

Titolo della tesi:

**Simulazione delle manovre di atterraggio del velivolo ATR-72:
modellazione del sistema e determinazione dei carichi statici e
dinamici negli attacchi carrello.**

Relatori:

S. della Valle, D. de Falco, G. Cunto'

Candidati:

F. Ciardiello, G. Sora

1.	Obiettivo della tesi.	2
2.	Motivazioni (tecniche e scientifiche)	2
3.	Problematiche e requisiti alla base della progettazione e del funzionamento dei carrelli.	2
4.	Struttura della tesi.	3
5.	Risultati.	4
6.	Conclusioni.	4
7.	Eventuali sviluppi futuri.	4



1. Obiettivo della tesi.

L'obiettivo generale di questa tesi è quello di proporre e validare una metodologia di progettazione e verifica del comportamento dinamico dei carrelli di atterraggio di velivoli (*Aircraft Landing Gear*) basata sulla simulazione al computer delle manovre di atterraggio di modelli cosiddetti *Multibody System*.

2. Motivazioni (tecniche e scientifiche)

La tesi si inquadra come una delle attività previste in un programma di collaborazione tra il DIME e l'Alenia, riguardante la possibilità di applicazione di metodologie numeriche basate sulla simulazione al computer del comportamento dinamico di parti di velivolo.

In particolare, da un punto di vista tecnico, è stata posta dall' Alenia la problematica della determinazione dei carichi agli attacchi carrello sul velivolo durante la fase di atterraggio dello stesso, tenendo conto dell'interazione dinamica tra carrello e fusoliera, dovuta anche alla flessibilità di quest'ultima al fine di poter ottimizzare il comportamento del carrello nei confronti della sicurezza e del comfort dell'intero velivolo.

Dal punto di vista scientifico l'attività in corso è orientata al raggiungimento di una integrazione "effettiva" del modello *multibody* del carrello con il modello *FEM* di fusoliera al fine di poter successivamente controllare la risposta dinamica con sistemi e strategie opportuni.

3. Problematiche e requisiti alla base della progettazione e del funzionamento dei carrelli.

I carrelli dei velivoli svolgono la funzione di collegamento tra la fusoliera e la pista, nelle manovre di rullaggio, decollo e atterraggio: essi sono quindi sistemi la cui presenza è irrinunciabile su qualsiasi velivolo, pur giocando un ruolo evidentemente passivo nei confronti delle prestazioni e dell'efficienza durante la fase di volo, a causa del loro peso e del loro ingombro. Tra l'altro va rilevato che, un velivolo mediamente compie, durante la sua vita, circa 90.000 cicli (1 ciclo = 1 decollo, viaggio, atterraggio) e percorre circa 500.000 km, durante i quali i carrelli trasmettono alla fusoliera notevoli sollecitazioni di natura statica e dinamica.

Un carrello di atterraggio convenzionale di un velivolo, è generalmente costituito da un elemento anteriore centrale (*Nose Landing Gear NLG*) ed uno principale (*Main Landing Gear MLG*), a sua volta costituito da 2 unità laterali (vd. Foto 1). Ogni unità è costituita da un insieme di pneumatici, una struttura di supporto e uno o più' assorbitori oleopneumatici (*shock absorber*), costituiti da molle pneumatiche ed ammortizzatori idraulici.

In virtù della funzione e della struttura anzidette, per lo studio del comportamento dinamico di un velivolo a terra possono mutarsi molte esperienze fatte sugli autoveicoli anche se, in effetti, esso deve essere classificato come veicolo non convenzionale, soprattutto a causa del fatto che si muove solo su piste dedicate. Senz'altro però molte analogie vi sono ad esempio sul ruolo svolto dai pneumatici, che in entrambi i casi è di primaria importanza, così come sulla possibilità di adottare sistemi di sospensione controllati di tipo attivo o semi-attivo e sull'influenza sul comportamento dinamico delle caratteristiche di flessibilità della struttura sostenuta (scocca o fusoliera che sia).

