

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

*Relazione per la prova finale*

**«Sviluppo di un simulatore di volo per  
drone ad ala fissa da competizione»**

Tutor universitario: Prof. Carlo Bettanini Fecia di Cossato

Laureando: *Ulisse Romagnoli*

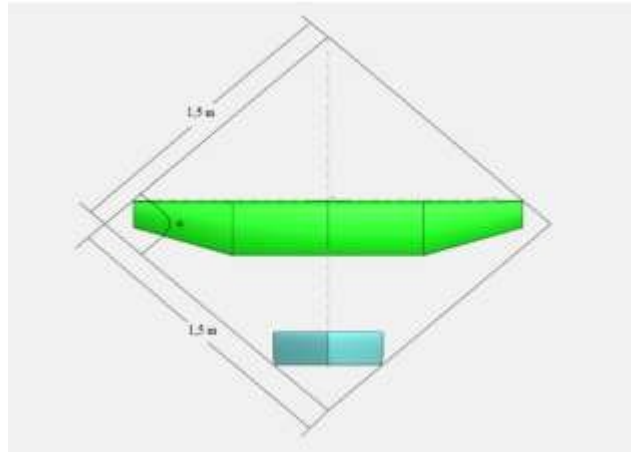
Padova, 13/07/2023



## ACC – AIR CARGO CHALLENGE

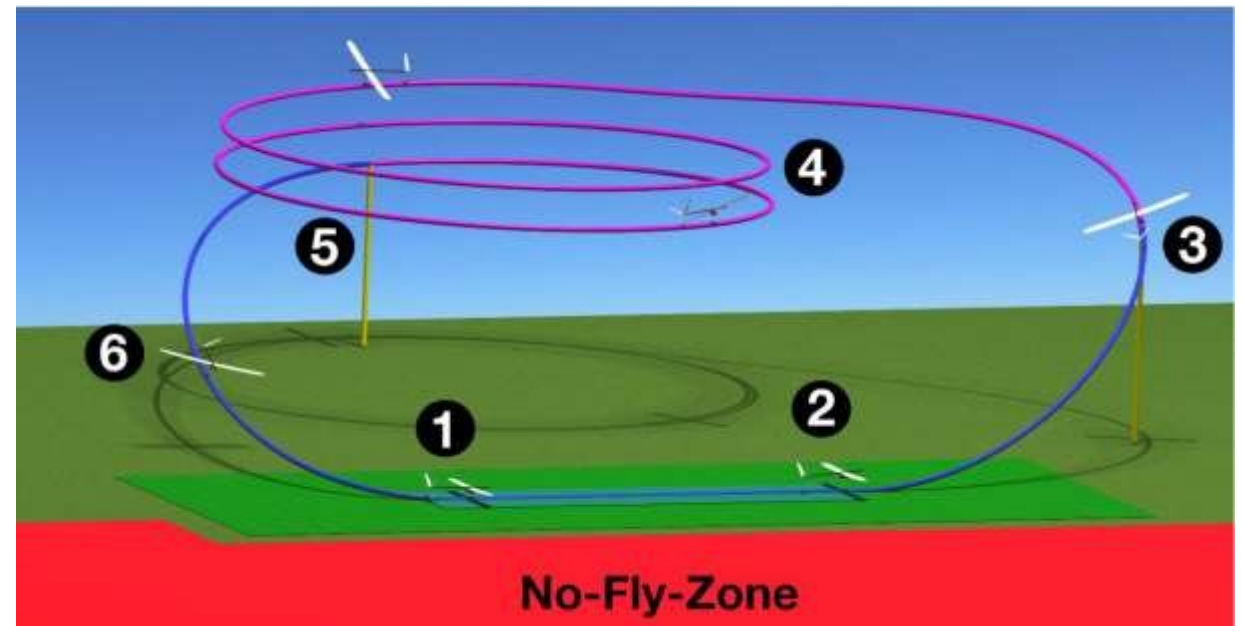
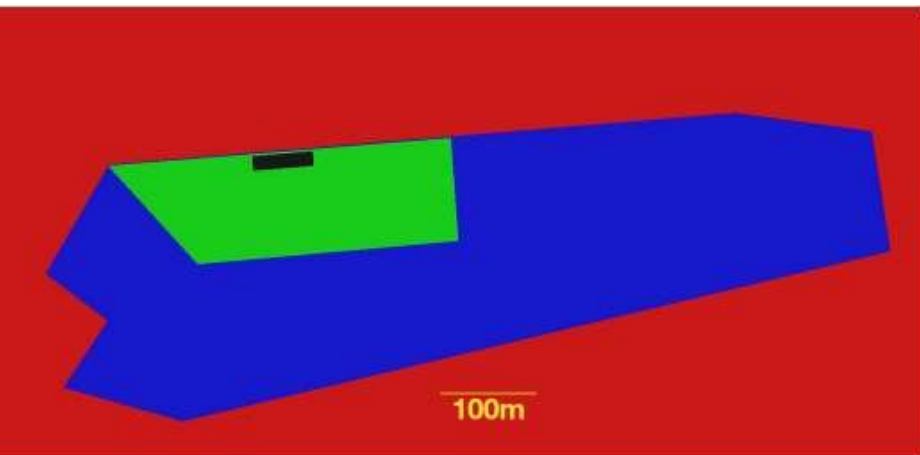
- *COMPETIZIONE EUROPEA STUDENTESCA*
- *FONDATA NEL 2003 IN PORTOGALLO*
- *20+ UNIVERSITÀ, 12+ NAZIONI*
- *NUOVO REGOLAMENTO OGNI COMPETIZIONE*





## REGOLAMENTO 2022

- *SCATOLA DI TRASPORTO 1100x400x250 MM<sup>3</sup>*
- *AEREO PRONTO PER IL VOLO = ROMBO 1,5M*
- *ALTEZZA MASSIMA 0,5M*
- *ELICA, MOTORE, TRASMISSIONE, BATTERIE STANDARD*



## INIZIALMENTE

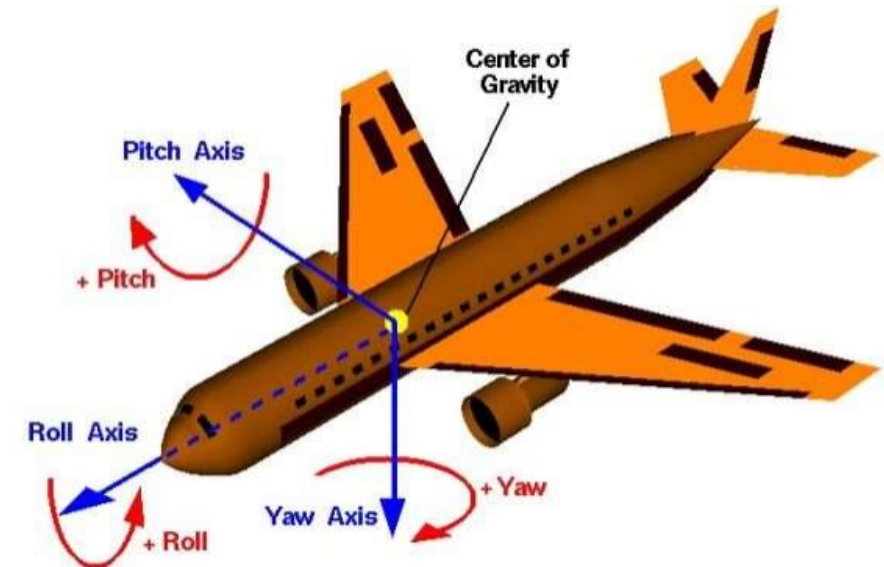
- *PERMETTERE AL PILOTA DI ALLENARSI IN LOCKDOWN (ZONA ROSSA)*



www.dii.unipd.it

## ADESSO

- *PROGETTAZIONE PRELIMINARE*
- *DIMENSIONAMENTO SUPERFICI AERODINAMICHE*
- *STABILITÀ E RIGIDEZZA AI MOTI DI BECCHEGGIO, ROLLIO E IMBARDATA*



