

Traduzione dell'articolo "CLIMB PERFORMANCE" di Ed Kolano, tratto dalla rivista Sport Aviation di settembre 2000.

Il miglior rateo di salita dipende dalla potenza e il migliore angolo di salita dipende dalla trazione.

## PRESTAZIONI DI SALITA

### SOMMARIO

L'autore discute il meccanismo della salita in quota del velivolo, mostrando anche le relazioni matematiche relative, per chiarire quali sono i parametri che influiscono sulla velocità ascensionale e sull'angolo di salita, quali sono i relativi vantaggi, sempre avendo in mente la sicurezza.

---

Nel numero di Agosto di "Test Pilot", abbiamo continuato a discutere gli aspetti importanti del primo volo, ponendo delle domande provocatorie riguardo alla vostra valutazione e alla vostra capacità nella preparazione al vostro primo volo. Abbastanza provocatorie per voi, si spera, per sfidare voi stessi nella preparazione prima di iniziare il volo. Vi abbiamo proposto una dozzina di elementi organizzativi per la costruzione della vostra check list di volo, con fonti di informazioni aggiuntive per aiutarvi a preparare il vostro gran giorno.

Questo mese, ritorniamo alle prove delle prestazioni, introducendo quella di salita. Affronteremo quel po' di teoria per dare un senso alle procedure di prova e, nel prossimo mese, discuteremo le tecniche della prova in volo e come trasformare i dati di prova in utili grafici e tabelle prestazionali.

A meno che non stiate costruendo un veicolo che sfrutti l'effetto suolo, come il Caspian Sea Monster che vola veloce e pochi piedi sull'acqua, voi dovete salire in quota. Non importa quanto lontano può portarvi il volo o quanto in alto volete volare in crociera, ogni volo inizia con una salita. Molti velivoli hanno sufficiente potenza per farci stare tranquilli in questa fase importante del volo. Per esempio, spesso noi impostiamo la velocità di salita basata sulla nostra visuale oltre la prua, e può essere corretto per una salita lunga. Guardare cosa c'è davanti è, naturalmente, una buona cosa. Il raffreddamento del motore è, di solito, migliore quando saliamo velocemente e raggiungiamo la quota di crociera.

Ma qualche volta quell'ostacolo di 50 ft, vicino alla fine della pista, è più alto di 50 ft. Quale velocità consente l'angolo di salita più elevato per il velivolo? E che fare se il motore del vostro velivolo ha qualche problema un minuto o due dopo il decollo? Non vorreste avere la massima quota sotto di voi? Conoscere la velocità che dà il massimo angolo di salita del velivolo ( $V_X$ ) e quella che dà il massimo rateo di salita ( $V_Y$ ) è più importante della semplice informazione - costituisce la vostra sicurezza. I velivoli di produzione hanno delle tabelle o dei diagrammi di salita, basati su prove dettagliate di velivoli rappresentativi della flotta. A meno che il velivolo del vostro kit o del progetto sia esattamente uguale a quello che l'azienda ha usato per le prove di volo, le prestazioni in salita del vostro saranno differenti. Le prove in volo sono il mezzo per determinare le  $V_X$  e  $V_Y$ , e gli angoli associati e i ratei, del vostro esemplare unico. Queste prove vi consentiranno di conoscere angoli e ratei di salita per altre velocità, che vi saranno utili per pianificare i vostri viaggi.

$V_X$  e  $V_Y$  sono differenti (sono velocità sulla traiettoria ndt). La fig. 1 mostra due velivoli dopo 30 secondi dal decollo dalla stessa posizione sulla pista. Il velivolo Y vola a  $V_Y$  ed è arrivato più lontano e ha guadagnato una quota maggiore del velivolo X. L'angolo maggiore della salita del

velivolo X è stato raggiunto a una velocità inferiore  $V_X$ .  $V_X$  è sempre inferiore a  $V_Y$ , eccetto che alla tangenza teorica, dove sono uguali.



La figura 2 mostra gli stessi velivolo al loro passaggio sui 50 ft. Il velivolo X, sempre alla  $V_X$ , ha più quota del velivolo Y, alla  $V_Y$ , quando è passato sull'ostacolo di 50 ft. Ha impiegato più tempo, perché vola a una velocità  $V_X$  più bassa.



Le due velocità sono differenti perché la salita rapida ( $V_Y$ ) dipende dalla potenza, mentre la ripida ( $V_X$ ) dalla trazione. Pertanto, esse dipendono dall'eccesso di potenza e trazione (chi ha qualche dimestichezza con la matematica, veda la pagina in fondo all'articolo).

