



SIMULAZIONE DEL VOLO

Tutorial del simulatore
Cessna 172

ANNO ACCADEMICO: 2018/2019

Studente: Luigi Sante

Matricola: 254063

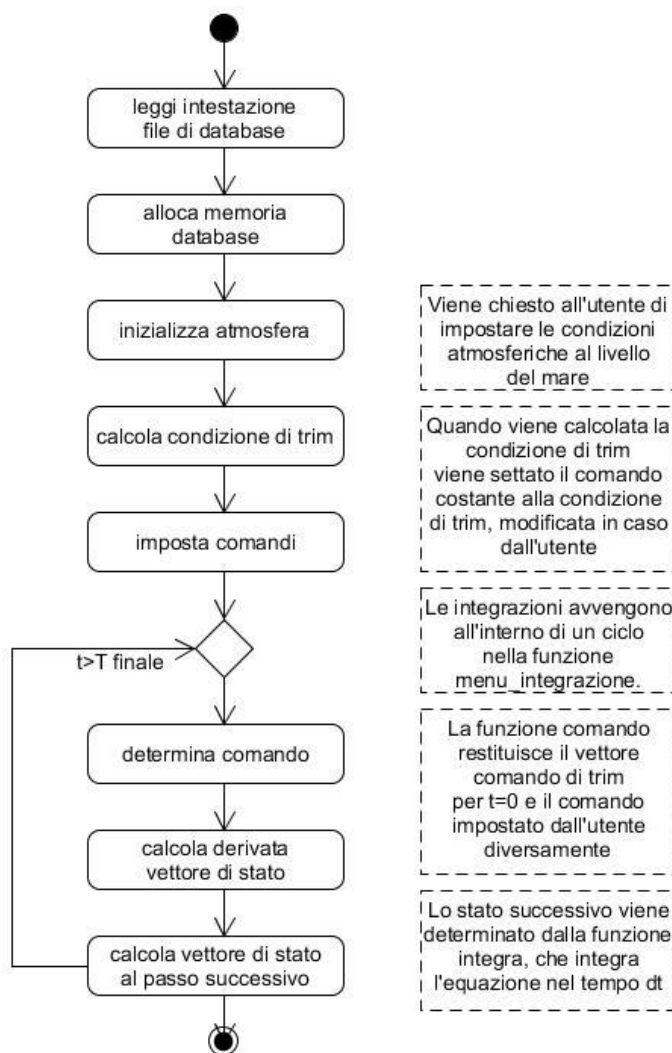
Team di sviluppo del software:

Riccardo Raballo, Luigi Sante, Mattia Tedde ,Frédéric Vianale

Introduzione	3
Logica dell'utilizzo e del funzionamento del simulatore	3
Struttura funzionale del programma.....	5
Elenco delle funzioni implementate suddivise per file e sotto-funzioni	5
Guida rapida all'utilizzo	8
Menu principale.....	8
Menu atmosfera.....	8
Menu di trimmaggio	9
Settaggio comandi	11
Sottomenu del tipo di comando impostato	12
Impulso	12
Gradino	12
Rampa.....	13
Sinusoidale.....	13
Gradino scontrato.....	13
Rampa scontrata.....	13
Trapezio	14
Trapezio scontrato.....	14
Resoconto finale	14
Menu di integrazione	15
Esempi di manovra	15
Impulso su alettone e sul timone di coda	15
Discesa con livellamento	20
Salita con virata a destra e successivo livellamento.....	23

Introduzione

Il simulatore ha lo scopo di ricavare la risposta nel dominio del tempo di un velivolo Cessna 172 applicando una serie di comandi selezionati dall'utente. Vengono indicate come prima cosa le condizioni atmosferiche al suolo e successivamente la condizione di partenza, in modo di poter ricavare la condizione di trim. Settando poi i comandi voluti sulle superfici e sulla manetta si può eseguire la simulazione. I dati verranno salvati in appositi file per il post-processing e l'analisi. Durante la selezione nei menu e durante la simulazione potranno essere segnalati degli errori. Questi non permettono di eseguire la simulazione o nel caso in cui avvengano durante la simulazione la interrompono. Quando viene segnalato un errore il programma non termina e può essere rilanciato modificando i comandi settati. I warning invece non vengono presentati nella linea di comando, ma vengono salvati in un file apposito che viene aperto sulla linea di comando del file matlab di post-processing.



Logica dell'utilizzo e del funzionamento del simulatore

La prima fase del programma si occupa essenzialmente di leggere i dati dai database forniti: *dba.txt*, *engine.txt* e *propeller.txt*. Il primo file contiene tutti i dati descrittivi del velivolo e in seguito le derivate aerodinamiche necessarie alla simulazione. Il simulatore infatti prevede di utilizzare una trattazione linearizzata nello step di integrazione, modificando passo-passo i coefficienti in funzione delle nuove condizioni di volo (far riferimento alla funzione **aeromobile**). Il secondo file contiene i dati relativi alla descrizione del motore. L'ultimo contiene i dati relativi alla geometria e alle caratteristiche aerodinamiche del propeller. Durante la lettura delle intestazioni dei file vengono determinate le dimensioni dell'area di memoria da allocare successivamente per salvare tutti i dati. In questa fase il programma potrebbe generare degli errori, caratterizzati dal simbolo [-], nell'apertura dei file o nella gestione della memoria, come mostrato nella casella successiva. Questi errori non permettono l'esecuzione

del programma. Termina questa fase viene presentato all'utente il menu principale, dalla quale si può

- [-] Errore lettura dati dba
- [-] Errore lettura dati engine
- [-] Errore lettura dati propeller
- [-] Nessun file presente nella posizione <percorso_file_necessario>
- [-] Impossibile allocare l'area di memoria: chiudere qualche programma e riprovare

accedere alle varie sezioni. Non c'è un ordine preciso con cui impostare i parametri. Il menu si occuperà di determinare se ci sono le condizioni necessarie per far partire la simulazione. In questa fase i warning, caratterizzati dal simbolo [!], che potrebbero essere visualizzati sono i seguenti. Gli errori invece ([-]), necessitano di modificare i parametri inseriti affinché la simulazione abbia valori validi di partenza.

[!] Per poter accedere al menu di trimmaggio e' necessario prima settare le condizioni atmosferiche al suolo
[!] Per poter accedere al menu di settaggio dei comandi e' necessario prima settare la condizione di trim
[!] Per determinare la condizione di trim e' necessario impostare h
[!] Per determinare la condizione di trim e' necessario impostare la velocita'
[!] Per determinare la condizione di trim e' necessario impostare gamma
[!] Non è possibile lanciare la simulazione senza aver settato le condizioni atmosferiche
[!] Non è possibile lanciare la simulazione senza aver settato una condizione di trim
[-] Condizione di trim non trovata
[-] Il velivolo è staticamente instabile
[-] Il velivolo è dinamicamente instabile

Questi sono gli unici warning che verranno stampati sulla linea di comando. Impostati tutti i parametri necessari alla simulazione, come si vedrà negli esempi successivi di manovra, è possibile accedere alla simulazione. Il menu permette quindi di reimpostare ogni impostazione precedentemente settata senza dover riavviare tutto il programma, velocizzando in caso di errore o volute modifiche il processo di simulazione. Lo stesso principio si applica alla selezione dei comandi. Accedendo alla sezione di menu dedicata alla simulazione verrà richiesto di inserire il tempo di terminazione della simulazione. In questa fase verranno stampati nel caso si verificassero i seguenti errori. Questi sono anche riportati al termine del file *warning_errori.txt* in output dal simulatore.

[-] Errore interpolazione
[-] Velivolo ha toccato terra
[-] Velocità inferiore alla velocità di stallo
[-] Velocità superiore alla Vne
[-] Impossibile raggiungere la potenza necessaria, mancata convergenza
[-] Impossibile raggiungere la potenza necessaria, numero di giri fuori dai limiti
[-] Errore propeller, mancata convergenza

I warning che si verificano durante la simulazione non verranno stampati nella linea di comando, per una più efficace consultabilità, con il relativo tempo di integrazione. Verranno tutti scritti nel file *warning_errori.txt* e sono i seguenti.

