, a affrontare la termodinamica, il funzionamento dei motori o le macchine termiche, così come lo studio delle proprietà dei gas, in particolare l'aria. Inoltre, il volo senza motore permette anche di studiare la termodinamica dell'atmosfera.

In conclusione con la fisica del volo possiamo mettere in comunicazione tre parti fondamentali del curriculum di fisica, vale a dire:

LEGGI DELLA DINAMICA: PORTANZA (DOWNWASH), CONSERVAZIONE DEL MOMENTO (ROTORI)

LEGGI DELLA **FLUIDODINAMICA**: COMPORTAMENTO DEL FLUIDO (VISCOSITA', COMPRESSIBILITA', DENSITA'; NON-SLIP CONDITION, STRATO LIMITE, CIRCOLAZIONE, REGIMI LAMINARI E TURBOLENTO, SIMILITUDINE FLUIDODINAMICA)

LEGGI DELLA **TERMODINAMICA**: PROPULSIONE A MOTORE (MACCHINE TERMICHE, PROPRIETA' DEI GAS) E SENZA MOTORE (MOTI CONVETTIVI DEI GAS, TERMODINAMICA DELL'ATMOSFERA)

SCHEMA PRELIMINARE DI UN POSSIBILE PERCORSO DIDATTICO

1. COSA FA L'ARIA INTORNO AL PROFILO ALARE

Esperimenti **Coanda** aria-acqua (senza dare un nome all'inizio): acqua su cilindro (acqua in aria), aria su cilindro, striscia di carta, pannello rigido, pallina sul phon (aria in aria). Esperimenti Coanda acqua in acqua con cilindro. Macchine senza attrito sulle quali si posiziona un tubo incurvato, e si fa passare dell'aria dentro il tubo. La forza del Coanda: sperimentare con cilindri di dimensioni diverse sotto un getto d'aria

Effetto **Magnus**: richiamo agli sport (calcio, tennis, baseball), macchine senza attrito con un cilindro posizionato sopra perpendicolarmente al piano e che può girare a sua volta senza attrito

Visualizzazione **flusso d'aria intorno ad un profilo alare** (fili, fumo?).

Costruzione di un modellino in cartone o altro materiale per provarlo nella galleria del vento "fai da te" : ventilatore-omogeneizzatore di flusso- ala su un perno, libera di scorrere.

Esperimenti delle bilancie, con e senza **downwash**

Misura di pressione lungo il profilo con e senza downwash

Osservare le differenze e similitudine di tutti questi fenomeni. E' necessaria la curvatura per avere un effetto di portanza? Proviamo a disegnare (e visualizzare) cosa sta succedendo al fluido. Ci sembra uguale il fenomeno della pallina nel phon e quello dell'ala nella galleria? In cosa sono diversi? Differenziare tra una massa d'aria nella quale l'oggetto viaggia (Magnus, aereo) da un getto d'aria che genera una forza trasversa alla curvatura del flusso (Coanda)

2. COSA FA L'AEREO NELL'ARIA: I MOVIMENTI DELL'AEREO, LE SUE PARTI

Descrivere e mettere in evidenza **il gioco delle forze**:

IMBARDATA: rotazione intorno all'asse verticale dell'aereo (perpendicolare alla fusoliera)

ROLLIO: rotazione intorno all'asse longitudinale dell'aereo (lungo la fusoliera)

BECCEGGIO: rotazione intorno all'asse delle ali dell'aereo

Considerazione sui movimenti e l'effettivo **controllo dell'aereo**: il perché e la ragione delle parti mobili delle ali (alettoni) e della coda: momenti delle forze, conservazione del momento delle forze, etc. Come e perché si usano le parti mobili e come si sfruttano i tre movimenti principali (prima della visita al Caproni)

Cenni storici all'evoluzione dell'ingegneria aeronautica. Considerazioni meccaniche e tecniche sull'uso dei materiali e delle forme (resistenza, leggerezza, manovrabilità), aerodinamiche (profili, doppie ali), uso (militare, civile, trasporto). Considerazioni sul volo "senza aria", il volo spaziale, i satelliti.

