

FISICAST

per
SxT

**Come fanno gli aerei
a volare**

di

Gianluca Li Causi e Gianluca Murgia



Come fanno gli aerei a volare?

Gianluca Li Causi & Gianluca Murgia

Abstract:

Come fa un aereo a volare? Tutti sappiamo che può farlo, ma a pensarci bene viene da chiedersi come possa mai tenersi in aria un oggetto così pesante... In questa puntata vi condurremo per mano nell'incredibile mondo dell'aerodinamica.

INIZIO

Nessuno si meraviglia se vede volare un aereo di carta. In fondo è così leggero, si poggerà sull'aria in qualche modo... Ma un aereo di linea, che pesa parecchie tonnellate, come fa volare? Sentiamo che ne pensano il fisico Gianluca Li Causi e l'ingegnere Gianluca Murgia, che ci condurranno nell'affascinante mondo dell'aerodinamica.

Rombo di aereo al decollo.

C: Uuh, che bello! E' sempre uno spettacolo vedere un aereo al decollo, non trovate anche voi?

GL: Bellissimo! E anche stupefacente se pensi a quanto pesa e a quanta spinta devono dargli i motori per tirarlo su!

GM: ...quello poi è un Jumbo Jet 747, uno dei più grandi aerei mai costruiti.

Pensa che, al decollo, pesa oltre 400 tonnellate e, nonostante questo, raggiunge i dieci mila metri di altitudine e una velocità di 900 km/h!

C: ...da non crederci! In effetti mi chiedo sempre come sia possibile...

Posso convincermi facilmente che una farfalla, o un passerotto, riescano a volare... Ma come possa farlo un bestione del genere, così pesante, per me è tutto un mistero...

Anzi, perché non me lo spiegate voi due?

GL: Beh, tutto dipende dal **Terzo Principio della Dinamica**, il famoso **"Principio di Azione e Reazione"**.

GM: ...secondo il quale **"ad ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria"**. Ne avrai sentito parlare...

C: ...sì, sì. E' quel principio per cui un razzo sale in alto perché espelle il gas verso il basso, no?

GL: Proprio quello: la fuoriuscita veloce del gas verso il basso causa il sollevamento del razzo verso l'alto.

Detta con altre parole, **il razzo si spinge sul gas che espelle.**

Proprio come una canoa, che avanza perché **si spinge sull'acqua spostata dai remi.**

GM: ...del resto noi stessi per saltare in alto spingiamo i piedi in basso sul pavimento.

Oppure pensa al rinculo di un cannone, o al fatto che se ti prendo per una mano e ti tiro verso di me, vengo a mia volta tirato verso di te.

GL: E' un principio che vale sempre: **se eserciti una forza su un oggetto, sposti l'oggetto da una parte e te stessa dall'altra.**

C: Chiarissimo!

...però, scusate, questo che c'entra con il volo aereo? Al massimo mi fa capire che un uccello si tiene in volo perché spinge l'aria in giù battendo le ali... ma in un aereo le ali sono ferme!

GL: Certo, un aereo non batte le ali! Eppure, il motivo rimane lo stesso: **l'aereo si tiene su perché spinge l'aria in giù.**

Breve stacco musica sottofondo

C: Ah beh, questa me la devi spiegare: i motori sotto le ali dei Jumbo spingono l'aria soltanto indietro, cosicché, "per reazione" come dite voi, l'aereo è spinto in avanti. Lo sanno tutti.

Perciò, scusa, che cos'è che spingerebbe l'aria in basso?

GL: Le ali! **Negli aerei, sono le ali a deviare l'aria verso il basso.** E se l'aria è spinta in basso, l'aereo, per reazione, è spinto in alto.

C: Ah.

GM: Questa forza di reazione, diretta verso l'alto, prende il nome di "**portanza**", ed è in effetti quella che tiene in volo l'aereo.

C: ...sì, ma non mi avete ancora risposto: come fai a spingere l'aria in basso se non batti le ali?