*ESISTONO GIÀ ALTRI SIMULATORI, MA... NON VANNO BENE*

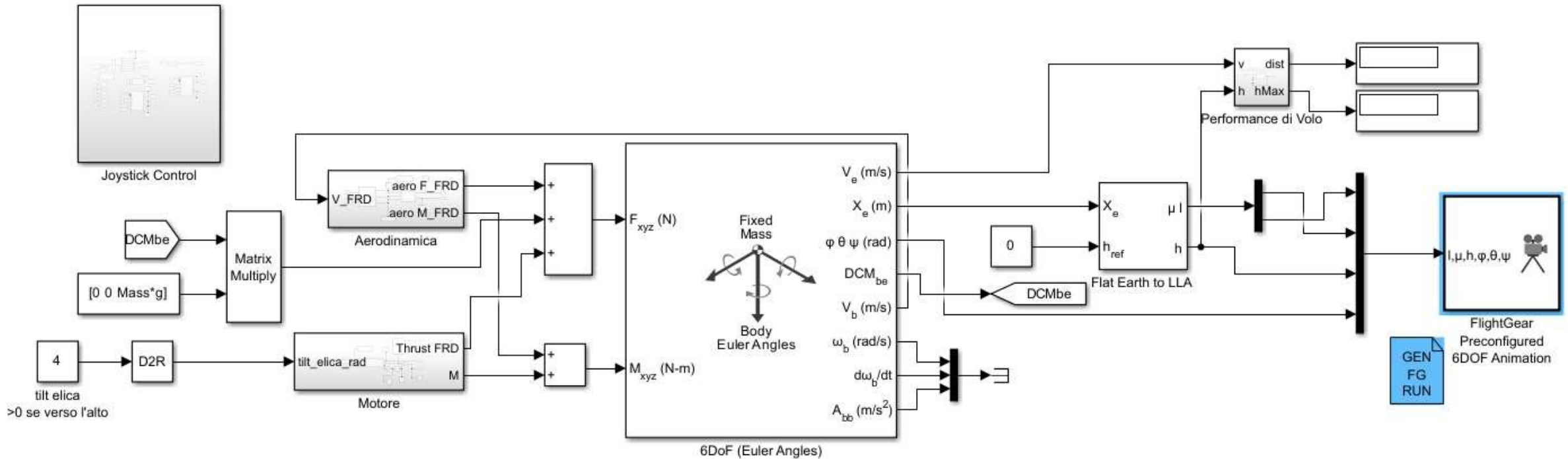
*MOTIVAZIONI:*

- ⇒ *IL SIMULATORE DI MATLAB È BASATO SU UN ALTRO AEREO: MODELLO SPERIMENTALE MOTORE NON PUÒ ESSERE ASSUNTO VALIDO*
- ⇒ *DEVE ESSERE FACILMENTE MODIFICABILE, IL REGOLAMENTO ACC CAMBIA A OGNI EDIZIONE*

Kowalsky



De Havilland Beaver

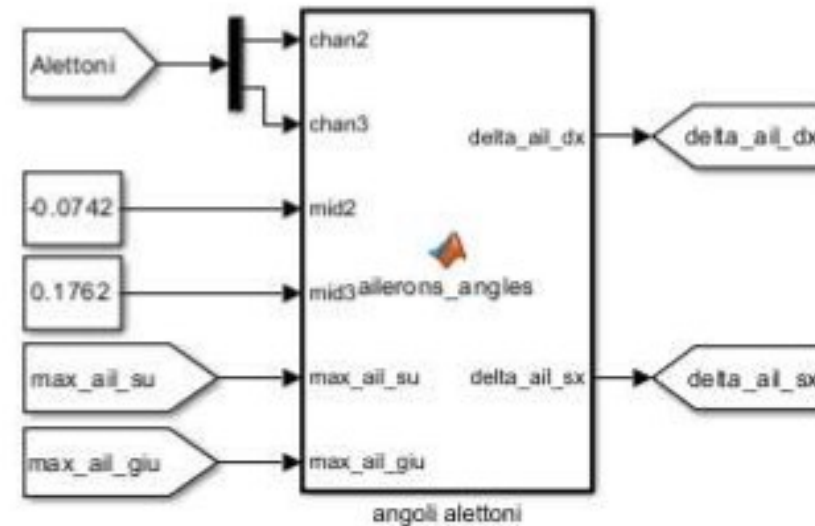
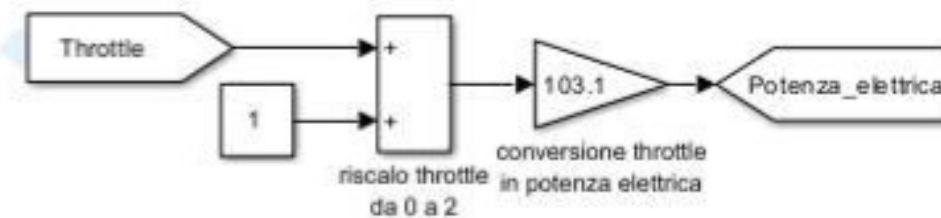
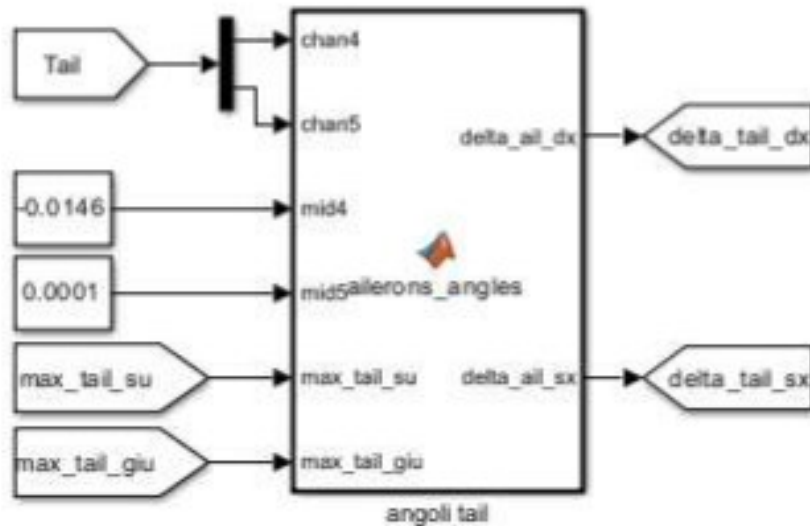
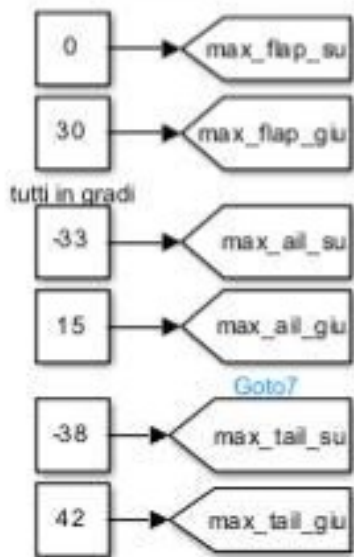
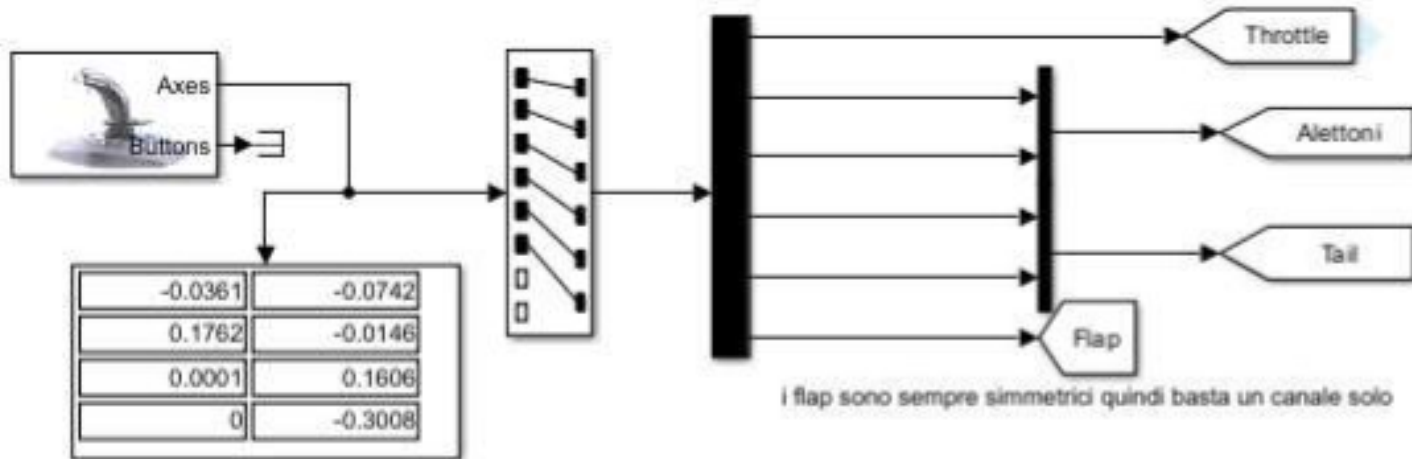


