



**Attribuzione - Non commerciale -
Condividi allo stesso modo 4.0
Internazionale (CC BY-NC-SA 4.0)**

Scheda esperimento: Venturi, Portanza e Deportanza

Introduzione:

Come fa un aereo pesante decine di tonnellate a decollare? Come mai le auto di formula hanno forme così strane e complesse? E cosa lega questi due mezzi già citati, apparentemente tanto diversi?

L'obiettivo di questi esperimenti è di mostrare quali principi e proprietà fisiche si celano dietro al funzionamento di queste meraviglie dell'ingegneria. In particolare gli esperimenti si soffermano su alcuni aspetti della fluidodinamica, una branca della fisica che si occupa dello studio del comportamento dei fluidi, tra i quali figura anche l'aria, nella quale i due veicoli si muovono.

Finalità:

Analizzare i concetti di portanza e di deportanza e la loro applicazione nella vita reale.

In particolare:

- Spiegare i principi base del volo degli aerei
- Mostrare alcune soluzioni aerodinamiche impiegate sulle vetture di formula uno

Materiali utilizzati:

- Legno di balsa compensato (spessore: 1,5 mm)
- Strumenti per la lavorazione del legno.
- Phon (2000W di Potenza elettrica)
- Superfici in plastica rigida tagliate al laser
- Componenti disponibili nel kit base Arduino quali scheda madre Arduino Uno, breadboard, cavi vari, due resistenze (200 e 1000 Ohm), display LCD 16x2
- 3 sensori BMP180 di pressione
- Laptop
- Bilancia (sensibilità: 0,01 g)
- Cuscinetto a sfera
- Cucchiaini di plastica

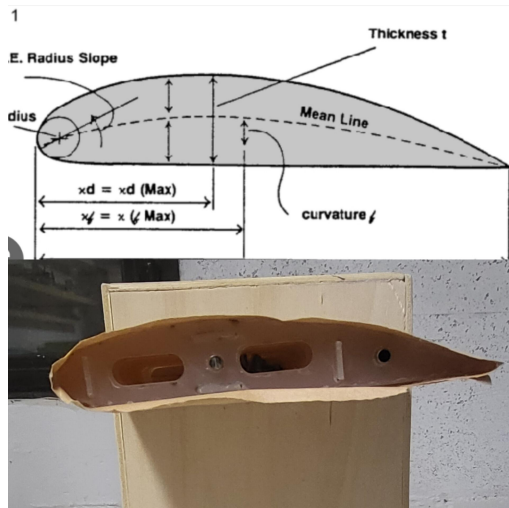
- Tondini di metallo
- Bottiglia d'acqua
- Tachimetro per biciclette

Progettazione dell'esperimento:

Per questi esperimenti è stato necessario costruire 4 strutture differenti:

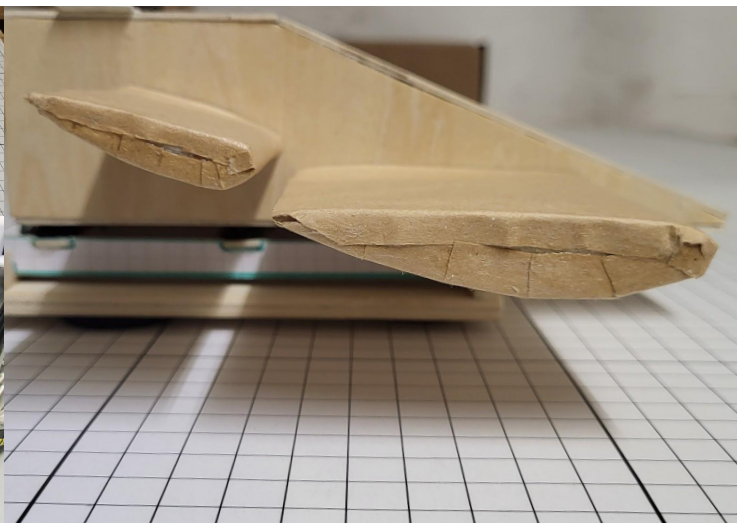
Modello 1

Il primo modello costruito è una sezione d'ala. Per assicurare il funzionamento è stato ripreso un profilo alare di tipo STOL, caratterizzato da alte prestazioni anche a velocità limitate. Stabilito il profilo sono state tagliate al laser alcune centine, che sono poi state collegate tra loro con due tondini metallici. All'interno sono stati posti due sensori di pressione, uno rivolto verso l'alto e uno verso il basso. Il tutto è stato ricoperto di un tipo di carta sufficientemente resistente con due fori in corrispondenza dei due sensori. Per garantire una sufficiente altezza da terra il modello è stato fissato su un pilone realizzato in legno. Per una maggiore efficienza è stato necessario ridurre le dimensioni al minimo, tenendo però in considerazione l'ingombro dei sensori.



