

Traduzione dell'articolo "AWARENESS OF ANGLE OF ATTACK" di J. Mac Mc Lellan tratto dalla rivista Sport Aviation di agosto 2013.

COMPRENDERE PERCHÉ IL VELIVOLO VOLA PUÒ AIUTARVI AD ESSERE SICURI.

ANGOLO D'INCIDENZA E SICUREZZA.

### SOMMARIO

L'articolo sviluppa l'argomento fondamentale del volo del più pesante dell'aria allo scopo di far aumentare la consapevolezza di ogni pilota costruttori di E-AB sull'argomento, dato che il numero di incidenti per stallo/vite è ancora troppo elevato. Segnala che l'installazione di un sistema di avviso non aiuta a evitare le situazioni di pericolo incipiente e la loro trasformazione in eventi fatali, a meno che il pilota non abbia interiorizzato proprio i concetti di angoli d'incidenza e di stallo. La spiegazione è veramente semplice da comprendere e invita rendere l'argomento parte di se stessi. Può essere inteso come la rivisitazione di "ANGLE OF ATTACK" (Angolo di attacco) di novembre 2003.

---

Fin dai primi momenti del nostro addestramento al volo, abbiamo sentito parlare dell'angolo di incidenza, forse l'abbiamo imparato quel tanto basta per rispondere correttamente ad alcune domande, ma non abbiamo mai afferrato completamente il concetto e la sua fondamentale importanza per il volo. Troppo spesso tutti i piloti dell'aviazione generale, e quelli degli homebuilt a un rateo maggiore, superano l'angolo d'incidenza critico, stallano, perdono il controllo e precipitano al suolo con esito mortale.

Se tutti i piloti avessero la completa comprensione dell'assoluta importanza dell'angolo di incidenza (AOA) e evitassero l'elevato angolo d'incidenza che provoca lo stallo, i numeri della sicurezza aumenterebbero enormemente. Ma come possiamo raggiungere l'obbiettivo? Le risposte valide a questa domanda sono la formazione e la strumentazione.

### **Lasciamo da parte Bernoulli.**

Penso che una ragione importante per cui così tanti piloti non apprezzano le conseguenze dell'AOA sia l'aver sporcato la discussione sulla creazione della portanza con l'equazione di Bernoulli. La conoscete anche voi. In base all'equazione di Bernoulli, un fluido, in questo caso l'aria, diventa meno denso all'aumentare della velocità (nella sua più generale versione, ndt). Pertanto, affinché un'ala crei portanza, l'aria deve accelerare lungo dorso dell'ala, creando una pressione più bassa rispetto all'aria che fluisce lungo il ventre. La pressione più elevata, la velocità inferiore lungo il ventre dell'ala spingono l'ala stessa verso la zona superiore a bassa pressione ed ecco la portanza. Alcuni burloni chiamano questa teoria della portanza "sky sucks".

Bernoulli (1654-1705, ndt) ha ragione, anche se ha sviluppato la sua teoria molto prima che si concepisse un velivolo o forse solo ci si pensasse. Ma questa equazione che descrive il comportamento dell'aria e di altri fluidi sono di piccolo o nessun aiuto per un pilota. Le persone che progettano un'ala e il profilo devono tener conto di Bernoulli, almeno alcuni, ma quando voi e io

siamo ai comandi, quel matematico svizzero che ha fatto il suo lavoro nel 18° secolo non ha alcuna influenza.

Invece, quello che dobbiamo conoscere è che un'ala produce una portanza perché sta lavorando a un AOA positivo ma inferiore a quello di stallo. Non possiamo agire per nulla sulle zone a bassa e alta pressione dell'ala, ma dobbiamo aver sotto controllo l'AOA.

Tutti abbiamo sperimentato la portanza generata da un angolo positivo quando da bambini abbiamo sporto una mano dal finestrino dell'auto in movimento. Se piegavamo le dita, l'aria in movimento spostava la mano. Se l'auto andava veloce e piegavamo un po' di più le dita, la portanza prodotta era forte abbastanza da stratonare il braccio dal suo appoggio.

Quell'esperimento della mano fuori dal finestrino dimostra la generazione della portanza nel modo più evidente. L'ala, la nostra mano, ha spostato l'aria e ha spinto il velivolo in alto. Potete vedere questo concetto in funzione quando un motoscafo accelera. Il battello galleggia a riposo e a bassa velocità perché sposta più acqua del peso proprio. Ma se il motoscafo accelera si alza rispetto al piano e buona parte dello scafo si solleva rispetto all'acqua. Il battello sta sopra la superficie per il fatto che lo scafo ha un AOA positivo rispetto all'acqua.

