

# Perdita di controllo in volo (LOC-I): prevenzione e mitigazione



Safety Promotion Leaflet

**SPL-6**

Settembre 2020

La Safety Promotion è un ambito di attività in costante e crescente sviluppo sia a livello europeo sia a livello nazionale in cui l'Europa sta investendo molto; essa trova ampia collocazione nelle azioni dello European Aviation Safety Plan - EPAS e del Safety Plan ENAC, a riprova della elevata rilevanza e del positivo contributo che essa può fornire allo sviluppo, al sostegno e al miglioramento della Safety Culture.

La Safety Promotion Leaflet [SPL] è una nuova linea di prodotto dell'ENAC, che si inserisce nel più generale contesto della Safety Promotion, con lo scopo di condividere le buone prassi, informare sulle innovazioni tecnologiche o contribuire alla diffusione di sviluppi normativi.

La Safety Promotion Leaflet non è uno strumento che si sostituisce ai tradizionali prodotti in uso, né alle previsioni regolamentari né ai metodi accettabili di rispondenza (AMC, Linee Guida ed altro) ma tende a fornire indicazioni e informazioni come contributo al miglioramento continuo del sistema *aviation safety*, di concerto con i regolamenti e le attività di sorveglianza.

## Premessa

La perdita di controllo in volo o LOC-I (Loss Of Control Inflight) è definita come la **deviazione non intenzionale dall'assetto** di volo desiderato, o comunque al di fuori del normale inviluppo di volo, spesso in maniera repentina e con un conseguente fattore sorpresa per il pilota. Statisticamente risulta come una delle più frequenti e grave categoria di incidente in Aviazione Generale.

Gli incidenti dovuti al LOC-I spesso derivano dal fallimento nel riconoscere, prevenire o recuperare lo stallo o assetti inusuali.

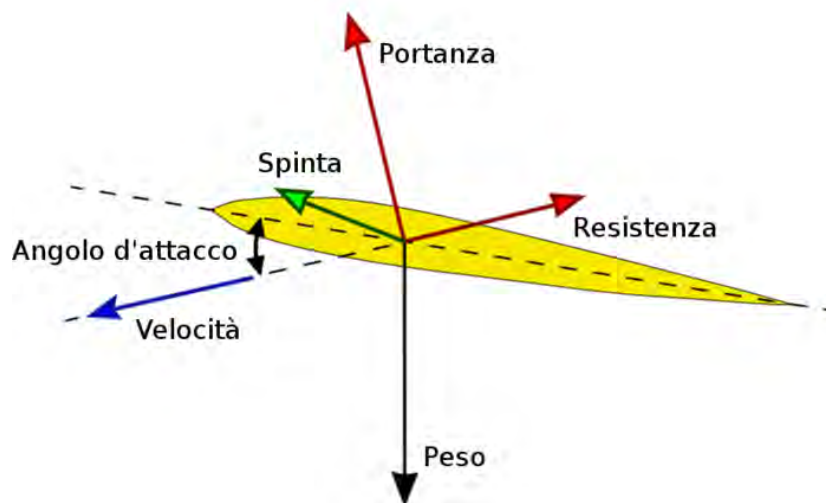
Lo scopo di questa SPL (Safety Promotion Leaflet) è quello di contribuire ad **aumentare la consapevolezza dei piloti dell'Aviazione Generale affinché** siano in grado di riconoscere le situazioni che possono condurre allo stallo del velivolo così da poterlo prevenire ed evitare. La presente SPL fornisce anche i principi generali per la prevenzione della vite accidentale ed il recupero del normale assetto di volo.

Per la natura stessa di questo documento, tuttavia, non si affronteranno le differenze tra i vari tipi di velivolo e va quindi tenuto a mente che per le procedure e le manovre specifiche per il recupero da eventuali assetti inusuali, dallo stallo e dalla vite accidentale ci si deve sempre riferire ai manuali di pilotaggio di ogni singolo aeroplano.

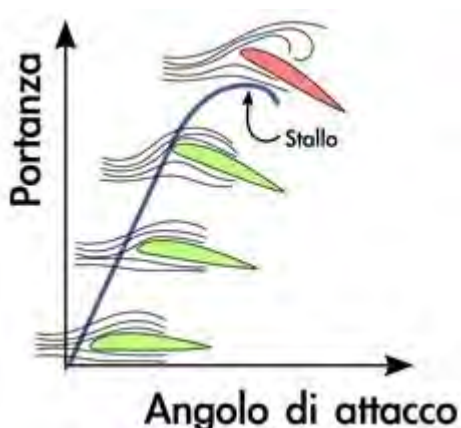


## Lo Stallo

I velivoli traggono il loro sostentamento dalla Forza Aerodinamica generata dalle ali grazie al loro moto nell'aria. Tale Forza viene suddivisa in due componenti dette Portanza e Resistenza, la prima ortogonale e la seconda parallela alla direzione del moto. L'intensità di queste due componenti dipende dall'angolo con cui il profilo alare incontra il vento relativo, detto Angolo di Attacco (AoA - Angle of Attack).



Esiste un valore di angolo di attacco a cui corrisponde il coefficiente di portanza massimo ( $C_{LMAX}$ ), detto AoA critico, oltre il quale la Portanza non viene più generata o comunque ha un brusco calo e non risulta più sufficiente a mantenere in volo l'aeroplano.



