

LE FORMULE ED I DIAGRAMMI

Come abbiamo visto, la possibilità di variare la velocità di un veleggiatore è legata indissolubilmente all'angolo di incidenza: perchè?

Perchè è proprio l'angolo di incidenza ad influenzare direzione ed intensità della forza aerodinamica fondamentale e, conseguentemente, delle sue due componenti, portanza e resistenza.

Quanto detto fin'ora può essere rappresentato da poche formule, apparentemente complesse ma praticamente semplici, e da tre diagrammi che possono dirci molto se li sappiamo leggere.

TRE FORMULE ...

Già sappiamo che la portanza (**P**) e la resistenza (**R**) rappresentano la scomposizione della forza aerodinamica fondamentale e non ci stupiremo quindi di trovare le loro due formule praticamente identiche, essendo di fatto impossibile influenzare la portanza senza alterare la resistenza e viceversa.

$$\mathbf{P} = \mathbf{C_p} \times \mathbf{S} \times \mathbf{1/2} \mathbf{R_o} \times \mathbf{V^2}$$

$$\mathbf{R} = \mathbf{C_r} \times \mathbf{S} \times \mathbf{1/2} \mathbf{R_o} \times \mathbf{V^2}$$

L'efficienza (**E**) è data, invece, dal loro rapporto:

$$\mathbf{E} = \mathbf{P/R}$$

oppure

$$\mathbf{E} = \mathbf{C_p/C_r}$$
 (dal momento che tutti gli altri valori sono comuni alle due formule)

Dove:

Cp= coefficiente di Portanza

Cr= coefficiente di Resistenza

S = superficie

Ro = densità dell'aria

V = velocità

Già a questo punto qualche lettore potrebbe inquietarsi: infatti abbiamo più volte sottolineato l'importanza dell'angolo di incidenza e questo "signore del volo" non compare nelle formule! In realtà esso si "nasconde" dentro i due coefficienti Cp e Cr, ma portiamo pazienza ancora qualche attimo e (speriamo) tutto diverrà più chiaro.

Per ora limitiamoci ad osservare che sia P che R derivano dal **prodotto di 4 fattori**: è dunque chiaro che l'aumento di uno o più di questi farà aumentare il valore finale di P e di R.

Vediamo in maggior dettaglio, i quattro fattori:

S è la superficie dell'ala e non può essere modificata in volo.

Ro è la densità dell'aria. Alle nostre altezze di volo varia in modo poco apprezzabile; tuttavia, decollando da una cima di 4000 mt, Ro si farà sentire: essendo minore la densità dell'aria saranno minori anche Portanza e Resistenza, a parità di altre variabili. Si dovrà quindi correre più velocemente (e più a lungo) per generare la portanza necessaria a mettere in volo l'apparecchio.

V è la velocità. Questa, comparando al quadrato, ha una notevole importanza nella formula, tuttavia, parlando del Volo Libero, bisogna sottolineare che le variazioni di velocità sono molto contenute (tra i 30 e gli 80 Km/h) a differenza di quanto accade per altri velivoli (velocità varianti da 200 a 2400 km/h). Inoltre l'unico momento in cui ci è consentito variare la velocità mantenendo invariati gli altri fattori (e soprattutto l'angolo di incidenza!) è durante la corsa di decollo, quando i muscoli delle gambe forniscono la spinta necessaria.

Cp e **Cr** sono i coefficienti di portanza e di resistenza. Poichè gli altri elementi compaiono, identici, in entrambe le formule, il confronto tra portanza e resistenza si riduce ad un confronto tra questi due coefficienti.

Cosa sono? Sono **valori numerici puri** (es. 0.33), propri di un dato profilo alare, che **variano**, anche di molto, **al variare dell'angolo di incidenza!**

In linea di massima possiamo dire che entrambi aumentano o diminuiscono (sia pur in modo differente) all'aumentare o al diminuire dell'angolo di incidenza stesso. Per una visione più dettagliata non ci resta che tracciare queste variazioni su un pezzo di carta costruendo alcuni diagrammi.