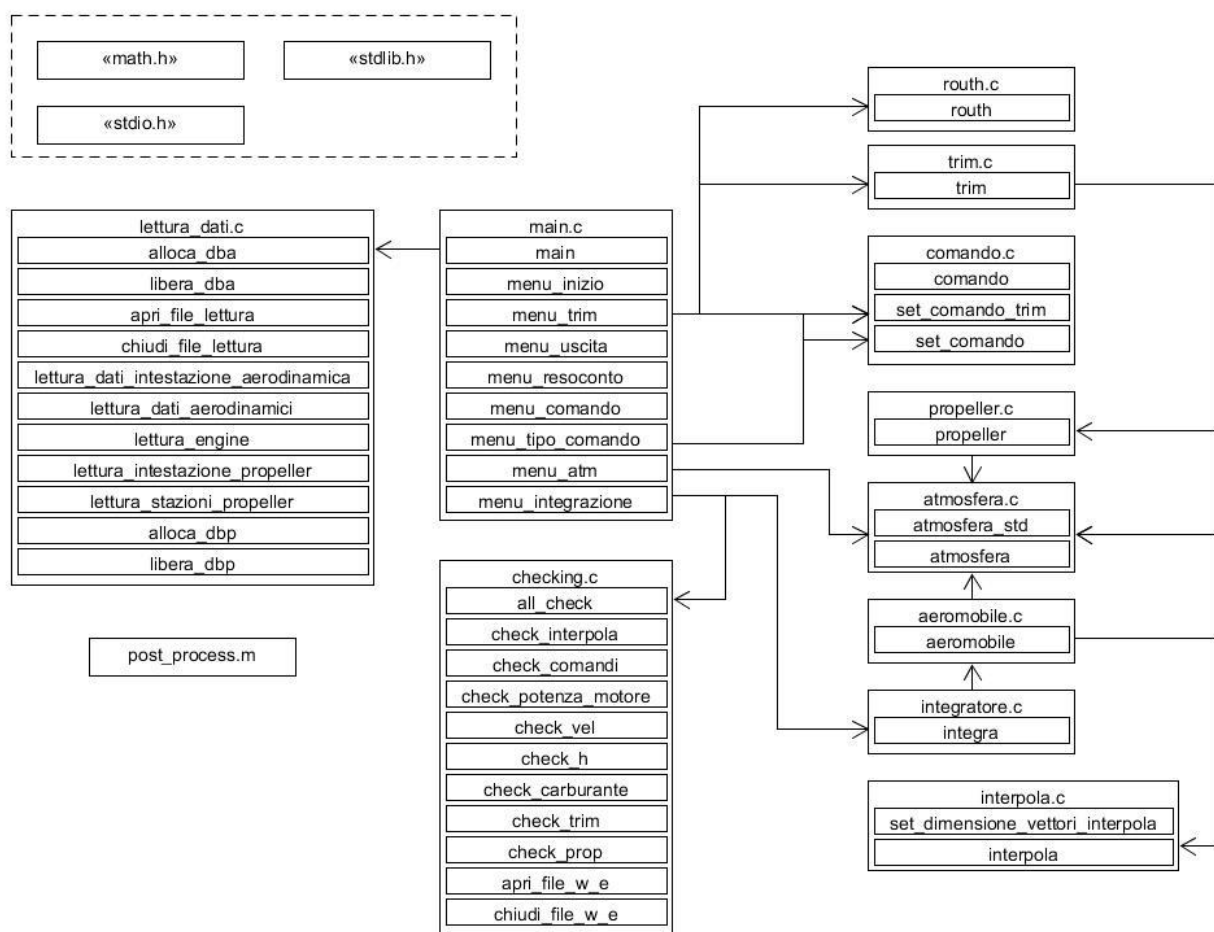
[!] Equilibratore a fine corsa massima
[!] Equilibratore a fine corsa minima
[!] Alettone a fine corsa massima
[!] Alettone a fine corsa minima
[!] Timone a fine corsa massima
[!] Timone a fine corsa minima
[!] Motore al massimo numero di giri
[!] Motore al minimo numero di giri
[!] Velivolo ha superato la quota di tangenza
[!] Potenza insufficiente, numero di giri motore ricalcolato
[!] Errore carburante, esaurito il carburante disponibile

Al termine della simulazione saranno disponibili i dati necessari al post-processing. Verranno scritti i file *stati.txt* e *comandi.txt*, contenenti i vettori di stato nel tempo e il vettore di comandi nel tempo. Senza necessariamente terminare il simulatore è possibile lanciare lo script matlab *post_proces.m*, che si occuperà di calcolare le variabili rimanenti e di generare i grafici utili all'analisi, come si vedrà in seguito.

A questo punto si ritorna al menu principale e si può effettuare le modifiche necessarie e ripetere come prima.

Prendendo come riferimento la posizione del file *Simulatore.exe* è presente una cartella chiamata *Dati*. All'interno sono presenti i tre file di database e se è stata lanciata almeno una simulazione i tre file di output *stati.txt*, *comandi.txt* e *warning_errori.txt*. Sempre in questa cartella è presente lo script *post_proces.m*. Per un corretto funzionamento questa struttura dei file non deve essere modificata (maggiori dettagli nel file README allegato al programma).

Struttura funzionale del programma



Questo schema rappresenta sinteticamente le chiamate delle varie funzioni all'interno del programma.

Elenco delle funzioni implementate suddivise per file e sotto-funzioni

- **interpolata.c:** contiene tutte le funzioni necessarie alla preparazione e all'utilizzo dell'interpolatore lineare. L'utilizzo corretto è lasciato al programmatore. Non viene fatto nessun controllo se viene chiamata la funzione `interpolata` senza aver settato la dimensione dei vettori passati
 - **set_dimensione_vettori_interpolata:** questa è una funzione di servizio necessaria, una volta conosciuta la dimensione delle tabelle del database, alla ricerca in aree di memoria corrette
 - `interpolata:` Questa funzione serve a interpolare in modo lineare i valori in ingresso dai database. Viene richiamata solamente dopo che si è impostato la dimensione dei vettori passati
- **lettura_dati.c:** contiene tutte le funzioni necessarie alla lettura dei database e alla gestione della memoria predisposta per il loro mantenimento durante tutta l'esecuzione del programma. Il buffer del file letto è gestito in modo interno. Questo permette di leggere le intestazioni dei database e il contenuto successivo delle tabelle in modo sequenziale. La gestione è comunque lasciata al programmatore:

vengono fatti solo alcuni controlli parziali sui buffer dei file, se viene chiamata la funzione che legge il database prima della lettura dell'intestazione e della allocazione della memoria le funzioni non funzionano correttamente

