

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale  
Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

***Relazione per la prova finale***  
***Studio sperimentale di un razzo modello***  
***Dalla progettazione strutturale alla dinamica del volo***

Tutor universitario: Prof. Bettanini Fecia di Cossato Carlo

Laureando: Botter Lorenzo 1231359

Padova, 13/07/2023

## HIGH POWER ROCKET

Razzo con impulso totale superiore a 160Ns o con spinta media superiore a 80N



CLASSE	IMPULSO (Ns)	CAT.
A	2,5	Model
B	5	Model
C	10	Model
D	20	Model
E	40	Model
F	80	Model
G	160	Model
H	320	L1
I	640	L1
J	1280	L2
K	2560	L2
L	5120	L2
M	10240	L3
N	20480	L3
O	40960	L3



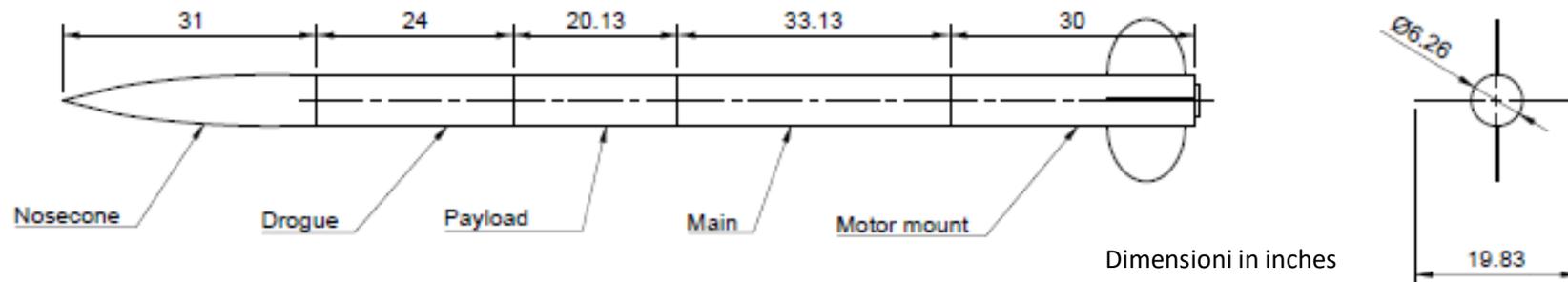
## REQUISITI DI PROGETTO

- Tubo esterno da 6" e tubo interno da 4"
- Motore fino a 6 grani con diametro di 95mm
- 4kg payload
- Dual deploy



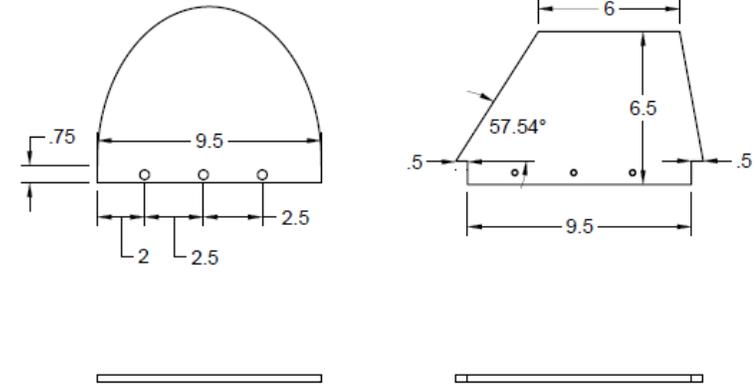
## SOFTWARE UTILIZZATI

- Autodesk Fusion 360
- Open Rocket

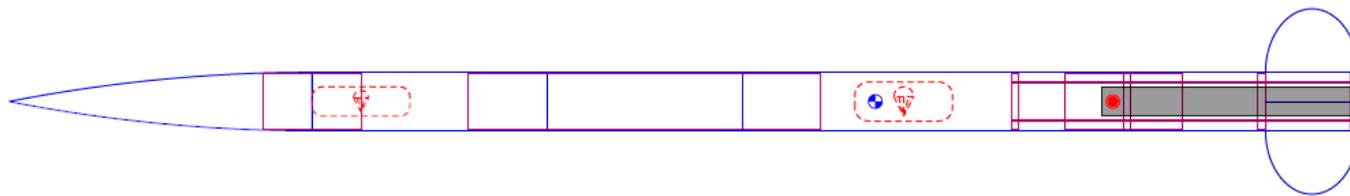


## ACCORGIMENTI PARTICOLARI

- Ali removibili e sostituibili
- Resistenza strutturale alla spinta del motore
- Resistenza strutturale all'apertura del paracadute
- Posizione di CP e CG
- Tolleranze e accoppiamenti