I principali requisiti di un carrello possono riassumersi nei seguenti punti:

1. essere ovviamente posizionato in modo tale che l'aereo non si rovesci nelle manovre a terra, ovvero costituire una adeguata base di appoggio per il velivolo. Inoltre la rotazione di beccheggio al decollo impone che sia fissato alla minima distanza possibile dal piano trasversale passante per il baricentro. Inoltre il NLG deve essere sterzante;
2. assicurare un'altezza minima da terra a tutte le componenti del velivolo: questa dipenderà molto dall'architettura del velivolo, in particolar modo dalla posizione delle ali e dei motori rispetto alla fusoliera;

3. avere la capacità di assorbire energia sia in direzione verticale che longitudinale. In particolare deve essere in grado di dissipare buona parte dell'energia all'impatto a terra durante la fase di atterraggio. (Le norme di prova per i velivoli civili indicano una velocità d'impatto di 3.05 m/s). Cio' al fine di limitare i carichi dinamici che si scaricano agli attacchi alla fusoliera e quelli che si scaricano sui pneumatici, questi ultimi influenzati fortemente dalle irregolarità della pista ;
4. assicurare un buon isolamento dalle vibrazioni prodotte dalle irregolarità della pista durante le fasi di rullaggio sia al fine di un miglior comfort per i passeggeri che per ragioni di sicurezza;
5. avere a parità di caratteristiche suddette il minor peso ed il minor ingombro possibili rispetto al peso della struttura portante del velivolo (mediamente tra il 3 ed il 6%) ed avere la minore influenza possibile sulla resistenza aerodinamica; quest'ultimo requisito fa sì che nella maggior parte dei casi i carrelli siano dotati di meccanismi retrattili.

Il processo di verifica dei requisiti e di ottimizzazione del comportamento dei carrelli si basa sia su prove sperimentali che, specialmente in via preventiva, sui risultati di simulazioni numeriche. Generalmente le prove sperimentali sui carrelli richiedono notevole impegno sia da un punto di vista economico che temporale e forniscono risultati soddisfacenti solo in parte a causa delle difficoltà nel riprodurre le condizioni effettive in cui opera il carrello. Tali prove (*drop tests*) consistono sostanzialmente nel sottoporre il carrello fermo a terra ai carichi previsti mediante una pressa. In esse non si tiene conto di altre variabili che intervengono durante il funzionamento effettivo del carrello, come per esempio l'elasticità longitudinale dei pneumatici e le sollecitazioni della strada. Pertanto la simulazione al computer può svolgere un ruolo importante, poiché permette di modellare molteplici aspetti del sistema reale con notevoli vantaggi in termini di tempo e di costo.

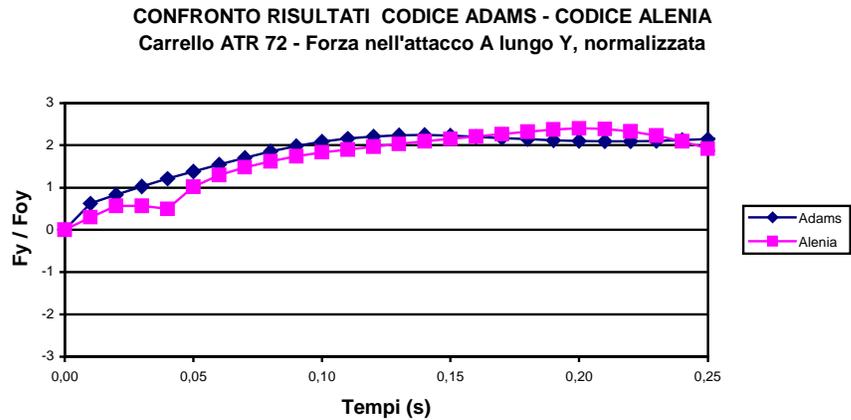
4. Struttura della tesi.

