

## ANEMOMETRO

L'indicatore di velocità all'aria, detto anche anemometro, ha la funzione di misurare la velocità dell'aeromobile rispetto alla massa d'aria circostante. Il principio di funzionamento di tale strumento è basato sul confronto tra la pressione totale e la pressione statica, la cui differenza, definita pressione dinamica, è in funzione della velocità dell'aeromobile in base alla relazione nota come equazione di Bernoulli per i fluidi incompressibili.

L'equazione è valida per basse velocità (numero di Mach non superiore a 0.2).

L'elemento sensibile è costituito da una capsula il cui interno è collegato, tramite un tubicino, alla camera per la pressione totale del tubo di Pitot; la capsula è contenuta in una cassa a tenuta stagna a sua volta connessa alla presa statica. La capsula, pertanto, subirà espansioni o contrazioni a seconda della differenza tra la pressione totale e la pressione statica; tali deformazioni vengono trasmesse ad un indice che segna sul quadrante la velocità dell'aeromobile espressa, generalmente, in nodi (kts) ( ma sono numerosi anche quelli graduati in Km/h e in mph).

Ci sono varie velocità :

- **IAS** (Indicated Air Speed): è velocità letta sullo strumento; è nota come velocità indicata;
- **BAS** (Basic Air Speed): è l'IAS corretta dagli errori strumentali dell'anemometro;
- **CAS** (Calibrated Air Speed) : è la velocità calibrata ricavata dalla BAS tramite una seconda correzione: i valori delle pressioni che si misurano, infatti , possono essere influenzati da un errore di posizione del tubo di Pitot o delle prese statiche.
- **EAS** (Equivalent Air Speed ) : è quella che indicherebbe lo strumento, privo di errori, se fosse nullo l'effetto di compressibilità. Questo errore si presenta soltanto quando la velocità dell'aeromobile è tale che il numero di mach superi il valore 0.2, infatti in tal caso l'aria non può più considerarsi un fluido incompressibile.
- **TAS** (True Air Speed) : velocità vera all'aria, cioè la velocità reale con cui le molecole d'aria scorrono lungo le superfici dell'aereo in volo. Si ottiene correggendo la EAS dell'errore di densità, che diventa tanto più rilevante quanto maggiore è la quota di volo.
- 

### Gli errori dovuti all'installazione

Concentriamoci adesso sull'analisi dei fattori installativi che influenzano la lettura della velocità indicata dall'anemometro. Tralasciamo errori dovuti ad avarie come, ad esempio, l'otturazione della presa d'aria dinamica o statica o la presenza di sporcizia o umidità nei tubi dell'impianto pneumatico ed analizziamo, invece, gli errori di misura che possono essere causati da una installazione non perfetta o da una condizione di volo particolare.

Gli errori di installazione che influenzano la misura della velocità indicata dall'anemometro sono, ovviamente, di due tipi:

- 1) Errori di lettura della pressione totale di impatto
- 2) Errori di lettura della pressione statica

Gli errori di misura della pressione totale di impatto causati da fattori installativi sono, solitamente, molto rari in quanto è abbastanza difficile che l'installazione della presa d'aria dinamica venga sbagliata. E' sufficiente, infatti, collocare la presa d'aria dinamica sul bordo di attacco di una delle semiali o sull'intradosso ad una distanza dalla fusoliera sufficiente a garantire la non influenza del flusso dell'elica, per evitare problemi.

Gli errori dovuti a particolari condizioni di volo sono, invece, più difficili, se non impossibili da evitare. La presa d'aria dinamica, infatti, ha un orientamento fisso rispetto al vento relativo quindi, a parità di condizioni, la pressione di impatto misurata dallo strumento, sarà dipendente dall'angolo formato dalla presa dinamica e dal vento relativo. Questo angolo dipenderà sia dall'angolo di attacco sia dalla presenza di eventuale sideslip.

Molto più insidiosi e difficili da prevenire completamente in fase di installazione sono, invece, gli errori di lettura della pressione statica a causa dell'andamento fortemente variabile di detta

pressione nell'intorno delle superfici dell'aereo. L'installazione di una presa statica all'interno della cabina di pilotaggio, ad esempio, può portare ad errori di lettura anche molto significativi se la cabina non è perfettamente sigillata o se la cabina prevede l'apertura parziale o totale di bocchette di ventilazione. Infiltrazioni di aria in cabina possono infatti causare un aumento o una diminuzione della pressione che varia al variare della velocità e della quantità di spifferi o dell'apertura delle bocchette.

D'altra anche un'installazione esterna alla cabina ma in una zona subito a valle di un eventuale ostacolo (ad esempio una carenatura) che può provocare, ad alta velocità, il distacco della vena fluida, può essere influenzata da variazioni della pressione statica che dipendono ancora una volta dalla velocità di volo.

## **La Calibrazione Anemometrica**

Dalla descrizione dei fenomeni fisici che influenzano gli strumenti ad aria, appare chiaro come qualunque installazione sia potenzialmente influenzata da errori di misura che variano in funzione della velocità di volo. E' pertanto indispensabile quantificare questi errori per mettere in grado il pilota di sapere qual è il fattore correttivo da applicare alle indicazioni fornite dai suoi strumenti per volare sempre in condizioni di sicurezza rispettando i parametri del proprio aeroplano.

