



---

## **Le prove di volo nella costruzione amatoriale**

Luca Salvadori  
CAP Lombardia



## Generalità

---

- Le prove di volo precedono l'entrata in servizio di un aeromobile e servono a verificare l'aderenza del comportamento in volo alle attese del progettista ed alle specifiche di navigabilità.
- Nel caso delle costruzioni amatoriali ciò riveste una particolare importanza poichè:
  - L'aeromobile è spesso di progetto originale, ossia non esiste letteratura sul suo comportamento in volo;
  - La costruzione è stata effettuata senza gli ausili tecnici ed organizzativi di una realtà industriale;
  - Spesso il pilota – costruttore amatore è più abile costruttore che esperto pilota.
- Questi fattori rendono fondamentale la pianificazione e l'attenta esecuzione delle prove in volo, su misura per la macchina in test.



## La Pianificazione

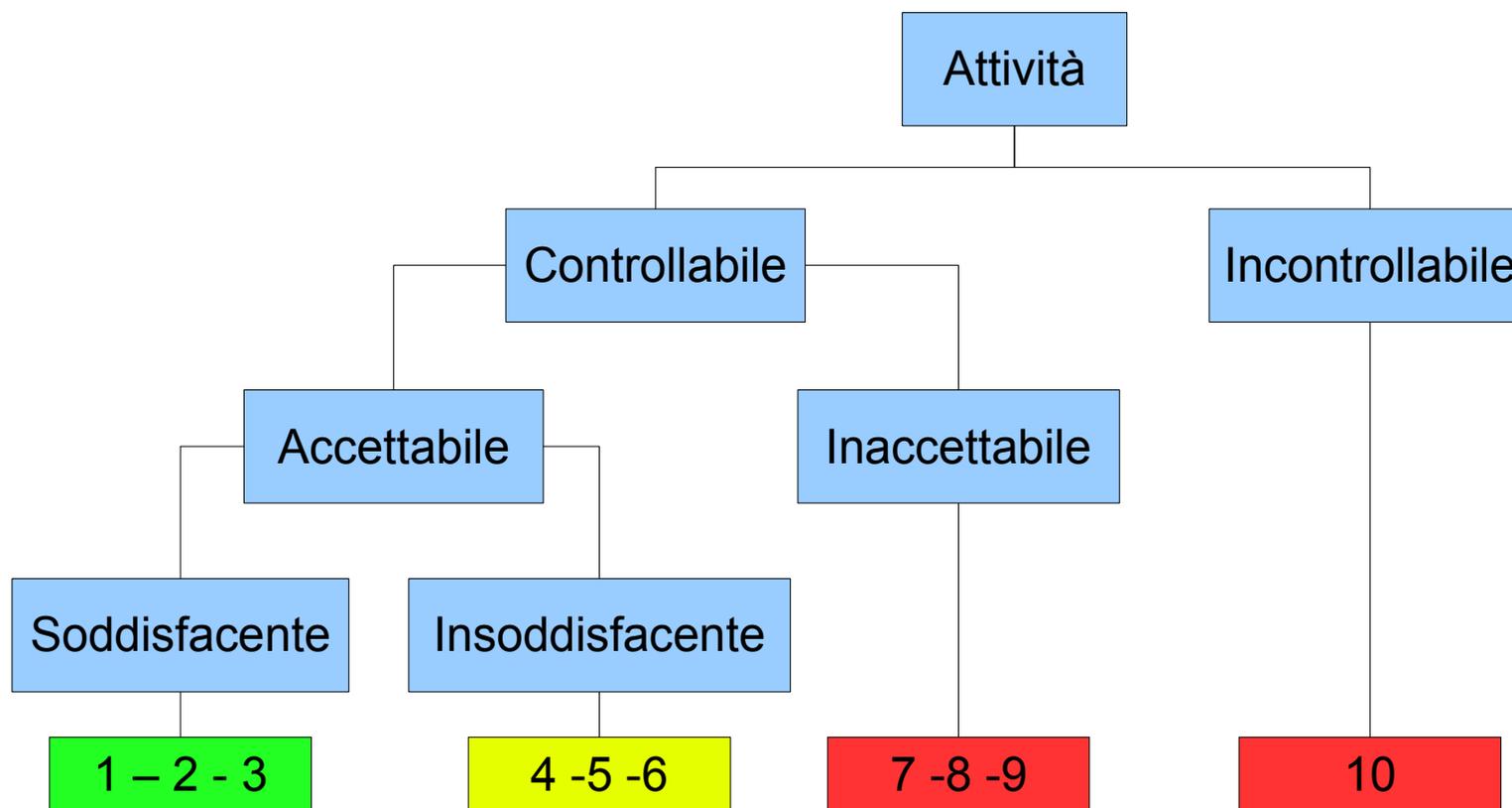
---

- La pianificazione delle prove di volo è essenziale per esplorare completamente ed esaustivamente le caratteristiche dell'aeromobile.
- Le caratteristiche dell'aeromobile possono essere rilevate:
  - A loop aperto: raccolta di dati per verificare la rispondenza alle specifiche di navigabilità;
  - A loop chiuso: raccolta di dati ed IMPRESSIONI del pilota basate sul giudizio di quest'ultimo.
- La pianificazione dei voli di prova deve comprendere la copertura di tutte le caratteristiche salienti dell'aeromobile:
  - Strumentazione;
  - Prestazioni;
  - Controllabilità e stabilità;
  - Funzionamento degli impianti di bordo.
- Il risultato delle prove deve essere documentato in una relazione e deve contribuire alla redazione del manuale di volo.



## La Cooper-Harper Rating Scale

- Per esprimere in forma più precisa le valutazioni soggettive del pilota è largamente utilizzata la Cooper-Harper Rating Scale, scala quali-quantitativa che si basa sul seguente schema:





## La Cooper-Harper Rating Scale (2)

- La valutazione CHRS) è più precisamente descritta come segue:

Comportamento dell'aeromobile	Impegno del pilota nell'attività selezionata	Giudizio del pilota