... E TRE DIAGRAMMI

DIAGRAMMA Cp-Cr

Diciamo subito che il diagramma Cp-Cr non è **un** diagramma, ma sono **due**: il diagramma Cp ed il diagramma Cr, ognuno con i suoi assi. Poichè l'asse orizzontale è identico, per comodità (qualcuno dice per pigrizia) i due diagrammi vengono di solito rappresentati insieme ma, se questo complica la comprensione, si possono benissimo esaminare separatamente. Concentriamo la nostra attenzione su Cp.

In orizzontale poniamo gli **angoli di incidenza** "possibili", quelli compresi cioè, tra 0 (presente per amor di teoria) e circa 30 gradi.

In verticale (ed a sinistra dell'asse) riportiamo i **possibili valori di Cp**.

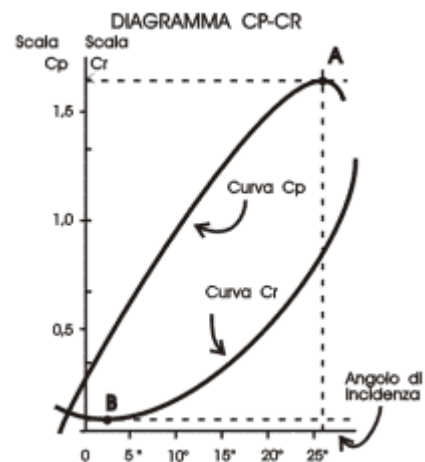
A questo punto, compiendo (per ogni ala) una serie di determinazioni sperimentali (idealmente in una "galleria di vento"), potremo ricavare i dati che ci servono per disegnare la **curva di Cp**.

Scopriremo così che, volando con un'incidenza di 5 gradi, Cp vale 0,45 (e disegniamo il punto corrispondente), volando con un'incidenza di 10 gradi, Cp vale 0,80, e così via fino all'incidenza di 26 gradi che dà il massimo valore di Cp (diciamo 1,65).

Ripetiamo adesso lo stesso procedimento e ricaviamo (e disegniamo) i diversi valori di Cr, ad ogni angolo di incidenza.

Abbiamo ottenuto anche noi un doppio grafico (due in uno) che ci permette già alcune considerazioni estremamente importanti:

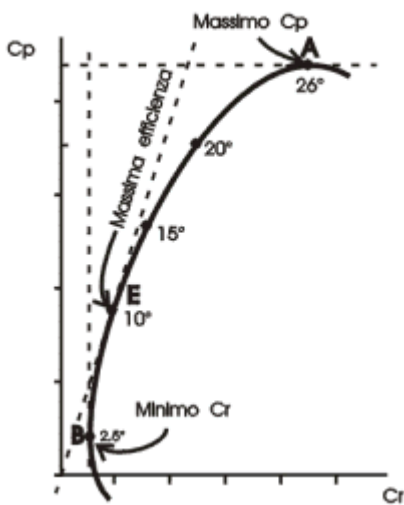
1. **Cp (cioè la portanza) cresce progressivamente**, con il crescere dell'angolo di incidenza, **fino al punto A**, (portanza massima che nel nostro esempio corrisponde ad un angolo di incidenza di 26 gradi); è questo l'angolo al quale l'ala vola con la velocità di minima caduta verticale.
2. **Oltre tale angolo** la portanza cala di poco e poi la curva **scompare!** In altri termini, la portanza crolla a zero e l'ala non vola più (si verifica cioè uno stallo).
3. Anche **Cr cresce**, sia pur in modo diverso, **con il crescere dell'angolo di incidenza**, ma essa non parte da zero, confermando che un corpo in movimento genera sempre un poco di resistenza.
4. **Il valore di Cr è minimo nel punto B**, che nel nostro esempio corrisponde ad un angolo di incidenza di 2,5; è questo l'angolo di attacco al quale l'ala vola alla sua **massima velocità**.