**AMBIENTE:** *MATLAB-SIMULINK* ⇔ *SIMULAZIONE «A BLOCCHI»*  
*FLIGHTGEAR*

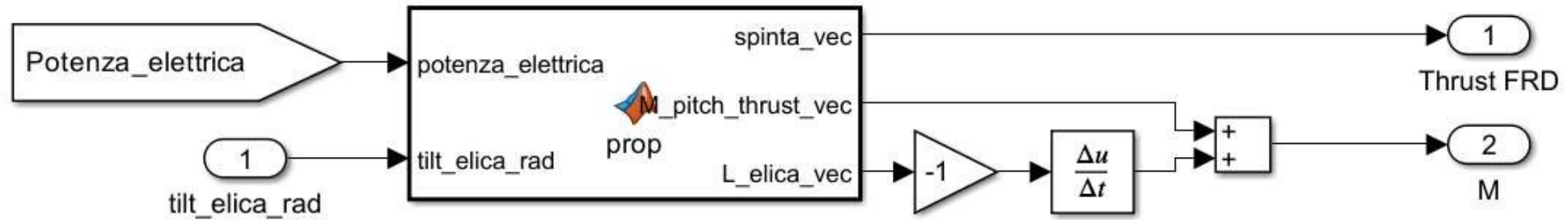
**BLOCCHI PRINCIPALI:** *6DOF, FLAT EARTH TO LLA, FLIGHTGEAR PRECONFIGURED 6DOF ANIMATION; JOYSTICK CONTROL, AERODINAMICA, GRAVITÀ, MOTORE, PERFORMANCE.*

