

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

***Relazione per la prova finale***  
***«Progettazione e dimensionamento delle alette del razzo***  
***SFR I nell'ambito del progetto universitario Thrust»***

Tutor universitario: Prof. Barato

Laureando: Davide Spiller

Padova, 15/09/2023

## Il progetto studentesco Thrust

### Caratteristiche di SFR I

- Altezza: 2,7 m
- Diametro: 15 cm
- Peso a secco (circa): 25 kg
- Spinta: 1000 N
- Velocità massima: 0,75 M

### Moduli dalla punta

1. Recupero
2. Elettronica di bordo e payload
3. Serbatoio
4. Interstage
5. Camera di combustione



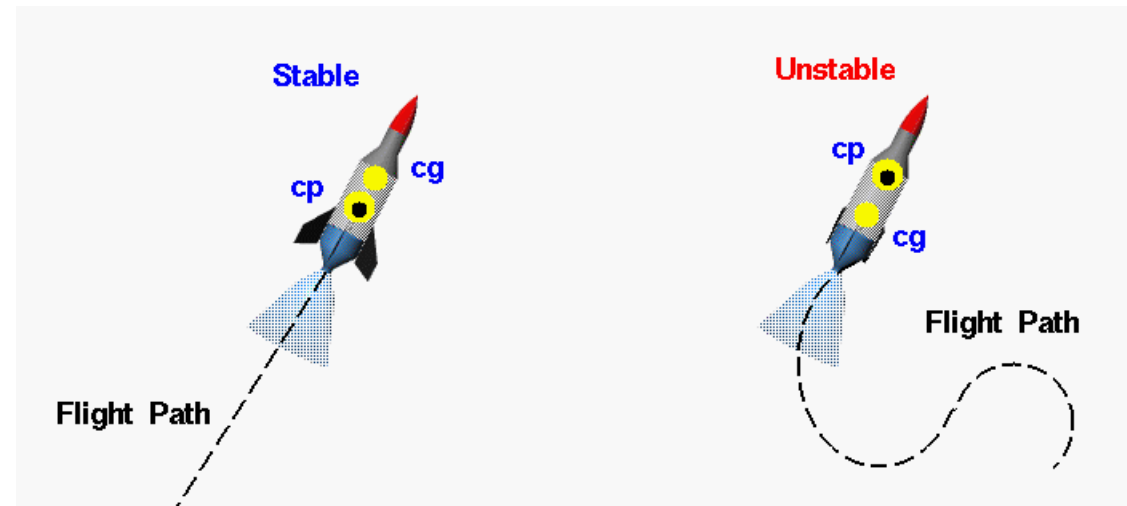
Il modello 1:1 del razzo SFR I al Meeting Space Veneto di Venezia

Progettazione delle alette per  
garantire la stabilità del razzo

Requisiti secondari:  
• Aspetto estetico

Requisiti principali:

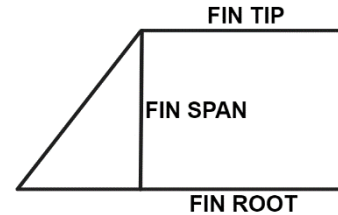
- Peso contenuto
- Resistenza alla flessione
- Facilità di montaggio



Spiegazione della stabilità. Immagine presa dal sito della NASA

## Caratteristiche delle alette

- Corda di radice (fin root) = 31.6 cm
- Corda di punta (fin tip) = 19.6 cm
- Altezza (fin span) = 15.5 cm
- Spessore = 0,3 cm