- **alloca_dba**: questa è una funzione di servizio necessaria per allocare dinamicamente l'area di memoria necessaria al mantenimento dei dati di database aerodinamico. Viene richiamata dopo aver letto l'intestazione del file di database, nella quale è indicato la dimensione dello stesso. Viene chiamata sempre prima di leggere le tabelle del database
- **libera_dba**: la funzione serve nella fase terminale del programma a liberare nel modo corretto l'area di memoria istanziata
- **apri_file_lettura**: si occupa di aprire il file in lettura, verificando la presenza. Nel caso di errore si occupa di segnalare all'utente ed esternamente verrà poi gestito l'errore nel modo coerente (Terminando il programma)
- **chiudi_file_lettura**: viene richiamata come funzione terminale alla fase di lettura di un database. Resetta la memoria interna che si occupa di gestire il file nel modo corretto. Dopo aver chiamato questa funzione è possibile aprire un altro file per la lettura successiva. Nell'implementazione complessiva non è stata data la possibilità all'utente di selezionare il file da leggere, ma si fa riferimento a un file fisso nella posizione dettata dal main
- **lettura_dati_intestazione_aerodinamica**: la funzione si occupa di leggere la prima parte del file *dba.txt* e di salvare i dati nelle strutture dati definite nel file *lettura_dati.h*. Questa funzione deve essere chiamata sempre e solo dopo aver aperto il file corretto
- **lettura_dati_aerodinamici**: legge le tabelle successive all'intestazione. contenute nel file *dba.txt* salvandoli nell'area di memoria allocata in precedenza, utilizzando delle strutture dati definite nel file *lettura_dati.h*
- **lettura_engine**: successivamente all'apertura del file *engine.txt* si occupa di salvarne il contenuto in strutture dati appositamente definite nel file *lettura_dati.h*
- **lettura_intestazione_propeller**: la funzione si occupa di leggere la prima parte del file *propeller.txt* e di salvare i dati nelle strutture dati definite nel file *lettura_dati.h*. Questa funzione deve essere chiamata sempre e solo dopo aver aperto il file corretto
- **lettura_stazioni_propeller**: legge le tabelle contenute nel file *propeller.txt* salvandoli nell'area di memoria allocata in precedenza, utilizzando delle strutture dati definite nel file *lettura_dati.h*
- **alloca_dbp**: si occupa di allocare l'area di memoria coerentemente con l'intestazione del file *propeller.txt* analogamente alla funzione **alloca_dba**
- **libera_dbp**: il funzionamento è analogo a quello di **libera_dba**
- **atmosfera.c**: all'interno del file sono contenute le funzioni che definiscono l'andamento dei parametri di atmosfera standard date le condizioni al suolo. Prima di chiamare questa funzione il programmatore deve inizializzare correttamente le variabili interne dichiarate nel file *atmosfera.h* (Nel programma questo viene fatto all'interno della funzione di menu adibita all'atmosfera)
 - **atmosfera_std**: restituisce i dati di atmosfera data la quota senza utilizzare le variabili settate dell'utente (non utilizzata nel simulatore)
 - **atmosfera**: restituisce i dati di atmosfera in quota utilizzando i parametri globali settati in precedenza
- **propeller.c**: contiene la sola funzione **propeller** e i parametri globali per il suo funzionamento
 - **propeller**: implementa la teoria dell'elemento di pala di Glauert (Nel programma questa funzione viene chiamata utilizzando due residui differenti. Nella funzione **aeromobile** viene usato un residuo più piccolo rispetto a quello utilizzato nella funzione **check_potenza_motore**, per velocizzare la simulazione in caso di ricalcolo del comando di manetta coerente con la spinta massima)
- **trim.c**: dentro questo file è presente la funzione di trimmaggio. Il metodo utilizzato per determinare tutti i valori necessari è quello delle secanti, molto rapido e preciso
 - **trim**: la funzione si occupa di determinare, date le condizioni iniziali di volo iniziali, lo stato del velivolo e il vettore di comandi necessario all'equilibrio
- **aeromobile.c**: in questo file viene implementata la funzione dell'aeromobile
 - **aeromobile**: la funzione restituisce la derivata dello stato dato lo stato attuale. Nell'implementazione vengono trascurate le derivate dell'incidenza e della massa. Viene usata una trattazione a parametri concentrati attraverso l'utilizzo di un database aerodinamico. Per la teoria usata sul propeller riferirsi alla funzione **propeller**
- **routh.c**: contiene l'implementazione della funzione necessaria a valutare la dinamica statica e dinamica
 - **routh**: la funzione valuta attraverso una trattazione semplificata la stabilità statica e dinamica. Nel caso di stabilità dinamica determina le caratteristiche della risposta di corto e lungo periodo
- **integratore.c**: contiene la sola funzione di integrazione
 - **integra**: implementa l'integrazione dello stato dell'aeromobile dato lo stato al passo precedente e il vettore di comando. L'integrazione avviene attraverso il metodo di eulero esplicito per un solo passo di integrazione. Per effettuare la simulazione la funzione viene richiamata più volte per determinare tutti gli stati nel tempo
- **comando.c**: all'interno vengono implementate le funzioni necessarie a gestire il vettore dei comandi. L'impostazione del comando assegnato viene salvato per ogni superficie all'interno di un'area di memoria sotto forma di tabella e gestita in modo centralizzato dalla funzione **comando**.
 - **comando**: funzione che restituisce il comando assegnato il tempo impostato in precedenza dalla funzione **set_comando**. Nell'implementazione complessiva il comando restituisce sempre la condizione di trim al tempo iniziale e poi esegue la funzione che è stata impostata nella tabella interna di impostazione
 - **set_comando_trim**: la funzione inizializza la tabella di gestione dei comandi nella memoria interna con un segnale costante alla condizione di trim
 - **set_comando**: la funzione assegna ad una determinata superficie o alla manetta la funzione e i parametri da seguire. Questa impostazione verrà poi seguita dalla funzione **comando**
- **checking.c**: dentro questo file sono contenute tutte le funzioni di test necessari per la simulazione, più due funzioni per la gestione del file di output *warning_errori.txt*. Il meccanismo di interruzione della simulazione è gestito in modo centralizzato dalla funzione **all_check**, che richiama le funzioni di verifica da eseguire per ogni step di integrazione e in base ai valori restituiti dalle singole funzioni determina il verificarsi di un errore grave.

- **check_interpolata:** la funzione serve a verificare l'insorgenza di un problema di interpolazione. Questo problema si può verificare quando l'incidenza assegnata non è presente nel range del database o si sono verificati degli errori di computazione in passaggi precedenti (NaN). Essendo un errore grave di simulazione questa viene interrotta e viene stampato il messaggio di errore a schermo e sul file relativo agli errori
- **check_comandi:** la funzione esegue un controllo sul vettore dei comandi. Nel caso questo non fosse applicabile a cause di limitazioni, viene attuata una modifica dello stesso al valore minimo o massimo. Il verificarsi di questa condizione viene riportato come warning nel file di output relativo
- **check_potenza_motore:** verifica l'effettiva disponibilità di potenza richiesta al motore, nel caso questa non fosse sufficiente il numero di giri del motore viene ricalcolato. Questa condizione di warning e viene stampato sul file relativo
- **check_vel:** questa funzione si occupa di verificare che la velocità di volo sia compresa tra i valori massimi del modello. Se non valido viene interrotta la simulazione e stampato un errore sulla linea di comando e sul file relativo
- **check_h:** la funzione valuta il verificarsi dell'impatto al suolo e del superamento della quota di tangenza. Lo schianto restituisce un errore grave, quindi viene segnalato sulla linea di comando e nel file di output relativo. Il superamento della quota di tangenza non interrompe la simulazione e genera solo un messaggio di warning nel file dei warning ed errori
- **check_carburante:** viene implementato all'interno di questa funzione una legge di consumo semplificata. Nel caso di esaurimento del carburante viene riportato un warning nel file dei warning ed errori
- **check_trim:** questa funzione non viene chiamata nella funzione **all_check** ma nel menu relativo al trim
- **check_prop:** serve a verificare la convergenza del metodo propeller. Nel caso questa non andasse a convergenza la simulazione viene successivamente interrotta. Viene salvato l'errore nel file degli errori e stampato su linea di comando
- **check_stab:** questa funzione non viene chiamata nella funzione **all_check**, ma dal menu corrispettivo del trimmaggio. Nel non fosse verificata la stabilità del velivolo, non è possibile accedere alla sezione di simulazione del menu
- **apri_file_w_e:** si occupa di aprire il file in output *warning_errori.txt*
- **chiudi_file_w_e:** si occupa di chiudere il file in output *warning_errori.txt*
- **all_check:** questa funzione esegue tutti i test necessari di warning ed errori richiamando le funzioni sopracitate. Si occupa di dare un criterio di gravità dell'errore e restituisce un valore interpretabile come richiesta di continuazione o terminazione della simulazione
- **main.c:** questo file contiene il corpo principale del programma, suddiviso per menu. Il suo scopo è guidare l'utente all'impostazione della simulazione e alla sua esecuzione. Ogni funzione menu si occupa di gestire le richieste dell'utente e di passare alla funzione menu richiesta
 - **menu_atm:** menu adibito alla gestione dell'atmosfera, il settaggio e la verifica
 - **menu_comando:** questo menu si occupa di gestire la selezione della componente di comando sulla quale successivamente verrà impostata la funzione da seguire
 - **menu_inizio:** la funzione gestisce il menu principale alle varie sezioni interne
 - **menu_integrazione:** questa funzione contiene il ciclo interno di integrazione nella quale viene richiamata la funzione **integra** e la funzione **comandi** più volte. La funzione si occupa anche di gestire l'output di *stati.txt* e *comandi.txt*
 - **menu_resoconto:** questo menu serve per avere un resoconto complessivo dei dati iniziali di simulazione. utile per eseguire un controllo finale prima di lanciare la simulazione o per ricordarsi le impostazioni a simulazione terminata
 - **menu_tipo_comando:** questo sottomenu di **menu_comando**, serve a impostare la funzione da applicare al comando. In seguito, verranno definite le funzioni implementate
 - **menu_trim:** questo menu serve a impostare la condizione di trim e calcolare la sua validità dal punto di vista statico e dinamico. Se questa condizione non è valida vengono riportati gli errori relativi e non è possibile accedere al menu di simulazione
 - **menu_uscita:** questa funzione serve a verificare l'effettiva volontà dell'utente di terminare il programma. Evita che si chiuda il simulatore inavvertitamente perdendo i dati impostati fino a quel momento
 - **main:** il cuore di tutto il software. Gestisce la memoria interna e richiama tutte le funzioni del programma attraverso le funzioni dei menu
- **post_proc.m:** questo file si occupa di determinare le variabili non calcolate durante la simulazione e di generare grafici utili all'analisi della manovra eseguita