3. PERCHE' L'ARIA SEGUE IL PROFILO ALARE

Effetto Coanda con cilindri di superfici diverse. Se il fluido non bagna la superficie, non può agire lo sforzo di taglio, e non si genera lo **strato limite**. Lo stesso avviene se la **viscosità** è nulla, per lo

stesso motivo (richiamo ai superfluidi). Qui viene fuori il primo “scontro” con le ipotesi del teorema di Bernoulli.

Effetto Coanda con la sabbia. Non c'è incollamento: la sabbia non è un fluido (anche se si comporta come tale in certe circostanze), non ha una viscosità definita, ma è un solido granulare.

L'angolo d'attacco e la portanza: basta il motore per decollare?

L'angolo di attacco, punto di ristagno (velocità del flusso nulla, pressione massima), **non-slip condition**, formazione dello **strato limite**, moto laminare e turbolento, induzione della **circolazione** dell'aria

Visualizzare la no slip condition provando a spolverare una superficie soffiando o addirittura con un flusso d'aria forte

Esperimenti con liquidi superviscosi?

Il ruolo della turbolenza: positiva (all'interno dello strato limite), negativa, al di fuori del medesimo.

Il ruolo dell'attrito (resistenza dell'aria) e la forma e superficie dell'oggetto che incontra il flusso: esperimenti Shapiro con diversi oggetti per confrontare la resistenza a seconda della forma, superficie, velocità del flusso. La similitudine fluidodinamica, il numero di Reynolds.

4. COSA FA IL GAS VICINO ALLA SUPERFICIE ALARE

Esperimenti preliminari per chiarire il **concetto di pressione**. La misura della pressione di un fluido: pressione statica, dinamica e totale. Il tubo di Pitot. Di quale pressione parla il teorema di Bernoulli? Com'è il gradiente di pressione all'interno dello strato limite?

Costruzione di un tubo di Pitot, uso e considerazioni sui diversi tipi di pressione, ed il loro rispettivo ruolo nello specifico del volo.

Misura della **distribuzione della pressione attorno al profilo alare**. Constatazione del fatto che la pressione netta sopra l'ala è minore di quella sotto, ma è la pressione misurata lungo il profilo alare, non trasversale ad esso.

Uso della galleria del vento (fai da te, ma anche quella del laboratorio con raccolta dati) per confrontare profili diversi.

Cosa significa che il fluido (aria) è fermo vicino alla superficie (**non slip condition**)? Ponte tra il comportamento macroscopico dell'aria (descritto dalla fluidodinamica e la termodinamica) e quello microscopico (descritto dalla teoria cinetica).

Differenze tra particelle di fluido e molecole di fluido.

Visualizzazione regimi laminare e turbolento (fumo, liquidi colorati)

Considerazioni tecnologiche sul volo subsonico e supersonico. Proprietà dei gas in rapporto alla quota e la velocità. Numero di Mach, onde d'urto.

5. COSA FA IL GAS NEI PROPULSORI

I motori: effetto Coanda nei turbojet (ed altre applicazioni tecnologiche dello stesso fenomeno)

La macchina termica. I cicli termodinamici.

Costruire una macchina di Stirling, la macchina di Erone.

6. ALTRI MODI DI AVERE PROPULSIONE

Rotori. Costruzione di elicotteri di carta.

Il volo senza motore: l'uso dei moti convettivi dell'aria per volare. Cenni alla termodinamica dell'atmosfera.

Elicotteri, mulini a vento.

Costruire una macchina volante (aquilone, elicottero?)