Eccellente, altamente desiderabile	L'intervento correttivo del pilota non è importante per il raggiungimento della prestazione desiderata	1
Buono, difetti marginali	L'intervento correttivo del pilota non è importante per il raggiungimento della prestazione desiderata	2
Discreto, alcune carenze blandamente spiacevoli	Minimi interventi del pilota sono richiesti per il raggiungimento della prestazione desiderata	3
Carenze minori ma fastidiose	Interventi moderati del pilota sono richiesti per il raggiungimento della prestazione desiderata	4
Carenze moderatamente significative	Interventi considerevoli del pilota sono richiesti per il raggiungimento della prestazione desiderata	5
Carenze significative ma tollerabili	Interventi importanti del pilota sono richiesti per il raggiungimento della prestazione desiderata	6
Carenze di ordine maggiore	Le prestazioni richieste non sono ottenibili con l'intervento del pilota al massimo livello tollerato. La controllabilità non è un problema	7
Carenze di ordine maggiore	Considerevole intervento del pilota per mantenere il controllo	8
Carenze di ordine maggiore	Importante intervento del pilota per mantenere il controllo	9
Carenze di ordine maggiore	Il controllo può essere perso in alcune parti delle operazioni di volo	10



## Il Pilota

---

- Il costruttore-amatore spesso è “arrugginito” perchè tutto il suo impegno è concentrato sulla costruzione dell'aeromobile.
- Talvolta la sua esperienza è, in termini assoluti, non elevata e spesso maturata su macchine “standard”.
- L'esperienza di volo utile per le prove deve essere quindi riferita a macchine simili a quella in prova.
- Prima di iniziare le prove il pilota deve allenarsi in modo da essere pronto a gestire le situazioni anomale che si potrebbero presentare nel corso dei test.
- In caso la macchina presenti caratteristiche di condotta particolari (tailwheel, volo acrobatico, ecc.) deve essere effettuato un training o retraining appropriato PRIMA di iniziare le prove in volo.
- **IN ALTRE PAROLE: Le prove di volo effettuate da un pilota non sufficientemente addestrato su un aeromobile sconosciuto NON SERVONO A NULLA e POSSONO ESSERE PERICOLOSE!**