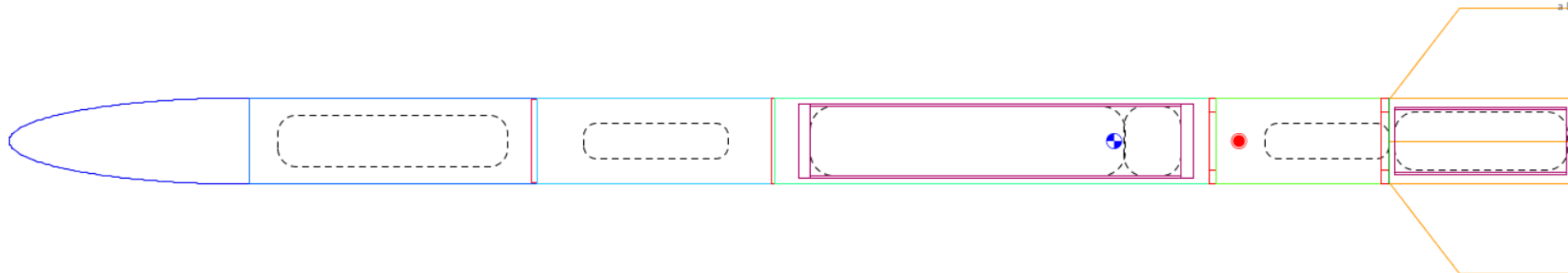
Rappresentazione schematica delle alette

## Casi rappresentati in OpenRocket

1. Serbatoio e camera di combustione pieni
2. Serbatoio e camera di combustione vuoti
3. Serbatoio vuoto e camera di combustione piena

Razzo  
Lunghezza 272 cm, max. diametro 15 cm  
Massa SENZA motori 22454 g

Stabilità: 1,45 cal  
CG: 192 cm  
CP: 214 cm  
 $\Delta L = 0,30$



Rappresentazione attraverso OpenRocket del razzo caricato per il lancio a un chilometro

Dato	Valore
Lift sull'intero razzo	57 N
Lift sulla singola aletta	29,9 N
Lift sulla singola aletta in presenza di raffiche di vento che spostano l'angolo di incidenza a 2°	150 N
Velocità massima (a 1431 m dal suolo)	224,22 m/s
Densità dell'aria (a 1431 m dal suolo)	1,0653 kg/m <sup>3</sup>
Velocità del suono	343 m/s
Drag sulla singola aletta (da analisi CFD)	16,4 N

$$c_L = \frac{2\pi\alpha}{\sqrt{1 - M^2} + \frac{2}{AR}}$$

Formula di Prandtl-Glauert per flussi tridimensionali

$$L = \frac{1}{2}\rho c_L A v^2$$

Formula della portanza aerodinamica

<b>Momento esercitato dal lift</b>	10556 Nmm
<b>Momento esercitato dal drag</b>	1154 Nmm

$$V_f = a \sqrt{\frac{G}{\frac{1.337 AR^3 P (\lambda+1)}{2 (AR+2) \left(\frac{t}{c_r}\right)^3}}} \quad [ft/s]$$

Formula utilizzata per calcolare la velocità di flutter

- a = velocità del suono [ft/s]
- AR = aspect ratio
- P = pressione atmosferica [psi]
- G = modulo di tensione tangenziale [psi]
- t = spessore dell'aletta [m]
- $c_r$  = corda di radice [m]
- $c_t$  = corda di punta [m]
- $\lambda$  = rapporto tra corda di punta e di radice

```
1 [T, a, P, rho] = atmosisa(h_vec(i))
```

Comando usato nello script MATLAB per ottenere i dati relativi all'atmosfera standard necessari

$$\sigma_{max} = \frac{12M_L t}{cr * t^3 2}$$

Formula utilizzata per calcolare la tensione massima dovuta alla portanza

- t = spessore dell'aletta [mm]
- cr = corda di radice [mm]
- $M_L$  = momento generato dal lift [Nmm]

$$\sigma_{amm} = 250 \text{ MPa}$$

- tensione ammissibile da parte dell'alluminio 6082

Alternative prese in considerazione:

- Alette a incastro
- Flange di collegamento a unione bullonata
- **Unione saldata**