ELENCO ESPERIMENTI POSSIBILI DA REALIZZARE

1. Il cilindro con e senza coda con le bilance per dimostrare che la portanza è una conseguenza del downwash
2. Misura della pressione lungo la parte superiore (e inferiore) dei suddetti cilindri
3. Carrelli a basso attrito con:
 - (a) cilindro ruotante senza attrito perpendicolare al piano (Magnus)
 - (b) tubo leggermente incurvato parallelo al piano (Coanda)
4. Galleria “fai da te” : ventilatore, cilindro con cannuce, profilo alare inserito in una sbarra, o appeso da fili e libero di salire e scendere come risposta al flusso d’aria. Possibilità di visualizzare la dipendenza con l’angolo di attacco e lo stallo (fili o fumo)
5. L’effetto Coanda e lo entrainment:
 - (a) acqua in aria: getto d’acqua (bottiglia di Mariotte) su cilindro di acciaio. Permette di vedere come cambia il comportamento dell’acqua se il materiale (o la superficie) di cui è fatto il cilindro cambia. La fontanella a pallina (giocattolo: una pallina di vetro e appoggiata su un piccolo getto di acqua che la fa ruotare su se stessa in continuazione). Sentire la forza sul cucchiaino.
 - (b) aria in aria: cilindri di dimensioni diverse sotto la ventola
 - (c) acqua in acqua: si ha effetto Coanda a prescindere della bagnabilità della superficie del cilindro, come per il caso aria in aria: il ruolo dell’entrainment (simulare celle di Helle-Shaw?, per esempio iniettando un liquido colorato nello stesso liquido o uno di viscosità diversa)
 - (d) la pompa ad aria: entrainment
 - (e) sabbia in aria (c’è entrainment ma non Coanda)
 - (f) Esperimentare la forza legata all’effetto Coanda usando la ventola e grandi cilindri. Capire il ruolo della dimensione relativa del getto e dell’oggetto (Magnus vs. Coanda)
 - (g) La pallina sul phon
 - (h) La striscia di carta
 - (i) Il piano che si solleva (non serve la curvatura)
 - (j) Due palline sospese che si avvicinano quando tra di loro passa un getto di fluido
 - (k) Le due striscioline di carta (stesso fenomeno)
 - (l) Mezzo foglio di carta sotto la mano incurvata: soffiando sopra con una cannuccia, la carta rimane attaccata alla mano
6. Chi spolvera meglio? Togliere la polvere soffiando, si può? Richiami alla esperienza quotidiana. Esperimento con gesso, impronta e ventola. La no-slip condition
7. Esperimenti alla Shapiro: (fluidodinamica)
 - (a) Due ventole uguali che producono un flusso identico. Due oggetti diversi (in forma, vale a dire profilo aerodinamico, o superficie) e sospesi da una bilancia a braccia uguali. Confronto della loro risposta al flusso: quale dimostra più resistenza, portanza? Cosa succede se si modifica la superficie dell’oggetto (liscio, rigato, sfera, oggetto affusolato, ecc)
 - (b) Possiamo ottenere uguali risultati in termini di portanza e resistenza, turbolenza, stallo, ecc, usando oggetti diversi? Rapporto tra oggetto e flusso: numero di Reynolds e similitudine fluidodinamica

- (c) Cenno a la ricerca in fluidodinamica di numeri adimensionali che caratterizzino un problema (Re) ? (Il pendolo come esempio più semplice) (Esercitazione)
- (d) Mettere in evidenza la resistenza allo sforzo di taglio usando un blocco di gommapiuma attaccato a due placche di legno (un grosso libro può funzionare ugualmente). Confronto con un mattone. Per capire che cos'è l'attrito viscoso.
- (e) Esperimento sulla no-slip condition usando qualche fluido superviscoso (la scritta che torna indietro), l'inchiostro che rimane attaccato al cilindro che gira, la vaschetta con i quadretti e l'oggetto che forma la scia passandoci su (Re bassi, flussi superviscosi). Voglio provare con la massa di acqua ed amido di mais, chissà se funziona....oppure con glicerina pura. Shapiro usa la glicerina (la U che si deforma quando la parete si mette in moto).
- (f) Correnti turbolente e laminari: rubinetto aperto poco o al massimo, getto di glicerina in glicerina a bassi Re (resta laminare), getto di acqua in una corrente d'acqua, diventa rapidamente turbolento: torrenti, fiumi.....