## Rocket Design



Razzo

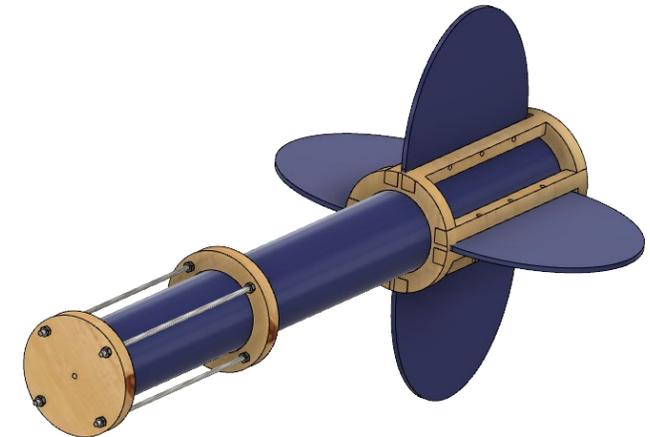
Stages: 1

Mass (with motor): 20111 g

Stability: 4.05 cal

CG:  $88 \frac{19}{32}$  in

CP:  $112 \frac{57}{64}$  in

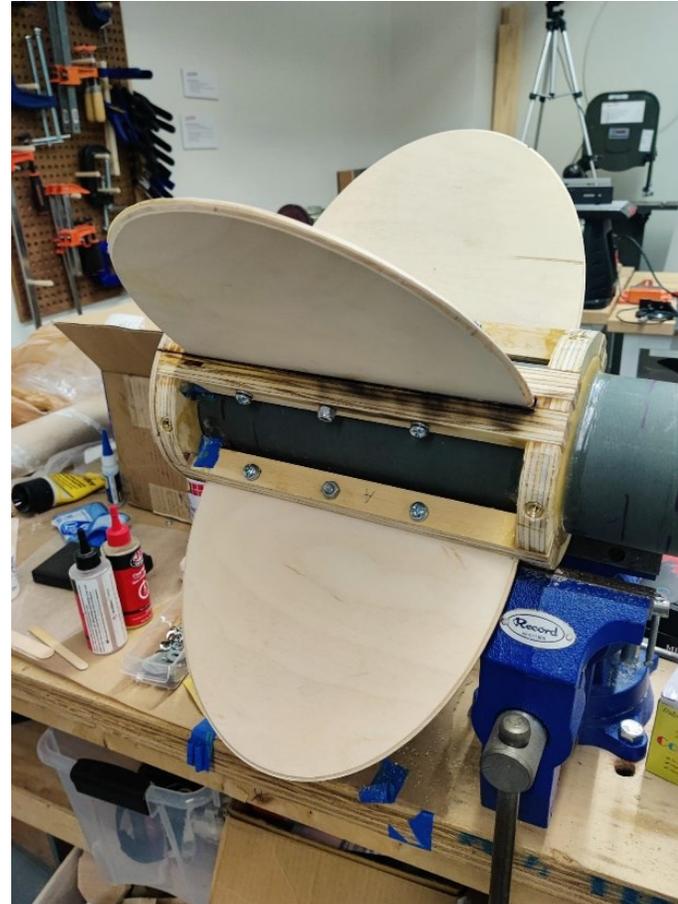


## SOLUZIONI COSTRUTTIVE

- Taglio al laser
- Intaglio dei pezzi in compensato con macchina a controllo numerico
- Rinforzo delle ali con fibra di vetro e resina epossidica

## STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

- Shop Bot (controllo numerico)
- Vcarve (software per l'intaglio)
- Lightburn (software per tagliatrice al laser)