**CASO STUDIO:** *KOWALSKY*









*INPUT: POTENZA E TILT*

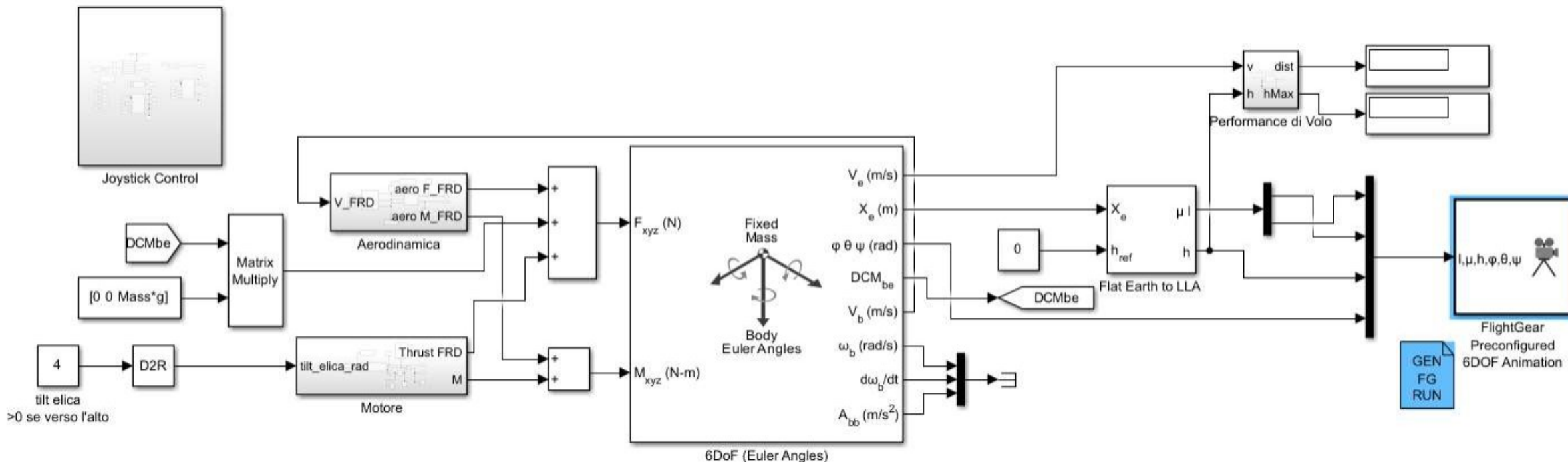
*OUTPUT: SPINTA E MOMENTO*

Carico motore parziale												
Elica	Gas	Corrente (DC)	Tensione (DC)	Potenza elettrica	Efficienza	Spinta		Spinta specifica		Velocità del pass		velocità stimata (livellato)
rpm	%	A	V	W	%	g	oz	g/W	oz/W	km/h	mph	km/h
1200	13	0.2	11.1	2.2	21.9	25	0.9	11.3	0.40	11	7	-
1800	19	0.4	11.1	4.2	38.2	56	2.0	13.2	0.47	16	10	-
2400	26	0.7	11.1	7.4	51.5	99	3.5	13.3	0.47	22	14	-
3000	32	1.1	11.1	12.1	61.4	154	5.4	12.7	0.45	27	17	-
3600	39	1.7	11.1	18.8	69.3	222	7.8	11.8	0.42	33	20	*
4200	45	2.5	11.0	27.9	73.2	302	10.7	10.9	0.39	38	24	-
4800	52	3.6	11.0	39.8	76.6	395	13.9	9.9	0.35	44	27	*
5400	59	5.0	11.0	54.9	79.0	500	17.6	9.1	0.32	49	31	-
6000	67	6.8	10.9	73.9	80.7	617	21.8	8.4	0.29	56	34	36
6600	74	9.0	10.9	96.8	81.9	746	26.3	7.7	0.27	60	38	45
7200	82	11.6	10.8	124.4	82.7	888	31.3	7.1	0.25	66	41	49
<b>7800</b>	<b>90</b>	<b>14.8</b>	<b>10.7</b>	<b>157.0</b>	<b>83.3</b>	<b>1042</b>	<b>36.8</b>	<b>6.6</b>	<b>0.23</b>	<b>71</b>	<b>44</b>	<b>53</b>
8400	98	18.5	10.6	195.3	83.7	1209	42.6	6.2	0.22	77	48	57
8539	100	19.6	10.6	206.2	83.3	1249	44.1	6.1	0.21	78	49	58