Ogni velivolo deve produrre una certa quantità di potenza e di trazione per mantenere il volo livellato e questi requisiti sono differenti per differenti velocità. La figura 3 mostra come la potenza necessaria e la trazione necessaria (resistenza) variano con la velocità in volo livellato.

Massima potenza e trazione, che motore/elica sono capaci di produrre, variano anche con la velocità, e sono riportate in figura 3 come potenza disponibile e trazione disponibile. Per il volo livellato, voi riducete il gas fino a che potenza disponibile e necessaria si uguagliano, per quella particolare velocità. Quando la disponibile supera la richiesta, la differenza in eccesso determina la salita del velivolo, se mantenete la velocità sulla traiettoria.

Il rateo di salita dipende dal dislivello di potenza, cosicché  $V_Y$  è la velocità per la quale si sviluppa il massimo dislivello di potenza, tipicamente  $1,4 V_S$  per i piccoli velivoli. Da notare che

questa velocità non corrisponde né alla massima potenza disponibile né alla minima potenza necessaria; è la velocità dove è massima la differenza tra le potenze.

L'angolo di salita dipende dall'eccesso di trazione, così  $V_X$  è la velocità alla quale si sviluppa il massimo esubero della trazione. I velivoli propulsi dall'elica sviluppano la trazione massima a velocità troppo basse per sostenere il volo e più veloce è il velivolo minore è la trazione prodotta. La velocità con il maggior salto della trazione non corrisponde né alla velocità di massima trazione né alla velocità di minima resistenza. In conseguenza delle caratteristiche di resistenza del vostro velivolo, salire alla  $V_X$  può essere un po' vicino alla velocità di stallo. In questo caso, potete decidere di volare un po' più veloci per avere un margine superiore rispetto allo stallo e un velivolo più pronto nella risposta ai comandi a spese di un angolo di salita più piccolo.

$V_X$  è, di solito, usata solo per superare un ostacolo. Il vostro velivolo può essere capace di una salita migliore a una  $V_X$  più bassa, ma l'assetto troppo cabrato del muso vi ostruisce la visuale davanti. E una velocità inferiore determina un raffreddamento inferiore del motore.

Alle quote più elevate, la velocità indicata per  $V_X$  aumenta e la velocità indicata per  $V_Y$  decresce. Si tratta di una variazione di qualche nodo, nell'ambito delle quote possibili per la maggior parte dei velivoli experimental. La tangenza teorica è la quota alla quale tutta la potenza è quella sufficiente solo a permettere il volo livellato, cosicché nessuna salita o accelerazione sono possibili. Quantunque  $V_X$  e  $V_Y$  siano teoricamente uguali in questa situazione, non c'è alcuna possibilità di salita perché non c'è alcun salto di potenza o trazione per salire. Poiché il velivolo può mantenere solo una velocità a questa quota, questa velocità è anche la massima e la minima possibile del volo livellato.

Il prossimo mese vi presenteremo le procedure delle prove in volo per le prestazioni in salita. Ci sono differenti tecniche per eseguire le prove di salita, ma sceglieremo quella più semplice per evitare strumentazione costosa e una complicata riduzione dei dati, ma che fornisce buoni risultati.

## RELAZIONI MATEMATICHE TRAZIONE/POTENZA E $V_x/V_y$

Tutti i piloti conoscono bene le quattro forze che interessano il velivolo in volo: portanza, peso, trazione, resistenza. Durante una salita, portanza, trazione e resistenza sono ruotate rispetto alla direzione tradizionale verso l'alto, verso destra e sinistra, che hanno in volo livellato. Il peso, comunque, agisce sempre verso il basso in direzione del suolo. La figura A mostra queste forze nella salita di un velivolo, con il peso scomposto in due direzioni: una parallela alla traiettoria della salita e l'altra perpendicolare alla stessa. Si scompone il peso in questo modo per facilitare il paragone tra le forze.



Se il velivolo sta salendo a velocità costante, non sta accelerando. Perciò le forze sono equilibrate tra loro. Osservando le forze perpendicolari alla traiettoria di volo, osserviamo che la portanza deve essere uguale alla componente  $W_{\text{PERP}}$  del peso. Guardiamo lungo la traiettoria di volo. La trazione va in un verso, la resistenza e la  $W_{\text{PAR}}$  vanno in quello opposto.