Superato l'angolo di attacco critico infatti avviene il fenomeno dello stallo: il flusso d'aria si distacca dal profilo aerodinamico dell'ala dando luogo ad un flusso vorticoso e turbolento ed è per questo che viene spesso anche indicato come Stallo Aerodinamico. Pertanto lo Stallo è legato al **superamento dell'AoA critico**.

### Angolo di Attacco (AoA) critico

Per ogni data configurazione, un velivolo stallerà sempre allo stesso preciso angolo di attacco (ad eccezione dell'effetto di Mach che si verifica solamente ad altitudini e/o velocità molto elevate e quindi non negli scopi di questo documento).

L'AoA critico, quello cioè di massima portanza, è il fattore fondamentale che riguarda lo stallo, che può avvenire quindi a qualsiasi velocità, in qualunque assetto di volo e indipendentemente dallo sforzo applicato sui comandi di volo, se tale valore viene superato.

La maggior parte dei velivoli di aviazione generale non sono equipaggiati con lo strumento indicatore dell'AoA.

Normalmente è comunque disponibile un avvisatore di stallo che suona all'approssimarsi dell'AoA critico.



Oltre all'avvisatore (che viene di norma testato a terra prima di ogni volo) è fondamentale imparare a riconoscere anche gli altri avvisi che provengono dal velivolo all'approssimarsi dello stallo, quali:

- il buffetting (vibrazioni o scuotimenti del velivolo)
- i comandi di volo di pitch e roll che non rispondono come dovrebbero, oppure che diventano più laschi al diminuire della velocità e richiedono azionamenti più ampi per avere effetti sull'assetto del velivolo
- I tempi di reazione del velivolo aumentano rispetto agli input sui comandi
- al diminuire della velocità il rumore del motore cambia di conseguenza
- la sensazione che l'aeroplano sfugga da sotto il sedile
- la tendenza a cadere del muso dell'aeroplano o di una semiala
- la velocità verticale che aumenta anche se l'assetto è cabrato
- l'impossibilità di cabrare con il controllo di profondità.

Il pilota dovrà quindi essere in grado di riconoscere l'avviso di stallo e gli altri "sintomi" forniti dal velivolo per poter reagire prontamente.

*(lo stallo)*

Il parametro sempre disponibile ed utilizzabile è la velocità indicata dall'anemometro alla quale dovremo però riferirci sempre in termini di AoA e non di valore assoluto, tenendo conto dei seguenti fattori che la influenzano:



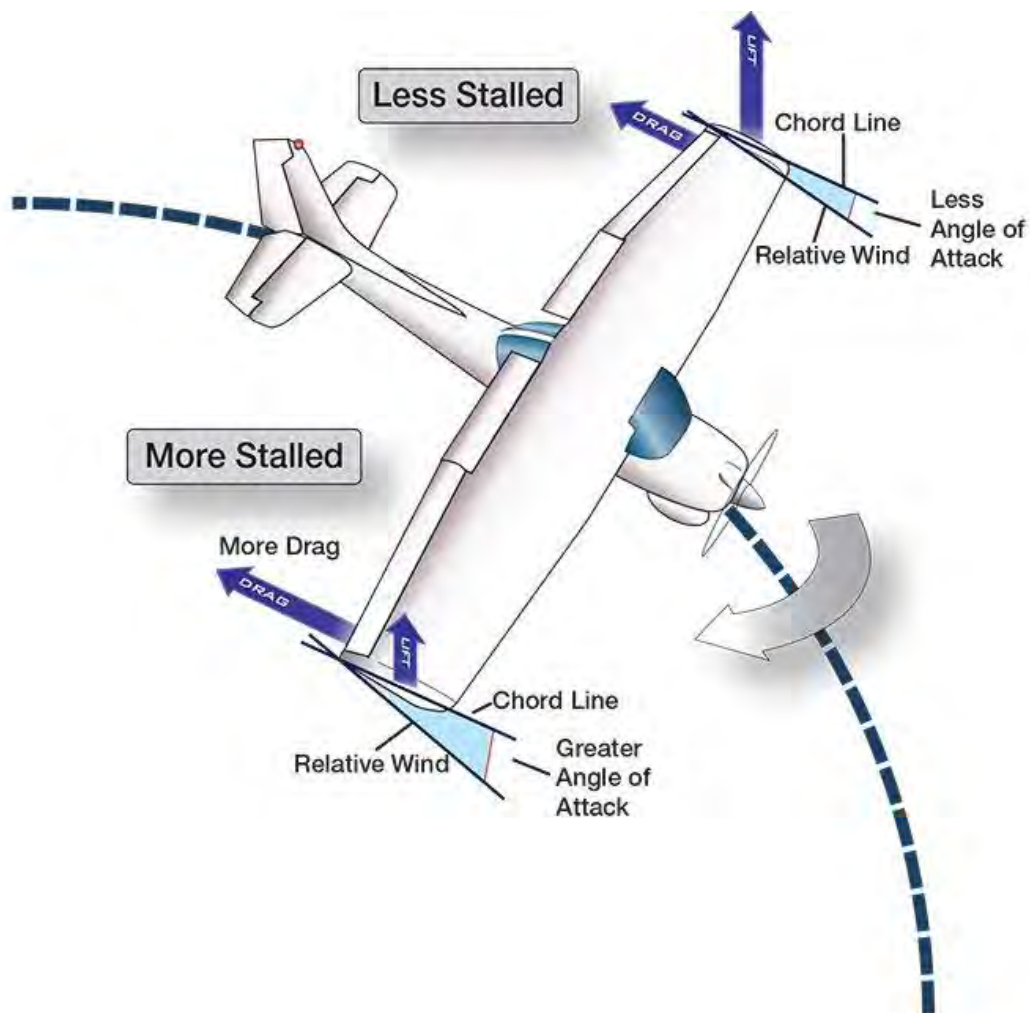
- potenza erogata dal motore
- configurazioni del velivolo
- fattore di carico.

