

# JSBSim in azione

Prof. Agostino De Marco

-

Jary D'Auria

Università degli Studi di Napoli "Federico II"

Dinamica e Simulazione del Volo  
Napoli, 11 Aprile 2014

# Introduzione all'uso di JSBSim

## 1 Introduzione all'uso di JSBSim

Come si può utilizzare JSBSim?

Lavorare con JSBSim

Cosa serve per lanciare le simulazioni?

## 2 Alcuni esempi di utilizzo

Creare il FDM di un velivolo

Esempi di simulazione

# Come si può utilizzare JSBSim?

## ① Ingegneristico

- Strumento per lo studio della Dinamica del Volo
- Design di un velivolo
- Verifica performance e qualità di volo
- Impatto della dinamica su altri oggetti (persone, motori, payload, ecc.)
- Valutazione del rischio d'impatto
- Hardware In The Loop (HITL) testing (Aerocross Echo Hawk UAV, DuPont Aerospace DP-1)
- Air Traffic Control e Flight Management System (MITRE)

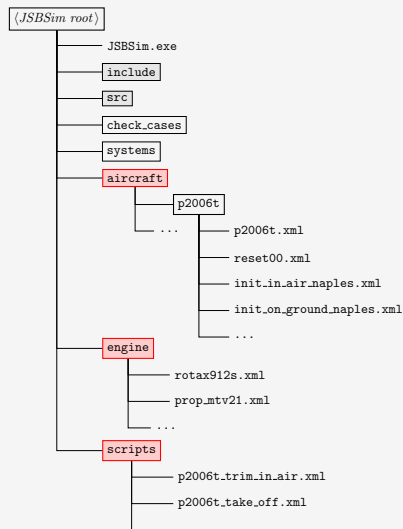
## ② Non ingegneristico

- Simulatori
  - Addestratori
  - Desktop Simulation (Flightgear, OpenEagle, ...)

# Lavorare con JSBSim

Data la **complessità** e la **quantità** di file con cui lavorare è utile tenere il tutto in ordine!

Una possibile sistemazione della cartella di lavoro potrebbe essere la seguente:



# Cosa serve per lanciare le simulazioni?

- File di Configurazione del Velivolo (Flight Dynamics Model, FDM)
- File di inizializzazione (condizioni iniziali)
- File con una serie di comandi

Sono tutti file **XML** (*eXtensible Markup Language*) che permettono di organizzare i dati in maniera strutturata aumentandone la leggibilità e riducendo lo sforzo di programmazione.

# Com'è fatto il FDM?

```
<fdm_config>    ← il tag radice
  <fileheader>
    ...          ← informazioni su autore, riferimenti, etc.
  </fileheader>
  <metrics>
    ...          ← informazioni sulla geometria
  </metrics>
  <mass_balance>
    ...          ← informazioni sui pesi e le inerzie
  </mass_balance>
  <ground_reactions>
    ...          ← caratteristiche del comportamento al suolo
    ...          ← (carrelli ed altri punti di contatto)
  </ground_reactions>
```

# Com'è fatto il FDM?

```
<propulsion>
  ...           ← dati sul sistema propulsivo
</propulsion>
<flight_control>
  ...           ← definizioni dei controlli di volo (autopilota)
</flight_control>
<aerodynamics>
  ...           ← database aerodinamico
</aerodynamics>
<output>
  ...           ← direttive di log
</output>
</fdm_config> ← chiusura del tag radice
```

## Il file di inizializzazione

```
<?xml version="1.0"?> ← intestazione
<initialize name="reset00"> ← tag di radice del file di inizializzazione
  <!--
    This file sets up the aircraft to start off
    from the runway in preparation for takeoff.
  -->
  <ubody unit="FT/SEC">      0.0  </ubody> ← velocità lungo  $x_B$ 
  <vbody unit="FT/SEC">      0.0  </vbody> ← velocità lungo  $y_B$ 
  <wbody unit="FT/SEC">      0.0  </wbody> ← velocità lungo  $z_B$ 
  <longitude unit="DEG"> -95.163839  </longitude>
  <latitude unit="DEG">  29.593978  </latitude>
  <phi unit="DEG">          0.0  </phi> ←  $\phi$  angolo di inclinazione
    laterale
  <theta unit="DEG">          0.0  </theta> ←  $\theta$  angolo di elevazione
  <psi unit="DEG">          200.0  </psi> ←  $\psi$  angolo di rotta
  <altitude unit="FT">        4.6  </altitude>
  <hwind unit="FT/SEC"> 0.0 </hwind> ← componente orizzontale
    della velocità vento
  <vwind unit="FT/SEC"> 0.0 </vwind> ← componente verticale
```



## Lo script: programmare il volo

```

<?xml version="1.0"?>
<?xml-stylesheet
  type="text/xsl"
  href="http://jsbsim.sourceforge.net/JSBSimScript.xsl"?
>
<runscript ← tag di radice dello script
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://jsbsim.sf.net/
JSBSimScript.xsd"
  name="C172-01A takeoff run">
  <!--
    This run is for testing the C172 altitude hold
    autopilot
  -->
  <use
    aircraft="c172x"           ← sceglie il velivolo /c172x/c172.xml
    initialize="reset00"       ← condiz. iniziali in /c172x/reset00.xml
  />

```

## Lo script: programmare il volo

```

<run
  start="0.0"                ← tempo iniziale, in s
  end="200"                  ← tempo finale, in s
  dt="0.008333333333333333" ←  $\Delta t$ , in s
>

  ... ← lista degli eventi della simulazione

</run>
</runscript>

```

Possiamo inserire qualsiasi variabile contenuta nel catalogo.  
 Il comando per far esporre a JSBSim il catalogo è:

```

$ JSBSim --aircraft=c172p --catalog > c172_catalog.txt ↵
  <invio>

```

# Esempi di utilizzo

## 1 Introduzione all'uso di JSBSim

Come si può utilizzare JSBSim?