Oltre agli esperimenti che si possono far fare agli studenti, c'è la galleria del vento (eventualmente facendo venire i gruppi nel nostro laboratorio) che ci permette di fare misure più accurate e ripetibili, nonché materiale audio-visuale e interattivo (per esempio, siti dove si possono progettare profili alari e “provarli” in galleria virtuale, simulazioni di flussi, etc). Questo materiale andrebbe comunque usato dopo che gli studenti hanno sperimentato in laboratorio con i materiali poveri. Certi fenomeni, come la formazione dello strato limite e la circolazione dell'aria si possono visualizzare facilmente usando anche dei fluidi liquidi, colorandoli opportunamente.

SCHEMA PRELIMINARE INTERVENTO NELLA SCUOLA

Discussione iniziale

Cosa serve per mantenere un aereo in volo?

Che **forze** entrano in gioco, e quali elementi abbiamo a disposizione per poter volare?

Un velocissimo flash su delle immagini dei primi aeroplani e un moderno jet possono stimolare le considerazioni sulle utilità di certe parti dell'aereo. Come sono cambiati? Cosa è rimasto uguale?

Le forze sono: il peso, la portanza, la resistenza e la propulsione.

Ordini di grandezza:

PESO:

quanto pesa un Cessna, un aliante, un airbus, un condor e un colibrì.....

Confronto tra le dimensioni (span, larghezza e quindi area delle ali), aspect ratio

Considerazioni sui materiali di cui sono fatti o erano fatti gli aerei

Quale percentuale del peso è combustibile?

Considerazioni sulle dimensioni, il peso, la velocità

PROPULSIONE:

Confronto rotori, motori

Estima della potenza che sviluppa un rotore e un motore a reazione, jet

RESISTENZA:

Considerazioni sulla forma degli aerei, vecchi e moderni

Perché non si usano più aerei a due strati di ali?

Dove portano il carico gli aerei, ed i motori, come mai si portano sotto le ali?

Quanto consuma un aereo? Confronto tra aerei e metabolismo negli uccelli:

quale percentuale del proprio peso, e a quale ritmo, viene consumata da un mezzo volante?

(l'energia non si conserva)

PORTANZA:

Da dove viene la forza in su che solleva l'aereo?

Conta molto la forma delle ali? (Confronto visuale)

Cosa abbiamo oltre il motore, per volare? (l'aria....)

Cosa possiamo modificare per volare? (la velocità e l'angolo di attacco)

L'AEREO SPOSTA IL FLUIDO (L'ARIA), COME UN NUOTATORE

L'obbiettivo è arrivare a capire che la reazione allo spostamento dell'aria in giù, generato dalle ali (downwash) è alla base della spiegazione della portanza.

Se arriviamo a capire cosa fa l'aria intorno all'aereo, il passo successivo richiederà capire il perché lo fa.

Come sposta l'aria l'aereo, o come si muove l'aereo: Studio delle parti mobili e del loro funzionamento: imbardata, rollio, beccheggio. Uso di alettoni e flaps, uso del motore, come si manovra. Preparatorio per la visita alla mostra sui simulatori.

ESPERIMENTI SUL DOWNWASH

- 1) Il cilindro con e senza coda con le bilance per dimostrare che la portanza è una conseguenza del downwash (E1)

- 2) Carrelli a basso attrito con:
(a) cilindro ruotante senza attrito perpendicolare al piano (Magnus)
(b) tubo leggermente incurvato parallelo al piano (Coanda) (E3)

Quali sono le differenze fondamentali tra l'esperimento 2a e 2b?

La differenza fondamentale non sta nel fatto che un tubo è incurvato e l'altro no, dal momento che in entrambi i casi l'aria sperimenta un cambio di direzione, e ruota. In entrambi i casi la rotazione dell'aria genera una forza perpendicolare a questa direzione di rotazione. La differenza fondamentale riguarda il tipo di flusso che agisce sull'oggetto. Nel primo caso, quest'ultimo è immerso nel fluido (effetto Magnus), nel secondo c'è un flusso di fluido a velocità maggiore rispetto al fluido circostante (effetto Coanda).