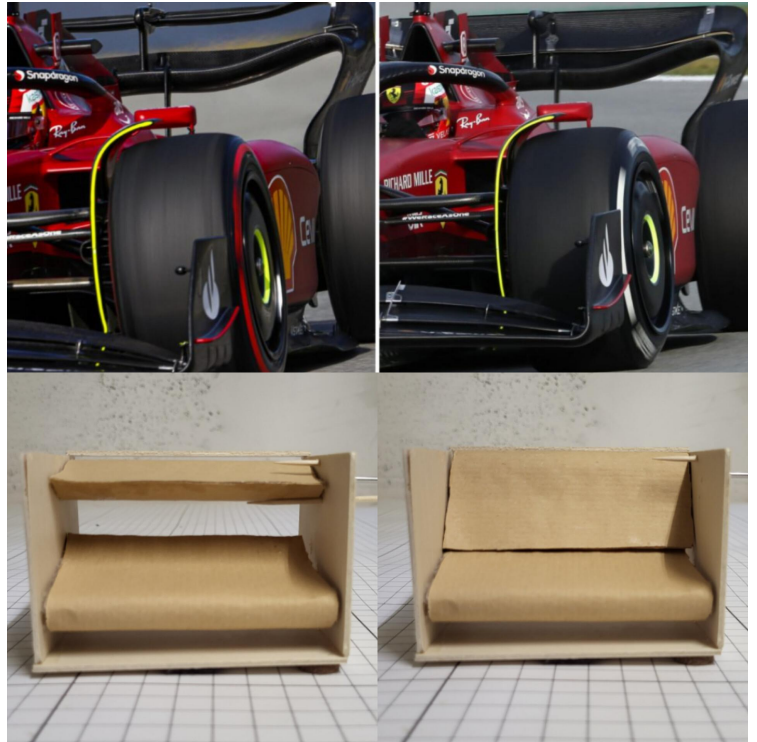
Modello 2

Il secondo modello consiste nel musetto di un'auto da corsa. Data l'assenza di sensori sono state prodotte ali di dimensioni più contenute. È stato ripreso il medesimo profilo, rimpicciolito e capovolto, e sono state usate le stesse tecniche costruttive, ad eccezione dei materiali utilizzati: questo modello è interamente costruito in legno di balsa tagliato a mano. Per aumentare l'efficienza all'ala principale è stata affiancata una seconda ala più piccola in posizione arretrata. Il tutto è sostenuto da una struttura a prisma trapezoidale.



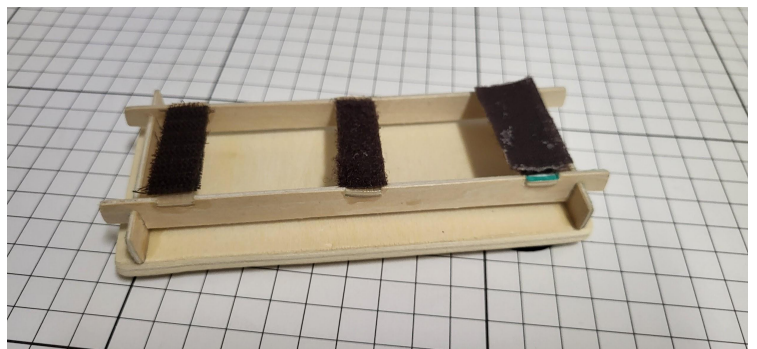
Modello 3

Il terzo modello consiste nell'ala posteriore di una vettura da corsa, dotata di sistema mobile DRS. Per questo modello sono state disegnate due nuove ali più sottili. La prima, più grande, è stata collocata nella parte inferiore mentre la seconda nella parte superiore. Entrambe sono state poste tra due paratie verticali che fungono da supporto. Le ali sono state costruite con la medesima tecnica, ma l'ala superiore è stata incernierata alle paratie con un tondino in modo da poterla alzare e abbassare a piacimento.