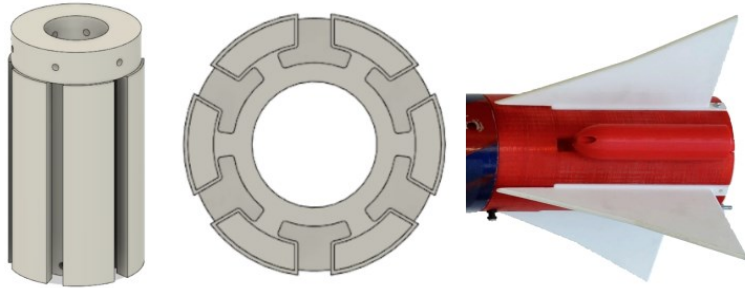


Immagine esemplificativa delle alette a incastro

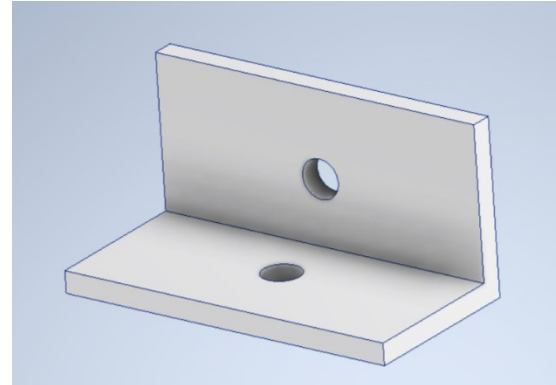


Immagine esemplificativa di una flange di collegamento usata nell'unione bullonata

Difficoltà, requisiti e verifiche relativi alla saldatura

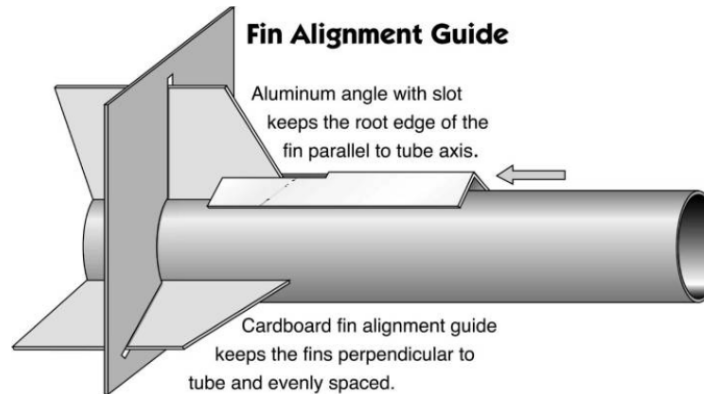
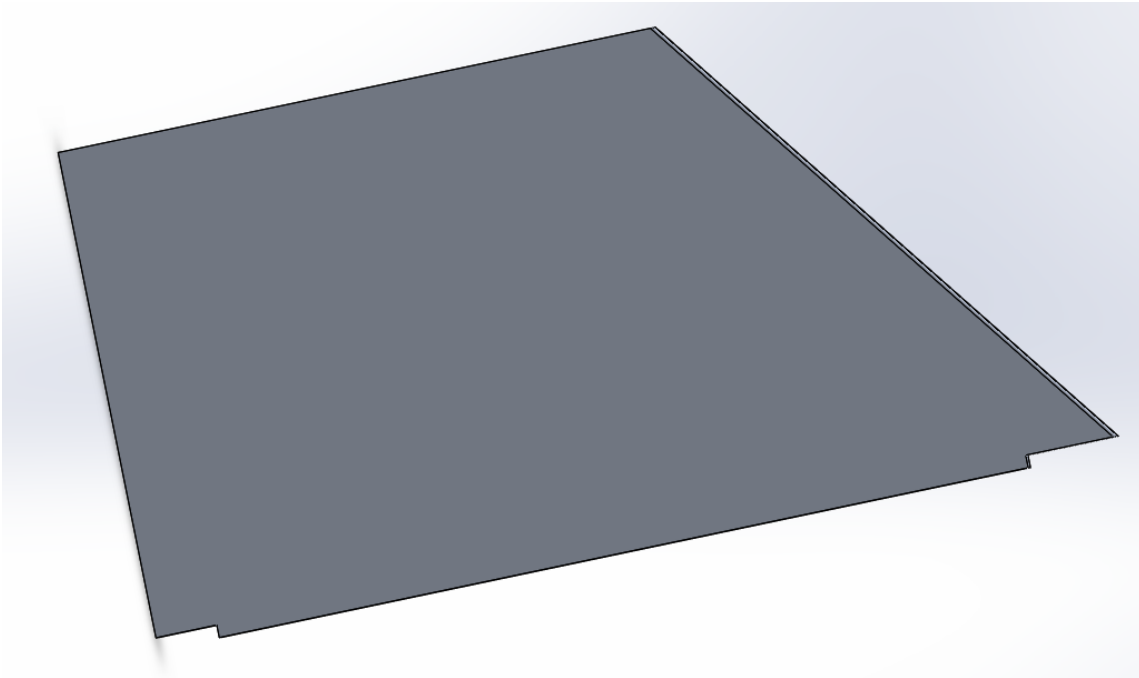