Su un velivolo lo stallo è in realtà un fenomeno un po' più complesso ed entrano in gioco anche altri fattori.

Difatti le semiali non sempre hanno lo stesso profilo o lo stesso AoA lungo tutta l'**apertura alare** (ali rastremate o svergolate). Oppure potrebbe accadere che le semiali non abbiano lo stesso identico angolo di calettamento l'**una rispetto all'altra** a causa di tolleranze di costruzione e/o di montaggio, che gli alettoni possano non trovarsi in posizione neutra, o si possano trovare a volare a velocità non identiche.

*(lo stallo)*

In questi casi potrebbe accadere che una semiala possa raggiungere l'AoA critico prima dell'altra, creando una asimmetria nello stallo (tendenza a buttare giù un'ala).

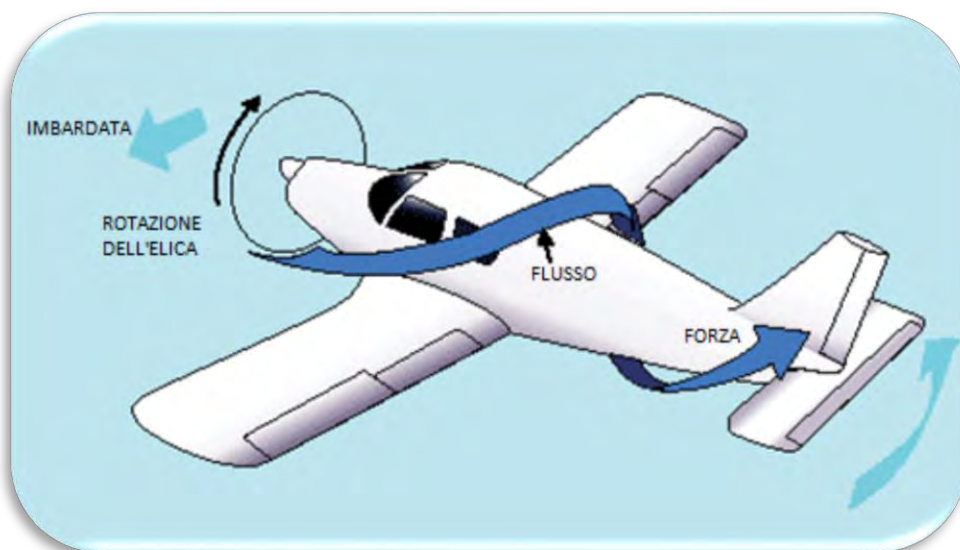


Un altro motivo di asimmetria può essere dovuto alla potenza erogata dal motore.

### Potenza erogata dal motore

La rotazione dell'elica crea delle asimmetrie non trascurabili a causa del suo flusso non lineare lungo il velivolo. Come conseguenza, avvicinandosi all'AoA critico, una semiala potrebbe essere indotta, soprattutto alla massima potenza, a stallare prima dell'altra comportando una caduta d'ala o un movimento di imbardata, sintomi di un ingresso in vite.

Inoltre la porzione di ala investita dal flusso dell'elica, e quindi con maggiore velocità relativa rispetto all'aria, tenderà a stallare in ritardo (oltre l'AoA critico) consentendo di volare ad una velocità inferiore a quella consentita senza motore o con motore al minimo. A questo punto lo stallo però avverrà in maniera più brusca e repentina.



Poiché il flusso dell'elica investirà prevalentemente la parte centrale dell'ala, ritarderà lo stallo solo in questa zona; quindi la stabilità laterale del velivolo potrebbe venire ridotta pericolosamente poiché l'ala comincerebbe a stallare prima nella parte esterna dove ci sono gli alettoni.

Se il velivolo dovesse raggiungere lo stallo e dovesse tendere ad inclinarsi da una parte (caduta d'ala) è sconsigliato reagire utilizzando gli alettoni nella direzione opposta poiché si potrebbe peggiorare la situazione mentre è generalmente consigliabile utilizzare l'effetto indotto del timone dando piede dal lato contrario.

Per mitigare queste possibili asimmetrie è importante utilizzare opportunamente tutti i comandi per ottenere un volo coordinato, ovvero con la pallina al centro.