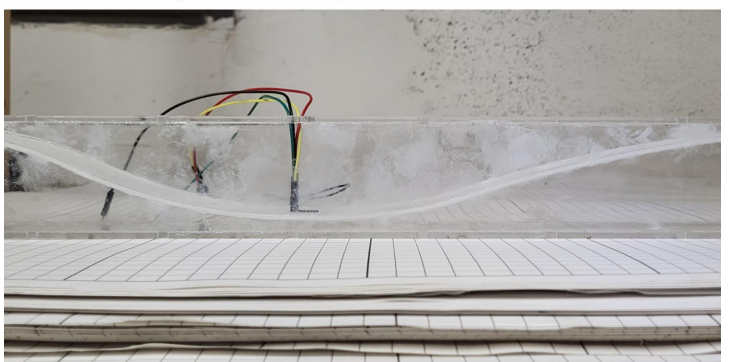
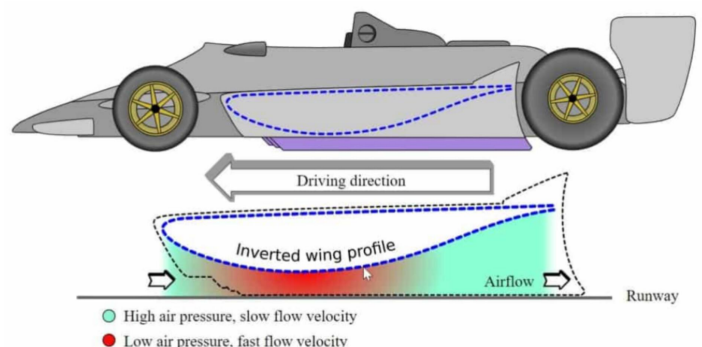
Supporto

Per i modelli 2 e 3 è stato costruito un piedistallo dotato di velcro e gommini antiscivolo per evitare movimenti non desiderati durante l'esecuzione dell'esperimento.



Modello 4

Il quarto modello consiste in un tunnel di Venturi, utilizzato anche da molte auto da corsa, un condotto dotato di una strozzatura nella sua parte centrale. Per mostrare la struttura interna le pareti del tunnel sono state realizzate in plastica tagliata a laser. Nel punto di massima strozzatura è stato inserito un sensore di pressione. Per motivi di praticità la sezione iniziale ha forma quadrata.



Anemometro

Per dare un supporto sperimentale ai calcoli teorici effettuati sul tunnel di Venturi è stato realizzato un anemometro. Sono stati applicati quattro cucchiaini su un cuscinetto a sfera, fissato sul tappo di una bottiglia in funzione di supporto. Il cuscinetto è stato inoltre dotato di un magnete posto in prossimità di un secondo magnete, appartenente al tachimetro, in grado di fornire indicazioni sulla velocità.

Circuito e codice Arduino

Per visualizzare i dati raccolti dai sensori sul display LCD è stato necessario costruire un circuito Arduino e scrivere un codice adatto.



Equazioni di riferimento:

La totalità dell'esperimento si basa sull'equazione di Bernoulli, e, in particolare, su l'equazione derivata in condizioni di altezza costante, l'equazione di Venturi. Queste equazioni affermano che al variare di una o più condizioni (velocità del fluido, altezza, pressione atmosferica), la somma totale delle pressioni sia costante. Ne possiamo quindi ricavare che ad un aumento della velocità corrisponde una diminuzione della pressione atmosferica e viceversa.

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot y_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot y_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2$$

NEL NOSTRO CASO: $y_1 = y_2$; ρ COSTANTE

DUNQUE: $p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2$

Indicazioni operative, spiegazione, domande e risposte:

- **Modello 1**

Indirizzare sull'ala il flusso d'aria utilizzando il phon. Leggere i valori registrati dal sensore di pressione superiore. Selezionare il sensore inferiore e ripetere il procedimento. Ciò che si aspetta è un valore superiore nella parte inferiore, ovvero il fenomeno della portanza.

Osserviamo ora dunque la sezione orizzontale di un'ala generica di aereo: notiamo questa forma peculiare, allungata e con una sorta di rigonfiamento sul dorso. Questa forma specifica, ora ben definita, ma frutto di anni di lavoro di molti, è fatta in tal modo che, tagliando l'aria in

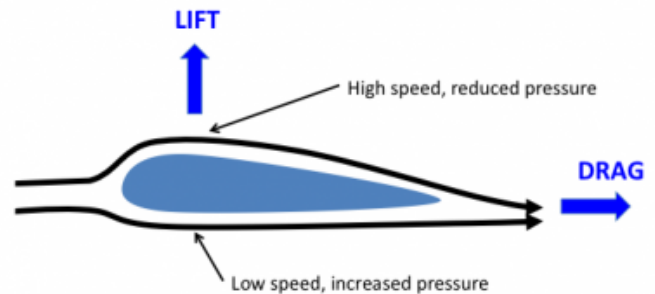
due flussi, costringa il flusso superiore ad aumentare la sua velocità. Ci troviamo dunque in una situazione in cui due flussi d'aria percorrono le due superfici dell'ala a velocità differenti.