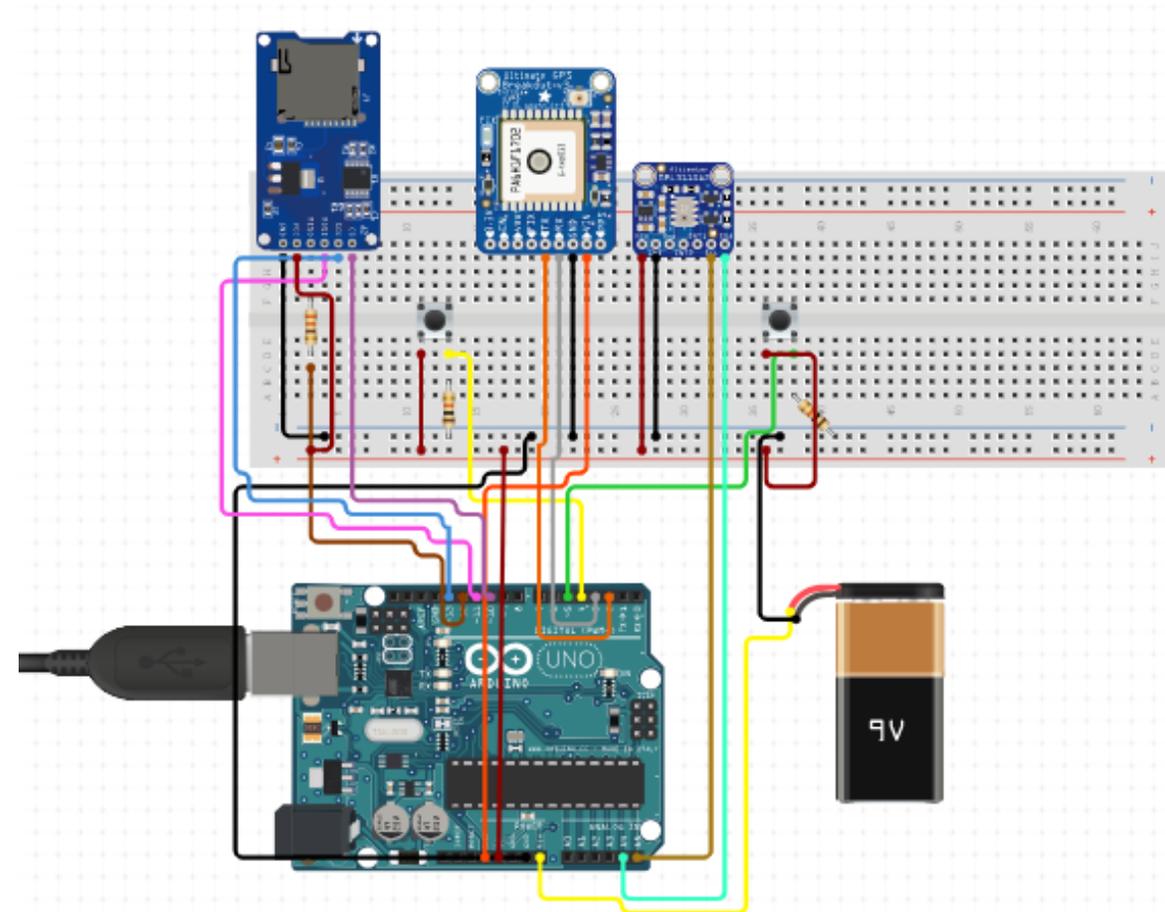
**ShopBot**®

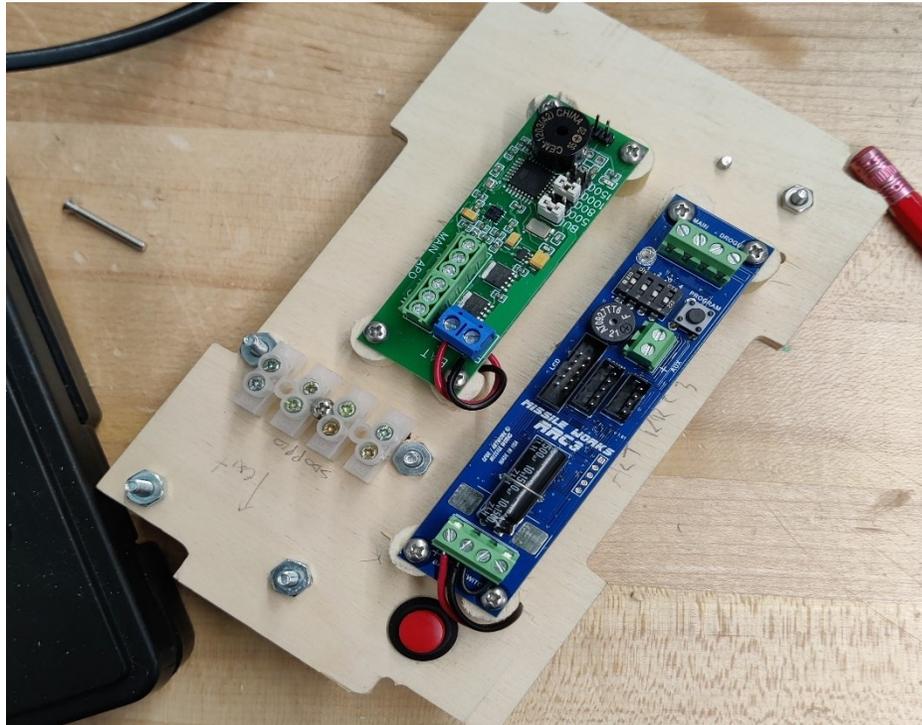
**VCarve**

## RACCOLTA DATI

- Arduino Uno
- Adafruit mpl3115a2
- Micro SD card adapter
- Adafruit Ultimate GPS Breakout v3