- Nei primi 5 capitoli della tesi sono riportate le informazioni necessarie per comprendere le tecniche di modellazione dei sistemi di corpi rigidi, comunemente chiamati nella letteratura tecnica: *multibody systems*.
 - Il cap.1 è introduttivo ed in esso vengono riportati i concetti alla base di tali tecniche.
 - Nel cap.2 sono descritti i vari tipi di coordinate utilizzati per modellare i corpi rigidi ed i vincoli; particolare enfasi è posta all'approccio con *coordinate naturali*.
 - Il cap. 3 riguarda l'analisi cinematica dei modelli, consistente nel fissare i valori di alcune coordinate (*input coordinates*), il cui numero è uguale al numero di gradi di libertà del sistema, e nel determinare conseguentemente la posizione di tutti gli altri elementi del sistema. Ciò viene realizzato risolvendo il sistema delle equazioni di vincolo. Poiché le equazioni di vincolo sono non lineari, il sistema di equazioni non può essere risolto in forma chiusa, ma mediante un metodo numerico di tipo iterativo come per esempio il metodo *Newton-Raphson*.
 - I capp. 4 e 5 riguardano l'analisi dinamica del sistema che ha lo scopo di determinare il moto del sistema dopo aver specificato le condizioni iniziali e le forze che agiscono su di esso. In termini matematici, questa corrisponde al processo di determinazione delle equazioni del moto (che qui vengono formulate mediante il cosiddetto principio della *potenza virtuale*) ed alla risoluzione del sistema di equazioni algebrico-differenziali (*DAE*) costituito dalle equazioni del moto e dalle equazioni algebriche di vincolo. La non linearità delle equazioni comporta l'utilizzazione di un metodo di integrazione numerico.
- In base alle informazioni contenute nei primi 4 capitoli, nel capitolo 6 è stata realizzata una modellazione analitico-simbolica del carrello posteriore del velivolo nelle condizioni della manovra di atterraggio, allo scopo di comprendere le tecniche di modellazione dei sistemi di corpi rigidi e analizzarne gli aspetti operativi. Si è quindi realizzata l'analisi cinematica e dinamica del sistema e, mediante il software di matematica simbolica MAPLE V, è stato implementato un codice di carattere generale.

- Nell' ultimo capitolo sono descritte la modellazione e le simulazioni delle manovre di atterraggio del velivolo *ATR72* di produzione *ALENIA* mediante il codice Adams che consente di modellare il sistema di corpi rigidi semplicemente definendone la geometria, le dimensioni e i vincoli che li collegano. Il codice poi effettua l'analisi dinamica, e fornisce i risultati della simulazione in forma di grafici. Esso ha la possibilità di visualizzare animazioni del moto del sistema durante la simulazione, il che consente all'analista di verificare con immediatezza la validità della modellazione eseguita.

5. Risultati.

I risultati della simulazione sono stati riportati in termini della “*time history*” dei carichi che il carrello principale (più sollecitato rispetto a quello anteriore) esercita sulla fusoliera nei punti di attacco, durante la manovra di atterraggio. Tali risultati sono stati confrontati con i dati che l'Alenia ha acquisito mediante simulazione al computer e sperimentalmente, al fine di verificare la validità della modellazione eseguita mediante il codice Adams. Il diagramma riportato è un esempio del tipo di confronto effettuato.



6. Conclusioni.

I risultati ottenuti mediante simulazione con il codice Adams e la loro validazione confermano l'efficacia di una metodologia di progettazione e verifica basata sulla simulazione di modelli al computer. Anche se la sola simulazione al computer non è sufficiente e necessita comunque del supporto di dati sperimentali, essa permette di verificare in maniera rapida come la variazione di certe caratteristiche del modello influisca sul comportamento di un sistema meccanico e quindi di effettuare l'ottimizzazione. La simulazione può così in parte sostituire prove sperimentali in generale consentendo una riduzione dei costi e dei tempi di progettazione.

7. Eventuali sviluppi futuri.

La progettazione dei carrelli dei velivoli, mediante l'ausilio della simulazione al computer può evolvere rapidamente verso l'introduzione di tecniche di controllo di tipo attivo o semiattivo del comportamento dinamico dei carrelli allo stesso modo di quanto accade per sistemi meccanici più complessi come motoveicoli e autoveicoli [1].