

STABILITA' LONGITUDINALE IN PLANATA

Il problema generale della stabilità dei modelli in planata è alquanto complesso e lo studio in oggetto riguarda soltanto la parte relativa al volo in direzione longitudinale. In sostanza il problema è ridotto al caso in cui, sia la traiettoria del modello, sia le azioni esterne (vento), giacciono nello stesso piano verticale.

Entro questi limiti è stata realizzata una procedura su computer che consente di aggiungere alle intuizioni e alle conoscenze frutto dell'esperienza, che hanno carattere qualitativo, numerose indicazioni di carattere quantitativo e di evidenziare le correlazioni fra le scelte di progetto e il comportamento del modello in volo.

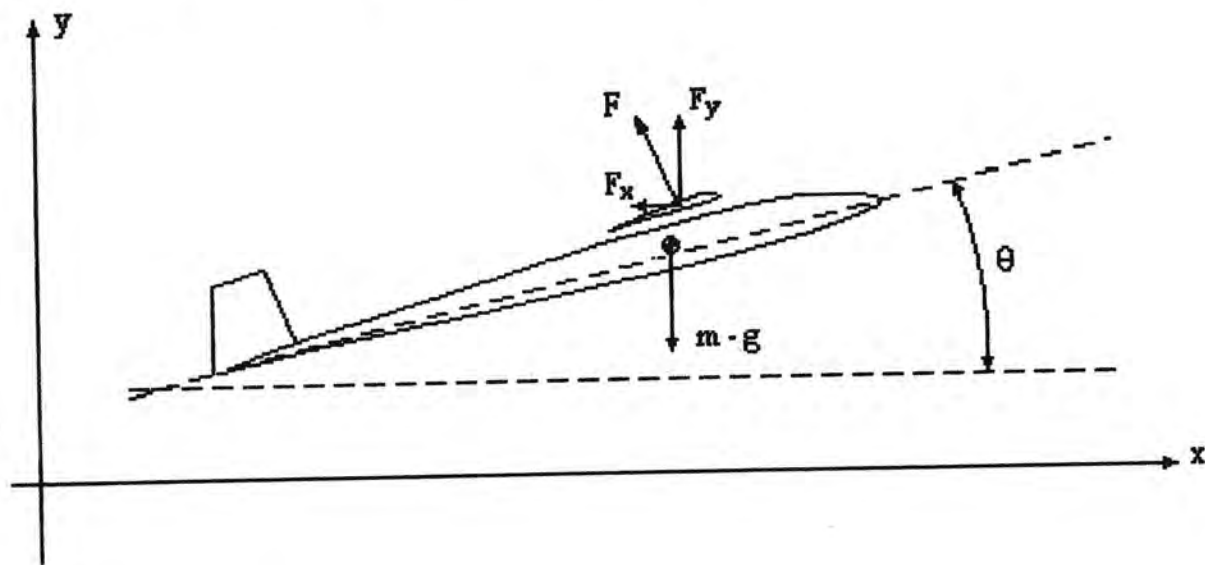
Equazioni del moto

Nelle ipotesi poste, il movimento in volo di un modello è governato dal seguente sistema di equazioni:

$$(*) \quad \begin{cases} \Sigma F_x = m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} \\ \Sigma F_y - m \cdot g = m \cdot \frac{d^2y}{dt^2} \\ \Sigma M_b = m \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} \end{cases}$$

Prima di esaminare la soluzione di questo sistema, è bene illustrare le caratteristiche del sistema di riferimento adottato e chiarire il significato dei termini che figurano nelle equazioni.

Si fa riferimento ad un sistema di assi cartesiani ortogonali in cui l'asse x è orizzontale, l'asse y è verticale e l'asse z passa per il baricentro del modello ed è perpendicolare al piano xy (asse di beccheggio).



I termini che figurano nelle equazioni hanno questo significato:

ΣF_x = somma di tutte le forze aerodinamiche secondo l'asse x

ΣF_y = somma di tutte le forze aerodinamiche secondo l'asse y

m = massa del modello

g = accelerazione di gravità

$\frac{d^2 x}{dt^2}$ = accelerazione secondo l'asse x

$\frac{d^2 y}{dt^2}$ = accelerazione secondo l'asse y

ΣM_b = somma di tutti i momenti rispetto all'asse z

J = momento d'inerzia del modello rispetto all'asse z

θ = angolo di assetto del modello

$\frac{d^2 \theta}{dt^2}$ = accelerazione angolare rispetto all'asse z

Il calcolo di alcuni termini ha presentato qualche problema che è stato risolto come appresso descritto.