GM: Ti sembrerà strano, ma la risposta a questa domanda è arrivata parecchio tempo dopo che gli aerei già volavano! Per questo l'uomo ci ha messo così tanto per imparare a volare: ha dovuto procedere per tentativi, senza capire perché alcuni funzionassero e altri no.

GL: Procediamo con ordine.

Cominciamo, come fanno i fisici, a semplificare il problema, facendo finta che l'ala di un aereo sia piatta e sottile come se fosse una tavola di legno. Un'ala del genere può

generare portanza soltanto se non è esattamente orizzontale: deve essere inclinata verso l'alto, con il bordo anteriore più in alto del bordo posteriore.

GM: L'avrai sperimentato tu stessa guidando veloce sull'autostrada, se hai provato a mettere una mano fuori dal finestrino, col palmo rivolto in basso.

C: ...sì, l'ho fatto spesso, per rinfrescarmi dal caldo estivo.

GM: Allora avrai visto che, se mantieni la mano perfettamente orizzontale la tieni ferma facilmente, ma appena la inclini leggermente verso l'alto, il vento ti batte sul palmo e la spinge fortemente in su... e anche un po' indietro.

C: Sì è vero, se vado abbastanza veloce il vento mi porta via la mano!

GL: Ecco, quella spinta verso l'alto è la **portanza**.

Quel che succede è che il vento, trovando l'ostacolo del palmo della tua mano, viene deviato in basso, cosicché, per reazione, la mano subisce una spinta verso l'alto.

GM: E avrai anche visto che, finché l'inclinazione della mano resta piccola, più la aumenti e più forte è spinta verso l'alto, cioè la portanza.

Tuttavia quando quest'angolo di inclinazione, detto "**angolo d'attacco**", aumenta oltre un certo limite, la spinta in alto praticamente scompare e la tua mano viene spinta soltanto indietro, come è evidente quando la metti perpendicolare al flusso dell'aria.

C: Sì, in quel caso infatti il vento me la porta indietro!

GM: E questa forza che spinge indietro, opponendosi al moto della mano, è detta "**resistenza aerodinamica**".

C: Ok. Quindi, in pratica, mi state dicendo che un aereo funziona allo stesso modo della mia mano fuori dal finestrino: cioè il vento batte sul ventre delle ali e viene deviato in basso e, per reazione, l'aereo è spinto in alto.

GL: ...diciamo che è così, ma solo in parte: purtroppo questo effetto non è sufficiente per volare!

GM: Il segreto del volo, infatti, è nel **dorso** dell'ala, che contribuisce per più di due terzi alla spinta di portanza!

Breve stacco musica sottofondo

C: ...come come? Il segreto dell'ala starebbe nel dorso? Ma, scusa, se la mia mano è inclinata in alto il vento le batte solo sul palmo, non può battergli pure sul dorso!

GL: Verissimo. Ma per generare portanza, l'aria deve **scorrere, non battere**, sul dorso di un'ala! E il modo in cui scorre dipende da com'è fatta la sezione dell'ala, il cosiddetto "**profilo alare**", che in pratica è la forma dell'ala vista di lato.

GM: Se ci fai caso, ti accorgerai che le ali di un aeroplano non sono affatto piatte come una tavola di legno, ma sono arrotondate sul bordo anteriore, bombate sul dorso, e assottigliate sul bordo posteriore.

Questo tipo di curvatura del profilo alare è studiata apposta per **deviare** verso il basso anche l'aria che scorre sul dorso e, soprattutto, per **accelerarla**.

C: ...uhm non ho capito: come farebbe la bombatura dell'ala ad accelerare l'aria?

GL: Te lo spiego con un'esperienza molto comune: quando innaffi il giardino con un tubo di gomma, se vuoi mandare l'acqua più lontano, strizzi col pollice l'apertura del tubo, così l'acqua esce più veloce.

Lo sai no?