Immagine esemplificativa della struttura da aggiungere in fase di saldatura



Immagine esemplificativa dell'unione saldata



Design delle alette sviluppato in SolidWorks

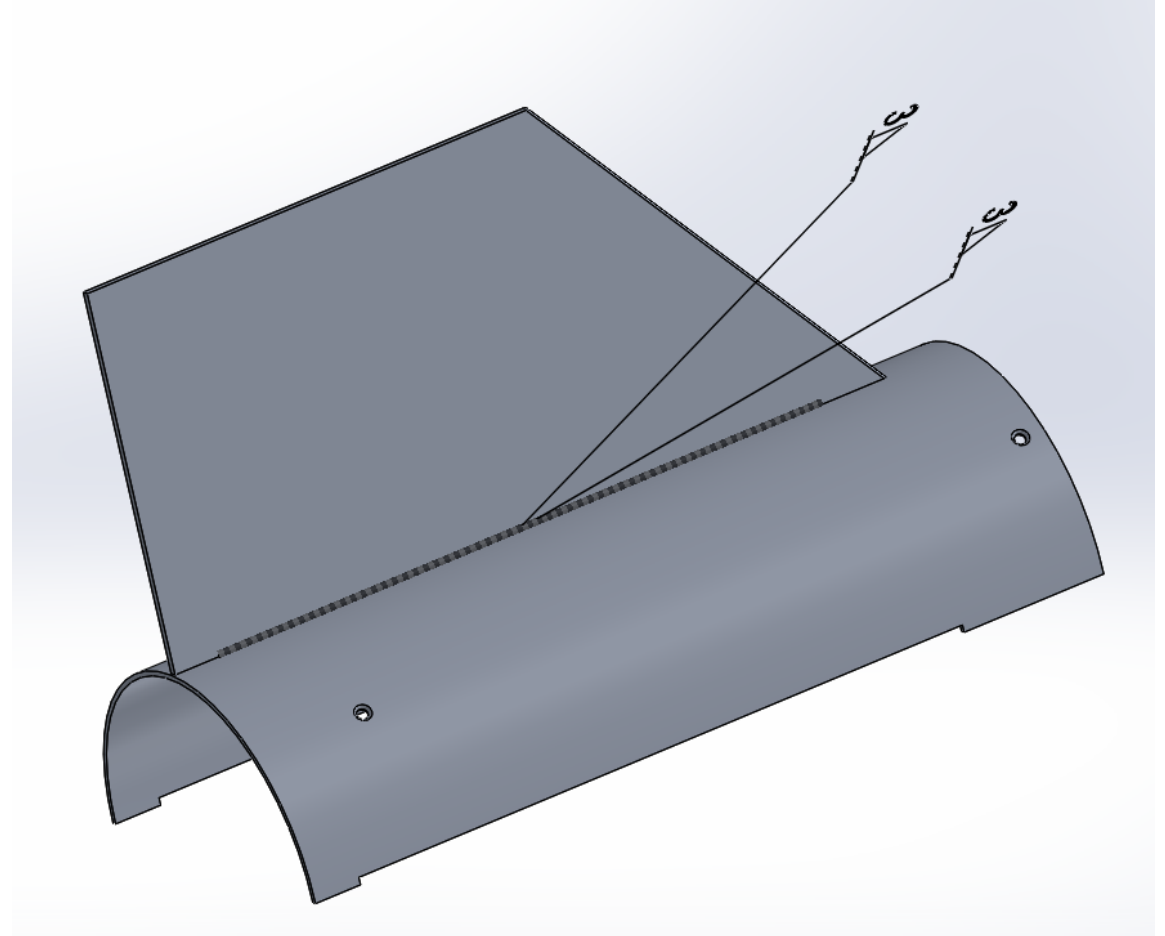