## Le “Quattro M”

---

- Le “Quattro M” esprimono le relazioni esistenti fra quattro fattori legati all'attività di volo:
  - MAN: Capacità del pilota, stato di salute, carattere, allenamento, stress, fatica.
  - MACHINE: La macchina da utilizzare e le sue caratteristiche di impiego.
  - MISSION: La finalità del volo: test, cross-country, addestramento, acrobazia, ecc.
  - MEDIUM: L'ambiente circostante: condimeteo, ATC, geomorfologia in rotta, aeroporti, regole del volo, ecc.
- Le “Quattro M” interagiscono per determinare il successo e la sicurezza di un volo.
- L'analisi dei fattori “M” consente di pianificare correttamente il volo modificando, se necessario, il profilo di missione per adeguarlo alle risorse disponibili.
- Nel caso di un volo di prova l'analisi deve essere particolarmente approfondita e deve tener conto della possibilità, tutt'altro che remota, che qualcosa vada storto (Legge di Murphy).



## L'Equipaggiamento del Pilota

---

- Poiché è difficile tenere a memoria dati che cambiano rapidamente, soprattutto in una situazione di alto carico di lavoro come quella del pilota nel cockpit, deve essere disponibile la possibilità di prendere delle note.
- Un semplice cosciale, con tabelle predefinite in funzione del test da effettuare, risolvono facilmente il problema. La matita deve essere collegata al cosciale da un pezzo di spago per evitare che si perda per la cabina impedendo di prendere i rilievi.
- Un piccolo registratore vocale può essere utile per annotare commenti a voce.
- Una piccola handycam montata a bordo per riprendere il cruscotto e gli strumenti è particolarmente utile per rivedere l'andamento del volo.
- L'equipaggiamento del pilota deve prevedere, se possibile, una tuta ignifuga ed un casco.



## La giornata del test

---

- Il volo di prova deve essere svolto in una giornata in cui la “M” di meteo non sia un fattore:
  - Buona visibilità;
  - Assenza di precipitazioni;
  - Base delle nubi elevata, ben oltre la quota di volo pianificata;
  - Vento leggero o assente.
- In particolare, deve essere scelta una giornata in cui le condizioni siano il più possibile vicine a quelle standard: 15°C a SL e gradiente termico verticale 2°/1000ft.
- Poiché le giornate “standard” sono rarissime, bisogna accontentarsi: i dati rilevati possono essere ricondotti all'aria standard con calcoli successivi.



## Le Fasi di Test

---

- Un ciclo di prove di volo è suddiviso nelle seguenti fasi:
  - Prove a terra;
  - Pianificazione della gestione emergenze
  - Primi voli;
  - Voli di consolidamento;
  - Espansione dell'inviluppo di volo;
  - Prove di stabilità e controllabilità;
  - Stalli accelerati e vite (se richiesto dalle caratteristiche di impiego);
  - Consolidamento delle caratteristiche operative.
- Ciascuna fase presenta difficoltà e rischi e deve essere completata con successo prima di passare alla successiva.
- L'esito non soddisfacente di una fase deve scatenare azioni correttive, comprendenti eventualmente modifiche all'aeromobile, prima della ripetizione della fase fino al raggiungimento del livello di prestazione desiderato.



## Prove a Terra

---

- Le prove a terra hanno lo scopo di verificare in ambiente sicuro la funzionalità di impianti e sistemi di bordo prima di andare in volo.
- In particolare, poiché la strumentazione è fondamentale per l'acquisizione dei dati di volo, questa deve essere adeguatamente precisa e richiede pertanto attenta taratura.
- Devono essere verificati i seguenti impianti:
  - Prese statiche e pitot: deve essere effettuata una prova al banco degli strumenti a capsula ed una prova di tenuta dell'impianto utilizzando un banco prova tarato;
  - Strumenti motore: manometri e termometri devono essere affiancati, nelle prove a terra, da strumenti campione per determinare eventuali discrepanze.
  - Alimentazione carburante: prove di tenuta e flusso.
  - Lubrificazione: prove di tenuta