L'ala di un velivolo o la velocità di un battello fabbrica resistenza per creare portanza. Per spingere giù l'aria o l'acqua in basso, l'ala o la barca si sostengono finché ci sono abbastanza velocità e potenza per superare la resistenza generata dalla creazione della portanza. Un battello può planare solo con la chiglia alta rispetto alla superficie dell'acqua e un'ala porta avendo un AOA positivo rispetto al flusso dell'aria.

La ragione per cui noi piloti siamo diventati così imbranati nella spiegazione della portanza è dovuto al diverso comportamento di alcuni profili alari. La forma dell'ala è cruciale nel determinare l'efficienza della generazione della portanza, a quale AOA stallerà e come l'ala stessa si comporterà allo stallo. Tutto ciò è importante, anche critico, quando si disegnano i velivoli, ma non c'è azione che il pilota possa eseguire sul profilo dalla cabina. Ciò che possiamo e dobbiamo fare è controllare che l'AOA in quel momento rimanga nell'intervallo operativo sicuro, indipendentemente dal buono o cattivo disegno dell'ala. Bisogna ricordare, come l'esperimento della vostra mano fuori dal finestrino, che state volando perché l'ala presenta un AOA positivo, ma non così elevato da stallare.

### **Che cosa è l'AOA.**

La definizione di AOA è chiara. È l'angolo tra la corda dell'ala e il vento relativo. La parte veramente difficile è sapere dove sta il vento relativo. Possiamo vedere l'ala, ma il vento relativo dev'essere prospettato, immaginato, per stimare l'AOA effettivo.

Il vento relativo è il flusso d'aria che scorre attorno al velivolo ed è quasi parallelo alla traiettoria di volo, non del pavimento, dell'aeroplano. Nel caso della mano fuori dal finestrino dell'auto, il vento relativo è semplice da visualizzare perché è parallelo alla strada. Durante il rullaggio al decollo è ancora semplice da comprendere perché è parallelo alla pista. Ma una volta che il velivolo si è staccato, esso non necessariamente va nella direzione del moto, perciò il vento

relativo può essere in tutto il piano. Ecco perché è chiamato "relativo", perché dipende dalla traiettoria dell'aeroplano.

Immaginiamoci un aereo che sta eseguendo un looping. L'ala può volare a un AOA positivo lungo tutto il cerchio, anche se la prua è diretta verso ognuno dei 360° necessari a completare il giro. Per mantenere il fattore di carico positivo durante il loop, la traiettoria dell'aereo deve avere un AOA positivo paragonato al vento relativo che cambia continuamente.

Un loop, o una qualunque altra manovra brusca come una virata stretta o un improvviso cambio di assetto, mostra quanto complesso può essere visualizzare l'AOA reale in ogni momento del volo. Ecco perché molti di noi usano la velocità indicata come indice dell'AOA effettivo.

Un'ala può produrre più portanza a un AOA inferiore se la velocità aumenta. Ripensate ancora all'esempio della mano fuori dal finestrino. Se il papà stava guidando piano, potevate inclinare le dita di più e mantenere ancora giù il braccio. Ma quando il papà aumentava la velocità, piccole variazioni dell'angolo delle dita spingevano indietro il braccio.

Allora, sappiamo che se abbiamo sufficiente velocità, l'AOA non raggiunge l'angolo di stallo. Appena rallentiamo, l'AOA deve aumentare per produrre la portanza necessaria e se la velocità è troppo bassa l'AOA raggiunge l'angolo di stallo. Noi la chiamiamo velocità di stallo, ma in realtà si tratta di un angolo troppo elevato che distrugge il flusso d'aria lungo il dorso dell'ala e causa il distacco della vena.

### **Misurare l'AOA, non la velocità.**

Tutti i grandi velivoli, specialmente i jet, hanno dei mezzi che misurano l'AOA reale costantemente in tutte le fasi di volo. E quasi tutti i velivoli dell'aviazione generale possiedono un tal sistema, ma noi lo chiamiamo avvisatore di stallo, invece che un indicatore di angolo d'incidenza. Fondamentalmente i due impianti fanno lo stesso lavoro, misurano l'AOA effettivo e avvisano il pilota dell'incidenza critica per evitare lo stallo.

Il mezzo più diffuso per misurare l'AOA è una linguetta sul bordo d'entrata dell'ala. La linguetta avvisatrice di stallo è stata inventata da Leonard Greene, che brevettò il sistema e fondò la Safe Flight Instrument Company. La linguetta della Safe Flight è senza dubbio il pezzo d'equipaggiamento d'aereo maggiormente prodotto e centinaia di migliaia di questi volano sui velivoli di tutto il mondo.