*DATI DA ECALC*

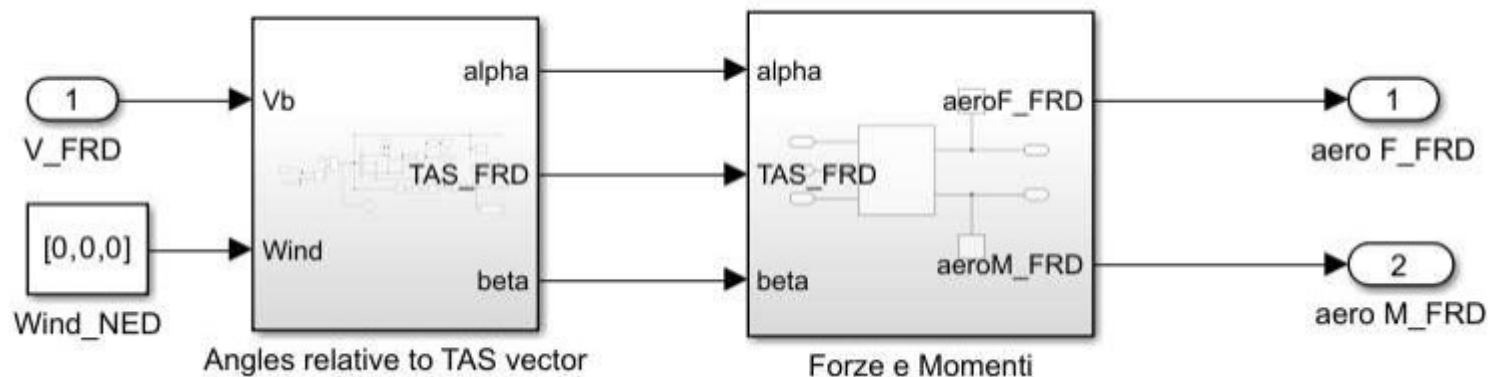
⇒ *INTERPOLAZIONE POTENZA-SPINTA*

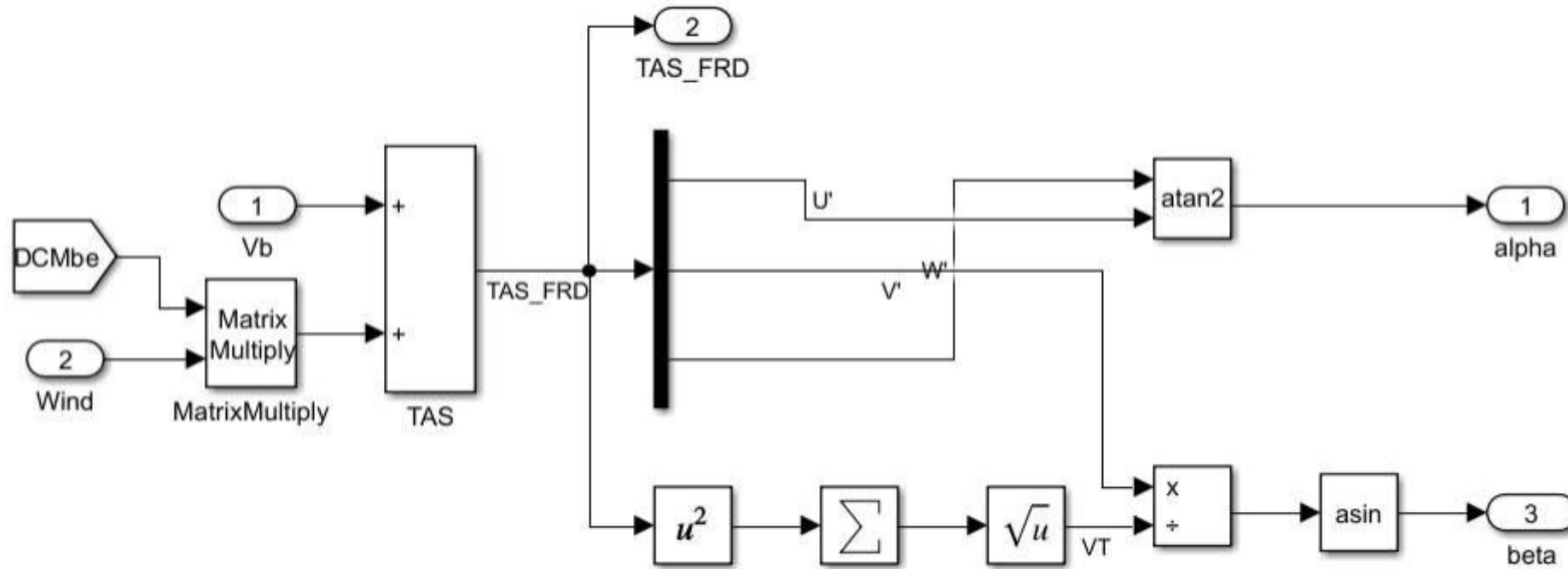
⇒ *INTERPOLAZIONE POTENZA-GIRI*



## AERODINAMICA CONTIENE

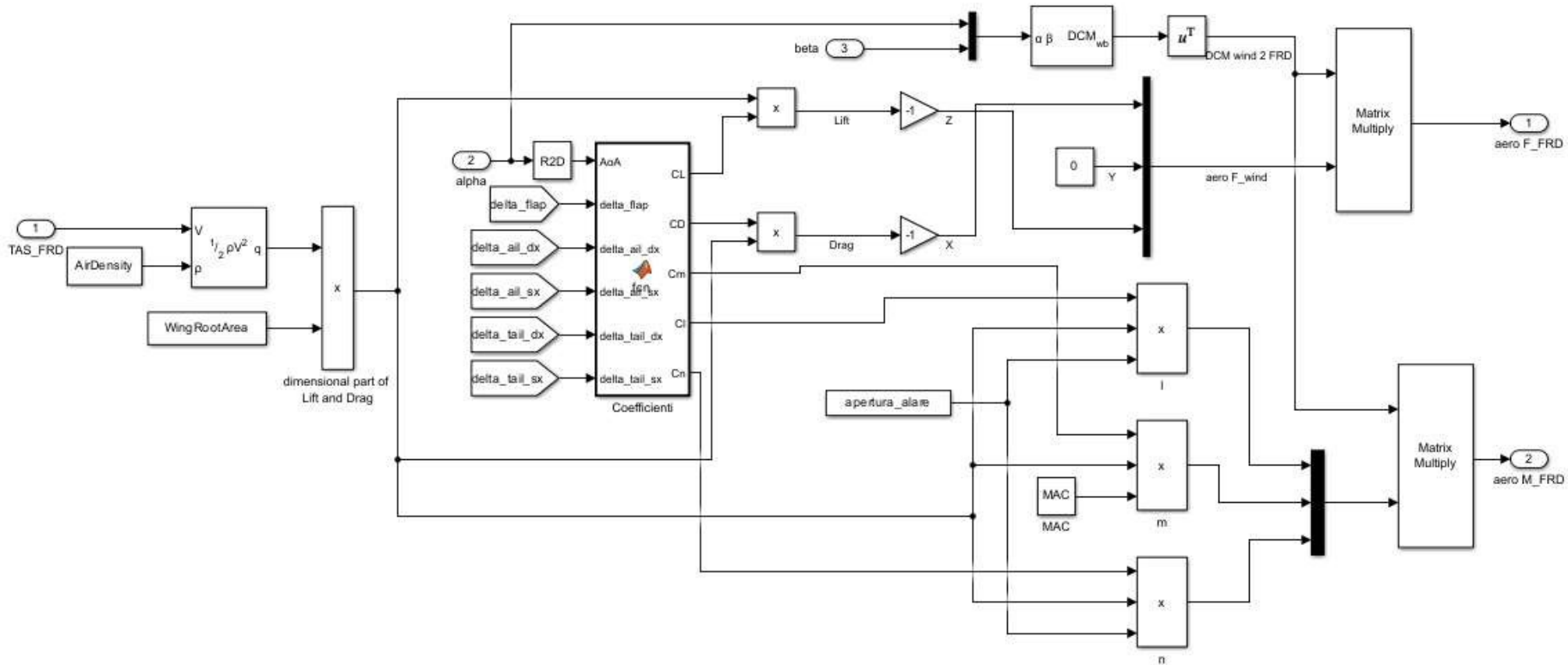
- DETERMINAZIONE ANGOLI
- CALCOLO FORZE E MOMENTI





- *TAS COME SOMMA DI  $V_B$  E VENTO*
- *ALFA ANGOLO D'ATTACCO AERODINAMICO*
- *BETA ANGOLO DI SIDESLIP*

*SONO GLI INPUT DEL BLOCCO SUCCESSIVO*



- *FUNZIONE CHE CALCOLA I COEFFICIENTI*
  - *DIMENSIONALIZZAZIONE COEFFICIENTI* •
- CONVERSIONE DA SDR VENTO A FRD*

*PROBLEMI CON I COEFFICIENTI...*

CL CD CM DEL VELIVOLO CALCOLATI DA XFLR5

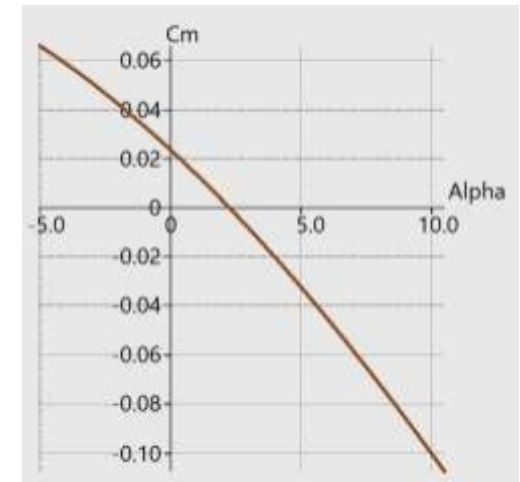
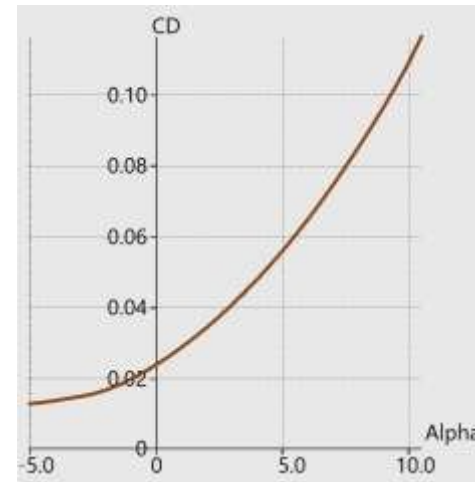
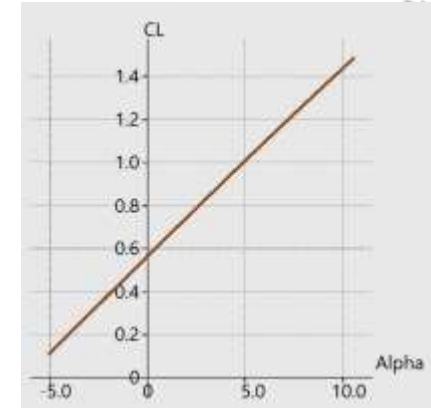
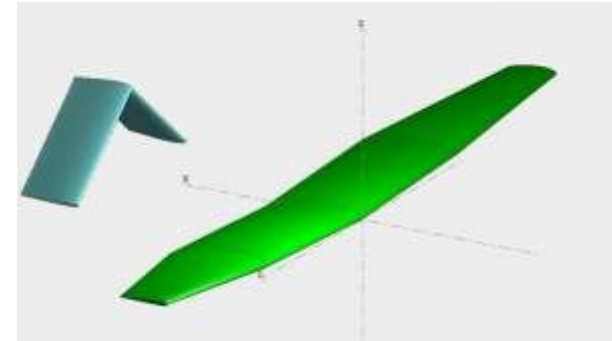
xflr5

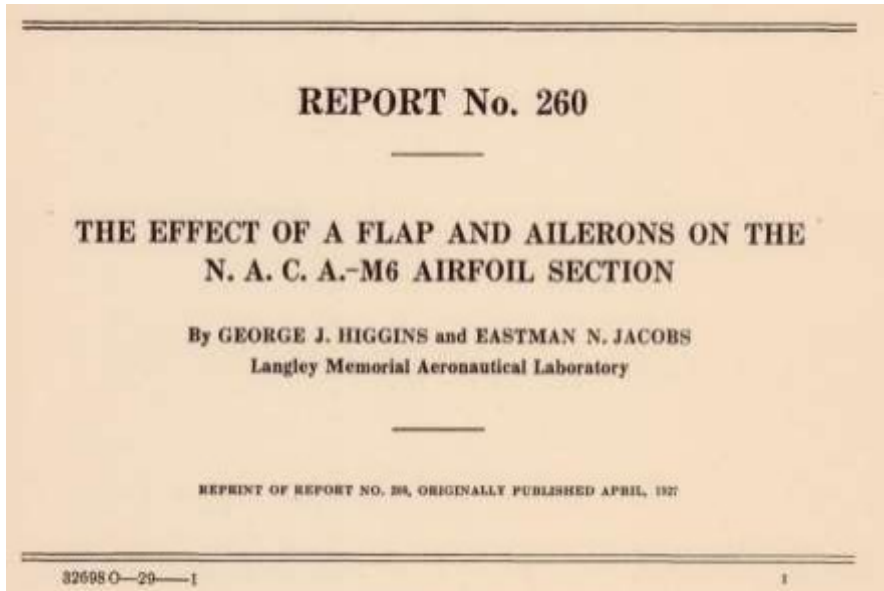
dii.unipd.it

MANCANO COEFFICIENTI DELLE SUPERFICI MOBILI!