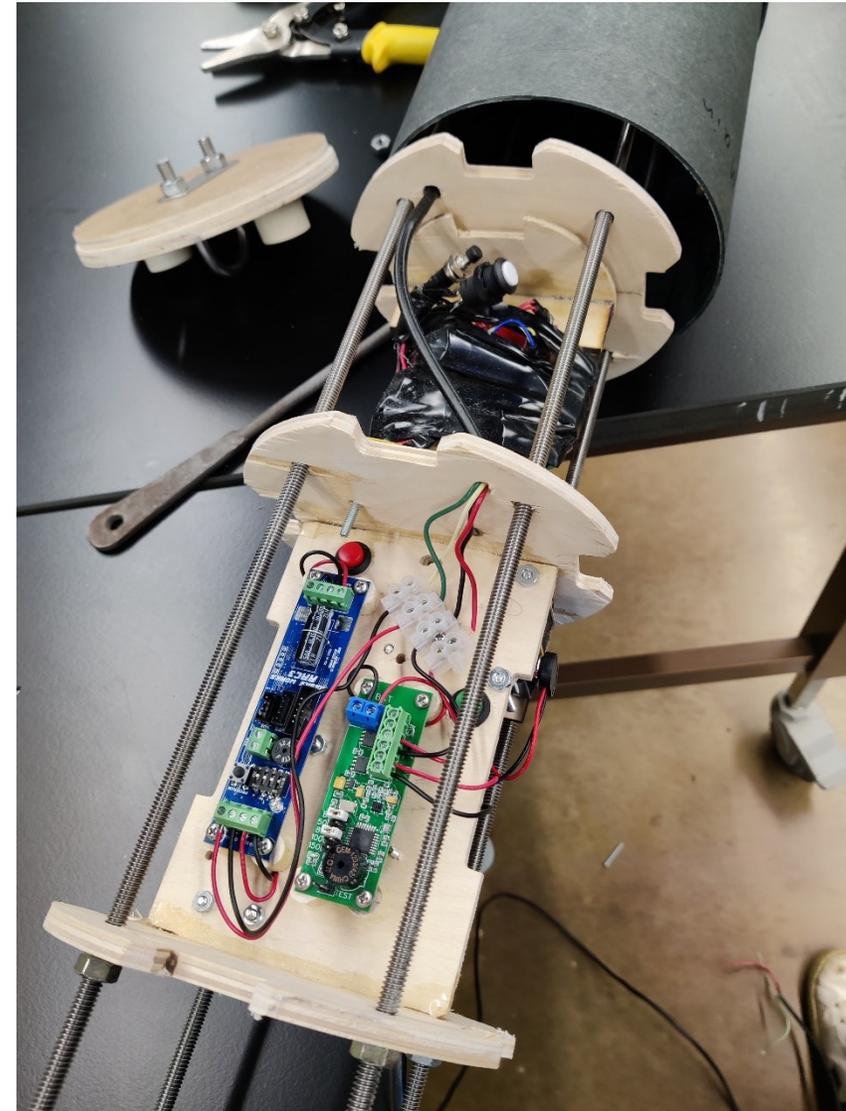
Frequenza campionamento media	36 Hz
Memoria utilizzata per singola lettura	120 Byte
Utilizzo memoria	4.32 kB/s





## RECOVERY SYSTEM

- Lightning Bug Dual Deployment Altimeter
- RRC3 "Sport" Dual Deployment Altimeter