Una volta visualizzato l'effetto Magnus (esperimento 2a), si può partire con gli esperimenti sull'effetto Coanda e l'entrainment:

COANDA E ENTRAINMENT

acqua in aria: getto d'acqua (bottiglia di Mariotte) su cilindro di acciaio. Permette di vedere come cambia il comportamento dell'acqua se il materiale (o la superficie) di cui è fatto il cilindro cambia. La fontanella a pallina (giocattolo: una pallina di vetro e appoggiata su un piccolo getto di acqua che la fa ruotare su se stessa in continuazione). Sentire la forza sul cucchiaio

aria in aria: cilindri di dimensioni diverse sotto la ventola

acqua in acqua: si ha effetto Coanda a prescindere della bagnabilità della superficie del cilindro, come per il caso aria in aria: il ruolo dell'entrainment (simulare celle di Helle-Shaw?, per esempio iniettando un liquido colorato nello stesso liquido o uno di viscosità diversa)

la pompa ad aria: entrainment

sabbia in aria (c'è entrainment ma non Coanda)

Esperimentare la **forza legata all'effetto Coanda** usando la ventola e grandi cilindri. Capire il ruolo della dimensione relativa del getto e dell'oggetto (Magnus vs. Coanda)

ESPERIMENTI SEMPLICI

La pallina sul phon

La striscia di carta

Il piano che si solleva (non serve la curvatura)

Due palline sospese che si avvicinano quando tra di loro passa un getto di fluido

Le due striscioline di carta (stesso fenomeno)

Mezzo foglio di carta sotto la mano incurvata: soffiando sopra con una cannuccia, la carta rimane attaccata alla mano

Tutta questa parte è mirata a **distinguere un flusso da un getto di flusso** per arrivare poi a capire dove è proprio o improprio invocare questi fenomeni. Se intendiamo il downwash come deviazione di aria che genera una forza, questa avviene sia nel caso di un ala (che è immersa nel fluido) che nel caso di un getto (Coanda) dove c'è un fluido circostante a velocità relativa diversa di quella del getto. **Spostamento di aria = Forza (Terzo Principio)**

Una volta stabilito che è la deviazione dell'aria a generare la portanza, possiamo analizzare più in dettaglio gli origini fluido dinamici di questo fenomeno: la viscosità dell'aria + la no slip condition creano lo strato limite, come arrivarci?

ESPERIMENTI SUL DOWNWASH CON MEZZI CILINDRI CON E SENZA CODA + MISURA DELLA PRESSIONE IN ENTRAMBI I CASI

La misura sperimentale della pressione permetterà di introdurre i tre tipi di pressione (totale, dinamica e statica) usando il tubo di Pitot, e discutere quali pressioni aumentano o diminuiscono (e in quale direzione, soprattutto) a secondo delle condizioni.

ESPERIMENTI DI FLUIDODINAMICA

Una volta approfondito il concetto di pressione(i), quello di pressione dinamica (legata all'energia cinetica dell'aria) è necessario per introdurre lo strato limite e spiegare cosa avviene al suo interno. Questo permetterà di capire il perché della accelerazione dell'aria sopra il profilo alare, come conseguenza di un gradiente di pressione favorevole all'interno del b.l.(lungo la direzione del flusso) e non viceversa. Sono le pressioni a pilotare il comportamento dell'aria e non viceversa. A questo punto si fanno necessari tutti gli **esperimenti alla Shapiro** (vedere bibliografia) per approfondire i concetti di: resistenza, viscosità, no-slip condition, strato limite, numero di Reynolds.