Le operazioni di misura dell'errore vengono effettuate durante la procedura di Calibrazione dell'anemometro in cui, in pratica, le letture dello strumento a varie velocità di volo, vengono confrontate con uno strumento di riferimento che non è influenzato dagli stessi errori di installazione o che è stato, a sua volta, già calibrato precedentemente.

Esistono diversi metodi più o meno complessi per l'esecuzione delle prove di calibrazione e che forniscono stime dell'errore più o meno esatte. Per l'applicazione all'ambito VDS si ritiene praticabile, però, soltanto uno di questi metodi che, sia pure se non precisissimo, permette di ottenere buoni risultati con una procedura di test relativamente semplice. Il metodo in questione si basa sull'utilizzo del GPS ed è conosciuto come metodo NTPS (dall'acronimo della National Test Pilot School dove questo metodo è stato sperimentato per la prima volta).

## **Tecnica di Prova**

Per l'esecuzione di questa prova occorre che l'aeroplano sia dotato di un GPS in grado di fornire Groundspeed a Track e di un termometro che misuri con una precisione di almeno 1°C la temperatura dell'aria esterna alla quota di volo.

L'equipaggio di prova dovrà essere costituito da due persone: un pilota ed un secondo membro addetto alla lettura degli strumenti ed alla raccolta dei dati.

Le condizioni meteorologiche richieste per la prova sono, oltre alla visibilità >10km, che permetta, cioè, l'esecuzione del volo in sicurezza garantendo la separazione da altri traffici potenzialmente presenti, anche l'assenza di vento o la presenza di vento costante ma senza turbolenze. Per questo motivo, i voli di calibrazione vengono preferibilmente effettuati in inverno.

La tecnica di prova consiste nello stabilizzare un valore di velocità indicata IAS ad una quota pressione costante (da leggere quindi sull'altimetro di bordo regolato su 1013mb o 29.92inHG) su tre prue ortogonali. Per una accettabile accuratezza della misura, è fondamentale che il pilota sia in grado di stabilizzare la condizione di volo molto bene mantenendo i parametri di quota, velocità e prua costanti per almeno 30 secondi per dare tempo ai dati GPS di stabilizzarsi a loro volta.

Una volta che la condizione è stabilizzata, andranno registrati i seguenti dati:

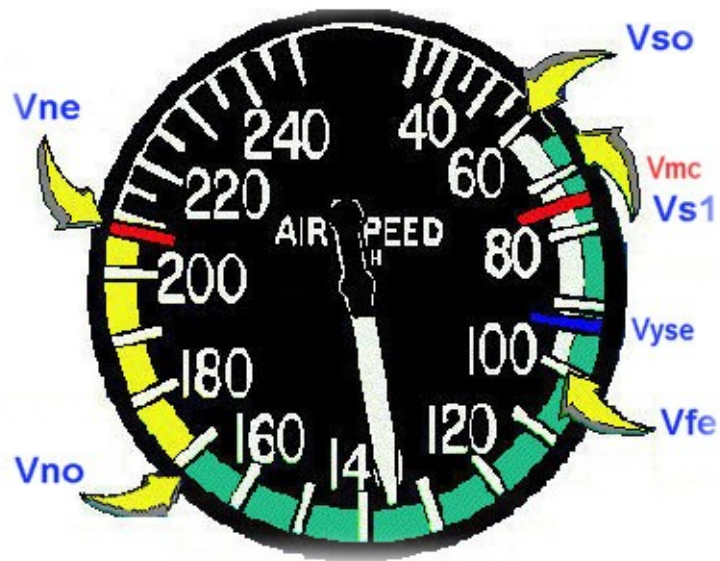
Altitudine (su 1013mb), OAT, Groundspeed, Track, Prua, IAS

La stessa misura andrà ripetuta, mantenendo IAS e Altitudine costanti, su altre due prue sfasate di 90° dalla prua iniziale.

Assumendo di cominciare con prua sud (180°), per ciascun valore di velocità da calibrare, le letture andranno eseguite su prua 180°, 090°, 000°.

La calibrazione andrà poi effettuata nell'arco di utilizzo del velivolo andando almeno da 1,3Vs fino a VH, cioè dalla velocità di avvicinamento finale per l'atterraggio fino alla massima velocità mantenibile in volo livellato.

## Struttura



**Arco bianco:** insieme delle velocità in cui si possono estrarre i carichi aerodinamici disponibili (carrello, flaps). Inizia dalla velocità di stallo dell'aereo in linea di volo e senza potenza con carrello e flap completamente estesi ( $V_{s0}$ ), e termina alla velocità massima consentita coi flap completamente estesi ( $V_{fe}$ ).

**Arco verde:** insieme di velocità in cui si può agire sui comandi aerodinamici dell'a/m (che sono volantino e pedaliera) a fondo corsa. Inizia dalla velocità di stallo dell'aereo in linea di volo senza potenza con carrello e flap retratti ( $V_{s1}$ ) e termina alla velocità massima di operazione normale ( $V_{no}$ ).

**Arco giallo:** insieme di velocità che si possono usare in aria calma cioè in assenza di turbolenza. Inizia dalla  $V_{no}$ , e termina alla velocità massima da non superare mai ( $V_{ne}$ ).

**Linea rossa:** velocità massima dell'a/m, al di sopra della quale abbiamo dei grossi problemi a livello strutturale.

## Immagini