Coefficienti aerodinamici

La disponibilità di dati relativi ai profili è limitata, purtroppo, a pochi valori dell'incidenza (generalmente dallo stallo negativo a quello positivo) e ai corrispondenti valori dei coefficienti C_l (di portanza), C_d (di resistenza) e C_m (di momento).

Ma, ai fini dello studio della stabilità, è necessario conoscere il valore delle forze e dei momenti aerodinamici anche per valori di incidenza al di fuori dell'intervallo considerato nelle tabelle.

Occorre quindi costruire i dati mancanti con l'ausilio di opportune teorie.

Il problema è stato risolto da F. Surace che, riprendendo le teorie di Glauert e di Helmholtz, le ha sintetizzate ed ha definito un appropriato raccordo con i valori dei coefficienti disponibili. Su questa base è stata realizzata l'estensione dell'intervallo di incidenze, portandone gli estremi da -90° a $+90^\circ$.

I valori dei coefficienti così costruiti non saranno esatti ma sono, quanto meno, ragionevoli.

Momento d'inerzia

Sulla base dei dati geometrici e ponderali del modello, si giunge al calcolo del momento d'inerzia rispetto all'asse di beccheggio.

Per ottenere questo risultato è necessario calcolare separatamente i momenti d'inerzia di ogni singola parte del modello (tronchi d'ala e di fusoliera, masse concentrate, ecc.) rispetto ai baricentri parziali, calcolare la posizione del baricentro del modello e quindi riferire ad esso tutti i momenti d'inerzia elementari.

Il valore del momento d'inerzia è molto importante ai fini della stabilità e quindi occorre eseguire questo calcolo con precisione. Per questo motivo i dati delle singole parti devono essere disponibili nel massimo dettaglio possibile.

Il calcolo non è particolarmente impegnativo dal punto di vista concettuale, ma è alquanto laborioso e noioso per cui un'elaborazione automatica che lo esegua costituisce un ausilio non trascurabile.

Noto J , il raggio d'inerzia r si ricava dalla relazione:

$$J = m \cdot r^2$$

Planata in aria calma

In condizioni di aria calma, sono nulle le accelerazioni secondo gli assi x ed y , e l'accelerazione angolare rispetto all'asse z . Ne segue che il sistema di equazioni (*) diviene:

$$(*) \quad \begin{cases} \Sigma F_x = 0 \\ \Sigma F_y - m \cdot g = 0 \\ \Sigma M_b = 0 \end{cases}$$

Questo è un sistema di equazioni algebriche ma non è lineare e si risolve attribuendo inizialmente un valore qualsiasi alla velocità nella terza equazione (equilibrio dei momenti) e operando iterativamente sul valore dell'angolo di assetto θ fino a soddisfare l'equilibrio. Ottenuto θ , si utilizzano le prime due equazioni (equilibrio delle forze), per calcolare la velocità del modello, e tutti gli altri parametri di volo.

Ipotesi di perturbazione

Per valutare la stabilità di un modello, occorre ipotizzare che intervenga una perturbazione (una o più raffiche di vento).

Il vento, nella realtà, è costituito dalla somma di una componente costante ed una fluttuante, tanto in direzione orizzontale quanto in verticale.

Le componenti costanti producono una traslazione uniforme dell'aria e quindi non incidono sulla stabilità del modello. Perciò, ai fini di questo studio, si ignorano le componenti costanti e si considerano soltanto le componenti fluttuanti.

Di norma quella orizzontale assume valori inferiori a 2 m/sec, mentre quella verticale assume valori anche più bassi (per via dell'effetto suolo) e si è rilevato che incide pochissimo sulla stabilità.

La componente verticale inoltre può introdurre guadagni o perdite di quota (termiche o discendenze). Quindi, per evitare che possa essere falsata l'interpretazione dei risultati del calcolo, il programma di elaborazione considera di essa soltanto il disturbo (molto modesto) alla stabilità ed elimina l'effetto della traslazione verticale che l'aria subisce.

Sono state studiate due ipotesi di perturbazione:

1) Gradino di velocità del vento che poi si mantiene costante.

Con questo tipo di perturbazione è possibile calcolare il tempo necessario al modello per rimettersi in linea di volo normale e la quota perduta.

2) Raffiche di vento casuali (random).

La definizione delle caratteristiche di questo tipo di vento ha richiesto di porre particolare attenzione all'intervallo di tempo fra due raffiche successive; infatti se tale intervallo risulta prossimo al periodo proprio di beccheggio del modello, incide in modo significativo sul suo assetto di volo.