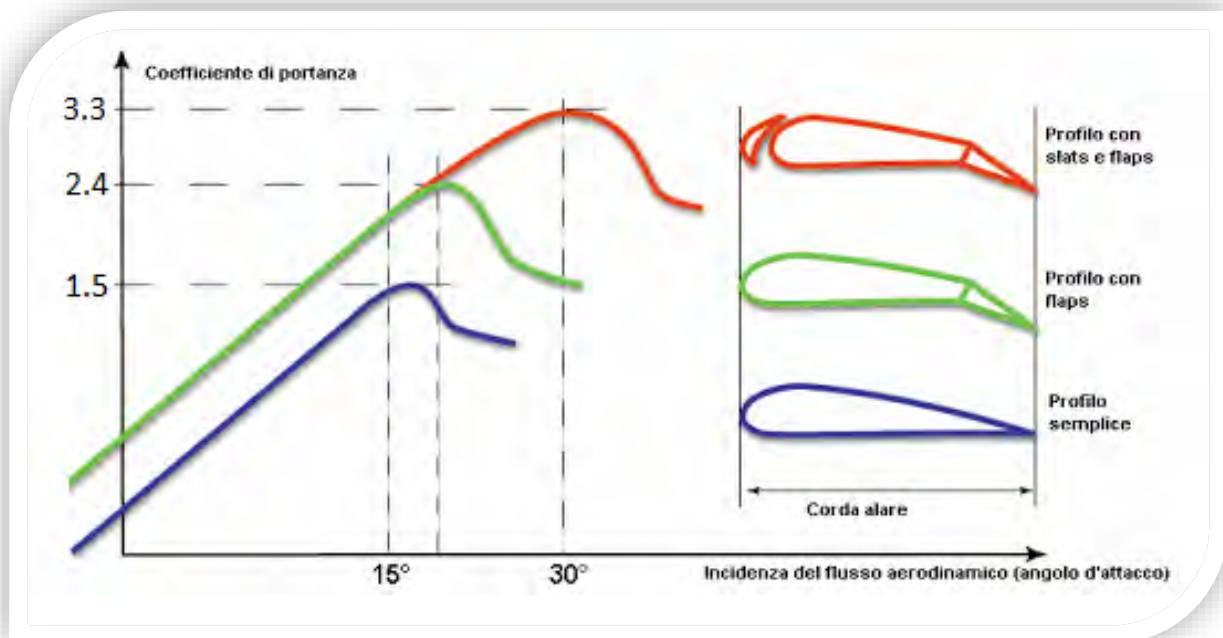
(lo stallo)

### Configurazioni del velivolo

Esistono alcuni dispositivi che possono far variare la portanza del velivolo alle basse velocità o che possono far cambiare il valore dell'AoA critico.

La deflessione degli slat (non molto comuni nei velivoli di AG) consente un incremento del valore dell'AoA critico ma non modifica la Portanza per un dato AoA. Lo scopo degli slat è di poter raggiungere AoA maggiori (e quindi maggiore Portanza) cambiando il valore dell'AoA critico.

I flap invece (presenti su quasi tutti i velivoli) consentono di incrementare la portanza per un dato AoA ma non aiuteranno a raggiungere AoA maggiori, quindi non **cambiano il valore dell'AoA critico**.



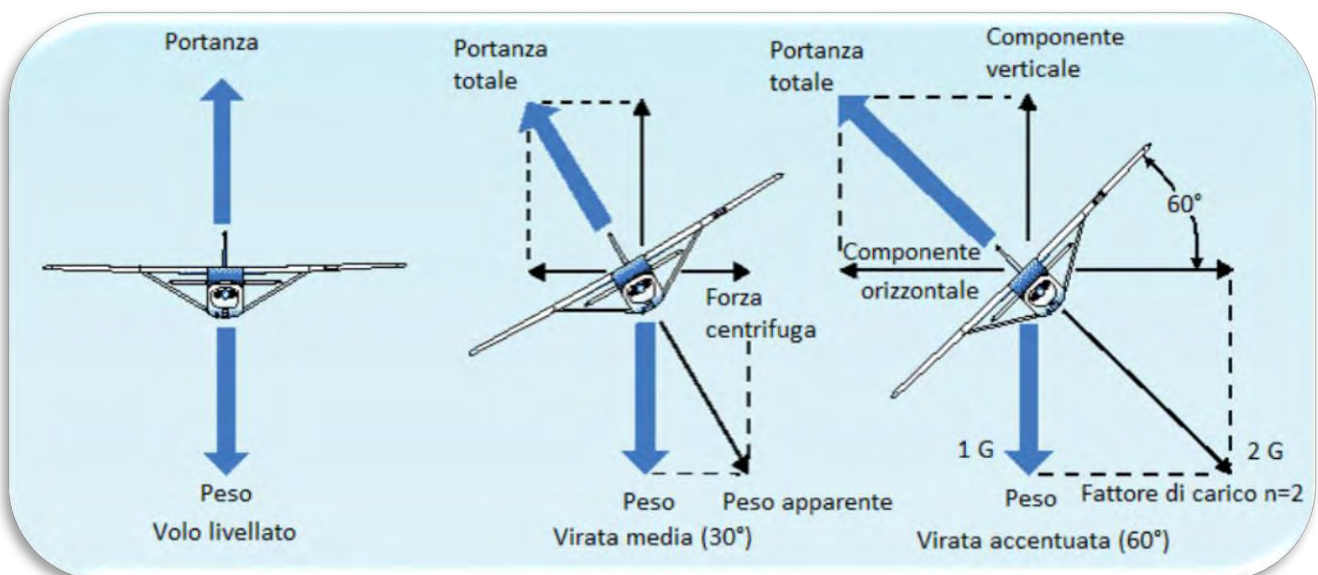
(lo stallo)

### Fattore di carico

Il **fattore di carico "n"** (o numero di g) rappresenta il rapporto tra la risultante della forza peso e delle forze centrifughe che si sviluppano durante le manovre in condizioni di volo diverse dal Volo Rettilineo Orizzontale (VRO) ed il peso del velivolo. **Non influenza l'AoA critico** ma influisce sulla velocità di stallo rendendo necessaria una Portanza maggiore a causa del maggiore peso apparente del velivolo.