3-16. Diagramma Cp-Cr.

Figura

DIAGRAMMA POLARE



Figura

3-17. Diagramma Polare.

(ali diverse hanno polari diverse).

DIAGRAMMA POLARE

Poichè però, variando l'angolo di incidenza variano **contemporaneamente** i valori di C_p e di C_r , e dal momento che a noi interessa soprattutto il loro rapporto (cioè l'efficienza ai diversi angoli di attacco), risulta più utile costruire un altro diagramma che riporti in verticale (ordinate) i valori di C_r ed in orizzontale (ascisse) quelli di C_p . Gli angoli di attacco vengono invece indicati **dentro al diagramma**, consentendoci di costruire la curva.

Ad esempio a 2,5 gradi si avrà un certo valore di C_p ed uno di C_r : nel punto di incontro tra tali valori segneremo proprio 2,5. Lo stesso faremo per 10, 15, 20 e 26 gradi, ottenendo la nostra curva.

Tale diagramma è detto **polare** e rappresenta le caratteristiche aerodinamiche di una particolare ala

DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ

Gli stessi angoli di incidenza possono, infine, essere riportati anche in un terzo (ed ultimo) grafico, detto delle velocità.

Questo è, di solito, il diagramma meglio compreso, perchè coinvolge qualcosa di più immediata comprensione, la velocità di volo e le sue due componenti: la **velocità orizzontale** e quella **verticale**.

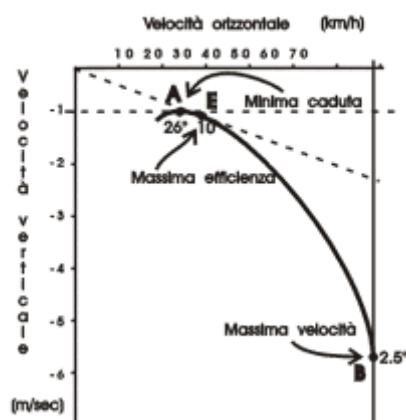
Poniamo dunque in orizzontale proprio la velocità orizzontale (espressa in Km/h) ed in verticale quella verticale (in metri al secondo); poichè in aria calma un veleggiatore scende (è dotato cioè di velocità verticale negativa) useremo, nel nostro grafico, la parte inferiore dell'asse delle ordinate e numeri negativi.

Quest'ultimo diagramma ha il vantaggio di dirci, per ogni data ala, **quanto avanza e quanto scende**, ad ogni possibile angolo di incidenza.

Sia sul diagramma Polare che su quello delle Velocità (che sono poi espressioni grafiche diverse dello stesso fenomeno) si possono individuare alcuni punti rilevanti:

1. **Il punto A** indica il C_p massimo (è molto vicino alla velocità di stallo), corrispondente alla **velocità di minima caduta**. Il diagramma delle velocità ci dice che questo si realizza (sempre con angolo di attacco pari a 26) con una velocità orizzontale di circa 29 Km/h e con una velocità verticale (tasso di caduta) di -1 m/sec.
2. **Il punto B** indica che la resistenza (C_r) è minima con un'incidenza di 2,5, corrispondente alla **velocità massima**. Nel diagramma delle velocità vediamo che questo comporta una velocità orizzontale di circa 70 Km/h con una velocità verticale (tasso di caduta) di -5,2 m/sec.
3. **Il punto E** indica il miglior rapporto tra C_p e C_r , cioè la **massima efficienza**, ottenibile con un'incidenza di 10 gradi (è il punto nel quale una retta che parte dall'origine è tangente alla curva). Il diagramma delle Velocità mostra che questo si realizza (sempre

DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ



Figura

3-18. Diagramma delle Velocità.

con angolo di attacco pari a 10 gradi) con una velocità orizzontale di circa 38 Km/h e con una velocità verticale (tasso di caduta) di -1,3 m/sec.