DUE APPROCCI

1. SIMULARE VELIVOLO CON VARIE COMBINAZIONI DI FLAP/ALETTONI/PIANO DI CODA. SIMULATORE SCEGLIE DI VOLTA IN VOLTA LA PIÙ APPROPRIATA
2. CERCARE IN LETTERATURA VALORI VEROSIMILI IN FUNZIONE DI DEFLESSIONE SUPERFICI PER «CORREGGERE» LA POLARE DEL VELIVOLO





- *COEFFICIENTI ESTRAPOLATI DAL REPORT NACA*
- *FOIL 6x36 INCH (AR=6) CON FLAP E ALETONI AL 20% DELLA CORDA*
- *FLAP NELLA PARTE CENTRALE DELL'ALA, ALETONI ALL'ESTREMITÀ*
- *TESTATI ANGOLI DI  $\pm 5^\circ$   $\pm 10^\circ$   $\pm 20^\circ$   $+25^\circ$*

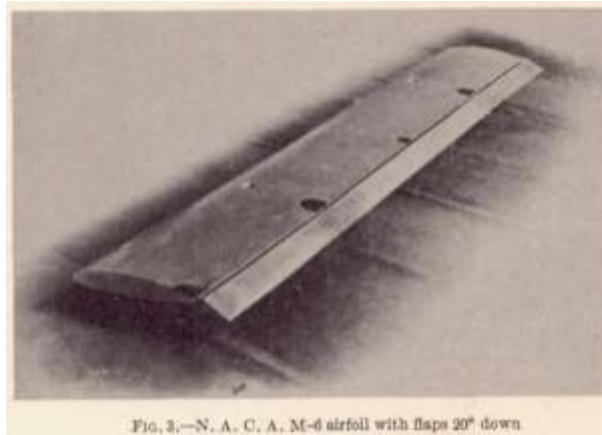


FIG. 3.—N. A. C. A. M-6 airfoil with flaps 20° down

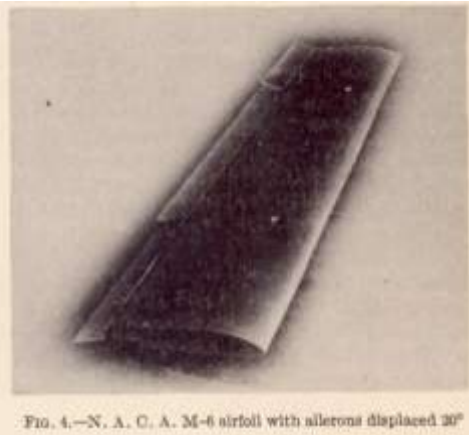
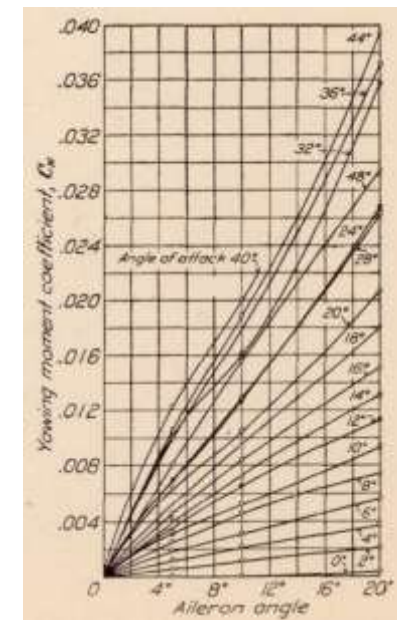
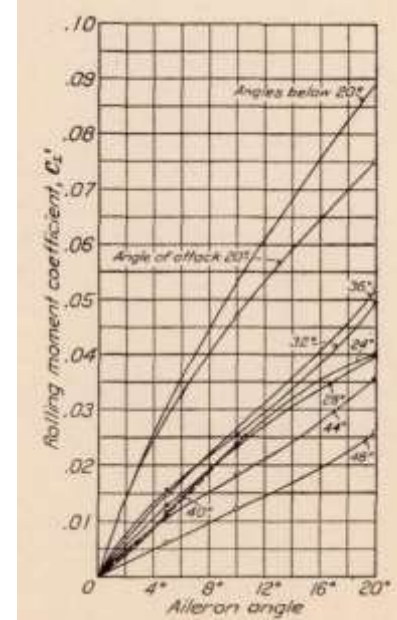
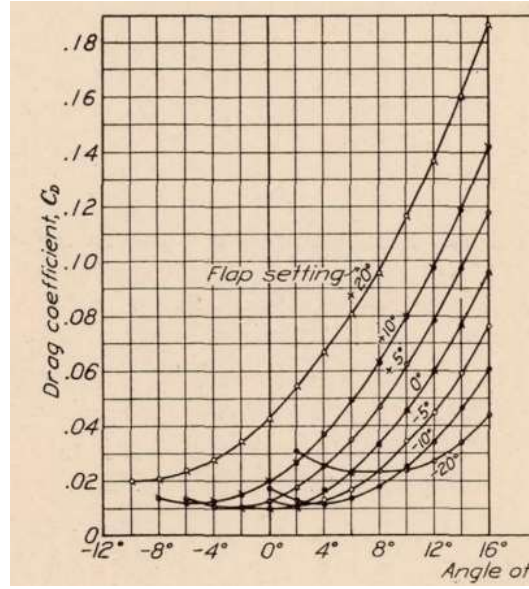
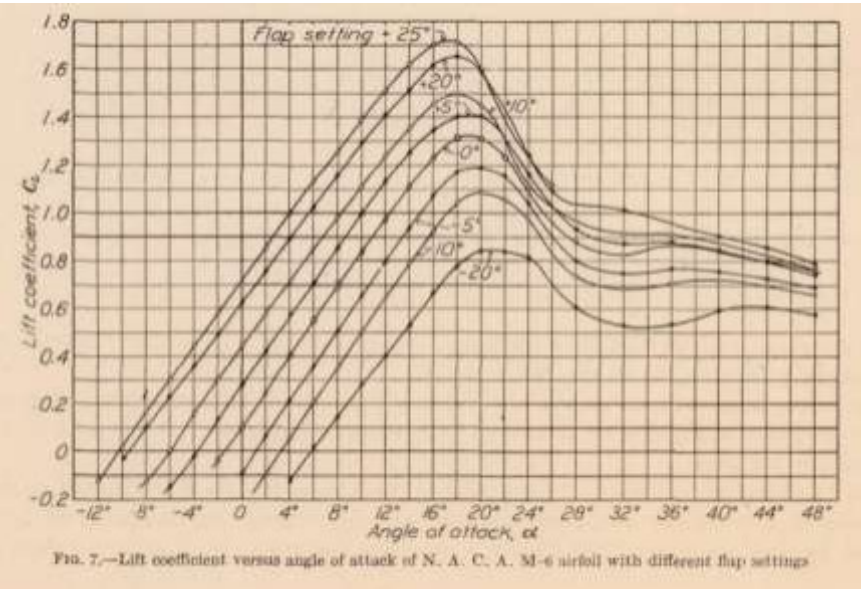