Con un velivolo "più pesante" l'unico modo per aumentare la Portanza in prossimità del  $C_{Lmax}$  (ossia del AOA critico) è aumentare la velocità; per questo motivo la velocità di stallo sarà maggiore.

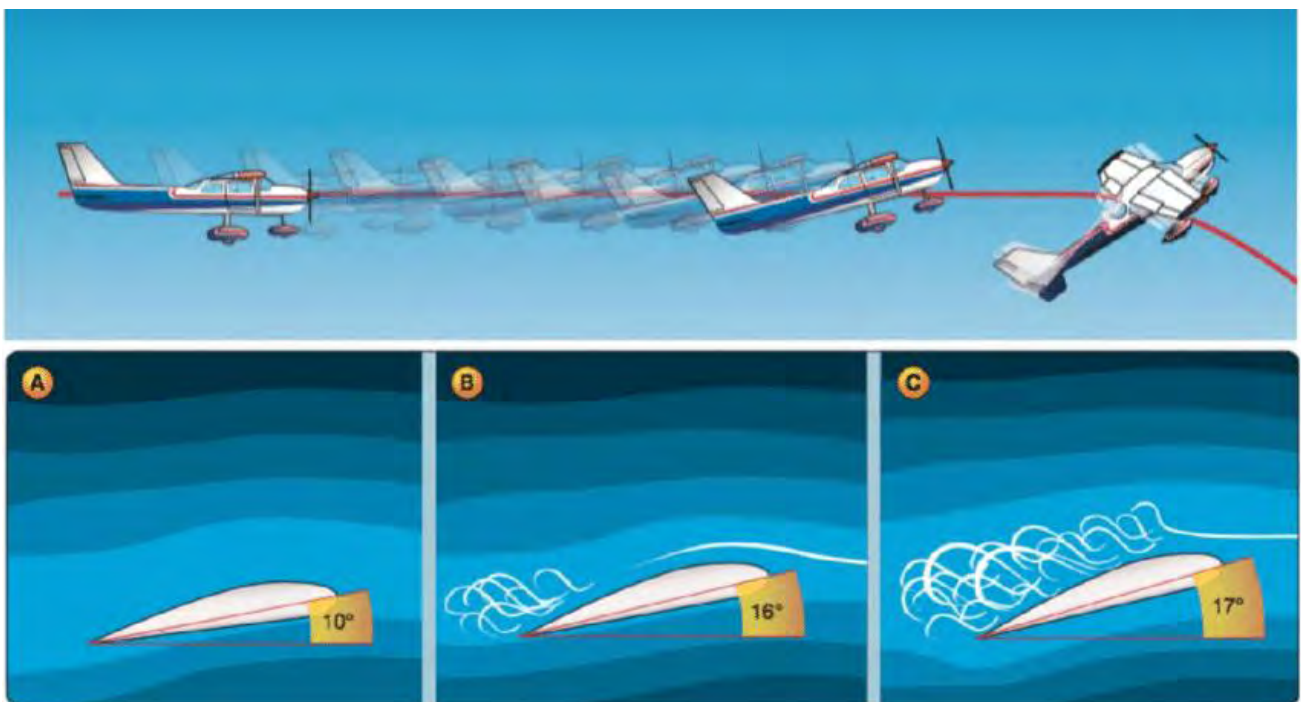
Il fattore di carico aumenta durante una virata o una richiamata e, di conseguenza, in queste condizioni il velivolo stallerà ad una velocità maggiore (stallerà prima).



## Riconoscere e prevenire lo stallo

Saper riconoscere le condizioni ed i sintomi dello stallo è fondamentale per poterlo prevenire ed evitare. Tale capacità risulta più importante del saper recuperare l'assetto in seguito ad uno stallo stesso perché potrebbero non esserci sempre le condizioni necessarie per poter recuperare l'assetto livellato.

Volare con un assetto idoneo ed un trim adeguato agevolerà il recupero della condizione di volo livellato in seguito ad uno stallo.



I piloti che volano in condizioni VFR dovrebbero sempre garantirsi il contatto visivo col terreno valutando adeguatamente le condizioni meteo previste lungo la rotta (prevista ed alternata). Le condizioni meteo di scarsa visibilità andrebbero previste e ricercate già nella fase di pianificazione del volo. Un'errata o mancata individuazione dell'orizzonte difatti potrebbe disorientare il pilota e far perdere il controllo del mezzo.

*(riconoscere e prevenire lo stallo)*

Il riconoscimento di uno stallo avviene in base ai fattori descritti nel paragrafo precedente e mediante l'effettuazione di specifiche manovre che risulteranno utili a recuperare un AoA idoneo al volo. Quanto sopra può essere il frutto dell'addestramento di base e di quello specifico per la prevenzione e rimessa dagli assetti inusuali (Upset Prevention and Recovery Training o UPRT).

Per quanto si sia però addestrati ed allenati in tal senso è però sempre bene mantenere una velocità adeguata di sicurezza, soprattutto quando ci si trova vicini al terreno.

Il recupero da uno stallo andrebbe sempre fatto con un alleggerimento della trazione sulla barra (o volantino) riportando il comando in posizione neutra per ridurre l'AoA e mai con manovre brusche e inadeguate.

Le conseguenze potrebbero altrimenti essere quelle di uno stallo secondario se il fattore di carico dovesse risultare eccessivo.