La linguetta dell'avvisatore di stallo è posta sul punto di arresto del flusso sul bordo d'entrata dell'ala. Laddove il flusso d'aria si suddivide tra sopra e sotto si chiama punto di arresto (stagnation point). Esso si muove su e giù sul bordo d'entrata come funzione diretta dell'effettivo AOA. Quando il punto d'arresto si sposta troppo, il flusso sul dorso si distacca e lo stallo sta per avvenire.

In molte installazioni, la linguetta della Safe Flight è configurata come un interruttore a levetta on/off che è calibrato per far suonare un cicalino d'allarme, accendere una luce, attivare qualche altro sistema d'avviso perché l'AOA sta avvicinandosi al valore dello stallo. Ma la linguetta è in realtà in continuo movimento seguendo le variazioni dell'AOA dato che il punto d'arresto si muove.

L'altro mezzo sensibile all'AOA è quello che misura il flusso libero attorno al velivolo. Alcuni di questi usano una bandierina che si allinea con l'aria che fluisce attorno, altri usano delle piccole prese che confrontano la pressione del flusso in base alle variazioni dell'angolo tra le prese. Immaginate di soffiare sulla bocca di una bottiglia di soda e come piccole variazioni dell'angolo del soffio cambino l'intensità del suono. Ecco perché le prese fisse misurano l'angolo del flusso attorno al velivolo.

Il sistema a banderuola funziona molto bene sui plurimotori perché può essere montato sulla prua e si allinea con l'aria che fluisce. Ma sui monomotori il flusso dell'elica distrugge del tutto la banderuola se la si installa sulla fusoliera. Il solo modo di servirsi della banderuola è di installarla su una prolunga davanti all'ala come è stato fatto sul turboelica Pilatus PC-12.

Gli impianti a presa di pressione funzionano bene sui monomotori perché sono progettati per essere posizionati sull'ala. Un sistema rudimentale era stato installato come avvisatore di stallo sui Cessna monomotori basici. Quando l'aria che fluisce sulla piccola apertura sul bordo d'entrata dell'ala raggiunge l'angolo critico crea un fischio, simile a quello della bottiglia di cui sopra, che è incanalato in cabina e allerta dello stallo imminente.

Molte aziende, come Dynon e Garmin, hanno posizionato una presa sull'asta del tubo di pitot che può confrontare la pressione differenziale in due punti e quindi servirsi dell'elettronica per il calcolo dell'angolo del flusso a valle dell'asta. Ci sono molti impianti semplici che evitano l'elettronica e usano il differenziale tra le prese per azionare uno strumento AOA installato in cabina.

## **Rappresentazione dell'AOA.**

Molti metodi di rappresentare l'AOA acquisito dall'impianto sono stati provati nel corso degli anni. Spesso la rappresentazione è colorata in verde, giallo e rosso per mostrare il margine rispetto allo stallo. Alcuni quadranti sono rotondi, altri verticali, alcuni punti sù o giù mostrano la direzione dell'incidenza da dare alla prua per cambiare l'AOA verso un valore sicuro, sui PFD piatti lo schema della rappresentazione è vincolato solo all'immaginazione dei creatori dei displays.

La linea di riferimento per rappresentare un AOA è uno, o 100 percento, comunque la si pensi al riguardo. Ogni ala ha un AOA massimo, dove produce la massima portanza, ma sta lavorando prima dello stallo. Spesso questo è chiamato  $C_{LMAX}$ , massimo coefficiente di portanza dell'ala. Un modo più semplice di visualizzare ciò che uno o 100 rappresenta su un quadrante AOA è che lì c'è tutta la portanza. Aumenta l'AOA da quel punto e la portanza se ne va.

Mediante calcoli attenti si può arrivare vicini a predire a quale AOA una certa ala stallerà, ma nella situazione reale i sistemi di misura dell'AOA sono tarati in volo. Installate l'impianto, fate volare il velivolo allo stallo e osservate l'angolo che l'impianto ha misurato. Questo è il riferimento uno o 100 percento. Allora stabilite un margine per indicare quando l'AOA si sta avvicinando allo stallo.

Come potete immaginare, l'AOA può variare di molto e rapidamente a causa delle manovre e della turbolenza. Più basso è il carico alare e più bassa è la massa del velivolo, più rapido è il cambio dell'AOA. Ecco perché nelle giornate ventose potete sentire l'avvisatore suonare durante il

decollo e l'atterraggio, anche se la velocità è ben superiore a quella di stallo. Le raffiche fanno cambiare l'angolo del vento relativo, di conseguenza l'AOA saltella nell'intorno e l'avvisatore di stallo sente la variazione momentanea.