(Note aggiuntive: nell'implementazione dello stato del velivolo si è preferito utilizzare per quanto riguarda la variabile h e la sua derivata, il verso secondo gli assi di navigazione in modo che durante l'integrazione venisse fatto il calcolo $h_{k+1} = h_k + dt \frac{dh}{dt} |_k$ coerentemente con la quota richiesta dalla funzione atmosfera. Per quanto riguarda la gestione della manetta si è preferito utilizzare il numero di giri del motore per una più semplice implementazione e rapida computabilità. Il passo di integrazione del simulatore è di 0.01 s)

Guida rapida all'utilizzo

All'avvio il simulatore gestirà l'apertura dei file e l'allocazione della memoria. Se tutto procede senza errori (presentati precedentemente), la schermata risulta essere la seguente:

```
C:\<<percorso>>\Simulatore.exe
```

Caricamento dei dati avvenuto con successo

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

- (0) Chiusura del programma
- (1) Settaggio atmosfera al livello del mare
- (2) Settaggio condizione di trim
- (3) Settaggio comando
- (4) Resoconto dei dati impostati
- (5) Lancio della simulazione

La prima riga rappresenta il percorso del programma lanciato. Sia i file di input che di output generati si trovano nella cartella *Dati* nell'ò stesso percorso indicato. Se i dati in input non sono presenti il programma termina (errore presentato precedentemente).

Il secondo messaggio indica il successo del caricamento del programma.

Menu principale

A questo punto viene presentato il primo menu: **menu_principale**. Attraverso la selezione del menu principale è possibile accedere alla parte relativa:

- **Chiusura del programma:** avvia la procedura di terminazione, verrà chiesto digitare s o n in funzione di cosa si vuole fare
- **Settaggio atmosfera al livello del mare:** porta al menu dedicato all'atmosfera a livello del mare
- **Settaggio condizione di trim:** se si è impostata la condizione al livello del mare dell'atmosfera, fa accedere al menu dell'impostazione delle condizioni iniziali e di trim
- **Settaggio comando:** se il trim e la condizione dell'atmosfera al livello del mare sono state settate permette di modificare il comando impostato (se non si accede a questo menu viene impostato un comando di default costante alla condizione di trim precedentemente calcolata)
- **Resoconto dei dati impostati:** stampa un resoconto delle impostazioni inserite fino a quel momento
- **Lancio della simulazione:** tutto il necessario risulta impostato lancia il menu dedicato alla simulazione

Menu atmosfera

Accedendo alla sezione dedicata all'atmosfera viene stampato a video il seguente sottomenu:

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

- (0) Tornare al menu precedente
- (1) Settaggio dell'atmosfera standard al livello del mare
- (2) Settaggio temperatura al livello del mare
- (3) Settaggio densità al livello del mare
- (4) Settaggio della pressione al livello del mare
- (5) Resoconto dei dati impostati

Digitando il numero 1 verranno impostati al livello del mare pressione densità e temperatura standard ($\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$, $T = 288 \text{ K}$, $p = 101325 \text{ Pa}$). Se invece si digitano i numeri 2, 3 o 4: verrà richiesto all'utente di inserire manualmente il valore desiderato come riportato:

Inserire la temperatura al livello del mare [K] :
Inserire la densità al livello del mare [kg/m^3] :
Inserire la pressione al livello del mare [Pa] :

Infine, digitando 5 si può stampare il resoconto dei dati inseriti fino a quel momento. È necessario inserire tutti e tre i dati al fine di determinare la condizione di trim e quindi di proseguire con la simulazione.

Atmosfera al livello del mare :
T : 288.000000 K
Rho : 1.225000 kg/m^3
P : 101325.000000 Pa

Una volta termina questa fase è possibile tornare al menu precedente.

Menu di trimmaggio

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

- (0) Tornare al menu precedente
- (1) Impostare la quota
- (2) Impostare la velocità
- (3) Impostare l'angolo gamma
- (4) Resoconto dei dati inseriti
- (5) Determinare la condizione di trim

Digitando i numeri 1,2,3 è possibile modificare il valore della condizione iniziale.

Inserire la quota desiderata [m] :
Inserire la velocità [m/s] :
Inserire l'angolo gamma [deg] :

Digitando il numero 4 è possibile verificare i dati inseriti fino a quel momento. Questo non è necessario per calcolare le condizioni di trim, ma consigliato per verificare la correttezza dei dati inseriti. Se non sono stati impostati alcuni parametri almeno una volta non sarà possibile accedere alla sezione 5. Esempio:

Parametri settati per il trim :
h : 1000.000000 m
V : 52.000000 m/s
gamma : 0.000000 deg

Digitando 5 verrà calcolata la condizione di trim e verranno stampati a video alcune informazioni utili al fine di valutare tale condizione. Inoltre verrà considerata la stabilità statica e dinamica con il corrispettivi valori della dinamica. Possono In questa fase possono essere stampati gli errori relativi alla condizione di trim e di stabilità (riportati in precedenza). Il verificarsi di almeno uno di questi errori no permette di accedere al menu di simulazione. Di seguito un esempio della stampa a video successivo all'accesso alla sezione 5.

Vettore di stato nella condizione di trim :

u=51.971181 m/s
v=0.000000 m/s
w=1.730982 m/s
p=0.000000 deg/s
q=0.000000 deg/s
r=0.000000 deg/s
phi=0.000000 deg
psi=0.000000 deg
theta=1.907621 deg
h=1000.000000 h

Vettore di comando nella condizione di trim :

da=0.000000 deg
de=-4.461785 deg
dr=0.000000 deg
rpm=1646.199930 rpm

Vettore derivata dello stato dell'aeromobile nella condizione di trim

du=-0.000000 m/s²
dv=0.000000 m/s²
dw=-0.000000 m/s²
dp=0.000000 deg/s²
dq=0.000000 deg/s²
dr=0.000000 deg/s²
dphi=0.000000 deg/s
dpsi=0.000000 deg/s
dtheta=0.000000 deg/s
dh=0.000000 m/s

Il velivolo e' stabile staticamente in condizione di trim

Il velivolo e' stabile dinamicamente in condizione di trim

Corto periodo

Omega :4.254403
Periodo :2.085290
Smorzamento :0.705981
Tempo di dimezzamento :0.230778

Fugoide

Omega :0.266797
Periodo :23.584435
Smorzamento :0.053665
Tempo di dimezzamento :48.412091

Settaggio comandi

La prima schermata presentata permette di selezionare quale variabile del vettore comando andare ad impostare. Di default il vettore comando è impostato nella condizione di rimanere costante alla condizione di trim.