C: Certo! ...voglio dire ...non l'ho mai fatto, ma ho visto che il giardiniere fa proprio così...

GM: Appunto. Questo succede perché dal tubo deve uscire, per ogni secondo, la stessa quantità d'acqua che in ogni secondo ci entra dal rubinetto.

C: ...per forza, è ovvio: tanta ne entra e tanta ne esce.

GM: Questa ovvietà in fisica si chiama "**principio di continuità della massa**" e stabilisce che "**se restringi il flusso di un fluido questo accelera nel passare attraverso la strettoia**".

GL: E lo stesso vale per l'aria. Per esempio, quando attraversi una porta l'aria è costretta ad aggirare il tuo corpo e a passare nello spazio ristretto tra te e la porta, dove deve per forza accelerare, come l'acqua nel tubo da giardino.

Per visualizzare questi movimenti, la fluidodinamica non segue le singole particelle d'aria, ma si limita a tracciarne i percorsi, detti "**linee di corrente**".

Questo metodo permette di visualizzare facilmente le zone dove il flusso si restringe o si allarga, perché sono quelle dove le linee di corrente si addensano o si separano.

C: Sì, è chiaro.

GM: Tornando agli aerei, il dorso bombato di un'ala che penetra nell'aria si comporta come il tuo corpo che attraversa la porta, costringendo il flusso d'aria ad accelerare per scavalcarlo.

C: Ok ho capito. Quindi il dorso bombato accelera l'aria. E perché questo farebbe volare gli aerei?

GM: Perché, secondo una legge fondamentale della fluidodinamica detta "**legge di Bernoulli**", "**lungo una linea di corrente, la pressione dell'aria è minore laddove il flusso è più veloce**".

Cosicché, alla maggiore velocità del flusso, accelerato dal profilo bombato sul dorso dell'ala, corrisponde una minore pressione dell'aria. Con la conseguenza che l'ala viene, per così dire, "risucchiata in alto" dalla differenza di pressione tra sopra e sotto.

In questo modo il dorso dell'ala può generare una portanza molto più grande di quella dovuta alla spinta dell'aria sul ventre.

C: Forte! Quindi, in definitiva, gli aerei volano grazie all'accelerazione dell'aria sul dorso di un'ala bombata!

GL: Esattamente.

Nota però che anche un'ala piatta, se è inclinata, costringe il flusso d'aria a restringersi e accelerare scavalcando il bordo anteriore, ma la portanza che se ne ottiene è molto modesta anche per grandi angoli d'attacco, a dispetto della enorme resistenza aerodinamica che ne deriva. Per questo le ali piatte funzionano, in pratica, soltanto con gli aerei di carta, che sono leggerissimi e vanno piano, mentre ogni altro aereo ha le ali bombate.

GM: Per contro, un'ala dal profilo bombato offrirebbe portanza pure se fosse orizzontale, ma anche qui è conveniente inclinarla leggermente, poiché la convessità del dorso fa sì che una piccola inclinazione aumenti molto la portanza, ma poco la resistenza.

Ma attenzione, se l'inclinazione aumenta oltre un certo limite il contributo alla portanza dato dal dorso dell'ala scompare del tutto, una situazione molto pericolosa, che prende il nome di "stallo".

GL: Dai, prova a riassumere quel che hai capito, per i nostri ascoltatori.

C: ...sì ...prima che mi vada via di mente!

Allora: Le ali di un aereo non sono piatte, ma hanno un profilo arrotondato sul bordo anteriore, bombato sul dorso e assottigliato sul bordo posteriore. Se l'ala è tenuta inclinata, in modo che il bordo anteriore sia più in alto di quello posteriore, il flusso d'aria che batte sul ventre viene deviato verso il basso, generando una spinta verso l'alto, sul ventre dell'ala, per il Principio di Azione e Reazione. Al contrario, il flusso d'aria che scavalca il bordo anteriore viene ristretto dalla convessità del profilo alare ed è costretto ad accelerare in base al Principio di Continuità della Massa. Quest'aria accelerata che scorre sul dorso ha una pressione minore di quella più lenta che batte sul ventre, come stabilisce la Legge di Bernoulli, cosicché l'ala è anche risucchiata in alto dalla differenza di pressione tra sopra e sotto, mentre l'aria in entrambi i casi è spinta in basso oltre il bordo posteriore dell'ala.