Lavorare con JSBSim

Cosa serve per lanciare le simulazioni?

## 2 Alcuni esempi di utilizzo

**Creare il FDM di un velivolo**

Esempi di simulazione

# FDM di un velivolo dell'aviazione generale

## P2006T Aircraft



**CS-23 Certification**

### Performances

|                          |                 |
|--------------------------|-----------------|
| Max Level speed (at S/L) | 155 kts         |
| Cruise speed             | 145 kts         |
| Max R/C (at S/L)         | 1202 ft/min     |
| Take-off distance        | 450 m (1400 ft) |
| Landing distance         | 320 m (1050 ft) |

### Characteristics

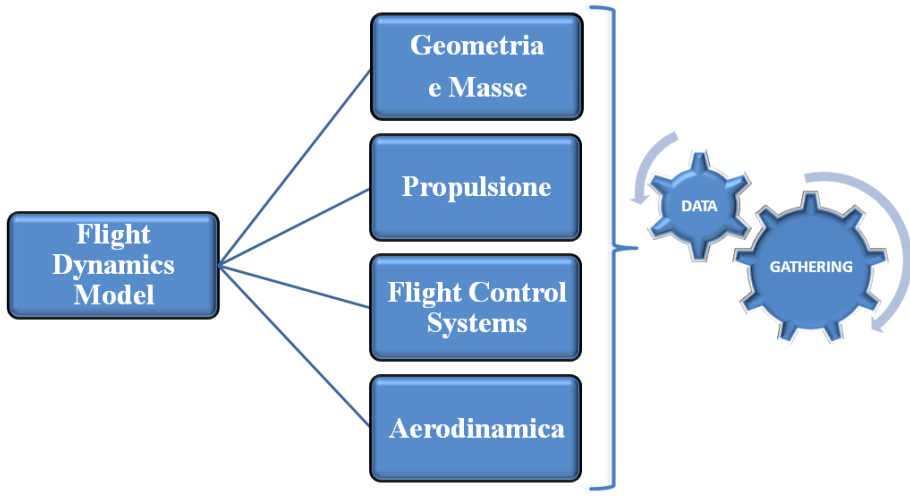
|                 |  |
|-----------------|--|
| Wing span       | 11.4 m (37.4 ft)                             |
| Wing area       | 14.8 m <sup>2</sup> (159.3 ft <sup>2</sup> ) |
| Fuselage length | 8.7 m (28.5 ft)                              |
| AR              | 8.8  |

**Engine:** Rotax 912S (2×100 hp)

### Weights & Balance

|                            |                   |         |
|----------------------------|-------------------|---------|
| MTOW                       | 1180 kg (2600 lb) |         |
| Std. Equipped Empty Weight | 760 kg (1675 lb)  |         |
| Max/Min load factors       | +3.8 g / -1.9 g   |         |
|                            | Max Fwd           | Max Aft |
| XCG Position               | 16.5 %            | 31 %    |

## Reperire i dati

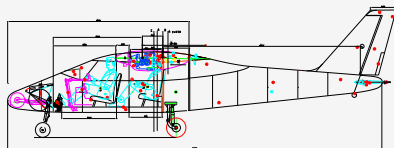


# Geometria e masse

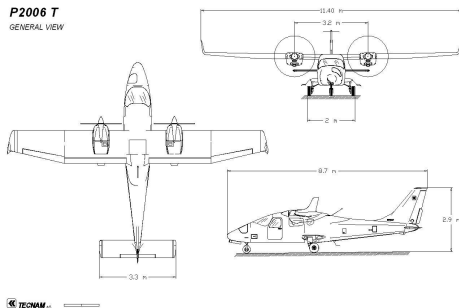
```

<metrics>
  <wingarea unit="M2"> 14.76
    </wingarea>
  <wingspan unit="M"> 11.4
    </wingspan>
  <chord unit="M"> 1.36
    </chord>
  <htailarea unit="M2"> 2.57
    </htailarea>
  <htailarm unit="M"> 4.7
    </htailarm>
  <vtailarea unit="M2"> 1.01
    </vtailarea>
  <vtailarm unit="M"> 1.04
    </vtailarm>

```



**P2006 T**  
GENERAL VIEW



## Geometria e masse

```
<location name="AERORP" unit="M">
  <x> 3.3 </x>
  <y> 0.0 </y>
  <z> 0.85 </z>
</location>
<location name="EYEPOINT" unit="M">
  <x> 2.15 </x>
  <y> -0.5 </y>
  <z> 0.72 </z>
</location>
<location name="VRP" unit="M">
  <x> 0.0 </x>
  <y> 0.0 </y>
  <z> 0.0 </z>
</location>
</metrics>
```