## Prove a Terra (2)

---

- Prima della prima messa in moto devono essere verificati i seguenti parametri:
    - Equilibratura e centraggio dell'elica;
    - Compressione cilindri nei limiti prescritti dal costruttore;
    - Stato e tenuta tubazioni olio, carburante, liquido di raffreddamento;
    - Attacchi del motore alla cellula;
    - Corretta installazione della strumentazione campione.
  - La messa in moto deve essere effettuata con l'aereo disposto controvento, con tacchi alle ruote, ancorato al suolo e servizio antincendio attrezzato e pronto all'intervento. Il pilota **NON SI DEVE LEGARE** per essere pronto ad abbandonare il mezzo in caso di pericolo.
  - Un assistente a terra deve segnalare al pilota eventuali anomalie visibili dall'esterno (fumo, trafilaggi di liquidi, vibrazioni, loose items, ecc.).
  - Le prove motore devono essere condotte incrementando il regime dal minimo al massimo con progressione di 200RPM.
  - Fra prove successive il motore deve essere lasciato raffreddare completamente (ca. 1 ora) per non sforzarlo troppo.
-



## Prove a Terra (3)

---

- Fanno parte delle prove a terra anche le prove di rullaggio, per verificare il comportamento dell'aeromobile nelle fasi critiche di decollo ed atterraggio.
- Devono essere svolte come segue:
  - In pista, a velocità di rullaggio progressivamente crescente fino ad avvicinarsi alla velocità di previsto distacco;
  - Verificando le caratteristiche di controllo direzionale e la funzionalità dei freni;
  - Annotando le indicazioni degli strumenti aria e motore per eventuali anomalie.
- Al termine delle prove a terra deve essere effettuata la preparazione del velivolo per il primo volo:
  - Carburante 4 volte superiore al necessario per il primo volo;
  - Baricentro posizionato al limite anteriore;
  - Livello dei liquidi OK;
  - Carenature e sportelli chiusi e bloccati.



## Pianificazione della Gestione Emergenze

---

- Le possibili emergenze devono essere analizzate e deve essere pianificata la linea di condotta da seguire per ciascuna.
- In caso di malfunzionamento ad impianti essenziali (idraulico, alimentazione carburante, ecc.) il pilota deve sapere al volo cosa fare (Memory Items).
- In particolare deve essere pianificato il drill in caso di atterraggio forzato:
  - Tecnica di pilotaggio e quote di decisione;
  - Campi di emergenza disponibili;
  - Emergency shutdown dell'aeromobile.
- Deve essere disponibile personale di supporto a terra, adeguatamente informato e consapevole della finalità del volo e dei rischi ad esso connesso, nonché pronto ad intervenire con tempestività ed efficacia.
- LA BUONA VOLONTA' NON BASTA! Serve l'organizzazione!



## Primi voli

---

- Il primo volo è senz'altro il più difficile: è il momento della verità!
- L'obiettivo del primo volo deve essere assai limitato:
  - Verificare l'affidabilità del motore;
  - Verificare l'affidabilità dei controlli di volo e le caratteristiche basiche di pilotaggio;
  - Non superare i 30' di volo.
- Nel primo volo il carrello, se retrattile, deve essere lasciato estratto.
- Un chase plane a fianco è utile per evidenziare eventuali problemi esterni non visibili dal cockpit.
- Durante il volo, evitare di ridurre drasticamente la potenza, cambiare serbatoio o effettuare grandi azioni di comando al di sotto dei 1000ft AGL.
- Mantenere preferibilmente la verticale del campo, pronti ad un eventuale atterraggio precauzionale.



## Primi voli (2)

---

- Le verifiche di funzionalità dei comandi di volo devono essere effettuate:
  - Con azioni moderate, variazioni modeste (5-10°) sugli assi controllati;
  - Verificando che lo sforzo cresca con l'angolo di deflessione del comando, senza azioni di “risucchio”;
  - Osservando la tendenza ad autostabilizzarsi dell'aeroplano.
- Il motore va provato:
  - Eseguendo una salita a 4-5000ft AGL;
  - Monitorando gli strumenti motore;
  - Scendendo al minimo a 2-3000ft AGL per osservare l'angolo di planata (servirà per atterrare);
  - Se tutto è normale, risalendo a 4-5000ft AGL per prepararsi alle prove di pre-stallo.