GL: Perfetto.

GM: L'hai spiegato meglio di noi!

Breve stacco musica sottofondo

C: Davvero affascinante questa fluidodinamica!

GL: E non è tutta qui! Finora abbiamo parlato soltanto dei principi di base, come quello di Bernoulli, la cui validità è limitata ad alcune condizioni piuttosto generali, che spesso non corrispondono alle situazioni reali anche in manovre comuni come la virata, o le fasi di decollo e atterraggio dei moderni aerei. Non considera per esempio la compressione dell'aria e il riscaldamento che ne deriva, o l'attrito dell'aria sulla superficie alare e molto altro.

GM: Per non parlare di tutta una serie di altri effetti fluidodinamici, come la deleteria resistenza aerodinamica dovuta ai vortici d'aria che si formano alle estremità delle ali, o il volo supersonico degli aerei militari che segue leggi fisiche molto diverse.

C: Accidenti, quanti effetti ci sono!

GM: La bravura dell'ingegnere aerodinamico moderno sta proprio qui: nell'ottenere **la massima portanza con la minima resistenza**, tenendo in conto di tutti questi effetti, in modo da ottenere le prestazioni migliori col minor consumo di carburante.

E' un po' la stessa cosa che avviene con le macchine da corsa, dove gli ingegneri disegnano profili aerodinamici per diminuire la resistenza dell'aria, anche se lì non si vuole una portanza verso l'alto, ma al contrario una spinta verso il basso, chiamata **"deportanza"**, che aumenta notevolmente l'aderenza al suolo. Non a caso avrai sentito dire che una macchina di Formula 1 è un po' "un aereo rovesciato"...

GL: Per riuscire nel suo intento il progettista può fare tante cose, ma soprattutto intervenire sulla forma del profilo alare.

Avrai notato per esempio che subito dopo il decollo un aereo di linea ritira i **"flaps"**, o **"ipersostentatori"**, che sono quelle strutture mobili che escono dal bordo posteriore dell'ala aumentandone la superficie e curvandola ulteriormente. In tal modo il pilota può variare il profilo alare da una forma più adatta al decollo a una forma più adatta al volo di crociera. Solo con un profilo alare variabile è possibile garantire l'ampio intervallo di velocità necessario a permettere decolli e atterraggi sicuri.

GM: In realtà, gli stessi principi fisici che abbiamo visto sulla sezione bidimensionale dell'ala, agiscono su tutto il volume d'aria che circonda un aereo, fino a distanze di molti chilometri, generando movimenti complessi di grosse masse d'aria!

Per gestire questa complessità la rappresentazione a linee di corrente non è più sufficiente e così, nella moderna teoria del volo, il movimento tridimensionale dell'aria è descritto con una **sovrapposizione di vortici** d'aria.

C: Mamma mia! Certo che tutto questo non poteva proprio saperlo Leonardo da Vinci, quando tentava di costruire una macchina per volare!

GL: Eh già! Leonardo, tra il 1400 e il 1500, tentò di imitare il volo degli uccelli, andando contro l'opinione corrente che ciò che è più pesante dell'aria non potesse volare. Ma fu soltanto nell'800 che George Cayley definì l'attuale schema di un aeroplano e Otto Lilienthal riuscì ad alzarsi in volo con dei piccoli alianti simili ai moderni deltaplani. Finché, nei primissimi anni del '900, i fratelli Wright costruirono il primo aereo a motore e capirono come fare a direzionarlo in modo controllato.

C: Fantastico!

Rombo di aereo.

FINE