

L'aerodinamica, come suggerisce il suo nome, studia e descrive il moto dell'aria e le forze che questa esercita sui corpi che ne sono investiti: è dunque la disciplina che spiega il comportamento di un'ala in volo (a dire il vero questa materia spiega anche il comportamento di qualsiasi altro oggetto che viaggia nell'aria).

Bisogna però chiarire subito che l'aerodinamica, così come è esposta in questo capitolo, è riferita ad **un profilo alare ideale**: non ci stupiremo, quindi, nel notare che alcune situazioni sono difficilmente 'trasportabili' alla realtà del volo libero (che, aerodinamicamente parlando, sfrutta ali nient'affatto ideali): deltaplano e parapendio, infatti, hanno profili alari flessibili e deformabili, ed il pilota (che costituisce la maggior parte del peso della 'macchina volante') è esterno al profilo alare stesso (nel caso del parapendio esso è molto distante dall'ala). In altre parole, il Volo Libero presenta **alcune importanti eccezioni** rispetto alle regole generali dell'aerodinamica ma, proprio per comprendere bene tali eccezioni, bisogna aver capito con esattezza la regola.

Una seconda considerazione, doverosa, è che ci occuperemo soltanto della aerodinamica che gli esperti chiamano **di bassa** (velocità), dal momento che le nostre possibilità di giungere a velocità vicine o superiori a quelle del suono (quando accadono fenomeni aerodinamici diversi da quelli che studiamo noi) sono assolutamente nulle.

La terza ed ultima considerazione è che ci limiteremo alla **aerodinamica del volo veleggiato** e non di quella con trazione artificiale (motore).

Riepilogando, quindi, ci apprestiamo a conoscere le regole generali dell'aerodinamica del volo veleggiato (che è aerodinamica 'di bassa'), consci del fatto che, in alcuni casi, tali regole non si applicano direttamente alle ali leggere. Nell'ambito dei rispettivi capitoli cercheremo di capire in maggior dettaglio l'aerodinamica del deltaplano e del parapendio e le ragioni di alcuni comportamenti particolari di queste 'macchine volanti'.

CONCETTI DI FISICA UTILIZZATI NEL CAPITOLO

Accenneremo ora ad alcuni concetti fondamentali di fisica che utilizzeremo in questo capitolo ed in quello di meteorologia: dobbiamo quindi conoscerli, almeno a grandi linee, poiché costituiscono i 'vocaboli' della lingua che ci apprestiamo a studiare.

FORZA

I 4 PARAMETRI DELLE FORZE

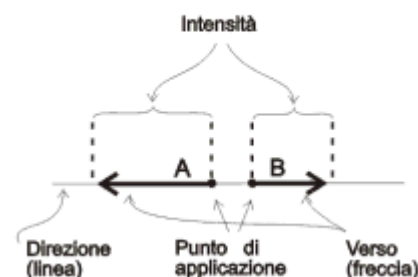


Figura 3-1. Le due forze A e B hanno diversa intensità ($A > B$), uguale direzione ma senso opposto.

Se un oggetto inanimato giace, per i fatti suoi, in una condizione di equilibrio e non interviene nulla, esso resta come è, e non si sogna di spostarsi. Perché il suo stato cambi deve intervenire qualcosa: questo qualcosa è, necessariamente, **una forza**. Si pensi ad una pallina da golf, placidamente adagiata sull'erba: quando le viene applicata, con un apposito bastone, la forza sufficiente, essa schizza via, spostandosi anche di qualche centinaio di metri (a seconda dell'intensità del colpo) nella direzione della forza stessa. La forza, in fisica, può dunque essere definita come la causa capace di modificare lo stato di quiete o di moto di un corpo.

Come intuitivamente sappiamo, una forza è caratterizzata da un **punto di applicazione** (nell'esempio la pallina da golf), da una **intensità** (da debole a forte), da una **direzione** (ad esempio asse Nord-Sud) e da un **verso** (verso Nord oppure verso Sud).

Una forza è dunque completamente definita da questi quattro parametri.

Quando vengono disegnate, le forze sono rappresentate da frecce: il punto di applicazione coincide con l'origine della freccia, l'intensità è proporzionale alla lunghezza della freccia medesima, la direzione è data dall'asse della freccia ed il verso è indicato dalla 'punta' (per intendersi si possono avere forze opposte che hanno la stessa direzione ma verso opposto). Le grandi forze che incontreremo e studieremo sono la pressione (che, ad essere precisi, è una forza su una superficie), il peso (forza di gravità), la forza aerodinamica e le sue 'ancelle' portanza e resistenza, la spinta (come quella generata da un motore), la forza centrifuga e quella centripeta. Anche se non conosciamo ancora l'esatto significato di questi termini, già sappiamo che si tratta sempre di forze, cioè di entità in grado di influenzare il movimento (o il riposo) degli oggetti che le subiscono.