FIG. 4.—N. A. C. A. M-6 airfoil with ailerons displaced 20°

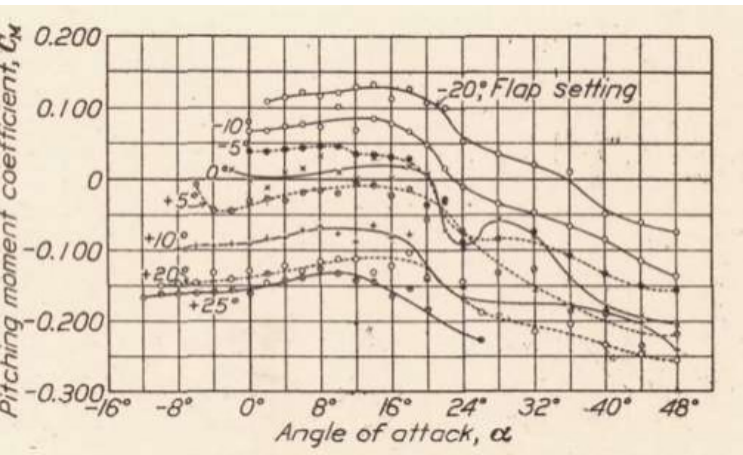
## VALORI VEROSIMILI?

- *NACA M6 HA STESSO SPESSORE (12%) DI OPT06V3 MA CAMBER DIVERSI (2.2% VS 3.9%)*
- *DISTRIBUZIONE FLAP/AIL SIMILE A KOWALSKY*
- *REYNOLDS =  $4 \times 10^6$*
- *RANGE ADATTO DI ANGOLI*



**CL-ALFA.**  
**ROLLIO**  
**POLYFIT 2°**  
**GRADO CON**  
**ANGLES**  
**BELOW 20°**

**CL-ALFA. PENDENZA INVARIATA CD-ALFA. LA PARABOLA TRASLA**

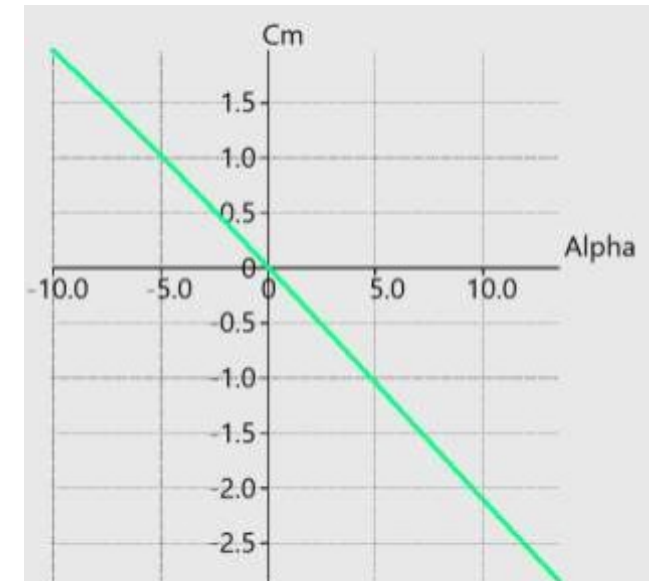
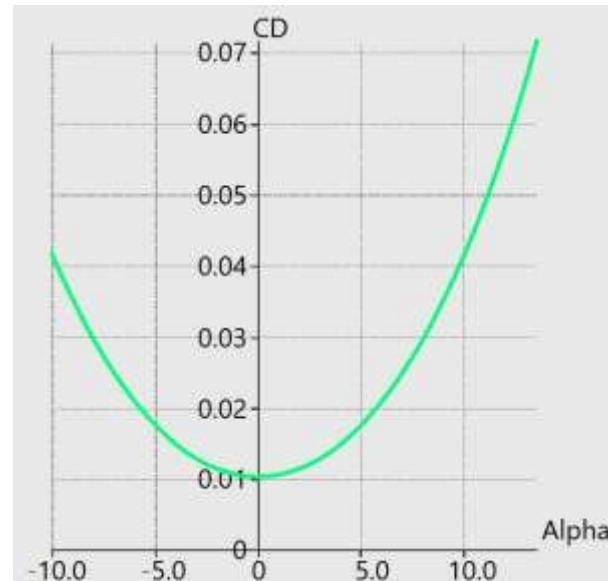
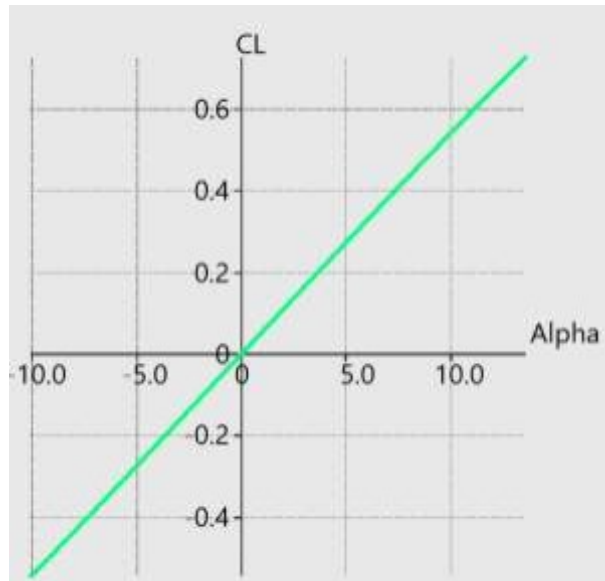
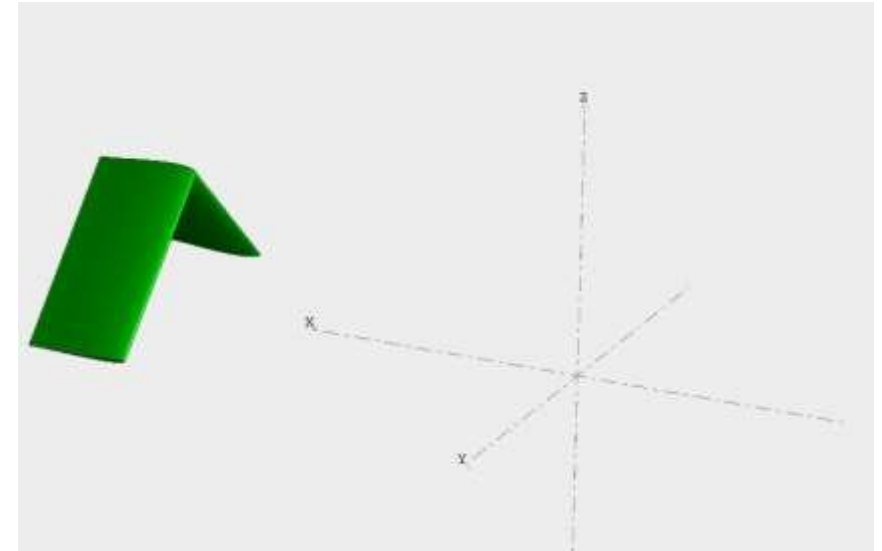