Secondo l'equazione di Venturi appena descritta, quindi, dove verrà registrata la pressione maggiore? Dove quella minore?

Ci aspettiamo di trovare la pressione maggiore dove l'aria scorre meno velocemente, ovvero sotto l'ala, e una pressione minore dove l'aria scorre più velocemente, ovvero sopra l'ala.

Quali effetti può produrre questa differenza?

Registriamo una differenza di pressione: la spinta che viene impressa dall'alto verso il basso è minore di quella che viene ricevuta dal basso verso l'alto. Questo è un passaggio cruciale: all'aumentare della velocità, mentre l'aereo accelera lungo la pista, questa differenza di pressione cresce sempre di più, fino a quando la componente inferiore è abbastanza intensa da esercitare una forza abbastanza grande da far staccare l'aereo da terra. Questo è il fenomeno chiamato portanza.



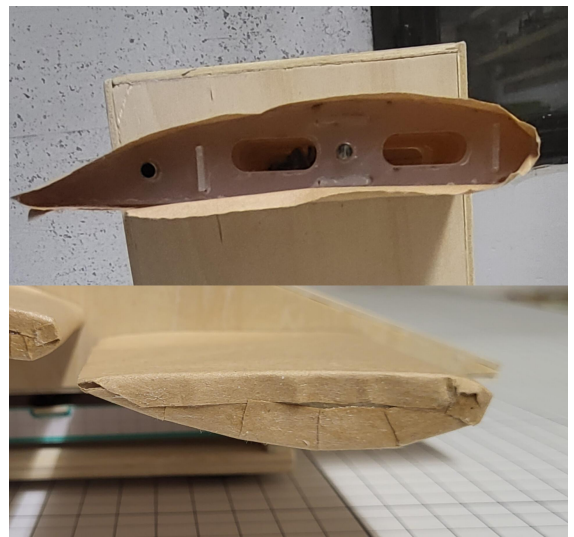
Modello 2

Procedere dunque con il musetto di Formula 1, appoggiarlo sulla bilancia e indirizzare su di esso leggendo i valori della bilancia. Se possibile ripetere il procedimento capovolgendo il musetto. (La lettura della bilancia sarà positiva nella prima parte, negativa nella seconda. Il modello potrebbe anche tendere ad abbassarsi nella prima parte ed alzarsi nella seconda)

Le auto da corsa moderne, soprattutto le auto Formula, per andare il più veloce possibile lungo il tracciato devono essere veloci non tanto solo nel rettilineo, ma anche in curva. Per farlo, l'elemento chiave è l'aderenza, in gergo tecnico "grip", che consiste in buona parte della forza d'attrito esercitata tra le ruote e l'asfalto. La forza d'attrito aumenta all'aumentare della forza premente, ovvero la spinta verso il basso che l'auto riceve.

Ma come si riesce a generare una spinta rivolta verso il basso utilizzando gli stessi principi e le stesse tecniche che permettono ad un aereo di fare l'esatto contrario?

Capovolgendole. Basta infatti ribaltare la nostra ala, metterla "sotto sopra" e subito si può notare che il suo funzionamento non varia. E così si viene a generare una differenza di pressione, questa volta minore nella parte inferiore dell'ala. Questo fenomeno, uguale e contrario a quello della portanza, prende il nome di deportanza. Si può infatti notare chiaramente come le ali del nostro modello siano speculari a quelle del modello di ala utilizzato in precedenza.



Possiamo infatti notare che, investito dal flusso d'aria, non solo il musetto esercita una pressione sulla bilancia, ma tende addirittura ad abbassarsi.

Ma se quindi capovolgiamo a sua volta l'ala del musetto, questo tenderà ad alzarsi?

Esattamente, questo può facilmente essere verificato con il nostro modello.

Modello 3

Poggiare il modello di DRS sulla bilancia ed indirizzare su esso il flusso d'aria. Leggere il primo valore della bilancia. Azionare quindi il DRS e ripetere. Confrontare i due valori ottenuti (la prima misura dovrebbe avere un valore significativamente maggiore rispetto alla seconda).

Ma l'attrito che viene generato dalle ali, non è poi dannoso per l'avanzamento dell'auto?

Diciamo che generalmente i vantaggi sono molto più grandi degli svantaggi, però effettivamente quando l'auto è lanciata a velocità elevate su un rettilineo questo attrito può inficiare sulla velocità massima della vettura. Per questo motivo è stato inventato il sistema di riduzione dell'attrito, comunemente chiamato DRS, acronimo di Drag Reduction System (sistema di riduzione dell'attrito), che consiste di un flap mobile installato sull'ala posteriore, che può essere azionato per "appiattirsi" e ridurre l'interazione dell'ala posteriore, la conseguente forza premente generata e dunque la forza d'attrito. Possiamo vedere chiaramente questa differenza con il nostro modello, che è una semplice riproduzione molto semplificata.