Più l'intervento sarà tempestivo, minore sarà la correzione necessaria, come minore sarà anche la perdita di quota.

Un azionamento brusco della manetta motore alla massima potenza, o del pedale a fondo corsa, quando ci si trova in condizioni di elevato AoA, potrebbero poi innescare una rotazione del velivolo e l'ingresso in vite.

Per mantenere un adeguato livello di allenamento, l'addestramento al riconoscimento ed alla rimessa dallo stallo dovrebbe essere effettuato periodicamente sul velivolo con cui si vola abitualmente, possibilmente con un istruttore abilitato.

## La vite

La vite è una condizione di stallo aggravato in cui si innesca una rotazione intorno a tutti e tre gli assi del velivolo ed assume una traiettoria verso il basso che ricorda la forma di un cavatappi.

Per convenzione la vite viene suddivisa in tre fasi:

- 1- durante uno stallo l'eventuale caduta di una semiala superiore a  $45^\circ$  e l'inizio di una rotazione (ingresso in vite) viene definita vite incipiente. Se recuperata prontamente non comporta normalmente rotazioni superiori a  $180^\circ$ .
- 2- la vite sviluppata è la fase successiva in cui si sviluppano delle forze centrifughe che possono essere anche molto elevate a causa dell'alta velocità verticale e (auto)rotazione del velivolo sui tre assi.
- 3- la manovra di rimessa consiste nell'interrompere la condizione di autorotazione e recuperare un AoA idoneo a ricondurre il velivolo in assetto livellato. Le manovre di rimessa dalla vite sono riportate nei manuali di volo di ciascun aeroplano.

Attenzione: sugli aeroplani non certificati per la vite non è prevista, durante l'iter di certificazione, la dimostrazione della capacità di rimessa dalla vite sviluppata ma solo il recupero dalla vite incipiente entro il primo giro di vite o 3 secondi (al fine di consentire la rimessa da eventuale vite accidentale).

Risulta estremamente importante essere preparati per fronteggiare l'effetto sorpresa che tenderebbe a far prevalere azioni istintive e far perdere la possibilità di recupero del velivolo.

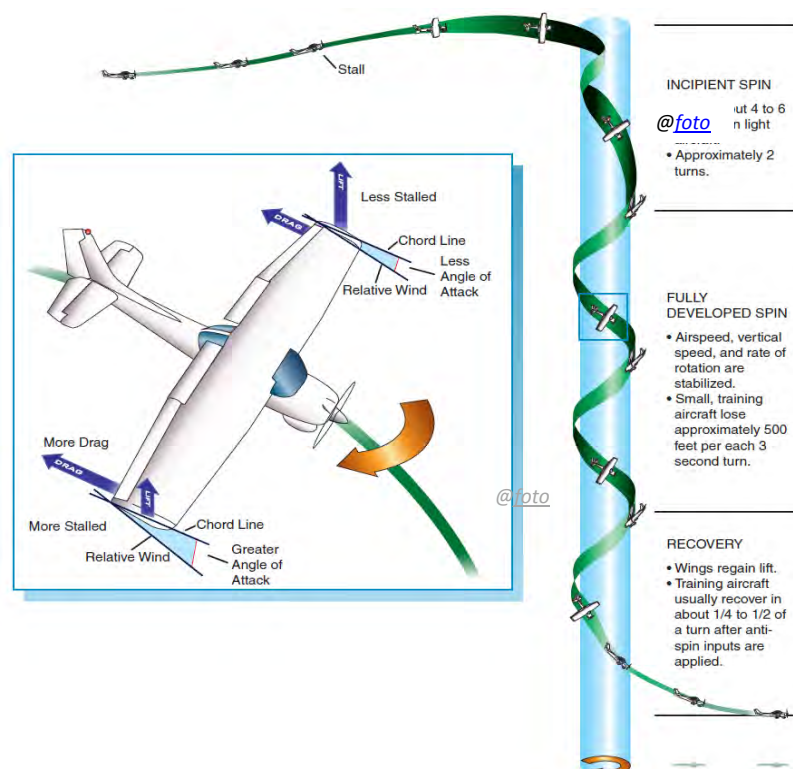


In funzione dell'aeroplano su cui si sta volando, al manifestarsi dell'ingresso in vite o della vite incipiente potrebbe bastare, nella maggior parte dei casi, allentare la trazione sulla barra di comando (o portarla in posizione picchiata) e dare **"piede contrario"** per mantenere un assetto con le ali livellate. Una reazione non appropriata o tardiva potrebbe portare l'aeroplano ad entrare in vite.

Una volta che la vite si sarà sviluppata è importante innanzitutto arrestare la rotazione e livellare le ali.

Solo successivamente si potrà cominciare a richiamare per tornare in assetto livellato, dopo aver ridotto l'AoA, e facendo attenzione a non applicare ai comandi una forza eccessiva per non indurre uno stallo secondario. In questa fase è anche importante fare attenzione a non superare i parametri strutturali del velivolo o del motore a causa delle elevate velocità che si potrebbero sviluppare.

Con la vite si può perdere anche moltissima quota quindi prevenirla diventa fondamentale quando si vola con altezze relativamente basse.



Il manuale di volo di ogni velivolo fornisce le indicazioni per le manovre ed i parametri necessari per uscire dalla condizione di vite, manovre che potrebbero anche variare sensibilmente da un velivolo ad un altro.