## Primi voli (3)

---

- Al primo volo **NON BISOGNA MAI PROVARE LO STALLO!**
- La prova di pre-stallo serve a dare un'idea del comportamento del velivolo in avvicinamento ed atterraggio.
- Prepararsi allo stallo avvicinandosi lentamente alla velocità di stallo prevista, pronti alla rimessa in ogni momento.
- Il test deve essere interrotto 5Kts sopra la  $V_s$ , o al primo accenno di buffeting.
- La velocità deve essere ridotta progressivamente, con un rateo di 1Kts/sec, senza “strappare” l'aeroplano.
- Annotare:
  - Insorgenza del buffeting;
  - Sforzi sui comandi;
  - Risposta al pitch down (serve per la rimessa).



## Primi voli (4)

---

- Il primo atterraggio è... un salto nel vuoto!
- Effettuare un avvicinamento standard, con virate a bank moderato (max 20°), pilotando con dolcezza.
- Stabilizzarsi in finale a 1,3-1,4Vs.
- A campo sicuro togliere potenza e ridurre la velocità a 1,2Vs.
- Arrestarsi in pista cercando di usare i freni con moderazione.
- Giunti al parcheggio, verificare interamente l'aeroplano:
  - Struttura;
  - Comandi di volo;
  - Attacchi motore;
  - Tubazioni;
  - Carenature e sportelli.



## Primi voli (5)

---

- Il secondo volo è l'esatta ripetizione del primo, a meno delle correzioni effettuate a seguito di questo.
  - Data l'esperienza del primo volo, le velocità di riferimento sono state corrette rispetto alla previsione teorica e sono più aderenti alla realtà.
- Il terzo volo ha l'obiettivo di verificare le prestazioni del motore, con durata di almeno 1 ora.
  - Non superare l'80% della max velocità di crociera;
  - Verificare ed annotare pressioni e temperature;
  - Verificare la risposta del motore all'applicazione dell'aria calda carburatore e dello smagritore;
  - Verificare le velocità indicate rispetto ai settaggi di potenza;
  - Dopo l'atterraggio, rivedere i dati ed applicare le azioni correttive eventuali.



## Voli di consolidamento

---

- Verificata la solidità e l'affidabilità del mezzo mediante i primi voli, si può passare alla fase di consolidamento, che prevede:
  - Prove di retrazione ed estrazione del carrello (se applicabili):
    - Riciclare il carrello più volte a quota di sicurezza;
    - Verificare le tendenze a cambiare assetto;
    - Verificare l'estrazione di emergenza.
  - Prove di salita e discesa:
    - Salire per 1' a max potenza;
    - Scendere per 30' a potenza ridotta;
    - Ripetere più volte il ciclo, aumentando progressivamente l'angolo di rampa ed i tempi di salita e discesa.
  - Calibrazione dell'anemometro:
    - Effettuare passaggi cronometrati su una base misurata a terra (4-5NM), aumentando progressivamente la velocità, con vari settaggi di flap;
    - Riportare i dati rilevati su una tabella di calibrazione anemometro.



## Espansione dell'inviluppo di volo

---

- Lo scopo di questa fase è:
  - Determinare la  $V_s$  nelle varie configurazioni;
  - Determinare le prestazioni di salita ( $V_x$ ,  $V_y$ , rateo);
  - Esplorare le caratteristiche del velivolo in volo lento.
- Prima di iniziare le relative prove, ispezionare esaustivamente il velivolo come in un'ispezione annuale.
- E' raccomandabile effettuare la prova con tutti i serbatoi pieni ed il CG al massimo anteriore.