# Geometria e masse

```
<mass_balance>
  <ixx unit="KG*M2"> 1617 </ixx>
  <iyy unit="KG*M2"> 1927 </iyy>
  <izz unit="KG*M2"> 2931 </izz>
  <ixy unit="KG*M2"> 0 </ixy>
  <iyz unit="KG*M2"> 0 </iyz>
  <ixz unit="KG*M2"> -221.3 </ixz>
  <emptywt unit="KG"> 760 </emptywt>

<location name="CG" unit="M">
  <x> 3.25 </x>
  <y> 0.0 </y>
  <z> 0.56 </z>
</location>
```



# Geometria e masse

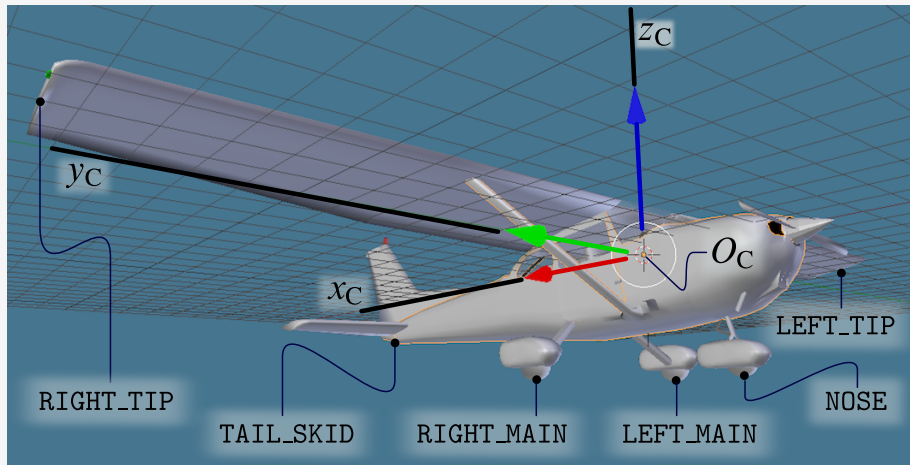
```
<pointmass name="PILOT">  
    <weight unit="KG">90</weight>  
<location unit="M">  
    <x> 2.15 </x>  
    <y> -0.5 </y>  
    <z> 0.7 </z>  
</location>  
</pointmass>
```

... ed eventuali altre masse come co-pilota, passeggeri, bagagli, ecc.

```
</mass_balance>
```

## Reazioni con il suolo

Il comportamento del velivolo al suolo è determinato dai punti di contatto (carrelli o fusoliera).



## Reazioni con il suolo - Tipo Carrello

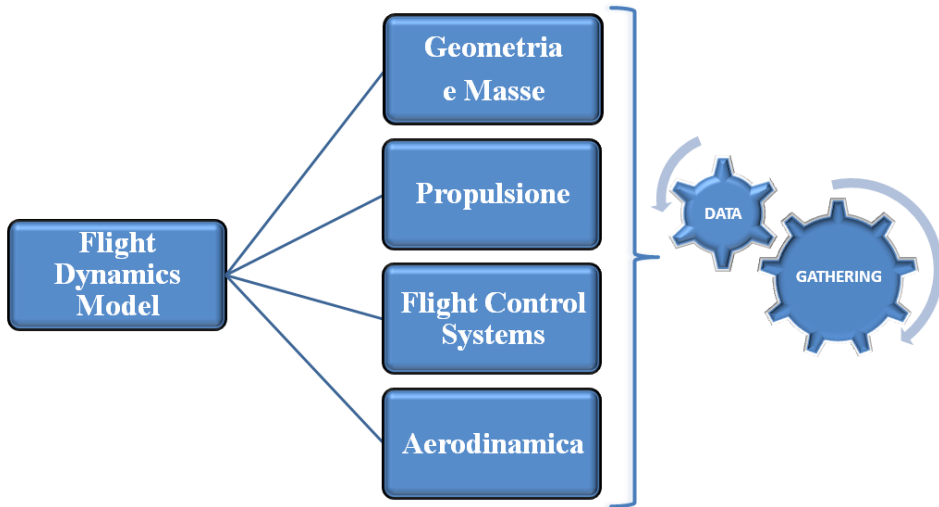
```
<ground_reactions>
<contact type="BOGEY" name="NOSE GEAR">
  <location unit="M">
    <x> 0.83 </x>
    <y> 0.0 </y>
    <z>-0.82 </z>
  </location>
<static_friction> 0.8 </static_friction>
<dynamic_friction> 0.5 </dynamic_friction>
<rolling_friction> 0.021 </rolling_friction>
<spring_coeff unit="LBS/FT"> 1800 </spring_coeff>
<damping_coeff unit="LBS/FT/SEC"> 500 </damping_coeff>

<max_steer unit="DEG">10</max_steer>
<brake_group> NONE </brake_group>
<retractable> 1 </retractable>
</contact>
```