Attenzione: Non è consentito l'ingresso intenzionale in vite per i velivoli non certificati per tale manovra.

In ogni momento del volo in cui l'aeroplano dovesse improvvisamente cambiare assetto o direzione in maniera non comandata e ci si dovesse trovare con AoA prossimi a quello critico si dovrebbero immediatamente centralizzare i comandi. La naturale stabilità di progetto del velivolo dovrebbe consentirgli di recuperare un corretto AoA ed una adeguata velocità per uscire dalla condizione di stallo.

La prevenzione della vite accidentale rientra nella prevenzione dello stallo stesso in quanto può verificarsi solamente in tale condizione.

Un assetto che potrebbe ingannarci e sembrare una vite è la spirale picchiata. Anche in questo caso il velivolo avrà un assetto molto picchiato ed una elevata velocità verticale ma, a differenza della vite, si avrà anche una elevata velocità indicata, corrispondente al fatto che appunto il velivolo non è in condizione di stallo. Risulta essere un **assetto inusuale** ed è di norma trattato negli addestramenti specifici.

Come per lo stallo anche per la vite sarebbe buona norma effettuare un addestramento periodico al riconoscimento ed alla rimessa dalla vite incipiente, sempre possibilmente con un istruttore abilitato. Per la rimessa dalla vite sviluppata si rimanda ad addestramenti specifici per acrobazia o assetti inusuali.



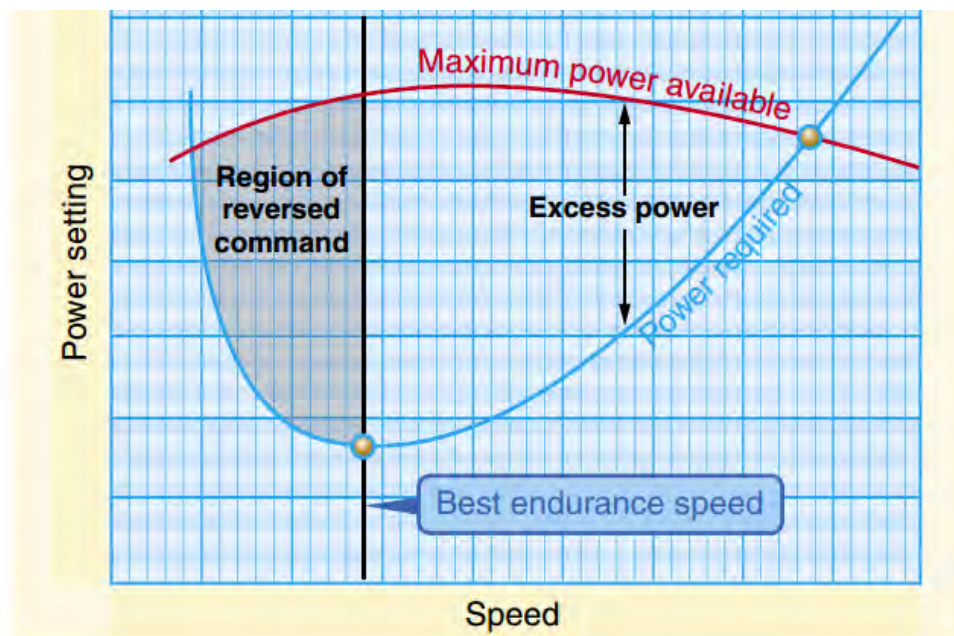
## Condizioni di pericolo per il LOC-I

→ Subito dopo il decollo o in seguito ad una riattaccata...

...se si dovesse impostare un assetto di salita troppo ripido, magari per cercare di superare un ostacolo. Qualora la potenza del motore non fosse sufficiente per mantenere una velocità adeguata si tenderà a tirare la barra nel tentativo di salire con il risultato di raggiungere l'AoA critico.

Questo pericolo si può verificare soprattutto in giornate particolarmente calde (con elevata altitudine di densità) oppure con il velivolo particolarmente pesante, dove si potrebbe avere la sensazione di non salire abbastanza.

Se la velocità del velivolo è al di sotto della velocità di minima potenza (2° regime) più si cercherà di salire tirando la barra, minore sarà la velocità verticale risultante, fino anche a ridiscendere per valori di velocità molto bassi.



Se l'aeroplano dovesse andare in stallo in questa fase, con il motore che sta erogando la massima potenza, lo stallo sarebbe particolarmente violento e repentino, con una marcata rotazione laterale del velivolo e con conseguente quasi certa entrata in vite.



**(condizioni di pericolo per il LOC-I)**

Anche in caso di arresto improvviso del motore ci si troverà bassi, lenti e con un assetto molto cabrato, con una rapida diminuzione di velocità ed aumento dell'AoA.

In questo caso la reazione dovrebbe prevedere, se l'altezza lo consente, un immediato cambio di assetto, **picchiando decisamente l'aeroplano** e portando il muso dell'aeroplano sotto l'orizzonte, con un assetto adeguato ad ottenere una velocità di planata idonea per gestire un atterraggio forzato. In tale situazione difficilmente avremo energia sufficiente per rientrare in campo, potrebbe quindi essere opportuno tentare un atterraggio negli spazi lungo la traiettoria presente, virando solamente per evitare eventuali ostacoli.

→ Durante il circuito di traffico...

...potrebbe capitare di vedere un altro velivolo all'ultimo momento e pertanto effettuare una manovra brusca ed improvvisa al fine di evitarlo, con conseguente perdita di controllo del mezzo.