F.Surace ha elaborato un criterio per generare una funzione che esprime l'intensità del vento come somma di raffiche di andamento sinusoidale, con lunghezze d'onda comprese fra 2 e 200 metri.

Così sono incluse, con largo margine, tutte le frequenze proprie di beccheggio possibili nei modelli e quindi un qualsiasi modello, sottoposto a questo tipo di perturbazione, viene sollecitato nel modo più completo.

Il criterio considera 100 raffiche sinusoidali, distribuite in progressione geometrica di lunghezza d'onda.

Ciascuna di esse ha un'ampiezza proporzionale alla radice quadrata della propria lunghezza d'onda (come avviene in molti fenomeni analoghi).

Si impone che la funzione risultante abbia un valore efficace (valore medio quadratico) pari ad un valore prescelto.

Con questo tipo di perturbazione, dopo un certo tempo di volo, è possibile calcolare la velocità media di discesa del modello.

Planata in aria perturbata

Introducendo una perturbazione, la planata seguirà un andamento che può essere determinato ricorrendo al sistema di equazioni (*).

L'integrazione delle tre equazioni differenziali del secondo ordine che lo costituiscono consente di calcolare istante per istante:

- a) quota
- b) velocità
- c) altezza totale (energia totale del modello, somma di energia potenziale e cinetica)
- d) incidenze aerodinamiche
- e) tutti gli altri parametri di volo.

Considerazioni conclusive

Mediante i programmi di elaborazione per PC, che traducono la teoria esposta, sono state tratte alcune considerazioni interessanti in merito ai criteri da osservare per ottimizzare le prestazioni in planata dei modelli a volo libero per i quali occorre rendere minima la velocità di discesa.

A questo fine si può agire sul valore del diedro longitudinale α , cioè della differenza fra l'incidenza dell'ala e quella del piano di quota. Provando un certo numero di valori di α in condizioni di aria calma, si individua quello ottimale. Eseguendo altre prove in aria perturbata, con vento random di varie intensità, si troveranno α ottimali diversi per ogni valore dell'intensità del vento.

Segue, a titolo di esempio, l'esito di un'indagine di questo tipo condotta su un modello Wakefied. In corrispondenza ai valori di α (in gradi) e del vento orizzontale v (in m / s) sono riportati i valori della velocità di discesa (in m / s):

	α	$v = 0$	$v = .5$	$v = 1.0$	$v = 1.5$
Centraggio al 50 % :	2.8	.357	.360	.367	.379 *
	3.0	.349	.354	.364	.379 *
	3.2	.346	.350	.362 *	.382
	3.4	.342	.349 *	.362 *	.393
	3.6	.339 *	.351	.363	.405
	3.8	.347	.353	.364	.411
Centraggio al 75 % :	0.4	.348	.352	.359	.370 *
	0.6	.343	.346	.357	.370 *
	0.8	.339	.344 *	.355 *	.371
	1.0	.336 *	.345	.356	.376
	1.2	.339	.347	.357	.388

Da questa indagine emerge chiaramente che, per ottenere la velocità di discesa ottimale, bisogna rendere il modello tanto più stabile (diminuendo α) quanto maggiore è l'intensità del vento, malgrado che con ciò ci si allontani dall'ottimo assoluto, che è possibile soltanto in aria calma.

L'indagine è stata effettuata sullo stesso modello anche aumentando il raggio d'inerzia r rispettivamente del 10 % e del 20 % (sempre con centraggio al 50 %).

	α	$v = 0$	$v = .5$	$v = 1.0$	$v = 1.5$
Aumento del 10 % :	2.8	.357	.360	.367	.381 *
	3.0	.349	.354	.364	.381 *
	3.2	.346	.350 *	.363 *	.386
	3.4	.342	.350 *	.363 *	.404
	3.6	.339 *	.351	.364	.421
	3.8	.347	.353	.368	instabile
Aumento del 20 % :	2.8	.357	.360	.368	.384 *
	3.0	.349	.354	.365	.384 *
	3.2	.346	.350 *	.364 *	.393
	3.4	.342	.350 *	.364 *	.423
	3.6	.339 *	.352	.366	.498
	3.8	.347	.353	instabile	instabile

Appare evidente anche l'importanza del valore del raggio d'inerzia r perchè un suo aumento peggiora sensibilmente la stabilità.

Infatti la velocità di discesa (a pari valore d'intensità del vento) risulta tanto più elevata quanto maggiore è r .

Therques