## Reazioni con il suolo - Tipo Struttura

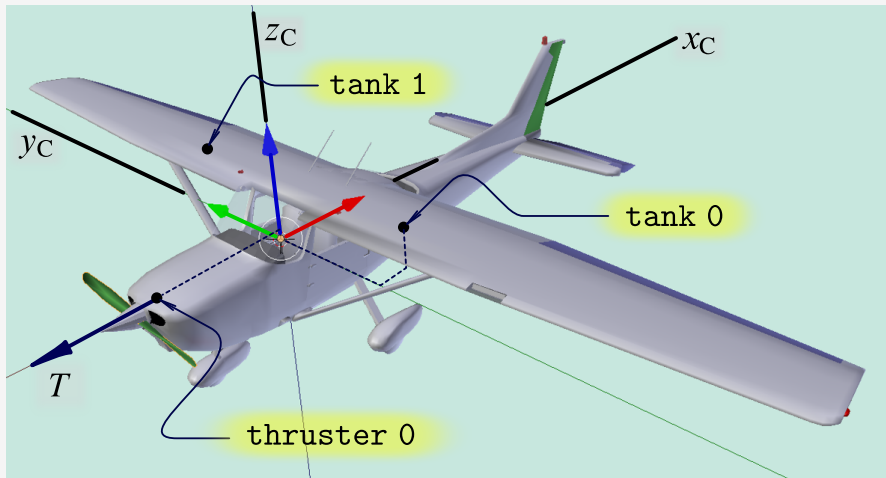
```
<contact type="STRUCTURE" name="FUSELAGE_NOSE">  
  <location unit="M">  
<x> 0.0 </x>  
<y> 0.0 </y>  
<z> 0.0 </z>  
  </location>  
  
<static_friction>0.2</static_friction>  
<dynamic_friction>0.2</dynamic_friction>  
<spring_coeff unit="LBS/FT">20000</spring_coeff>  
<damping_coeff unit="LBS/FT/SEC">1000</damping_coeff>  
  
</contact>
```

## Reperire i dati



# Propulsione

Nel caso di propulsione ad elica dobbiamo modellare sia il motore che il propulsore vero e proprio.



## Propulsione - Motore

```

<propulsion>
<engine file="rotax912s3">  ← (JSBSim root)/engines/rotax912s3
<location unit="M">
    <x> 2.85 </x>
    <y> 1.6 </y>
    <z> 0.97</z>
</location>

<orient unit="DEG">
    <roll> 0 </roll>
    <pitch> 0 </pitch>
    <yaw> 0 </yaw>
</orient>

<feed>0</feed>  ← alimentazione dal serbatoio 0
<feed>1</feed>  ← alimentazione dal serbatoio 1

```

## Propulsione - Motore

`<JSBSim root>/engines/rotax912s3`

```
<piston_engine name="ROTAX 912 S3">
  <minmp unit="INHG"> 18.0 </minmp>
  <maxmp unit="INHG"> 29.5 </maxmp>
  <displacement unit="IN3"> 82.6 </displacement>

  <cycles> 4.0 </cycles>
  <bore unit="IN"> 3.31</bore> ← alesaggio (diametro cilindro)
  <stroke unit="IN">2.4</stroke> ← corsa del pistone
  <compressionratio>10.5</compressionratio>
  <maxhp> 95.30 </maxhp>
  <idlerpm> 980.0 </idlerpm>
  <maxrpm> 5800.0 </maxrpm>
  <maxthrottle> 1.0 </maxthrottle>
  <minthrottle> 0.1 </minthrottle>
  <sparkfaildrop> 0.0 </sparkfaildrop>
</piston_engine>
```



# Propulsione

`<JSBSim root>/aircraft/p2006t`

...

```
<thruster file="prop_mtv_21"> ← <JSBSim root>/engines/prop_mtv_21
  <location unit="M"> ← punto di applicazione della spinta
    <x> 2.67 </x>
    <y> -1.6 </y>
    <z> 0.97 </z>
  </location>
  <orient unit="DEG"> ← orientamento della spinta
    <roll>0</roll>
    <pitch>0</pitch> ←  $\mu_T$ 
    <yaw>0</yaw> ←  $\xi_T$ 
  </orient>
  <sense>1</sense> ← rotazione destrorsa
  <p_factor>0.0</p_factor> ← disassamento della spinta
</thruster>
```

## Propulsione - Elica

`<JSBSim root>/engines/engines/prop_mtv_21`

```
<propeller name="MTV-21-A-C-F">
  <ixx unit="KG*M2"> 0.3 </ixx>
  <diameter unit="M"> 1.78 </diameter>
  <numblades> 2 </numblades>
  <minpitch> 21.6 </minpitch>
  <maxpitch> 21.6 </maxpitch>

  <table name="C_THRUST">
    <tableData>
      0.40000 0.10791
      0.50044 0.10426
      0.59935 0.099004
      0.69968 0.093108
      0.80003 0.086684
      ...
    </tableData>
  </table>
```

## Propulsione - Elica

`<JSBSim root>/engines/engines/prop_mtv_21`

...

```
<table name="C_POWER">
```

```
<tableData>
```

```
0.40000 0.052271
```

```
0.50044 0.063186
```

```
0.59935 0.071859
```

```
0.69968 0.078893
```

```
0.80003 0.083984
```

```
0.89901 0.087283
```

```
0.99801 0.089389
```

```
1.0984 0.09
```

```
1.1988 0.089717
```

```
1.3 0.089583
```

```
</tableData>
```

```
</table>
```

```
</propeller>
```