→ Durante la virata finale...

... se questa fosse stata impostata male, al punto di superare il prolungamento della pista. Nel cercare di inseguire l'allineamento con la pista si potrebbero superare i parametri o si potrebbe effettuare una virata derapata a comandi incrociati.

Questa casistica risulta particolarmente frequente durante gli atterraggi forzati fuori campo, dove cioè non si sono avute le condizioni ottimali per impostare correttamente l'atterraggio.

→ Le ali particolarmente sporche...

... potrebbero ridurre, anche di molto, l'efficienza aerodinamica e questo comporterebbe delle salite meno ripide e che lo stallo si possa verificare ad una velocità maggiore di quella prevista per quella data configurazione, peso e condizione di volo.

*(condizioni di pericolo per il LOC-I)*→ La formazione di ghiaccio sulle ali...

... che potrebbe verificarsi in particolari condizioni atmosferiche comportando una modifica del profilo alare ed un aumento del peso complessivo del velivolo. Potrebbe anche produrre un'interferenza tra le superfici fisse e mobili dei comandi di volo causando l'incontrollabilità del velivolo.

→ La transizione da condizioni di volo VMC a IMC...

... potrebbe far perdere improvvisamente i riferimenti col terreno.

Trovarsi in nube o nebbia o in condizioni di scarsa visibilità/illuminazione (volo oltre le effemeridi) potrebbe far perdere i riferimenti di assetto e di posizione. In assenza di riferimenti visivi di assetto, o degli appositi strumenti e relativo addestramento ad utilizzarli, il tempo medio di sopravvivenza prima del LOC-I è di poche decine di secondi.



## Upset Prevention and Recovery Training

Il termine Upset (Assetti Inusuali) è definito in base ai seguenti criteri:

- assetto cabrato con più di 25° sopra l'orizzonte
- assetto picchiato con più di 10° sotto l'orizzonte
- angolo di inclinazione laterale superiore a 45°
- all'interno dei suddetti parametri ma con una velocità inadeguata

La prevenzione del LOC-I viene approfondita nel UPRT (Upset Prevention and Recovery Training) che ad oggi è previsto nei corsi successivi al PPL, come l'abilitazione IR, il CPL e l'ATPL.

Potrebbe tuttavia essere utile frequentare un corso specifico UPRT allo scopo di acquisire maggiori competenze e consapevolezza che potrebbero tornarci utili in talune situazioni.

Sebbene statisticamente la maggiore parte degli eventi di LOC-I avviene nelle fasi di decollo o atterraggio è tuttavia opportuno che l'UPRT si svolga ad una quota di sicurezza e condizioni meteorologiche adeguate alle manovre da intraprendere.

Lo scopo dell'addestramento dovrebbe essere sia quello di acquisire le necessarie capacità e competenze per il recupero dell'assetto livellato sia, soprattutto, quello di imparare a riconoscere e prevenire gli assetti inusuali.

Questo secondo aspetto diviene infatti fondamentale e prevalente in quanto statisticamente il LOC-I si verifica principalmente ad altezze molto prossime al terreno.



## Conclusioni

Lo stallo avviene quando si supera l'AoA critico. Per prevenire lo stallo e/o l'entrata in vite e per una efficace manovra di rimessa si consiglia di:

- essere preparati a reagire in maniera appropriata e tempestiva ad un evento improvviso.
- mantenere le ali ben pulite e prevenire le condizioni di meteo sfavorevoli con possibile formazione di ghiaccio o che, se si vola in VFR, che possano provocare scarsa visibilità ed un transito accidentale in IMC.
- mantenere un margine sufficiente dall'AoA critico impostando una velocità adeguata. Durante le manovre, il fattore di carico e la velocità di stallo aumentano ed è quindi opportuno incrementare la velocità quanto necessario.
- intraprendere immediatamente le manovre di recupero dallo stallo quando l'avvisatore suona o quando avvertiamo che il velivolo non risponde ai comandi come dovrebbe. Portare la barra di comando in posizione neutra (o anche picchiata) per ridurre l'angolo di attacco facendo attenzione a non indurre conseguenti movimenti di imbardata.
- applicare motore gradualmente e sempre dopo aver diminuito sufficientemente l'AoA in modo da evitare di innescare rotazioni involontarie del velivolo ed assetti indesiderati o ingressi in vite.
- agire in maniera fluida ed appropriata sulla barra di comando e mai bruscamente, in modo da non indurre stalli secondari o ingressi in vite.
- leggere sempre con attenzione il manuale di volo tenendo bene a mente i limiti previsti nello stesso (manovre consentite, velocità previste nell'involuppo di volo, vento al traverso max in atterraggio, prestazioni in volo con un solo motore disponibile, etc).
- prima di ogni volo essere certo del corretto caricamento e centraggio del velivolo.
- prima di intraprendere il volo valutare bene le condizioni meteo previste lungo tutta la tratta.
- ricordare sempre la regola «*Aviate, Navigate, Communicate*»: prima di rispondere alle chiamate radio restare concentrati nel mantenere l'assetto del velivolo.

---

*pagina lasciata intenzionalmente in bianco*

---



---

**Safety Promotion Leaflet**  
**SPL-6**

---

 [www.enac.gov.it](http://www.enac.gov.it)  
 [safety@enac.gov.it](mailto:safety@enac.gov.it)

---

credits: VDG - F.O. Safety

---