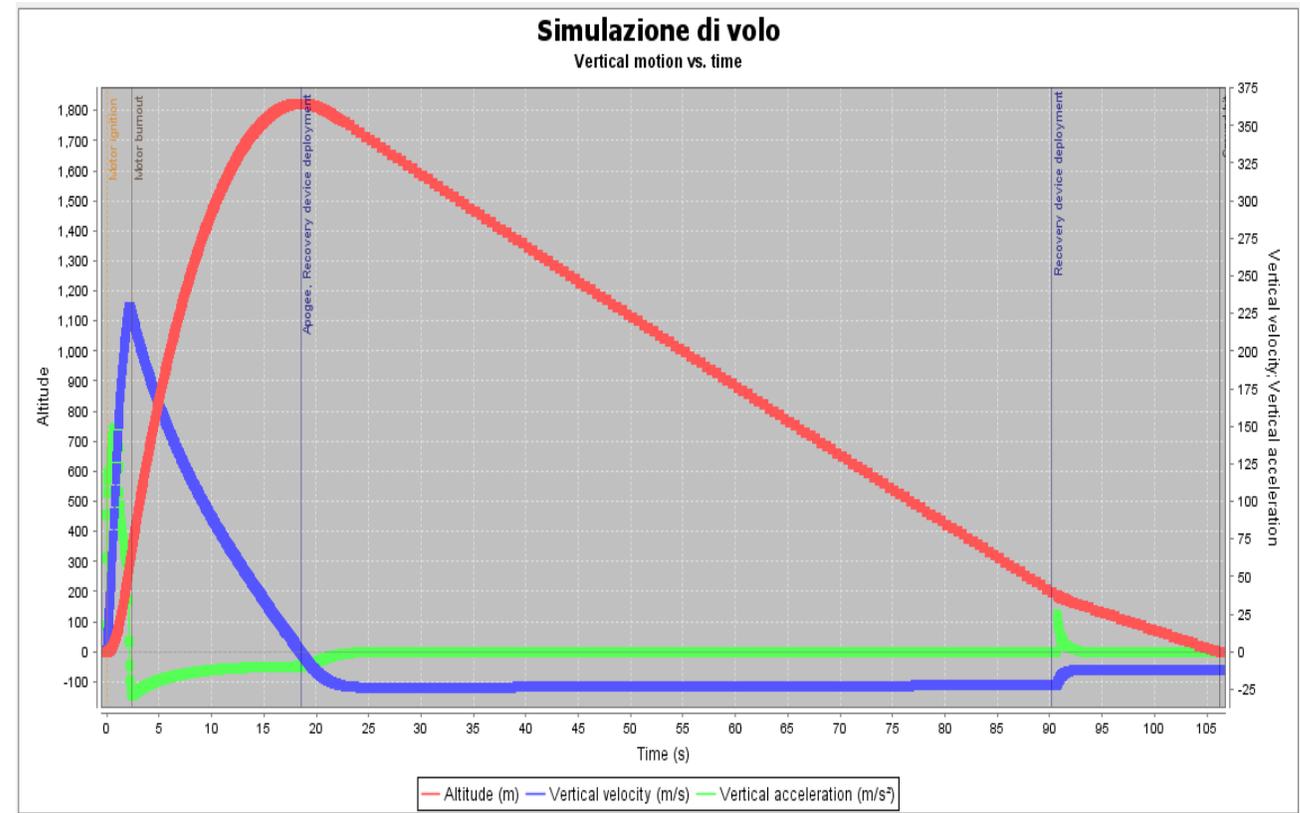


## TEST A TERRA

- Corretto funzionamento dei sensori
- Misurazione del quantitativo di polvere da sparo necessaria per il paracadute
- Test di apertura del paracadute

## SIMULAZIONE DI VOLO

Altitudine massima	1823 m
Velocità massima	230 m/s
Velocità in uscita dalla rampa	15.6 m/s