## Espansione dell'involuppo di volo (3)

---

- La determinazione della  $V_x/V_y$  si effettua misurando i tempi di salita da -500ft a +500ft rispetto ad una quota base, con angoli di rampa crescenti.
- I cicli di salita consistono in 2 passaggi che devono essere effettuati con vento al traverso nei due sensi, misurando la temperatura esterna all'attraversamento della quota base.
- I dati rilevati devono essere ridotti all'aria standard mediante le opportune tabelle di conversione e tracciati su un grafico.
- I valori di  $V_x$  e  $V_y$  vengono dalla lettura del grafico completo, e vanno riportati sul manuale di volo.



## Espansione dell'inviluppo di volo (4)

---

- Il test di volo lento serve a determinare il comportamento del velivolo alle basse velocità, tipicamente riscontrabili in decollo ed atterraggio.
- A quota di sicurezza:
  - Stabilizzarsi a  $1,3V_s$ ;
  - Ridurre la velocità di 1Kts/s mantenendo il volo livellato;
  - Stabilizzarsi a  $V_s+5Kts$  ed annotare con CHRS il comportamento nelle seguenti manovre, nelle varie configurazioni ed a pesi crescenti:
    - Virate a prua assegnata con  $\pm 5^\circ$  di errore, max bank  $5^\circ$ ;
    - Mantenimento della prua per 2' con errore di  $\pm 2^\circ$ ;
    - Salita di 1000ft $\pm$ 100ft con  $\pm 5Kts$ ,  $\pm 5^\circ$
    - Discesa di 1000ft $\pm$ 100ft con  $\pm 5Kts$ ,  $\pm 5^\circ$



## Prove di stabilità e controllabilità

---

- Questa fase ha lo scopo di verificare la stabilità del velivolo sui 3 assi (rollio, beccheggio, imbardata).
- La stabilità sui 3 assi deve essere positiva o neutra, mai negativa: in altre parole il velivolo deve tendere a ritornare allo stato di equilibrio senza divergere.
- La stabilità sugli assi serve a rendere facilmente controllabile il velivolo, ossia ad evitare che “prenda la mano” al pilota.
- Nel caso il velivolo tenda a divergere, **SOSPENDERE I TEST** ed applicare le modifiche del caso, che possono essere anche significative e richiedere estese riprogettazioni.



## Prove di stabilità e controllabilità (2)

---

- Il flutter è una vibrazione aeroelastica causata dall'interazione delle forze aerodinamiche, delle caratteristiche elastiche delle superfici, dalla distribuzione delle masse. Si presenta come un'oscillazione di una superficie aerodinamica (ala, superfici di controllo) che tende a persistere e spesso ad aumentare di ampiezza, con conseguenze anche catastrofiche per la struttura.
- Nelle prove di controllabilità occorre prevenire l'insorgere del flutter, che deve essere assente nell'intero inviluppo di volo del velivolo.
- Per prevenire il flutter occorre:
  - Bilanciare staticamente tutte le superfici di controllo, assicurandosi che il baricentro si trovi sull'asse di cerniera;
  - Ridurre al minimo i giochi delle linee di comando, compreso il tensionamento dei cavi di comando ai valori prescritti;
  - Ribilanciare ogni superficie dopo ogni modifica, compresa la verniciatura.



## Stalli accelerati e vite

---

- Per macchine non acrobatiche la rimessa dalla vite deve essere limitata allo stadio di vite incipiente, ossia quella in cui è possibile cadere inavvertitamente.
- Per macchine acrobatiche la vite deve essere esplorata installando a bordo un paracadute antivite.
- Poiché la rimessa dalla vite è una manovra complessa, è opportuno che il pilota sia allenato su macchine adeguate e possibilmente simili a quella in test.
- Iniziare con la rimessa dopo mezzo giro, poi estendere di  $\frac{1}{4}$  di giro alla volta fino a raggiungere un giro intero. Se la macchina è acrobatica estendere fino a 3 giri, ossia fino allo stato di vite conclamata.
- LA QUOTA E' SICUREZZA! Salite ad almeno 5000ft, possibilmente 10000 prima di iniziare il test della vite.