# Propulsione

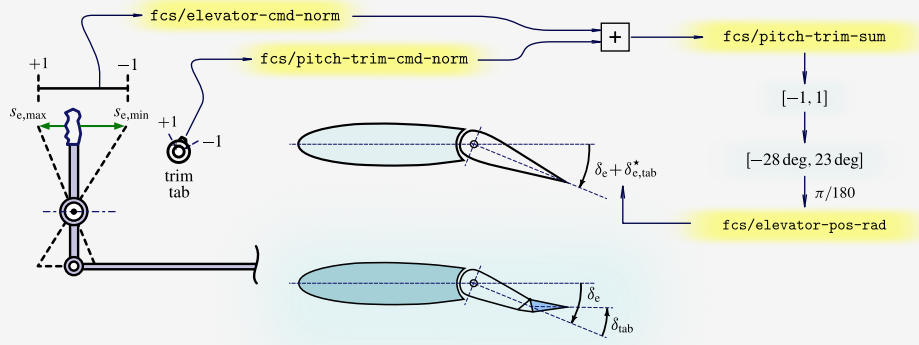
```
<JSBSim root>/aircraft/p2006t
```

```
...
```

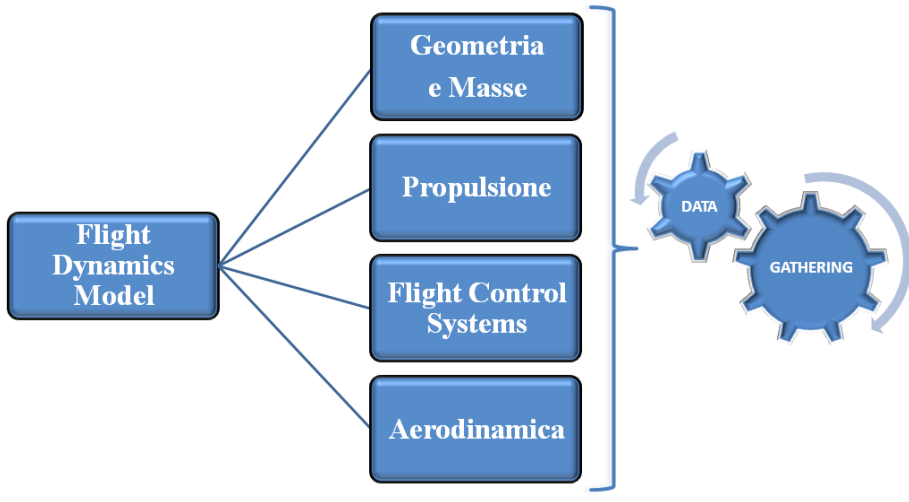
```
<tank type="FUEL" <!-- Tank number 0 -->  
  <location unit="M">  
    <x> 3.54 </x>  
    <y> -0.92 </y>  
    <z> 0.97 </z>  
  </location>  
  <capacity unit="KG"> 100 </capacity>  
  <contents unit="KG"> 80 </contents>  
</tank>
```

# FCS - Flight Control System

É la parte del FDM che gestisce i controlli di volo. Assegna una corrispondenza tra i comandi della barra nel cockpit e le deflessioni delle superfici mobili.

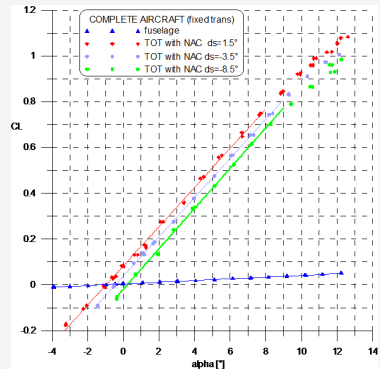
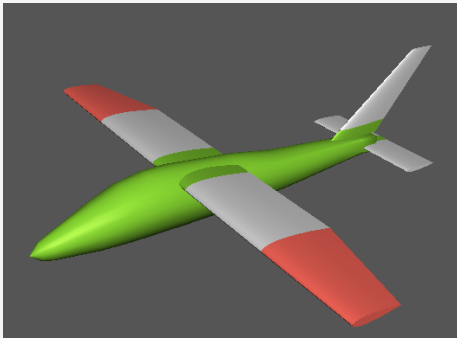


## Reperire i dati



# Database aerodinamico

- Metodi semi-empirici
- Software a pannelli
- CFD
- Dati di galleria
- Prove di volo



# Database aerodinamico

| Dati                | galleria | flight test | Datcom+ | AAA |
|---------------------|----------|-------------|---------|-----|
| $C_L - \alpha$      | ★        | -           | ▲       | ▲   |
| $C_D - \alpha$      | ★        | -           | ▲       | ▲   |
| $C_M - \alpha$      | ★        | -           | ▲       | ▲   |
| $C_{L\dot{\alpha}}$ | -        | -           | ▲       | ★   |
| $C_{M\dot{\alpha}}$ | -        | -           | ▲       | ★   |
| $C_{Lq}$            | -        |             | ▲       | ★   |
| $C_{Mq}$            | -        | ★           | ▲       | ▲   |
| $C_{L\delta_e}$     | -        | -           | ▲       | ★   |
| $C_{M\delta_e}$     | -        | ★           | ▲       | ▲   |
| $C_{L\delta_f}$     | -        | -           | ▲       | ★   |
| $C_{M\delta_f}$     | -        | -           | ▲       | ★   |