COMPOSIZIONE E SCOMPOSIZIONE DELLE FORZE

Dobbiamo tenere a mente che è **sempre** possibile scomporre una forza in due o più forze ad essa equivalenti (dette **componenti**), così come è possibile, al contrario, comporre forze differenti (purchè applicate ad uno stesso corpo) in un'unica forza (detta **risultante**). Per fare ciò si usa la tecnica del parallelogramma (che è poi una figura geometrica con i lati, a due a due, paralleli fra loro); valgono due esempi pratici.

COMPOSIZIONE

Si immagini una barca su di un fiume trainata da due cavalli che camminano sulle rive opposte (Fig. 3-2). I cavalli esercitano due forze distinte A e B, applicate allo stesso punto (la prua della barca) ma aventi direzioni e verso differenti.

La barca si muoverà secondo una terza direzione C: se le frecce che indicano le forze A e B sono ben disegnate (tendendo conto della esatta intensità) è allora molto semplice ottenere direzione, verso ed intensità della forza risultante. Per farlo basta tracciare, partendo dalla punta di A, una linea parallela a B; allo stesso modo, poi, si traccia, partendo dalla punta di B, una linea parallela ad A: ecco tracciato il nostro parallelogramma. Unendo il punto di applicazione (che nel nostro esempio non cambia) con il punto di incontro tra le linee tracciate, otteniamo proprio la risultante; il disegno ci dice direzione, verso ed intensità del movimento della nave (o se preferite, delle due forze A e B applicate contemporaneamente).

Un secondo modo di esprimere la stessa cosa è il seguente: quando due forze vengono applicate allo stesso punto, questo subisce, in pratica, una sola forza che è la risultante delle prime due (ed eventualmente si sposta di conseguenza).

SCOMPOSIZIONE

Al contrario una singola forza A può venire scomposta in due forze C e D, che sono applicate nello stesso punto ma che mostrano direzione, verso, ed intensità differenti.

Attenzione però, mentre esiste un solo modo per comporre due forze, trovandone la risultante, **esistono infiniti** (letteralmente) **modi di scomporre una forza in due componenti** (Fig. 3-2). Questo significa che, quando si deve scomporre una forza, si può 'scegliere' secondo quali assi scomporla: come vedremo, nell'aerodinamica del volo planato, i due assi prescelti sono rappresentati dalla direzione del vento relativo e dall'asse a questo perpendicolare.

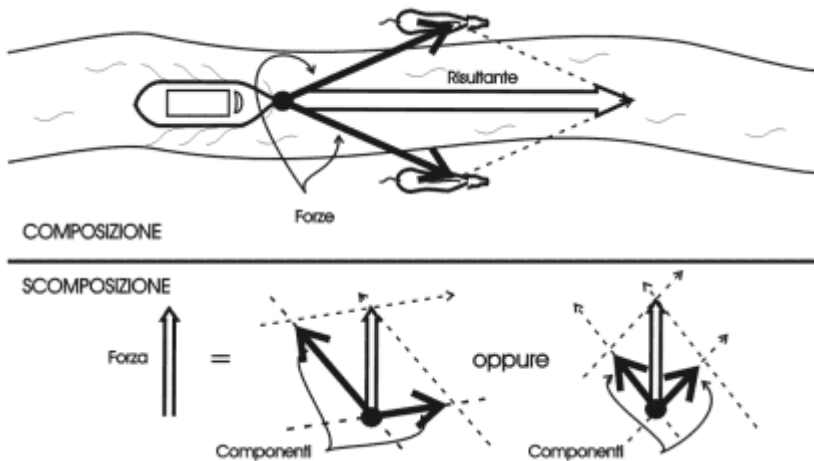


Figura 3-2. Due forze che agiscono nello stesso punto possono venire composte in una sola forza a loro equivalente. Al contrario ogni forza può essere scomposta in altre due con direzioni scelte arbitrariamente.

CAMPO

Nella realtà l'aria non è mai ferma, la sua pressione non è mai costante e la temperatura varia in continuazione; tuttavia, se vogliamo capire qualcosa degli effetti che l'aria esercita su un oggetto dobbiamo isolare questi effetti da altri dovuti, poniamo, al sole, al vento o ai moti turbolenti.

Per fare ciò si immagina di poter disporre di una 'zona di spazio' dove non accade nulla di imprevisto e dove agiscono soltanto le forze che desideriamo studiare: questo spazio "irreale" (a volte faticosamente riprodotto in laboratorio) viene chiamato **campo**. Il campo dunque è un'**entità teorica** utile per lo studio degli effetti delle forze su corpi isolati.