Modello 4

Indirizzare il flusso del phon all'interno del condotto, prestando attenzione a non imprimere sollecitazioni estranee. Leggere i valori restituiti dal sensore BMP180 (a phon acceso si dovrebbe registrare una diminuzione notevole di pressione). Mostrare i calcoli precedentemente eseguiti con l'anemometro al fine di individuare la velocità del flusso.

Sfruttando l'effetto Venturi è stato introdotto un ulteriore dispositivo molto efficace, chiamato, non a caso, Tunnel di Venturi, che diminuisce drasticamente la pressione al di sotto dell'automobile che viene così schiacciata dalla pressione superiore. Questo effetto è comunemente noto come effetto suolo, e il tunnel può essere identificato comunemente con le cosiddette "minigonne".

Osservandolo si può notare la sua peculiarità, quale?

Ciò che lo distingue è una decisa strozzatura circa a metà del condotto, che riduce l'area attraversata dal flusso, nel nostro caso, a un decimo dell'area iniziale. Questa diminuzione di area è inversamente proporzionale all'aumento di velocità, come descritto dall'equazione di continuità, che afferma:

$$S_1 V_1 = S_2 V_2$$

Abbiamo quindi ancora una volta un grande aumento di velocità:

Si possono trovare quindi somiglianze con il funzionamento delle ali?

Come già anticipato il principio alla base è lo stesso: secondo l'Effetto di Venturi l'aumento di velocità genera una diminuzione di pressione. Ma questa volta l'aumento di velocità viene generato diversamente, sfruttando l'equazione di continuità.

Questa equazione, come anticipato, afferma che diminuendo l'area della sezione del tunnel, la velocità aumenta, così che il loro prodotto sia costante. Basta quindi restringere i tunnel scavati nel fondo dell'automobile apponendo una strozzatura, punto nel quale il flusso sarà più veloce, per generare una diminuzione della pressione e l'effetto suolo. Si può provare a dare un riscontro teorico ai dati pratici misurati dal sensore utilizzando le due equazioni ormai note di Venturi e di continuità. Ci manca però un dato, la velocità iniziale del flusso, che abbiamo misurato con il nostro anemometro autocostruito: un magnete, girando, permette ad un tachimetro da ciclismo di misurare la velocità tangenziale tarata su una circonferenza nota, che poi abbiamo rapportato alla circonferenza effettiva, come di seguito riportato. Abbiamo poi sostituito i dati nell'equazione di Venturi, come di seguito riportato.

$r(\text{ANEMOMETRO}) = 112 \text{ cm} \rightarrow C(\text{ANEMOMETRO}) = 2\pi r = 7037 \text{ cm}$ $r(\text{CONTATORE}) = 15,91 \text{ cm} \rightarrow C(\text{CONTATORE}) = 100 \text{ cm}$ L'ANEMOMETRO RILEVA UNA $v_{\text{TANGENZIALE}} \rightarrow v = 40 \text{ km/h} = 11,1 \text{ m/s}$ $\omega (\text{CON } r = 15,91 \text{ cm}) = \frac{v}{r} = 69,77 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ $v_{\text{TANGENZIALE EFFETTIVA}} = (69,77 \cdot 0,112) \text{ m/s} = 7,814 \text{ m/s} = 28,13 \text{ km/h}$	LA VELOCITÀ v_2 DELL'ARIA NON È NOTA $\rightarrow S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 \rightarrow v_2 = \frac{S_1 \cdot v_1}{S_2}$ SOSTITUENDO: $p_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot \left(\frac{S_1^2 \cdot v_1^2}{S_2^2} \right)$ $p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 \left(\frac{S_1^2}{S_2^2} - 1 \right) \quad \text{DOVE: } S_2 = \frac{1}{10} \cdot S_1$
---	---

Confrontando i due valori ottenuti tuttavia riscontriamo una discrepanza (ca. 10 hPa) non indifferente, perché?

È importante considerare che i calcoli teorici sono sempre effettuati in condizioni ideali, in assenza di attrito e turbolenze: l'esperimento è effettuato in un ambiente reale, in cui l'aria esercita attrito con le pareti del tunnel, rallentando, ma potrebbe anche incontrare e generare moti turbolenti, perdendo altra velocità. Basti pensare all'immediata differenza di condotti tra l'ugello circolare del phon e la sezione quadrata del tunnel.