# Database aerodinamico

|                                      |   |   |   |   |
|--------------------------------------|---|---|---|---|
| $C_{Y_\beta}$                        | ★ | - | ▲ | ▲ |
| $C_{\ell_\beta}$                     | ★ | - | ▲ | ▲ |
| $C_{N_\beta}$                        | ★ | - | ▲ | ▲ |
| $C_{Y_{\dot{\beta}}}$                | - | - | ▲ | ★ |
| $C_{\ell_{\dot{\beta}}}$             | - | - | ▲ | ★ |
| $C_{N_{\dot{\beta}}}$                | - | - | ▲ | ★ |
| $C_{Y_p}$                            | - | - | ▲ | ★ |
| $C_{\ell_p}$                         | - | - | ▲ | ★ |
| $C_{N_p}$                            | - | - | ▲ | ★ |
| $C_{Y_r}$                            | - | - | ▲ | ★ |
| $C_{\ell_r}$                         | - | - | ▲ | ★ |
| $C_{N_r}$                            | - | - | ▲ | ★ |
| ★ usato      ▲ disponibile      - nd |   |   |   |   |

# Simulazioni

- Script trimmaggio velivolo
- Script eccitazione modo di fugaide
- Script eccitazione modo di corto periodo

# Simulazioni - Trim

## Intestazioni ...

```

<use aircraft="p2006tv6" initialize="myreset"/>
  <run start="0.0" end="300" dt="0.0083333">

  <property> simulation/notify-time-trigger </property>
  <property value="1"> simulation/run_id </property>

  <event name="trim">
    <description>Trim A/C 90 kts @3000 ft</description>
    <condition>
      simulation/sim-time-sec ge 0.0
    </condition>

    <set name="fcs/mixture-cmd-norm[0]" value="1.0"/>
    <set name="fcs/mixture-cmd-norm[1]" value="1.0"/>
    <set name="propulsion/magneto_cmd" value="3"/>
    <set name="fcs/throttle-cmd-norm[0]" value="0.0"/>
    <set name="fcs/throttle-cmd-norm[1]" value="0.0"/>
    <set name="propulsion/starter_cmd" value="1"/>
  </event>

```

## Simulazioni - Trim

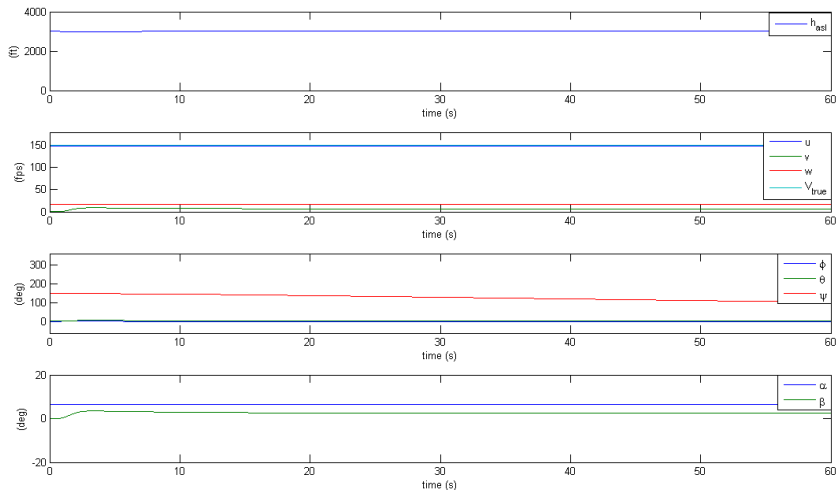
```
<set name="fcs/mixture-cmd-norm" value="1.0"/>
<set name="fcs/throttle-cmd-norm" value="1.0"/>
<set name="simulation/do_simple_trim" value="0"/>
<set name="fcs/throttle-cmd-norm" value="0.73"/>
<set name="fcs/aileron-cmd-norm" value="0.08" action="
    FG_RAMP" tc="0.5"/>
<set name="fcs/rudder-cmd-norm" value="-0.01" action="
    FG_RAMP" tc="0.5"/>
</event>
</run>
</runscript>
```

Lanciando questo script da riga di comando:

```
$ cd c:/.../JSBSim_root/
$ JSBSim --script=p2006t_trim.xml <invio>
```

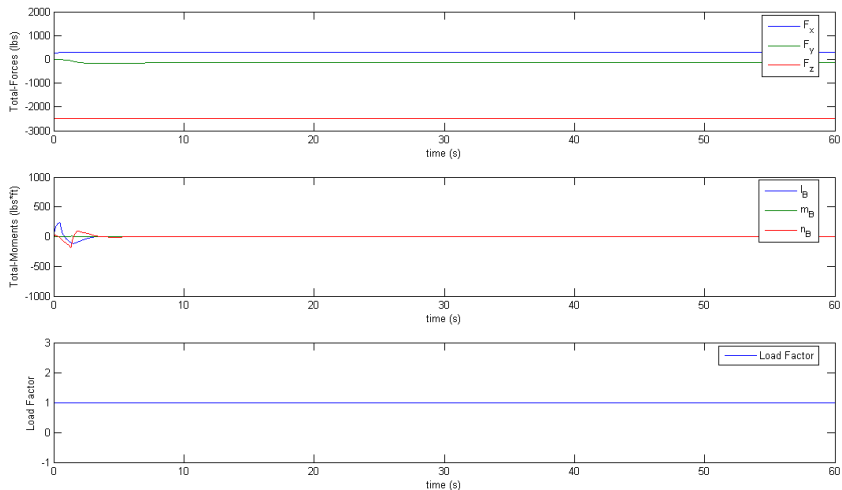
# Simulazioni - Trim

## Risultati



# Simulazioni - Trim

## Risultati



## Simulazioni - Fugoide

Modo caratterizzato da variazioni principalmente di:

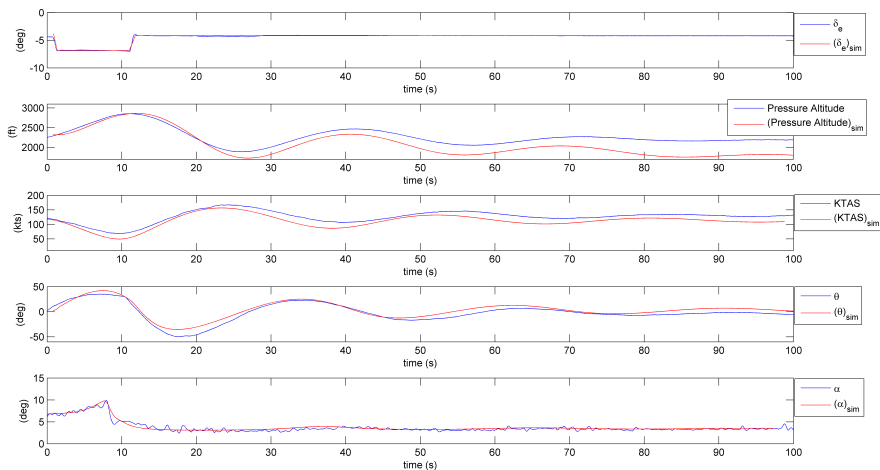
- $V$ , velocità
- $h$ , quota
- $\theta$ , angolo di elevazione

Lanciando lo script da riga di comando:

```
$ cd c:/.../JSBSim_root/  
$ JSBSim --script=p2006t_fugoide.xml <invio>
```

# Simulazioni - Fugoidi

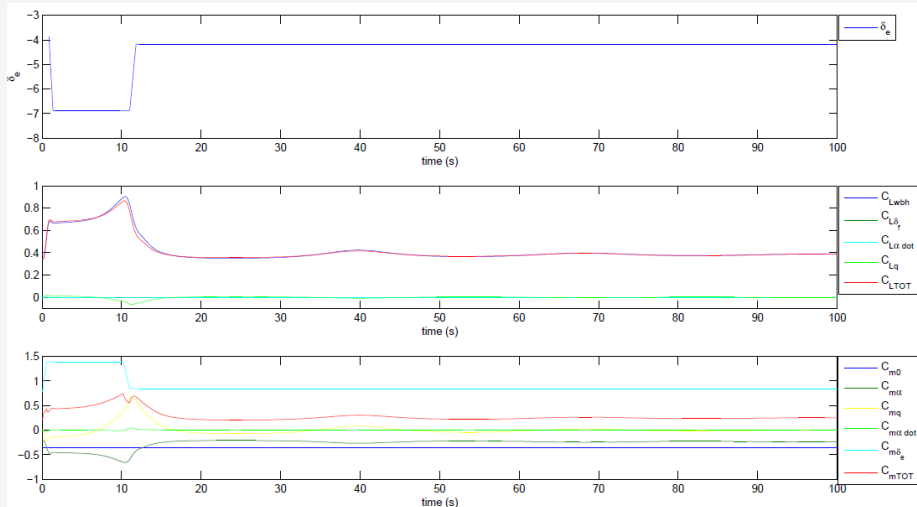
## Risultati





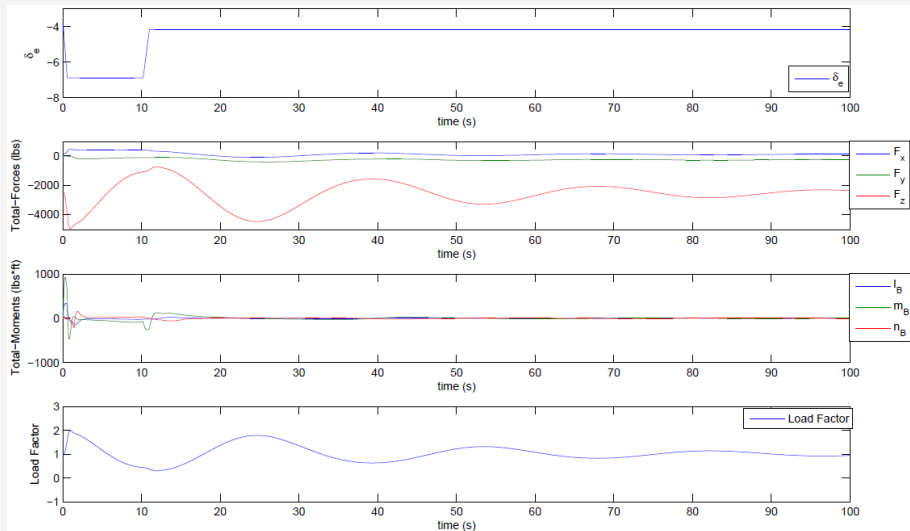
# Simulazioni - Fugoidi

## Risultati



# Simulazioni - Fugoide

## Risultati



## Simulazioni - Corto periodo

Modo caratterizzato da variazioni principalmente di:

- $\alpha$ , angolo d'attacco
- $\theta$ , angolo di elevazione

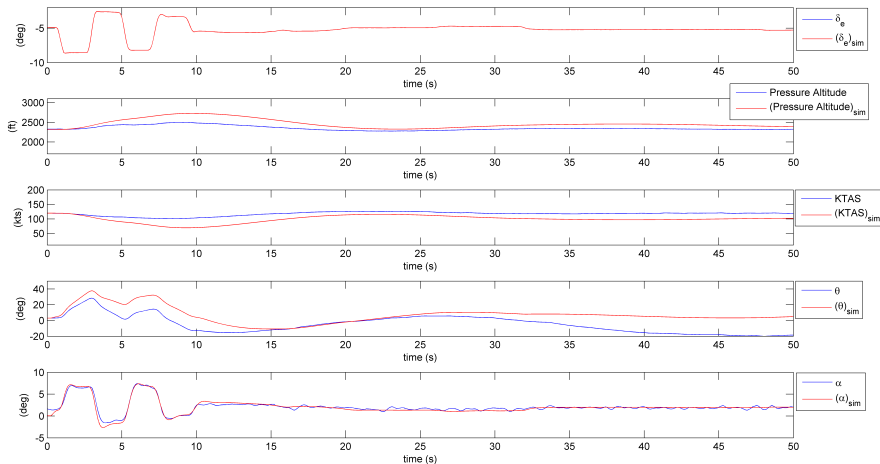
Lanciando lo script da riga di comando:

```
$ cd c:/.../JSBSim_root/
```

```
$ JSBSim --script=p2006t_corto_periodo.xml <invio>
```

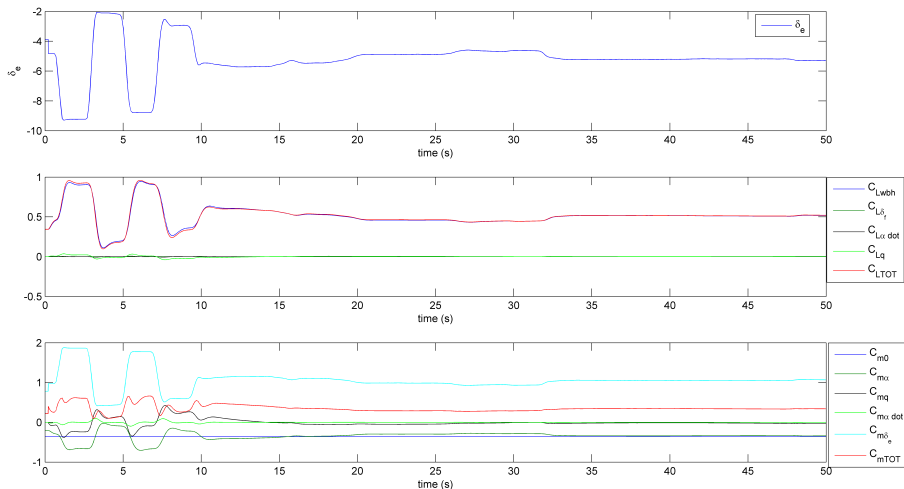
# Simulazioni - Corto periodo

## Risultati



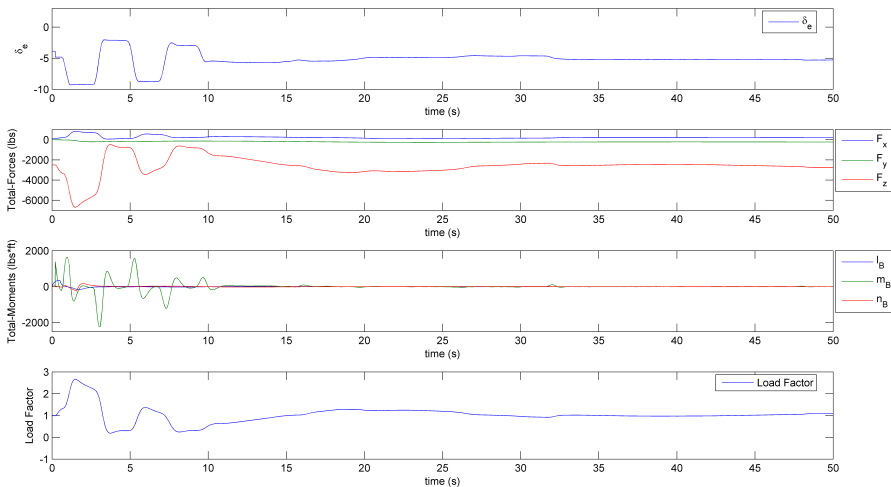
# Simulazioni - Corto Periodo

## Risultati



# Simulazioni - Corto periodo

## Risultati



# Fine

---

Grazie dell'attenzione.

<http://http://wpage.unina.it/agodemar/DSV-DQV/>  
(download del materiale di questo seminario)