Immagine dell'assieme aletta-skin con cordone di saldatura in SolidWorks



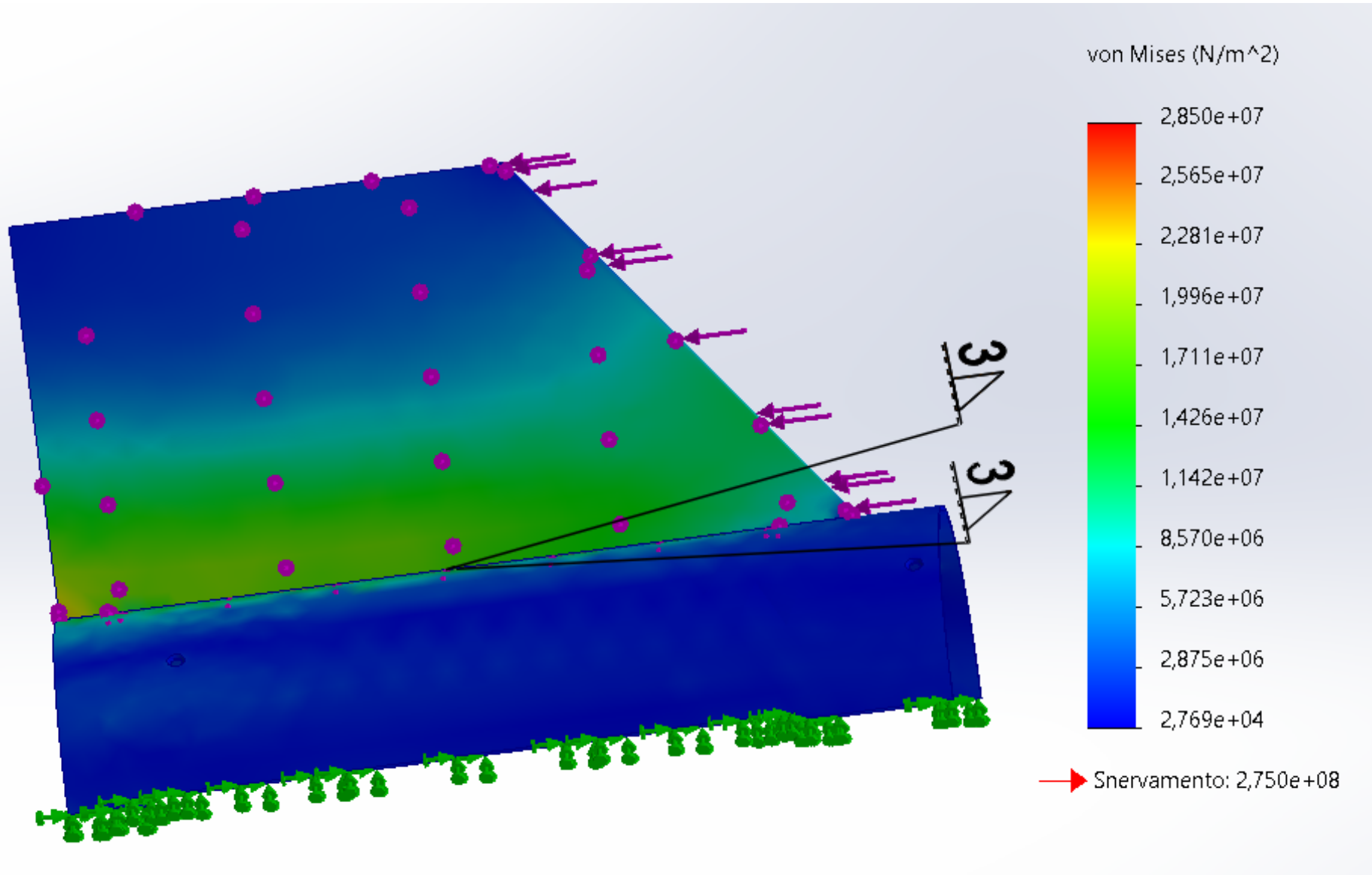


Immagine dei  
risultati ottenuti  
tramite analisi  
FEM in termini di  
tensioni grazie al  
software  
SolidWorks