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

- (0) Tornare al menu precedente
- (1) Impostare il comando equilibratore
- (2) Impostare comando alettone
- (3) Impostare comando di timone
- (4) Impostare il comando di manetta
- (5) Resoconto dei comandi impostati

Selezionando la parte 5 verrà stampata una schermata riassuntiva del vettore comando impostato per la simulazione, di seguito un esempio:

Comandi impostati

da :

Tipo : trapezio
T inizio : 40.000000
T 1 : 41.000000
T 2 : 44.000000
T fine : 45.000000
Ampiezza iniziale [deg] : 0.000000
Ampiezza regime [deg] : 0.600000
Ampiezza finale [deg] : 0.000000

de :

Tipo : rampa
T inizio : 40.000000
T fine : 45.000000
Ampiezza iniziale [deg] : -3.312874
Ampiezza finale [deg] : -3.337874

dr :

Tipo : rampa
T inizio : 40.000000
T fine : 45.000000
Ampiezza iniziale [deg] : 0.000000
Ampiezza finale [deg] : -0.031000

rpm :

Tipo : costante
Ampiezza [rpm] : 1908.218567

Selezionando invece 1,2,3 o 4 si richiama la funzione di sottomenu **menu_tipo_comando** a cui viene dettato su quale variabile del vettore comando settare la funzione. Le funzioni impostabili verranno spiegato nel dettaglio in seguito nella sezione relativa al sottomenu.

Sottomenu del tipo di comando impostato

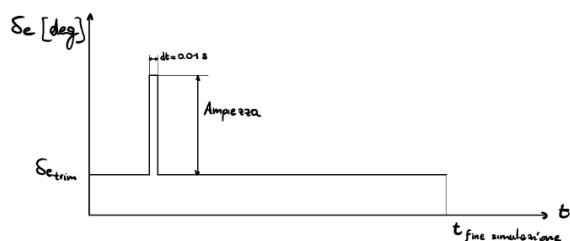
Verrà spiegato il funzionamento di questo sottomenu facendo un esempio sul comando di equilibratore, ma l'utilizzo sarà del tutto analogo per qualsiasi elemento del vettore di comando.

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

- (0) Tornare al menu precedente
- (1) Settaggio del comando impulso
- (2) Settaggio del comando gradino
- (3) Settaggio del comando rampa
- (4) Reset del comando costante alla condizione di trim
- (5) Settaggio del comando sinusoidale
- (6) Settaggio del comando a gradino scontrato
- (7) Settaggio del comando a rampa scontrata
- (8) Settaggio del comando trapezio
- (9) Settaggio del comando trapezio scontrato

Ogni selezione mostra all'utente una serie di richieste di inserimento per la caratterizzazione della relativa funzione di comando. Selezionando invece il 4 si resetterà il vettore comando di default alla condizione di trim. (Nota: è estremamente consigliato finita la fase di impostazione dei comandi, verificare che i tempi inseriti siano impostati nell'ordine corretto. Questo è possibile farlo al menu precedente. all'utente è permesso inserire comandi che non rispettano i valori limite dell'aeromobile ma nella simulazione questi verranno limitati ai limiti consentiti e segnalati i warning nel file dei warning.)

Impulso



Nella selezione dell'impulso viene richiesto l'inserimento del tempo iniziale e di definire l'ampiezza in modo assoluto o differenziale in funzione del breve menu aggiuntivo all'interno.

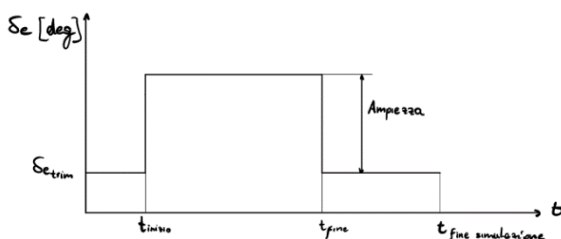
T inizio [s] :

Digitare il numero per

- (0) Settaggio del comando in modo assoluto
- (1) Settare il comando differenziale rispetto alla condizione di trim

Ampiezza [deg] :

Gradino



Il menu è simile a quello visto per la selezione dell'impulso, tranne per l'aggiunta della definizione del tempo finale.

T inizio [s] :

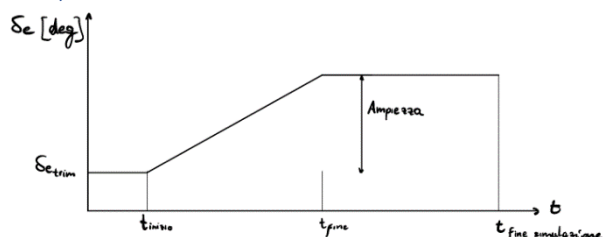
T fine [s] :

Digitare il numero per

- (0) Settaggio del comando in modo assoluto
- (1) Settare il comando differenziale rispetto alla condizione di trim

Ampiezza [deg] :

Rampa



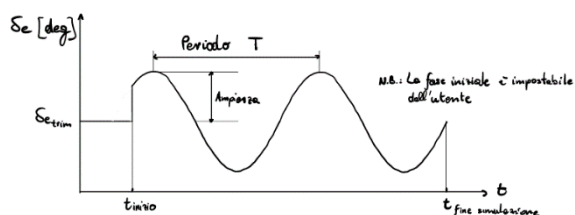
L'inserimento richiesto è identico al comando gradino.

T inizio [s] :
T fine [s] :
Digitare il numero per

(0) Settaggio del comando in modo assoluto
(1) Settare il comando differenziale rispetto alla condizione di trim

Ampiezza [deg] :

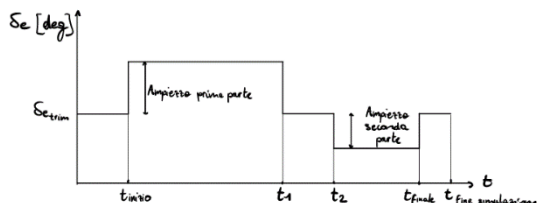
Sinusoidale



T inizio [s] :
Periodo [s] :
Fase [deg] :
Ampiezza rispetto al valore di trim [deg] :

Il comando sinusoidale potrebbe essere utile per analizzare la risposta in frequenza ai comandi, anche in modo combinato con sfasamenti specifici. Viene chiesto all'utente di inserire la sua parametrizzazione come si vede nel blocco in alto a destra.

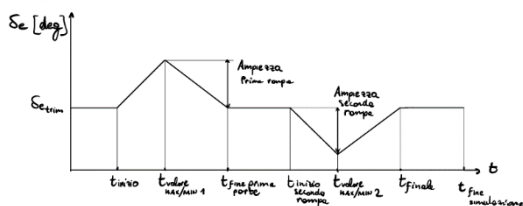
Gradino scontrato



L'inserimento dei dati di questo tipo di comando è analogo, a meno delle variabili da impostare, a quello sinusoidale. Non vengono quindi presentati ulteriori sottomenu.