Esaminando quelle nella direzione della salita, potete vedere che, per l'equilibrio, la trazione deve uguagliare la combinazione di resistenza e  $W_{\text{PAR}}$ :

$$T = D + W_{\text{PAR}}$$

$W_{\text{PAR}}$  non è agevole da utilizzare, perciò sostituiamola con qualcosa di più conveniente. Possiamo descrivere  $W_{\text{PAR}}$  in termini di peso del velivolo e del suo angolo di salita, con un po' di trigonometria. Il seno di un angolo di un triangolo rettangolo è il rapporto tra la lunghezza del lato opposto all'angolo e la lunghezza del lato più lungo. Nella fig. A, le lunghezze dei lati sono rappresentate dalla grandezza delle rispettive forze:

$$\sin \gamma = W_{\text{PAR}} / W \text{ oppure } W_{\text{PAR}} = W * \sin \gamma$$

Ora possiamo scrivere l'equazione di equilibrio delle forze come:

$$T = D + W * \sin \gamma.$$

Poiché siamo interessati all'angolo di salita, aggiustiamola così:

$$\sin \gamma = (T - D) / W.$$

Maggiore è il valore di  $\sin \gamma$ , maggiore sarà l'angolo di salita. Il valore massimo dell'angolo di salita del vostro velivolo, dipende dalla sua trazione, resistenza e peso. Più precisamente, dipende da  $(T - D)$ , chiamato eccesso di trazione. Il rapporto tra l'eccesso di trazione e il peso del vostro velivolo determina l'angolo di salita. In qualche modo è intuitivo - sapete che lasciare giù il carrello significa una resistenza maggiore e un angolo inferiore. Analogamente, salire a potenza ridotta significa meno trazione e un angolo più basso. Inoltre, tutti noi conosciamo l'effetto del peso sulla salita.

Ciò che non è così intuitivo è il fatto che non appare la potenza nell'equazione dell'angolo di salita. L'angolo di salita del vostro velivolo non è determinato dalla potenza, ma dall'eccesso di trazione e dal peso.

Possiamo ancora fare un po' di semplice trigonometria matematica per mostrare che il rateo di salita dipende dalla potenza. La fig. B mostra il profilo delle velocità di un velivolo in salita. Le lunghezze dei lati del triangolo rappresentano le velocità vere. Il quadro è virtualmente identico al triangolo delle velocità del vento che ogni pilota privato deve sapere come risolvere, salvo che questo è orientato verticalmente.

La linea lungo la traiettoria di salita rappresenta la velocità vera del velivolo (TAS). Il lato verticale il rateo di salita (ROC). L'angolo tra i due lati è l'angolo di salita  $\gamma$ . Usando la stessa modalità per la spiegazione dell'angolo di salita, possiamo scrivere la seguente relazione:

$$\sin \gamma = \text{ROC} / \text{TAS}$$

Ora abbiamo due equazioni per  $\sin \gamma$  o angolo di salita. Uguagliando i due  $\sin \gamma$ , otteniamo:

$$\text{ROC} / \text{TAS} = (T - D) / W.$$

Riarrangiando ancora un poco, moltiplicando entrambe le parti per TAS, otteniamo

$$\text{ROC} = \frac{(T * \text{TAS}) - (D * \text{TAS})}{W}$$

Questa formulazione ci è utile perché trazione per velocità vera è la potenza disponibile ( $P_a$ ) e resistenza per velocità vera è la potenza necessaria ( $P_r$ ). La differenza tra le due è l'eccesso di potenza:

$$\text{ROC} = \frac{P_a - P_r}{W}$$

Ora possiamo vedere che il rateo di salita del vostro aeroplano dipende dal rapporto tra l'eccesso di potenza e il peso. Tutti sappiamo che minor peso significa minor salita, ma c'è ancora un piccolo eccesso di potenza. Voi sapete, per esempio, che il vostro motore funziona meglio alle basse quote, soprattutto quando fuori fa freddo. La combinazione di bassa quota pressione e bassa temperatura, significa bassa quota densità. Quando salite, volate attraverso aria progressivamente meno densa. Il vostro motore produce meno potenza ( $P_a$ ), e la velocità ascensionale si riduce.

Abbiamo fatto alcune assunzioni per fare questa semplice analisi. Abbiamo ipotizzato che l'angolo di salita tipico sia piccolo e che la trazione sia diretta come la traiettoria, o ad essa parallela. Queste, insieme a un altro paio di ipotesi tradizionali, sono valide per la maggior parte dei velivoli experimental. In conclusione: l'angolo di salita dipende dall'esubero di trazione e il rateo di salita dall'esubero di potenza.