PRESSIONE

La pressione è la forza esercitata su una superficie, con direzione perpendicolare a questa. Una particolare pressione che riveste notevole importanza in aerodinamica (e come vedremo anche in meteorologia) è la pressione esercitata, su tutte le superfici, dall'aria che circonda la superficie terrestre, cioè la **pressione atmosferica**, e noi la utilizzeremo come esempio per comprendere alcuni aspetti generali della pressione stessa.

La pressione atmosferica è relativamente costante (pur oscillando intorno a valori medi) e noi non ci accorgiamo nemmeno che esiste, fino a quando essa varia bruscamente (ad esempio cambiando rapidamente quota) e si fa sentire.

Anche se la pressione atmosferica è, in un certo senso, 'arbitraria' (se vivessimo in un'atmosfera di elio essa sarebbe ben inferiore), il suo valore medio, presente sulla terra al livello del mare (circa 760 mmHg per ogni centimetro quadrato), viene fatto pari ad 1 ATM (atmosfera, appunto). Gonfiare un pneumatico a 2,5 ATM significa quindi immettere una pressione pari a due volte e mezzo quella terrestre. Anche se non esistono (né possono esistere) pressioni negative, l'abitudine di vivere immersi in 1 ATM ci ha influenzato e parliamo dunque di **sovrappressioni** per pressioni superiori a 1 ATM e di **depressioni** (o, impropriamente di pressioni negative) per pressioni inferiori a 1 ATM.

La figura 3-3 porta tre esempi del modo in cui due comparti con pressioni diverse influenzano il movimento di un separatore mobile posto tra loro.

Anche se 'sembra' che in un caso lo stantuffo sia stato 'spinto' dalla sovrappressione mentre

nell'altro esso sia stato 'risucchiato' dalla depressione, in entrambi i casi il 'lavoro' è stato compiuto dalla **differenza di pressione** tra i due comparti.

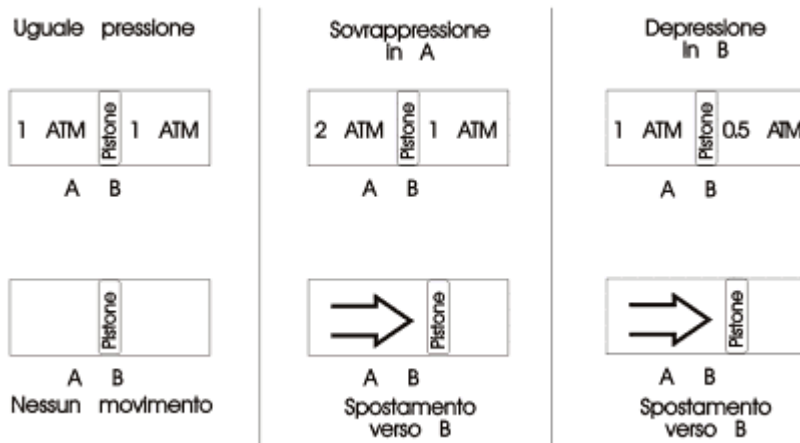


Figura 3-3. Ciò che determina lo spostamento del separatore mobile è la differenza di pressione tra A e B: ciò può essere ottenuto sia determinando una sovrappressione in A sia riducendo la pressione in B.

PRESSIONE STATICA E

Fin qui tutto bene. Meno intuitivo è il legame che esiste tra pressione statica e pressione dinamica, ed infatti la scoperta di tale legame ha fruttato a Daniele Bernoulli una fama eterna; egli era un fisico del 700 che, dopo infiniti studi e prove, dichiarò: **'la somma della pressione statica più quella dinamica è costante!'** (in realtà Bernoulli, nipote dell'altrettanto illustre e scientifico Nicola, disse qualcosa di molto più complesso, riferito ai liquidi incompressibili, ma accettiamo questa enorme semplificazione, utile per comprendere quanto segue). Quando l'aria è ferma la pressione dinamica non esiste (è uguale a zero): tutta la pressione disponibile è in forma statica (contro le pareti interne). Man mano che l'aria viene messa in movimento, e scorre nel tubo, si genera pressione dinamica (contro la mano fuori dal tubo). Se è vero che la somma di questa nuova pressione con quella statica non varia, significa che la pressione statica è diminuita, tanto di più quanto più è aumentata quella dinamica.

Sarà vero? Per sincerarsene basta un semplice esperimento. Si prendano due fogli di carta e li si lascino penzolare tra le dita, paralleli tra loro.

I due fogli delimitano tre zone: la zona compresa tra i fogli stessi e le due zone esterne (destra e sinistra). In tutte tre le zone esiste una identica pressione atmosferica (pressione statica) e quindi i fogli non si muovono.

Soffiamo ora tra i fogli (meglio dall'alto verso il basso) e, se abbiamo fatto le cose bene, notiamo che questi, anziché allontanarsi si avvicinano.