## Stalli accelerati e vite (2)

---

- Gli stalli accelerati sono quelli che si verificano a  $g > 1$ , ad esempio in richiamata o in virata stretta.
- **ATTENZIONE!** Gli stalli accelerati sono abitualmente molto più bruschi di quelli ad 1g, per cui possono disorientare il pilota. Anche qui un adeguato allenamento è indispensabile.
- La prova di stallo accelerato si svolge così:
  - Da volo livellato, iniziare una virata a  $30^\circ$  di bank;
  - Ridurre la velocità mantenendo costante il bank con la pallina al centro;
  - Registrare la velocità di stallo (deve essere  $Vs' = Vs / \cos\theta$ );
  - Ripetere il test con bank crescente fino a  $60^\circ$  (2g).
  - Non aumentare il bank oltre  $60^\circ$  se l'aeromobile non è progettato per g superiori a 2 e presenta comportamento violento in stallo accelerato.



## Consolidamento delle caratteristiche operative

---

- Questa è la fase finale dei test, al termine della quale il velivolo è pronto per la messa in servizio.
- Occorre verificare:
  - Il Service Ceiling, ossia l'altitudine alla quale il rateo di salita si riduce a 100ft/min;
  - L'escursione del baricentro, spostando progressivamente indietro il baricentro fino a raggiungere il limite calcolato ed eseguendo ogni volta i test di stallo, salita e stabilità longitudinale;
  - La funzionalità dell'avionica;
  - Il consumo ai vari settaggi di potenza (55, 65, 75%).
- Dai test elencati è possibile redigere le tabelle da allegare al manuale di volo.



## Stima delle ore di volo nelle varie fasi

---

- Le ore di volo stimabili per l'esecuzione delle prove di volo sono:
  - Prove a terra: ZERO (non contiamo le ore di lavoro...);
  - Pianificazione della gestione emergenze: ZERO (idem...);
  - Primi voli: 2h;
  - Voli di consolidamento: 8h;
  - Espansione dell'involuppo di volo: 10h;
  - Prove di stabilità e controllabilità: 8h;
  - Stalli accelerati e vite (se richiesto dalle caratteristiche di impiego): 6h;
  - Consolidamento delle caratteristiche operative: 20h.
- I valori sono indicative e dipendono dalla macchina in test, dall'esperienza del pilota, dalle modifiche introdotte che possono richiedere la ripetizione di prove già effettuate.
- Non aspettatevi che tutto vada bene al primo colpo!



## Conclusioni

---

- Le prove di volo sono importanti quanto e forse più della costruzione stessa, poiché mettono alla prova la capacità del costruttore-amatore di realizzare un mezzo sicuro e di verificare tale sicurezza ed affidabilità.
- Poiché la capacità e l'allenamento del pilota sono fondamentali per la corretta e sicura esecuzione delle prove, il costruttore-amatore deve saper riconoscere i propri eventuali limiti come pilota e chiedere aiuto a piloti più esperti. All'occorrenza riallenatevi su macchine “normali” per non essere “arrugginiti” quando verrà il momento di volare sulla vostra creatura.
- La raccolta ordinata e l'analisi attenta dei dati di volo sono l'aspetto fondamentale delle prove di volo: solo ragionando sul comportamento del velivolo e sui dati oggettivi annotati in volo è possibile evidenziare eventuali carenze ed apportare le modifiche eventualmente necessarie.
- **NON RISPARMIATE IL TEMPO NELLE PROVE!** E' tutto guadagnato dopo, nella fase di esercizio...



## Testi di Riferimento

---

- La letteratura sulle prove di volo è sterminata ma spesso non finalizzata alla costruzione amatoriale.
- Esistono tuttavia alcuni testi di interesse specifico che consigliamo di studiare con attenzione:
  - J. Mielek: Flight Test Checklist ([www.javifix.com](http://www.javifix.com))
  - V. Askue: Flight Testing Homebuilt Aircraft ([www.asa2fly.com](http://www.asa2fly.com))
  - FAA AC90-89A AMATEUR-BUILT FLIGHT TESTING HANDBOOK ([www.faa.gov](http://www.faa.gov))



**E adesso?...**

---

**VOLATE!**