### **Un impianto AOA può essere di aiuto?**

Per decenni i velivoli di produzione hanno avuto un impianto di avviso di stallo di un tipo o dell'altro. Ha aumentato la sicurezza? Si verificano ancora stalli involontari di velivoli standard di produzione certificati, ma i disastri per la perdita di controllo dovuta a stallo-vite involontari sono più comuni negli E-AB. Pochi velivoli experimental hanno un AOA o un sistema di avviso di stallo, per cui sembrerebbe che un sistema di allarme sarebbe vantaggioso per tutta la GA. Naturalmente, i progetti E-AB presentano un'enorme varietà di configurazioni e di caratteristiche di volo che altri fattori, diversi dall'avvisatore di stallo, possono contribuire alla statistica degli incidenti, ma è ragionevole pensare che un avvisatore di stallo possa influenzarne qualcuno.

Molti piloti E-AB vedono un avvisatore di stallo tipico come nulla più di una "stupida luce" che fornisce un allarme solo a una certa soglia, non in tutto il campo operativo dell'AOA. E ciò è ben vero. Anche se un avvisatore di stallo misura la variazione dell'angolo d'incidenza per definizione, esso vi sta solo indicando l'angolo per un singolo valore prestabilito.

I piloti della marina che atterrano sulla portaerei sono spesso additati come i migliori utilizzatori di indicazioni AOA. Atterrare su una portaerei è volare al confine, per così dire, perché i piloti si avvicinano con il minor margine di velocità possibile e l'AOA indica loro i limiti dell'inviluppo con precisione maggiore della velocità indicata.

Ma un jet della marina in avvicinamento alla portaerei è stabilizzato in velocità, potenza, allineamento e rateo di discesa. È senza dubbio il volo più preciso che si possa immaginare. E non è confrontabile con tutte le circostanze che influenzano una situazione di perdita del controllo tipica per stallo/vite per un velivolo leggero. Il pilota di un E-AB che stalla ed entra in vite sta manovrando, spesso bruscamente, tirando una discesa dopo una perdita di potenza o non eseguendo un approccio stabilizzato e diritto.

Un impianto d'indicazione dell'AOA potrebbe salvare il pilota di un velivolo leggero che lo sta stratonando e facendo rollare? Io credo di no. Un velivolo tipico a pistoncini può essere spinto da un AOA che è sicuramente al di sotto dello stallo verso lo stallo solo in una manciata di secondi. Potrebbe un pilota guardare in cabina un AOA mentre sta virando stretto o richiamando troppo la barra? E se lo facesse avrebbe il tempo di reagire al rapidissimo incremento di AOA e di scaricare l'ala prima dello stallo? Ne dubito.

Io ritengo che la consapevolezza dell'angolo di incidenza sia ciò che dobbiamo apprendere e un indicatore d'angolo d'attacco può essere utile. Quando un pilota può vedere come l'angolo d'incidenza cambia in funzione delle manovre, dei "g" applicati, delle variazioni della velocità, allora può meglio visualizzare cosa sta succedendo. In definitiva, volando con un impianto indicatore di AOA potremmo imparare quali carichi e velocità aumentano l'angolo d'incidenza verso un valore rischioso e imparare ad evitare queste situazioni.

Un sistema d'indicazione AOA per essere efficace deve avere una soglia prestabilita proprio come un avvisatore di stallo basico. Quando il suo valore si avvicina a quello di stallo, il sistema può innescare un suono, una luce, un allarme acustico in cuffia o una scuotimento della barra per allertare il pilota di ridurre l'angolo d'incidenza. Questa è la modalità operativa sui grandi velivoli. Un pilota che involontariamente fa stallare un velivolo è quasi certamente distratto, pertanto l'allarme deve sopravanzare qualunque circostanza ha deviato la sua attenzione dal mantenimento di un'incidenza sicura.

Sono certo che avete sentito molte volte che le ali stallano sempre alla stessa incidenza indipendentemente dalla posizione del velivolo o dalla velocità indicata. C'è una specie di verità. Ma l'ala può stallare e lo fa a un angolo inferiore quando il rateo di variazione dell'incidenza è veloce. E il comportamento dell'ala quando stalla dopo un rapido aumento di AOA può essere molto differente, e meno morbido, di quello che provate quando lo eseguite in maniera dolce a 1g.

Per migliorare la statistica degli incidenti per stallo/vite, tutti dobbiamo aumentare la consapevolezza al riguardo dell'angolo d'incidenza e far stallare il velivolo solo quando vogliamo farlo. La visualizzazione dell'angolo d'incidenza è un elemento importante. Gli strumenti possono aiutare, ma dobbiamo ancora comprendere in quale modo le nostre azioni di comando stanno modificando l'angolo e conoscere quanto margine il nostro particolare velivolo necessita per mantenere l'AOA al di sotto del valore di stallo.