È infatti accaduto che, mentre sulle superfici esterne dei due fogli, la pressione dell'atmosfera non è cambiata, all'interno l'aria, muovendosi, ha ridotto la sua pressione statica sulle superfici interne. Se qualcuno, mentre noi soffiamo, pone la sua mano nella direzione del soffio, percepirà la pressione dinamica che si è creata ex novo. Quel Bernoulli ... aveva proprio ragione!

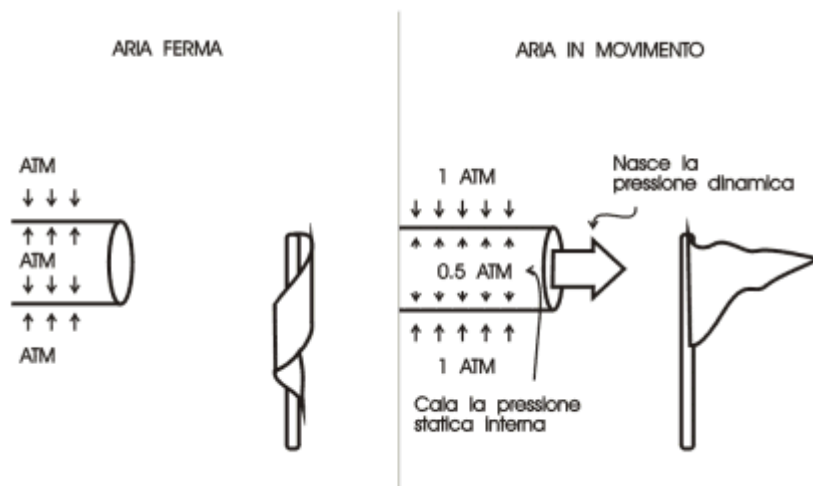


Figura 3-4. La pressione statica, all'interno di un tubo di gomma, è pari a quella atmosferica. Quando l'aria è posta in movimento si genera una pressione dinamica che cresce a scapito di quella statica.

PRESSIONE DINAMICA

La pressione che l'aria esercita sulle pareti interne di un pneumatico è una pressione statica. In altri termini è una pressione che l'aria esercita **senza muoversi**. Quando invece l'aria viene posta in movimento, si genera la pressione dinamica (o cinetica), che nasce e si rafforza a spese di quella statica (che diminuisce).

Facciamo un esempio, necessariamente semplificato (Fig. 3-4). Immaginiamo un lungo tubo cavo, come quello utilizzato dai benzinai per gonfiare le gomme: su tutte le sue superfici agisce la pressione atmosferica (1 ATM); all'interno la pressione è determinata dal 'cilindro' di aria che sta dentro al tubo, mentre all'esterno è dovuta all'aria circostante; si tratta in entrambi i casi di pressione statica.

Quando però il compressore mette in movimento l'aria si genera una nuova pressione che prima non esisteva: la percepiamo molto bene se dirigiamo il getto d'aria contro il palmo della mano. Questa pressione, dovuta al movimento dell'aria è la pressione dinamica.

LA LEGGE DI BERNOULLI

IL TUBO DI VENTURI

Mezzo secolo più tardi, Giovanni Battista Venturi, trovò la prima applicazione pratica al teorema del suo illuminato collega e costruì un tubo in grado di misurare la velocità di scorrimento di un fluido, sfruttando proprio i rapporti tra pressione statica e velocità.

Scusandoci con gli appassionati ed i fisici usiamo ancora una volta la scure della semplificazione e facciamo dire anche a Venturi qualcosa di più banale rispetto a ciò che in realtà disse: "l'aria che viene forzata attraverso una strozzatura subisce una accelerazione che è proporzionale alla velocità iniziale dell'aria stessa". Allo stesso modo la pressione statica, a livello della strozzatura, si riduce tanto più quanto maggiore è la velocità iniziale.

Reincontreremo il signor Venturi parlando di meteorologia (effetto Venturi delle valli strette) e di strumenti (tubo di Venturi in alcuni anemometri).

TUBO DI VENTURI

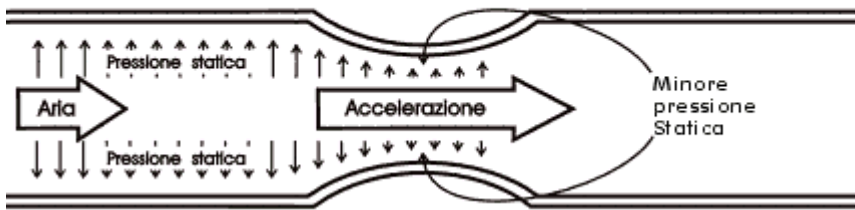


Figura 3-5. Il tubo di Venturi è un tubo con un restringimento: a questo livello l'aria accelera e la pressione statica che essa esercita sulle pareti è quindi minore rispetto al resto del tubo