L'obiettivo è capire che l'aria accelera sopra l'ala perché incontra un gradiente favorevole di pressione all'interno dello strato limite (se non avviene lo stallo), lungo le linee di flusso. L'aumento della pressione dinamica del flusso fuori dallo strato limite, a parità di pressione statica (siamo in un flusso libero e quindi a pressione atmosferica), genera una diminuzione della pressione totale. L'aria fluisce sempre dalle zone di alta verso quelle di bassa pressione, e questo induce il downwash. Quindi, alla base del volo c'è la viscosità, l'attrito viscoso tra strati di fluido che viaggiano a velocità diversa pilotati dai gradienti di pressione dinamica, lungo il flusso, nello strato limite, e di pressione totale, fuori dallo strato limite (fuori dallo s.l. sia la pressione statica, atmosferica, che dinamica, dettata dalla velocità del vento rispetto all'aereo, sono costanti, quella che cambia è quella totale, come conseguenza dell'azione del b.l).

FORZE ->(DINAMICA) PRESSIONI -> CHI CREA LE PRESSIONI -> STRATO LIMITE (FLUIDODINAMICA)

ESPERIMENTI DI GALLERIA DEL VENTO

Una volta stabilito:

1. Cosa fa l'aria intorno all'aereo
2. Perché l'aria lo fa

Si potrebbe passare alla fase di prova di modelli e profili, studiare il ruolo dell'angolo d'attacco, lo stallo, il ruolo delle parti dell'aereo, più approfonditamente. In questa parte c'è da fare tutte le considerazioni su come **si modifica la portanza dell'aereo controllando l'angolo di attacco e la velocità**. Per questo serve applicare le tre leggi della dinamica:

Legge I : se l'aria viene spostata in giù (downwash) vuole dire che ha agito una forza

Legge III: la reazione alla forza che piega l'aria in giù genera la portanza

Legge II: $F = ma = (dm/dt) v$: la portanza è pari alla quantità di aria deviata in giù per la velocità verticale dell'aria. Modificando l'angolo di attacco e la velocità dell'aereo possiamo cambiare la portanza

BLOCCHI DIDATTICI POSSIBILI

- i. LA FISICA DEL VOLO CON LE LEGGI DELLA DINAMICA
- ii. LA DINAMICA E LA FLUIDODINAMICA
- iii. APPROFONDIMENTI

BLOCCO (1)

Per un numero ridotto di ore lì dove non si vuole affrontare in dettaglio i concetti della fluidodinamica, al limite solo quello di pressione

Concettualmente richiede:

- i) applicazione delle leggi di Newton
- ii) capire che la portanza richiede che la direzione del flusso d'aria venga modificata
- iii) visualizzazione della no-slip condition per spiegare la ragione prima dell'aderire del flusso alla superficie
- iv) concetto di pressione (totale, dinamica e statica), funzionamento del tubo di Pitot
- v) uso delle parti mobili dell'aereo (per permettere di visitare la mostra)

Sperimentalmente richiede:

- i) Visualizzare l'effetto Coanda: aria-aria, acqua-aria, eventualmente acqua-acqua
- ii) Polvere su superficie e phon (no-slip condition)
- iii) Gallerie dal vento semplificate: ventilatore, omogeneizzatore di flusso, ala
- iv) Carrelli senza attrito (Magnus e Coanda)
- v) Esperimenti semplici: palline sul phon, carta, getto tra due palline, ecc.

BLOCCO (2) (oltre il Blocco (1), ma forse intrecciati)

Richiede più ore e un approfondimento sui concetti della fluidodinamica: viscosità, strato limite, numero di Reynolds, similitudine aerodinamica (molto importante per il confronto aerei-volatili), vorticità, eventualmente circolazione per le ultime classi?

Dobbiamo almeno far vedere la curva di efficienza e dimensioni del libro sui Boing e gli uccelli!

Concettualmente richiede:

- i) approfondimento sui fluidi: pressione in un fluido, sforzo di taglio, leggi di conservazione (flusso, quantità di moto, energia)
- ii) equazioni semplificate della fluidodinamica (Eulero, Bernoulli)
- iii) la no-slip condition
- iv) lo strato limite
- v) distinzione getto-flusso (Coanda-Magnus)
- vi) il ruolo dello entrainment

Sperimentalmente richiede:

- i) gli esperimenti alla Shapiro: studio della forma, della superficie, della viscosità