T inizio [s] :
T 1 [s] :
T 2 [s] :
T finale [s] :
Ampiezza rispetto al valore di trim, prima parte [deg] :
Ampiezza rispetto al valore di trim, seconda parte [deg] :

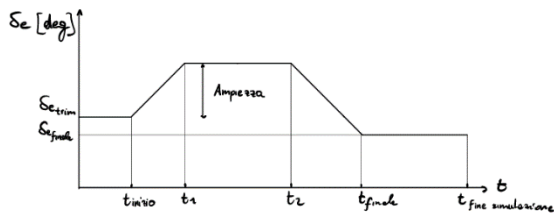
Rampa scontrata



Anche in questo caso l'inserimento è lineare come nel caso sinusoidale e di gradino scontrato. Come si vede nella casella a destra.

T inizio [s] :
T valore massimo/minimo nella prima parte [s] :
T fine prima parte [s] :
T inizio seconda rampa [s] :
T valore massimo/minimo nella seconda parte [s] :
T finale [s] :
Ampiezza rispetto al valore di trim, prima parte [deg] :
Ampiezza rispetto al valore di trim, seconda parte [deg] :

Trapezio



Viene richiesto all'utente di inserire i tempi necessari all'impostazione del segnale l'ampiezza a regime rispetto alla condizione di trim. In seguito, viene mostrato un breve menu che richiede che valore impostare finita l'ultima rampa. Se si seleziona il menu 1 compare anche la scritta evidenziata in giallo.

T inizio [s] :

T 1 [s] :

T 2 [s] :

T finale [s] :

Ampiezza regime rispetto al valore di trim [deg] :

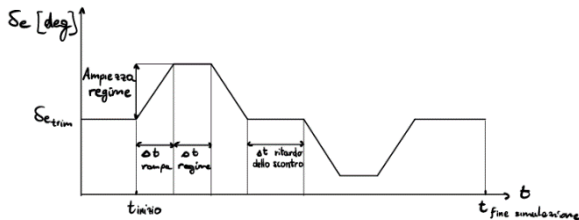
Digitare il numero per

(0) Settare l'ampiezza finale uguale a quella di trim iniziale

(1) Settare l'ampiezza finale diversa da quella di trim iniziale

Ampiezza finale [deg] :

Trapezio scontrato



T inizio [s] :

Delta T rampa [s] :

Delta T regime [s] :

Delta T ritardo dello scontro [s] :

Ampiezza regime rispetto al valore di trim [deg] :

Il menu di questo tipo di comando è del tutto analogo a quello visto nelle funzioni sinusoidale, rampa scontrata e gradino scontrato.

Resoconto finale

Accedendo a questa sezione è possibile verificare tutti i dati inseriti fino a quel momento. Esempio:

Atmosfera al livello del mare :

T : 288.000000 K

Rho : 1.225000 kg/m³

P : 101325.000000 Pa

Parametri settati per il trim :

h : 1000.000000 m

V : 52.000000 m/s

gamma : 0.000000 deg

Vettore di stato nella condizione di trim :

u=51.971181 m/s

v=0.000000 m/s

w=1.730982 m/s

p=0.000000 deg/s

q=0.000000 deg/s

r=0.000000 deg/s

phi=0.000000 deg

psi=0.000000 deg

theta=1.907621 deg

h=1000.000000 h

Vettore di comando nella condizione di trim :

da=0.000000 deg

de=-4.461785 deg

dr=0.000000 deg

rpm=1646.199930 rpm

Comandi impostati

da :

Tipo : costante

Ampiezza [deg] : 0.000000

de :

Tipo : costante

Ampiezza [deg] : -4.461785

dr :

Tipo : costante

Ampiezza [deg] : 0.000000

rpm :

Tipo : costante

Ampiezza [rpm] : 1646.199930

Menu di integrazione

Accedendo in questa schermata, se tutto è stato impostato correttamente, viene richiesto di inserire il tempo di fine simulazione e la simulazione parte. Un contatore mostrerà il proseguire della simulazione. Se si notasse un rallentamento nell'esecuzione, probabilmente questo è dovuto al raggiungimento della potenza massima del motore e il ricalcolo della manetta. Terminata la simulazione si può eseguire il file di post-processing, che aprirà tutti i file di output senza dover chiudere il programma. Si può ri-accedere ai menu precedenti, e modificando i parametri e ri-accedendo semplicemente al menu di integrazione eseguire una nuova simulazione. (Nota: cambiare le impostazioni di atmosfera necessita un ricalcolo delle condizioni di trim. Vale lo stesso se si modificano i parametri iniziali per il trimmaggio. Ogni nuova simulazione sovrascriverà i file della precedente.)

In questa fase eventuali errori gravi appariranno nella linea di comando e interromperanno la simulazione. Il programma però non verrà terminato e una esecuzione ulteriore, senza modificare i comandi o le impostazioni settate, porterà inevitabilmente alla stessa conclusione.

Esempio durante la simulazione:

```
T fine simulazione [s] : 500
t=99.990000_
```

Esempio di possibili terminazioni:

```
Fine della simulazione
Esegui post_process.m nella cartella \Dati per visualizzare i risultati
```

```
t=1.190000
[-] Errore interpolazione

Fine della simulazione
Esegui post_process.m nella cartella \Dati per visualizzare i risultati
```

Esempi di manovra

Impulso su alettone e sul timone di coda

Come visto nella guida precedente si inizia impostando le condizioni atmosferiche al suolo (Evidenziati sono gli input dell'utente, i menu verranno omessi a meno della selezione fatta):

```
Digitare il numero per accedere alla sezione voluta
...
(1) Settaggio atmosfera al livello del mare
...
1

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta
...
(1) Settaggio dell'atmosfera standard al livello del mare
...
1

Atmosfera al livello del mare :
T : 288.000000 K
Rho : 1.225000 kg/m^3
P : 101325.000000 Pa
```

Digitando 0 si ritorna al menu principale e si impostano le condizioni di partenza:

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

...

(2) Settaggio condizione di trim

...

2

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

...

(1) Impostare la quota

...

1

Inserire la quota desiderata [m] : **1200**

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

...

(2) Impostare la velocita'

...

2

Inserire la velocita' [m/s] : **55**

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

...

(3) Impostare l'angolo gamma

...

3

Inserire l'angolo gamma [deg] : **0**

A questo punto si può stampare un resoconto dei dati impostati, come visto nella guida precedente, e determinare la condizione di trim.

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

...

(5) Determinare la condizione di trim

5

Vettore di stato nella condizione di trim :

u=54.977111 m/s

v=0.000000 m/s

w=1.586575 m/s

p=0.000000 deg/s

q=0.000000 deg/s

r=0.000000 deg/s

phi=0.000000 deg

psi=0.000000 deg

theta=1.653031 deg

h=1200.000000 h

Vettore di comando nella condizione di trim :

da=0.000000 deg

de=-4.106131 deg

dr=0.000000 deg

rpm=1741.517399 rpm

Vettore derivata dello stato dell'aeromobile nella condizione di trim

du=-0.000000 m/s²

dv=0.000000 m/s²

dw=-0.000000 m/s²

dp=0.000000 deg/s²

dq=-0.000000 deg/s²

dr=0.000000 deg/s²

dphi=0.000000 deg/s

dpsi=0.000000 deg/s

dtheta=0.000000 deg/s

dh=-0.000000 m/s

Il velivolo e' stabile staticamente in condizione di trim

Il velivolo e' stabile dinamicamente in condizione di trim

Corto periodo

Omega :4.457166

Periodo :1.976211

Smorzamento :0.700833

Tempo di dimezzamento :0.221897

Fugoide

Omega :0.252244

Periodo :24.948692

Smorzamento :0.056293

Tempo di dimezzamento :48.814224

A questo punto anche la condizione di si ritorna al menu principale digitando 0.

Avendo calcolato la condizione di trim, il vettore dei comandi risulta essere impostato come di default al valore di trim, mantenuto costante per tutta la simulazione. Occorre modificarlo: in questo caso vogliamo impostare un impulso sull'timone (0.5° trascorsi 20 secondi) e sull'alettone (1° trascorsi 20 secondi):

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

...

(2) Impostare comando alettone

...

2

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

(0) Tornare al menu precedente

(1) Settaggio del comando impulso

...