**CM-ALFA.**  
**NEL RANGE INTERESSATO,**  
**ANDAMENTO APPROSSIMATO**  
**COME LINEARE**

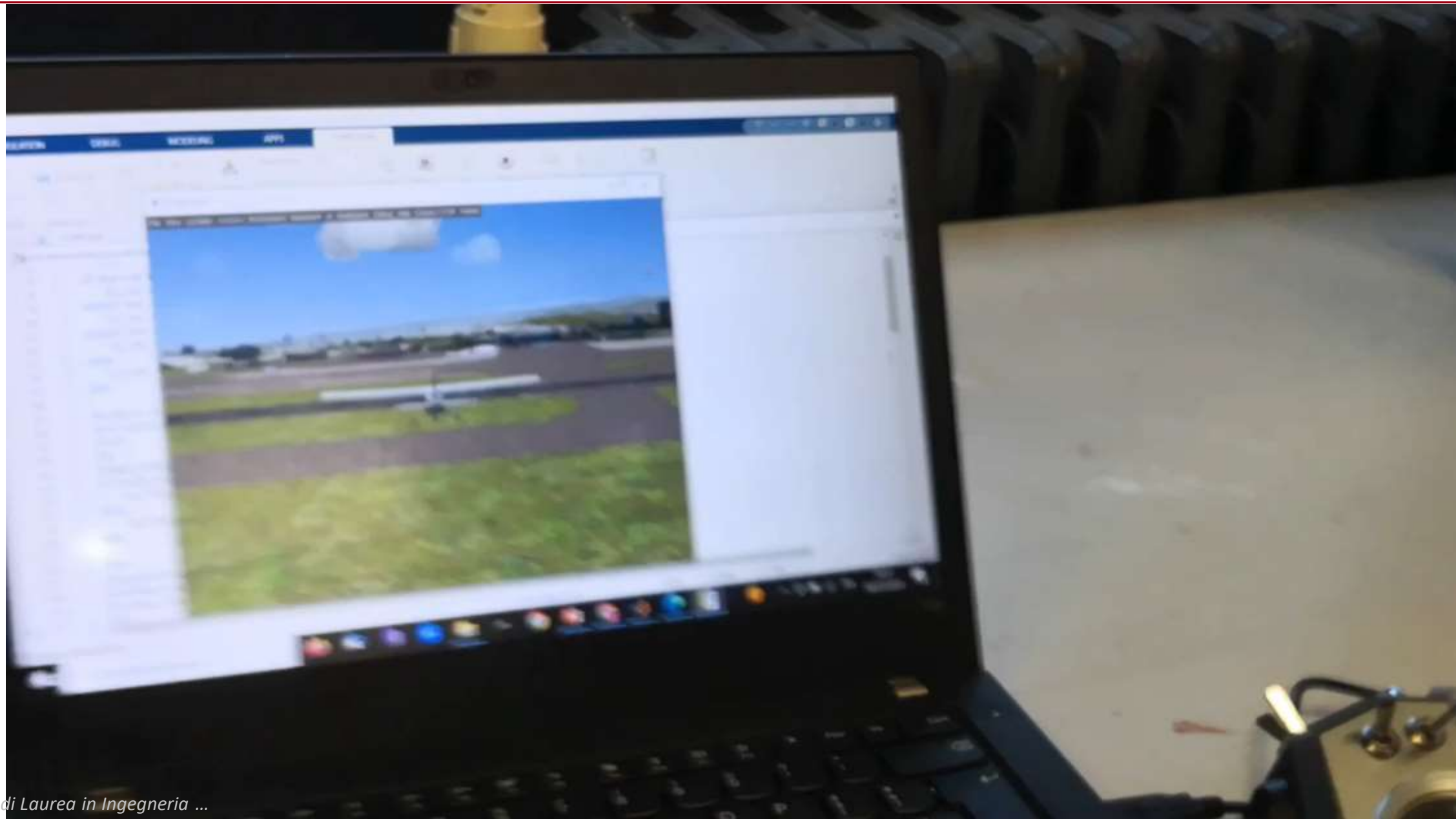
**CN-ALFA.**  
**IMBARDATA**  
**ANDAMENTO**  
**LINEARE CON**  
**ANGOLO**  
**D'ATTACCO**

## ANALOGAMENTE

- *POLARI DA XFLR5: AEREO COMPLETO CON SOLO PIANO DI CODA*
- *CL E CN RICAVATI DA CL*
- *AGGIUNTA COME «DISTURBO»*







*IL SIMULATORE FUNZIONA!*

*OTTIMO RISULTATO DOPO TANTI FALLIMENTI CERCANDO DI MODIFICARE SIMULATORE GIÀ ESISTENTE*

*LIMITI ATTUALI/POSSIBILI MODIFICHE FUTURE*

- *IMPLEMENTARE FASE DECOLLO E ATTERRAGGIO (EFFETTO SUOLO, CONTATTO TERRA-CARRELLO, ATTRITI, CONSIDERAZIONI STRUTTURALI): LONG TERM GOAL*
- *SIMULAZIONE DELLO STALLO ESTREMAMENTE SEMPLIFICATA:  $CL$ -ALFA ARRIVA A  $CL_{MAX}$  POI DECRESCHE E RESTA COSTANTE, GLI ALTRI COEFFICIENTI INVARIATI. OLTRE UN CERTO RANGE DI  $AOA$  LE POLARI PERDONO DI SIGNIFICATO*
- *INSTABILITÀ DINAMICA AL BECCHEGGIO: MODIFICHE «SPERIMENTALI» DEI COEFFICIENTI L'HANNO RIDOTTA MA NON ELIMINATA. RESTA DA INDAGARE CON ALTRI METODI: SIMULAZIONI E STUDIO, AUTOVALORI, DETERMINAZIONE COEFF DI SMORZAMENTO.*



## LIMITI ATTUALI/POSSIBILI MODIFICHE FUTURE

- *EFFETTO DI V INCIDENTE SULL'ELICA NON PARALLELA ALL'ASSE DEL MOTORE*
- *STIMARE EFFETTO DI DISTURBO DEL FLUSSO CHE INVESTE LA CODA DA PARTE DI ALI ELICA E FUSOLIERA*
- *MANCANO DATI: TUTTI QUELLI DERIVATI DAL REPORT NACA*
- *LIMITI DI XLFR5: MANCA FUSOLIERA, CARRELLO, WINGLET, POCO PRECISO RISPETTO A UNA CFD (CHE RICHIEDE MOLTO PIÙ TEMPO: TRADE-OFF)*

*GRAZIE PER L'ATTENZIONE*

Homepage del sito del team Lift Up: <https://www.teamliftup.it/>

Aka Modell Muenchen, *Air Cargo Challenge 2021, Participation Handbook*

Simulink: <https://it.mathworks.com/products/simulink.html>

Flightgear: <https://www.flightgear.org/>

Ecalc: <https://www.ecalc.ch/>

B. Stevens, F. Lewis, E. Johnson, *Aircraft Control and Simulation*, Wiley, 2016

G. Higgins, E. Jacobs, *The effect of a flap and ailerons on a NACA M-6 airfoil section*, NACA, 1927

S. Faggionato, *Calcolo dei valori obiettivo e dimensionamento del piano di coda per un drone ad ala fissa da competizione*,  
Tesi triennale, Unipd, 2020

Descrizione del software Xflr5: <http://www.xflr5.tech/xflr5.html>