- ii) uso di fluidi superviscosi per visualizzare (misurare?) lo strato limite
- iii) misura delle forze di Coanda (acqua-aria o aria-aria)
- iv) confronto Coanda-Magnus con cilindri e aria
- v) la pompa ad aria
- vi) Galleria del vento
- vii) Misura di pressioni sui profili (ali e cilindri)
- viii) Estima dei numeri di Reynolds per svariate situazioni (cilindri e ali ma anche flussi d'acqua, velivoli e volatili)

BLOCCO (3)

- i) la ricerca di parametri non dimensionali in fluidodinamica come attrezzo per risolvere i problemi
- ii) il problema della superficie: bagnabilità e tensione superficiale. Coanda ed effetto Lotus
- iii) il volo supersonico: il ruolo della densità dell'aria e della velocità del suono. Perché sono diversi gli aerei sub e supersonici?
- iv) propulsione: motori a reazione, eliche, rotor
- v) volo senza motore: termodinamica dell'atmosfera
- vi) volo senza aria: volo aerospaziale e satellitare
- vii) il volo ed il corpo umano

BIBLIOGRAFIA

LIBRI

Profili veloci: La resistenza al moto nei fluidi

Ascher H. Shapiro, Ed. Zanichelli

Veramente interessante. In linguaggio semplicissimo, e con esperimenti illuminanti fa capire gli elementi basilari della fluidodinamica necessari per capire il comportamento dei fluidi quando incontrano un ostacolo. Da non perdere, cerchiamo di procurarvi una copia in pdf.

Understanding flight

David F. Anderson e Scott Eberhardt, McGraw Hill

Usando solamente le leggi della dinamica, spiega in maniera schietta e accessibile i fondamenti del volo degli aeroplani, con attenzione al funzionamento delle parti dell'aereo, i tipi di ali, il volo supersonico, la propulsione, ecc.

The simple science of flight

Henk Tennekes, MIT Press

Scritto da un ingegnere aeronautico, mette a confronto aerei e uccelli. Tutti volano per le stesse ragioni e seguendo gli stessi principi! Anche in questo caso si usano pochissimi concetti basilari della dinamica che permettono di discutere aspetti energetici, strutturali, di performance e questo facendo uso soltanto dei concetti di velocità, densità, area e massa. Scorrevolissimo da leggere e molto affascinante.

MATERIALE MULTIMEDIALE

Cambridge Multimedia Fluid Mechanics

CD-Rom Cambridge Univ. Press

Si trova a:

<http://www.cambridge.org/us/catalogue/catalogue.asp?isbn=9780521721691>

Moltissime animazioni, filmati di esperimenti e esperimenti interattivi che permettono di visualizzare svariati fenomeni. Corredato con spiegazioni molto chiare, contiene anche una parte storica, sia di fatti che di personaggi. Molto utile.

ARTICOLI IN RIVISTE

Special Issue Physics Education: Air (vedere file zip allegato: zip_PE_AIR)

Articoli sulle diverse spiegazioni sul volo e altro (vedere file zip allegato: flying stuff)

Sono solo un piccolo campione. Per bisogni o interessi speciali (pressione e misconcezioni sulla pressione, boundary layer, misconcezioni sul volo, il ruolo della superficie, fluidodinamica e altri argomenti, basta chiedere!)

Vi alleghiamo anche una copia del nostro lavoro sull'effetto Coanda (acqua-aria) che uscirà la primavera prossima. E' uno degli esperimenti proposti, insieme al Coanda aria-aria che ci permetterebbe di fare con i ragazzi misure quantitative relativamente semplici in laboratorio.

INTERNET

(1) <http://www.lerc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/>

E' ad un livello molto elementare ma può essere interessante per una veduta panoramica dei problemi. Potete partire anche da qui:

<http://www.lerc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/short.html>

con un elenco di argomenti

(2) <http://user.uni-frankfurt.de/~weltner/Mis6/mis6.html>

Mette subito in evidenza i problemi della spiegazione alla Bernoulli e la necessità di chiarire sin dal primo momento il concetto di pressione (vedete file zip con referenze in allegato)

e tanti altri.....