Vale la pena di ricordare che la velocità orizzontale è limitata dalla resistenza (alta resistenza=bassa velocità) per cui può essere espressa come **l'inverso della resistenza** stessa ($1/C_r$), mentre la velocità verticale è limitata dalla portanza (alta portanza=bassa velocità verticale) per cui può essere espressa come **l'inverso della portanza** ($1/C_p$).

RIASSUMENDO E CONCRETIZZANDO

L'unica forma di controllo che possiamo esercitare, in volo, sull'asse longitudinale, è la variazione dell'angolo di incidenza.

Con il crescere dell'incidenza, aumentano sia C_p (fino allo stallo) che C_r : in altre parole l'apparecchio scende di meno ed avanza di meno.

Con il diminuire dell'incidenza, diminuiscono sia C_p che C_r : l'apparecchio vola più velocemente, ma scende anche di più.

VELOCITÀ RELATIVA ALL'ARIA O AD SUOLO

Tutte le osservazioni fatte in tema di velocità assumevano un'aria completamente calma (quale si realizza all'alba di un giorno invernale senza vento); in queste condizioni, la velocità dell'apparecchio rispetto all'aria e la sua efficienza, coincidono con la velocità al suolo e con la efficienza-suolo.

Il discorso, ovviamente, cambia in presenza di movimenti orizzontali (vento) o verticali (ascendenze o discendenze) dell'aria.

Non dobbiamo mai dimenticare, infatti, che l'ala in volo **è solidale con il vento e non con il suolo**. Di particolare interesse pratico (oltre che teorico) è l'analisi di come varia l'efficienza-suolo nelle diverse situazioni.

VENTO CONTRARIO

Se si vola controvento, la massima efficienza rispetto al terreno verrà ottenuta **aumentando la velocità**, tanto di più quanto maggiore è il vento frontale; è infatti evidente che, se la velocità di massima efficienza del nostro apparecchio in aria calma è pari a 30 Km/h e ci troviamo a volare con un vento contrario pari anch'esso a 30 Km/h, la nostra efficienza sul terreno sarà nulla (nessun avanzamento); incrementando la velocità otterremo un avanzamento ed innalzeremo, quindi, la nostra efficienza-suolo.

Attenzione però: la polare dei deltaplani (specie di quelli meno avanzati) è tale per cui ad alte velocità la traiettoria di volo diviene molto ripida (aumenta la componente di discesa): quando l'anemometro segna una velocità di 60 Km/h, la componente orizzontale (di avanzamento) sarà sicuramente inferiore (il discorso vale ancora di più per i perpendio). Potrà quindi accadere, con venti sostenuti, di accelerare al massimo ed ottenere soltanto di incrementare la discesa, quindi, **anche per questo motivo, bisogna assolutamente evitare di trovarsi in volo con venti superiori alla velocità di massima efficienza dell'apparecchio** e non, come si potrebbe pensare, con venti superiori a quella massima raggiungibile (anemometrica).

DISCENDENZA

In presenza di una massa d'aria discendente valgono considerazioni analoghe; anche in questo caso è **necessario accelerare** in modo direttamente proporzionale alla discendenza incontrata, ricordando anche in questo caso i problemi connessi con un aumento della velocità di discesa. In tal modo, oltre a migliorare l'efficienza-suolo, ridurremo anche il tempo di permanenza nella zona di discendenza.

VENTO A FAVORE

In presenza di vento a favore la velocità di massima efficienza-suolo si avvicina a quella di minima caduta: più a lungo restiamo in volo all'interno di una massa d'aria che avanza, maggiore sarà la nostra efficienza riferita al suolo.

ASCENDENZA

Anche in questo caso la velocità teoricamente migliore è quella di **minima caduta**, in modo da permanere nella ascendenza e di salire con il migliore tasso possibile.

Lo sfruttamento delle ascendenze, infatti, prevede la capacità di compiere virate ben coordinate alla velocità di minima caduta, restando all'interno della massa d'aria che sale.