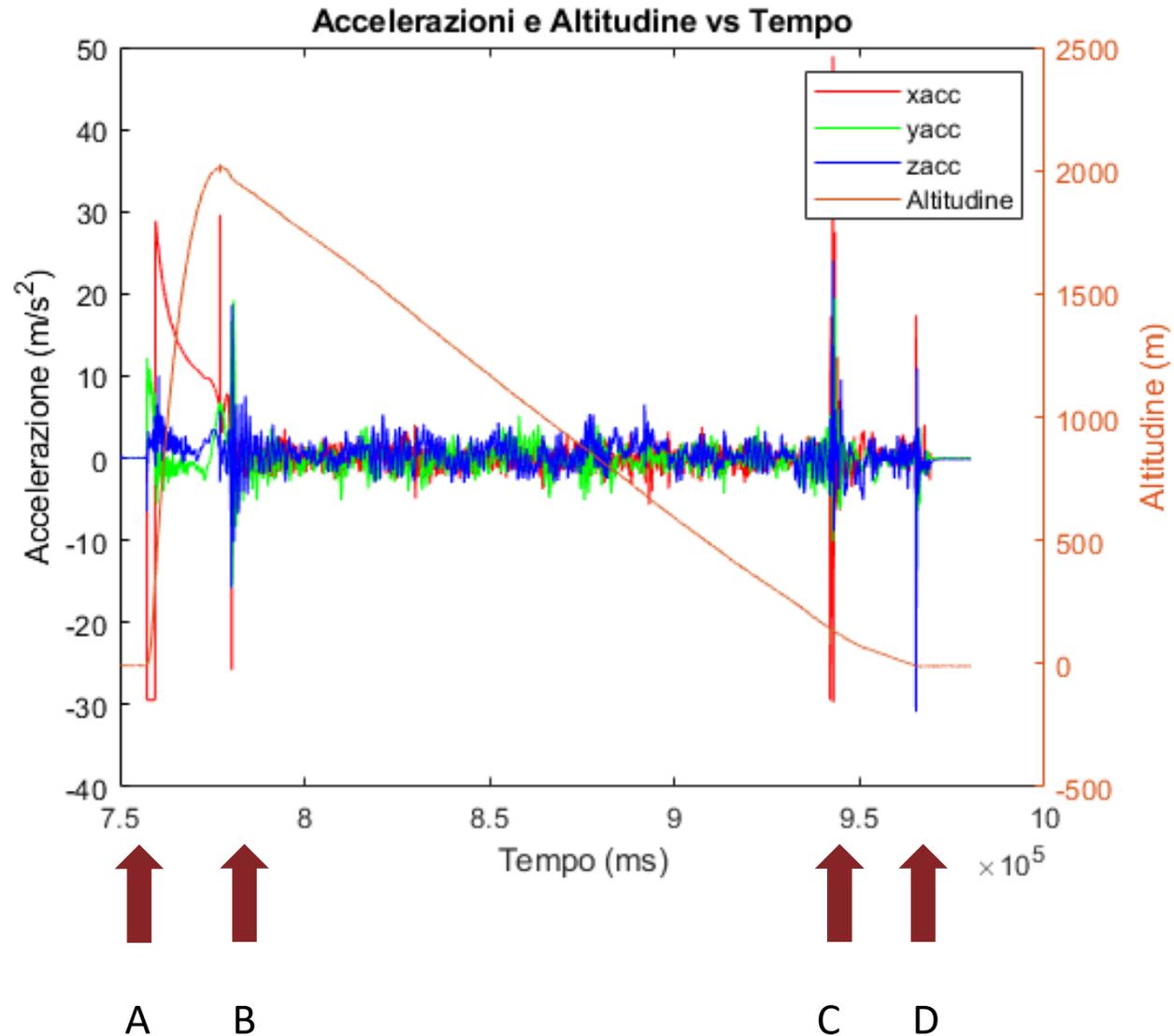


A) Accensione

B) Apertura  
drogue

C) Apertura main

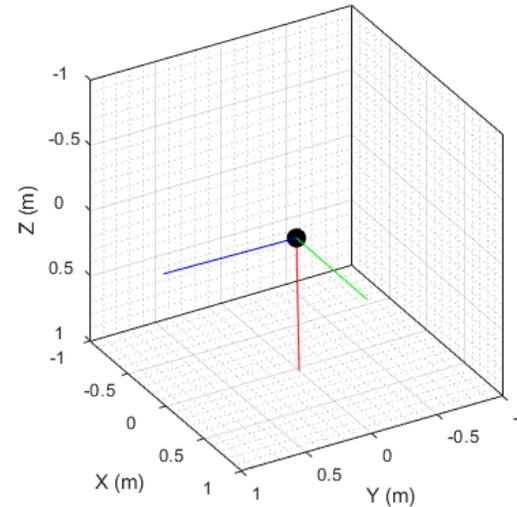
D) Atterraggio



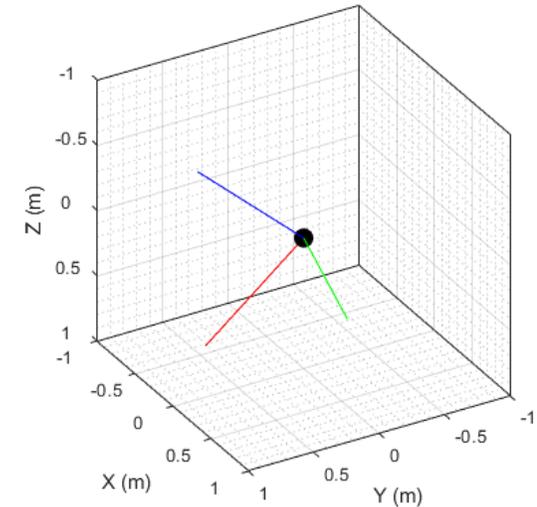
## PERFORMANCE E ASSETTO

Altitudine raggiunta	2025 m
Velocità massima	241,42 m/s
Accelerazione massima	158,42 m/s <sup>2</sup>
Tempo di burnout	2,3 s
Tempo di ascesa	19,3 s
Tempo di volo	208 s

L'orientamento del razzo nel tempo è stato riprodotto tramite un'animazione in MATLAB per analizzarne l'assetto