1

T inizio [s] : **20**

Digitare il numero per

(0) Settaggio del comando in modo assoluto

(1) Settare il comando differenziale rispetto alla condizione di trim

0

Ampiezza [deg] : **1**

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

...

(3) Impostare comando di timone

...

3

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

...

(1) Settaggio del comando impulso

...

1

T inizio [s] : **20**

Digitare il numero per

(0) Settaggio del comando in modo assoluto

(1) Settare il comando differenziale rispetto alla condizione di trim

0

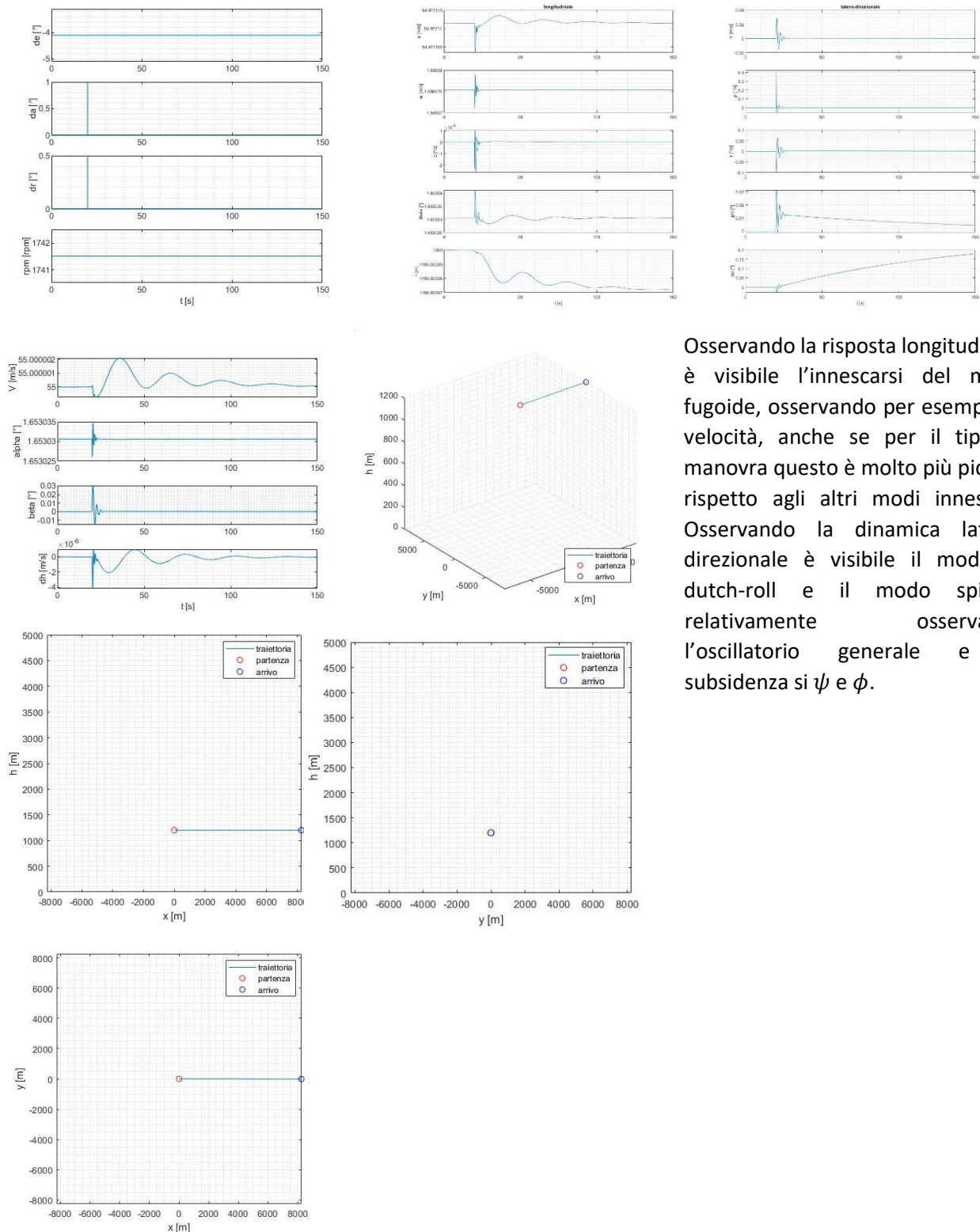
Ampiezza [deg] : **0.5**

Lo stesso procedimento vale per il comando impartito al timone:

Si digita quindi 0 e si ritorna al menu principale. (Nota: nel caso di errore nell'inserimento, inserire dei valori numerici e poi selezionare la voce 4 per resettare il comando al valore di trim oppure la funzione voluta.).

Adesso è possibile lanciare la simulazione inserendo, come descritto precedentemente nella sezione dedicata al menu integrazione, il tempo di simulazione desiderato e si attende il termine. (Nota: come prescritto precedentemente è consigliato verificare la correttezza dei dati, soprattutto nel rispetto degli ordini temporali dei comandi. Inserire un tempo di simulazione di 150 s. Se tutto è stato inserito correttamente non deve verificarsi nessun errore e nessun warning).

Terminata la simulazione si esegue dalla cartella Dati lo script matlab *post_proces.m*. Di seguito vengono riportati i grafici generati in post-processing.



Osservando la risposta longitudinale è visibile l'innescarsi del modo fugaide, osservando per esempio la velocità, anche se per il tipo di manovra questo è molto più piccolo rispetto agli altri modi innescati. Osservando la dinamica latero-direzionale è visibile il modo di dutch-roll e il modo spirale, relativamente osservando l'oscillatorio generale e la subsidenza si ψ e ϕ .

Discesa con livellamento

Ripartendo dalla condizione della simulazione precedente si vuole simulare adesso una discesa da quota 1000 m a 700 m, mantenendo il più possibile la velocità di volo a 52 m/s e un rateo di discesa costante, livellando al raggiungimento della quota finale. (Le funzioni dei comandi sono state trovate utilizzando più volte l'area del menu di trim e attraverso lo studio dello stato e del comando di trim restituiti si è passati ad effettuare più prove fino ad arrivare alla soluzione voluta.).

Accedendo nuovamente al menu principale e poi a quello di trimmaggio si impostano la quota, la velocità e l'assetto di partenza:

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

...

(2) Settaggio condizione di trim

...

2

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

...

(1) Impostare la quota

...

1

Inserire la quota desiderata [m] : **1000**

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

...

(2) Impostare la velocità

...

2

Inserire la velocità [m/s] : **52**

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

...

(3) Impostare l'angolo gamma

...

3

Inserire l'angolo gamma [deg] : **0**

In seguito, si procede, come nel caso precedente, a calcolare la condizione di trim (Viene omesso il risultato stampato della condizione di trim trovata. Il valore del comando adesso è settato costante come di default).

Si passa al menu di settaggio del comando, inserendo i seguenti valori:

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta
...
(1) Impostare il comando equilibratore
...
1

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta
...
(8) Settaggio del comando trapezio
...
8

T inizio [s] : **20**

T 1 [s] : **50**

T 2 [s] : **538**

T finale [s] : **568**

Ampiezza regime rispetto al valore di trim [deg] : **0.05**

Digitare il numero per
(0) Settare l'ampiezza finale uguale a quella di trim iniziale
(1) Settare l'ampiezza finale diversa da quella di trim iniziale
1

Ampiezza finale [deg] : **-4.35**

Si torna indietro con 0 e si setta il comando di manetta:

Riassumendo il comando impostato sarà:

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta
...
(4) Impostare il comando di manetta
...
4

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta
...
(8) Settaggio del comando trapezio
...
8

T inizio [s] : **20**

T 1 [s] : **50**

T 2 [s] : **538**

T finale [s] : **568**

Ampiezza regime rispetto al valore di trim [rpm] : **-59**

Digitare il numero per
(0) Settare l'ampiezza finale uguale a quella di trim iniziale
(1) Settare l'ampiezza finale diversa da quella di trim iniziale
1

Ampiezza finale [rpm] : **1646**

Come visto in precedenza si ritorna al menu principale e si lancia la simulazione (tempo utilizzato: 700 s).