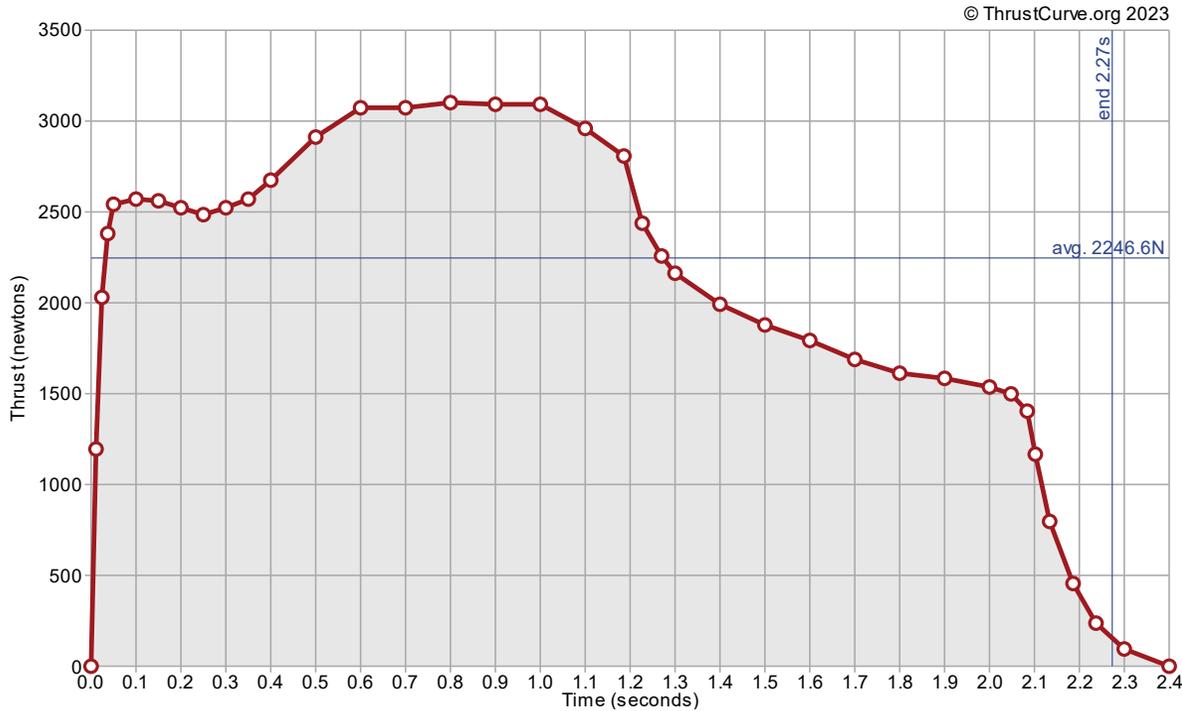


Volo verticale

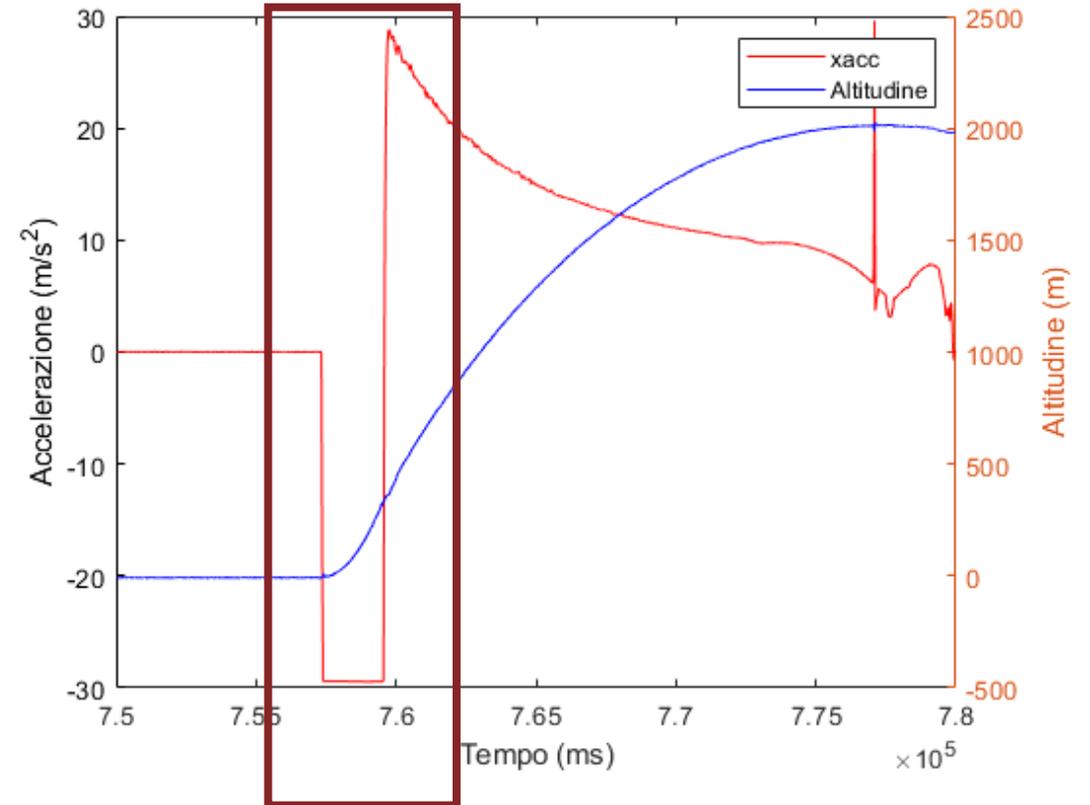


Avvicinamento apogeo

## Curva di spinta (costruttore)

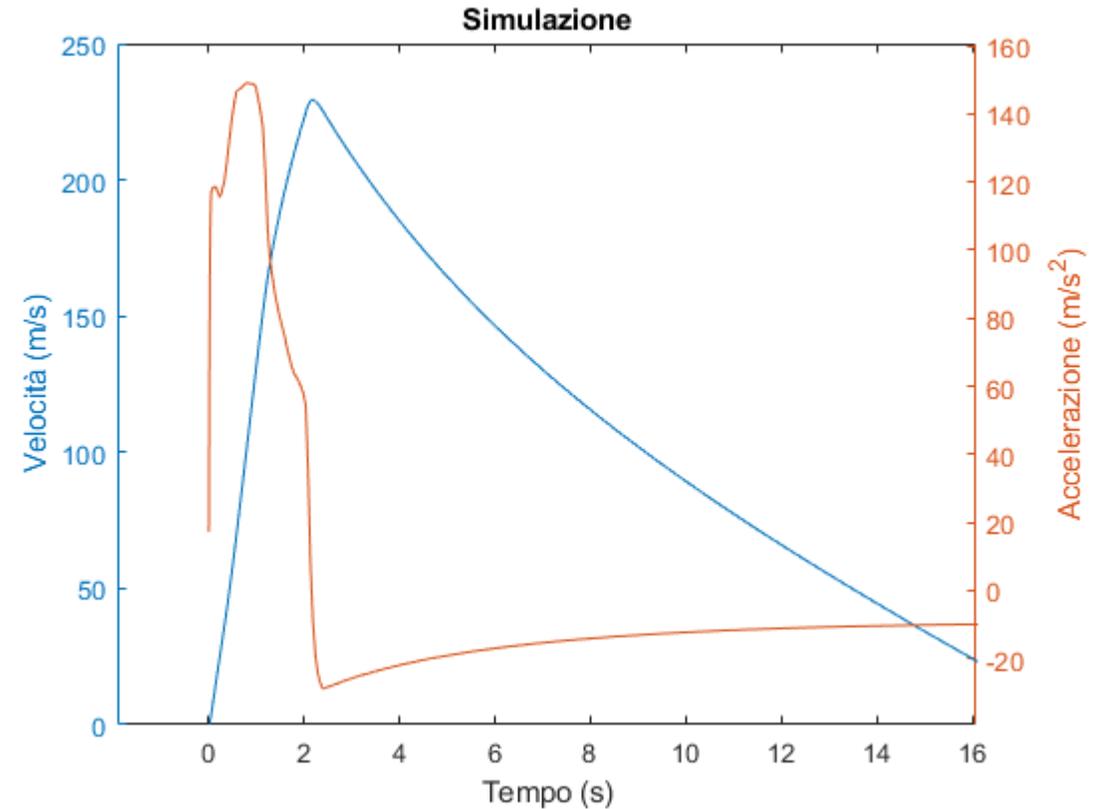
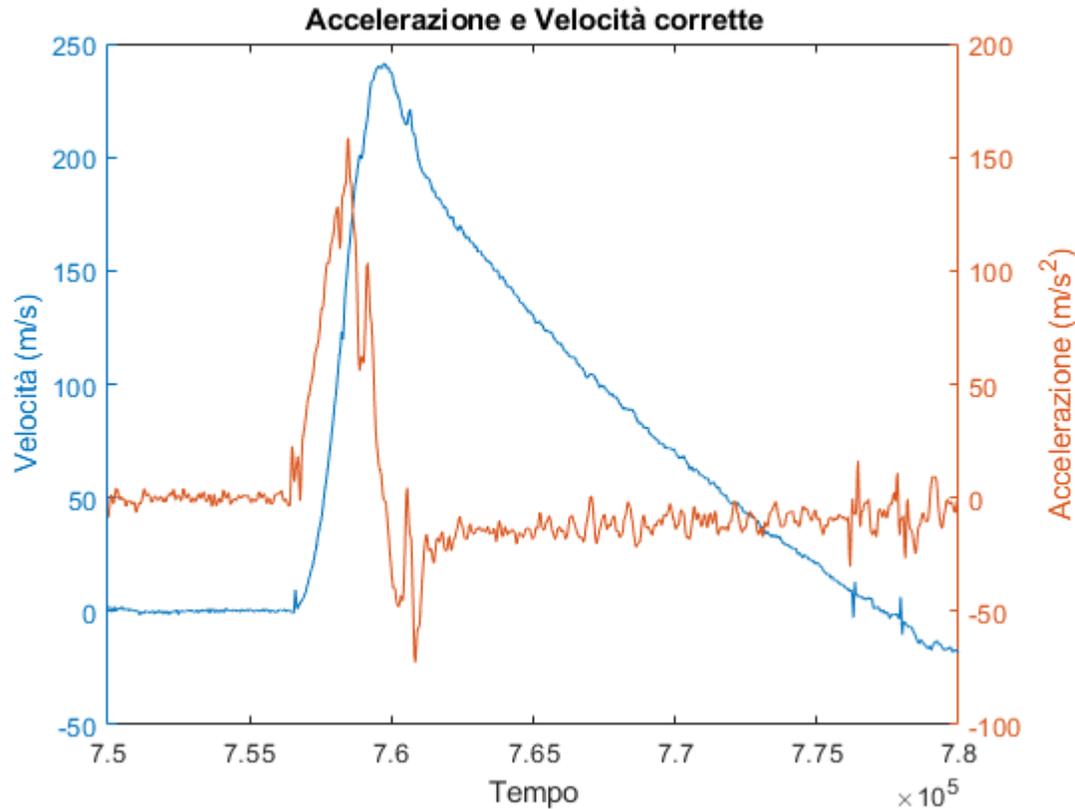


## Curva ottenuta (accelerometro)



- Si analizza la relazione tra curva data dal costruttore e curva ottenuta tramite l'accelerometro

- L'accelerometro sopra i 3g va fuori scala: necessarie soluzioni alternative per l'analisi



- Ricostruzione dell'andamento di accelerazione e velocità a partire da tempo e altitudine

- La simulazione preliminare è in ottimo accordo con i dati raccolti nella fase di volo