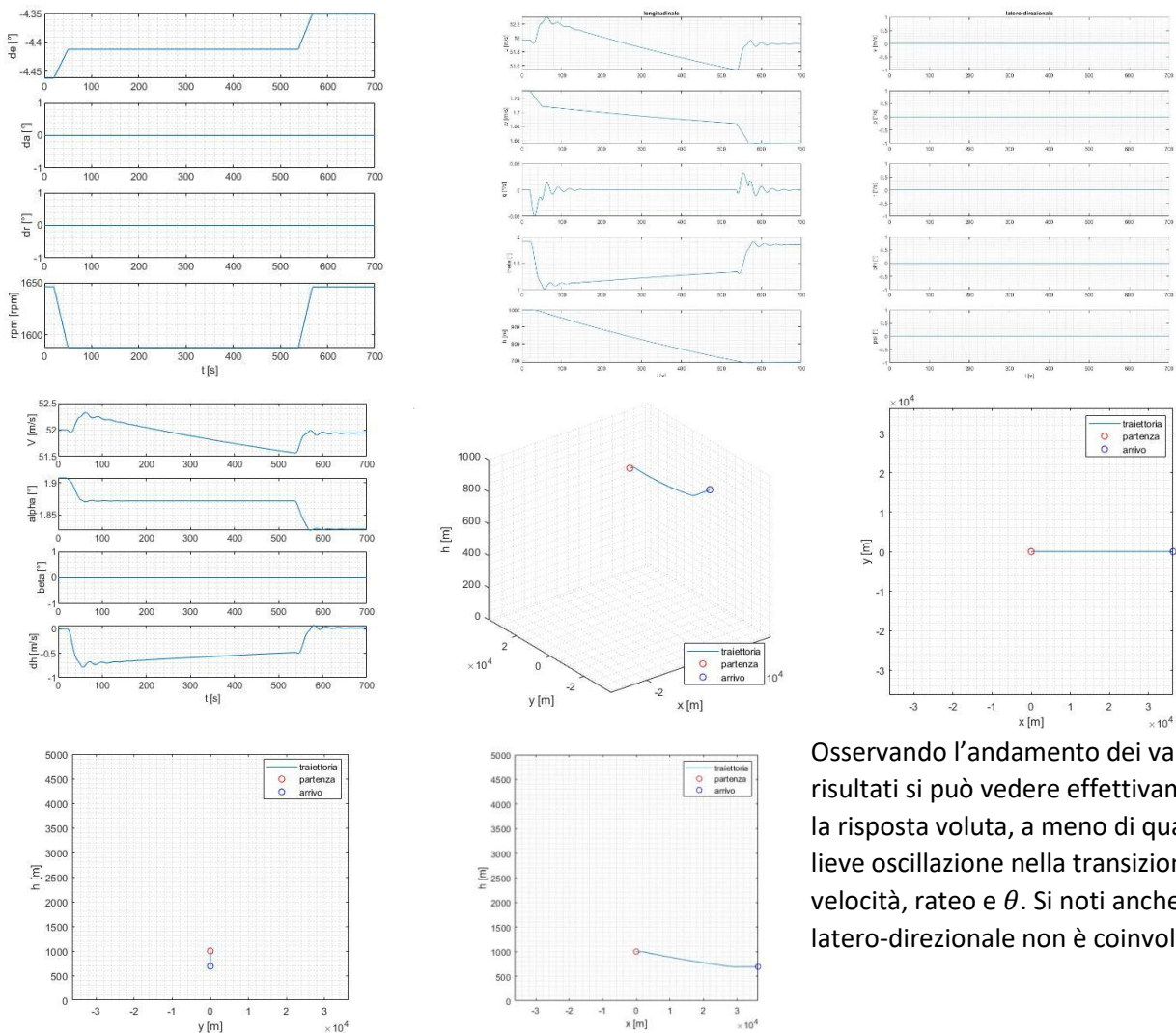
da :
 Tipo : costante
 Ampiezza [deg] : 0.000000

de :
 Tipo : trapezio
 T inizio : 20.000000
 T 1 : 50.000000
 T 2 : 538.000000
 T fine : 568.000000
 Ampiezza iniziale [deg] : -4.461785
 Ampiezza regime [deg] : -4.411785
 Ampiezza finale [deg] : -4.350000

dr :
 Tipo : costante
 Ampiezza [deg] : 0.000000

rpm :
 Tipo : trapezio
 T inizio : 20.000000
 T 1 : 50.000000
 T 2 : 538.000000
 T fine : 568.000000
 Ampiezza iniziale [rpm] : 1646.199930
 Ampiezza regime [rpm] : 1587.199930
 Ampiezza finale [rpm] : 1646.000000

Lanciando il post_processing al termine della simulazione si ottengono i seguenti risultati.



Osservando l'andamento dei vari risultati si può vedere effettivamente la risposta voluta, a meno di qualche lieve oscillazione nella transizione, di velocità, rateo e θ . Si noti anche che il latero-direzionale non è coinvolto.

Salita con virata a destra e successivo livellamento

Viene riportato un ultimo esempio di manovra complessa. La soluzione è stata ottenuta similmente al caso precedente, valutando la condizione di trim di inizio e fine manovra. A questa è stata aggiunta una virata valutata in modo iterativo fino ad ottenere un comando accettabile. La gestione del tempo di virata permette di modificare la direzione al termine della virata. L'atmosfera e la condizione di trim iniziale rimane invariata rispetto al caso precedente.

Si setta il comando di alettone:

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

(0) Tornare al menu precedente

...

(9) Settaggio del comando trapezio scontrato

9

T inizio [s] : 20

Delta T rampa [s] : 1

Delta T regime [s] : 3

Delta T ritardo dello scontro [s] : 119.3

Ampiezza regime rispetto al valore di trim [deg] : 1

Il comando di equilibratore:

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

(0) Tornare al menu precedente

...

(9) Settaggio del comando trapezio scontrato

8

T inizio [s] : 20

T 1 [s] : 24

T 2 [s] : 271

T finale [s] : 275

Ampiezza regime rispetto al valore di trim [deg] : -0.314

Digitare il numero per

(0) Settare l'ampiezza finale uguale a quella di trim iniziale

(1) Settare l'ampiezza finale diversa da quella di trim iniziale

1

Ampiezza finale [deg] : -4.666

Il comando di timone:

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

(0) Tornare al menu precedente

...

(9) Settaggio del comando trapezio scontrato

8

T inizio [s] : **20**

T 1 [s] : **24**

T 2 [s] : **143.3**

T finale [s] : **147.3**

Ampiezza regime rispetto al valore di trim [deg] : **0.011**

Digitare il numero per

(0) Settare l'ampiezza finale uguale a quella di trim iniziale

(1) Settare l'ampiezza finale diversa da quella di trim iniziale

0

Infine, il comando di manetta:

Digitare il numero per accedere alla sezione voluta

(0) Tornare al menu precedente

...

(9) Settaggio del comando trapezio scontrato

8

T inizio [s] : **20**

T 1 [s] : **50**

T 2 [s] : **245**

T finale [s] : **275**

Ampiezza regime rispetto al valore di trim [rpm] : **200**

Digitare il numero per

(0) Settare l'ampiezza finale uguale a quella di trim iniziale

(1) Settare l'ampiezza finale diversa da quella di trim iniziale

1

Come anticipato il comando impostato genera una manovra di virata e salita combinata. Arrestata la virata poi si continua a salire fino alla quota di 1500 m. Dopodiché l'aereo raggiunge una nuova condizione di trim. Si noti come la virata avvenga con una velocità angolare costante (ψ ha una forma a rampa, r costante e ϕ costante).