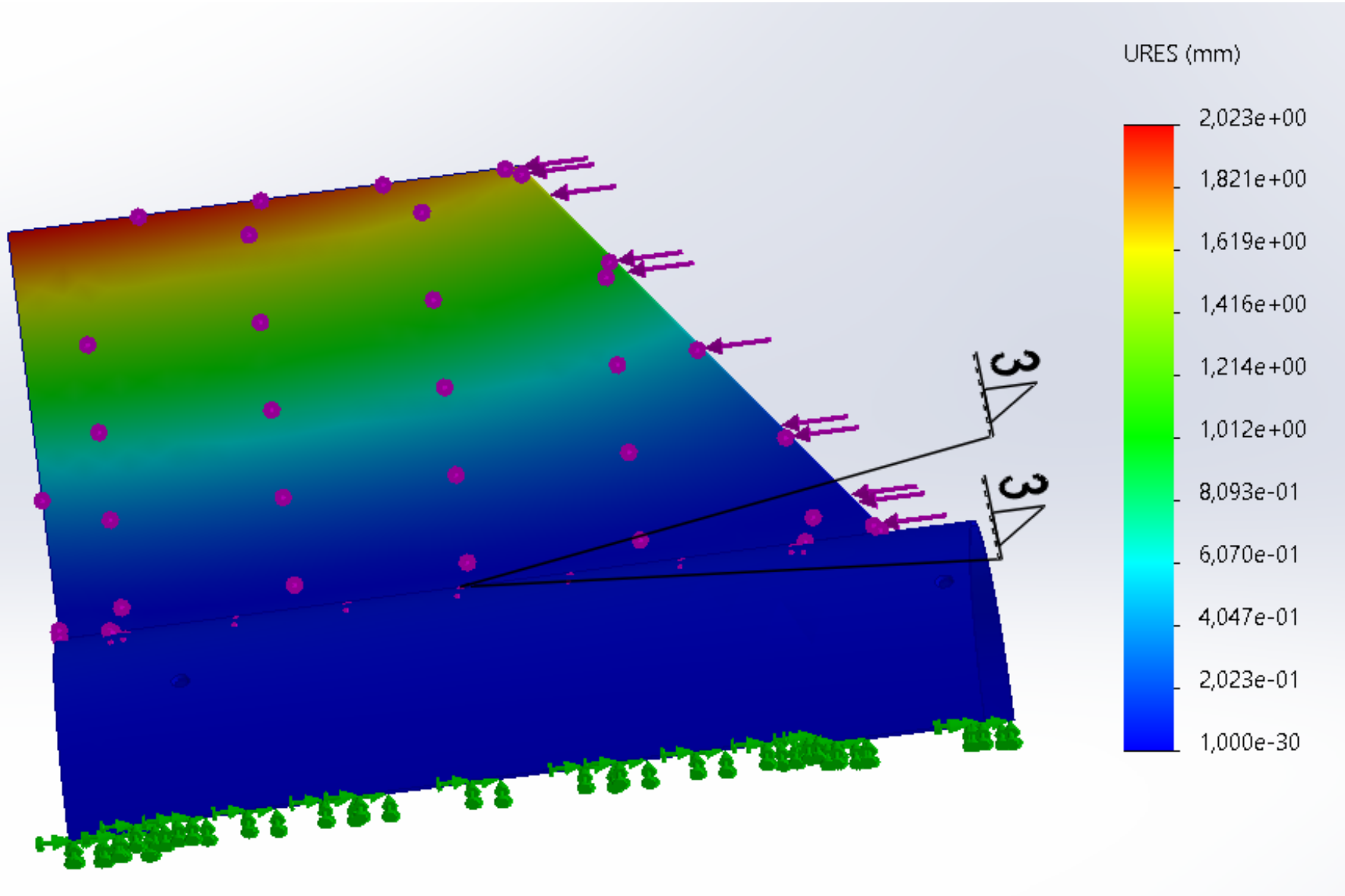
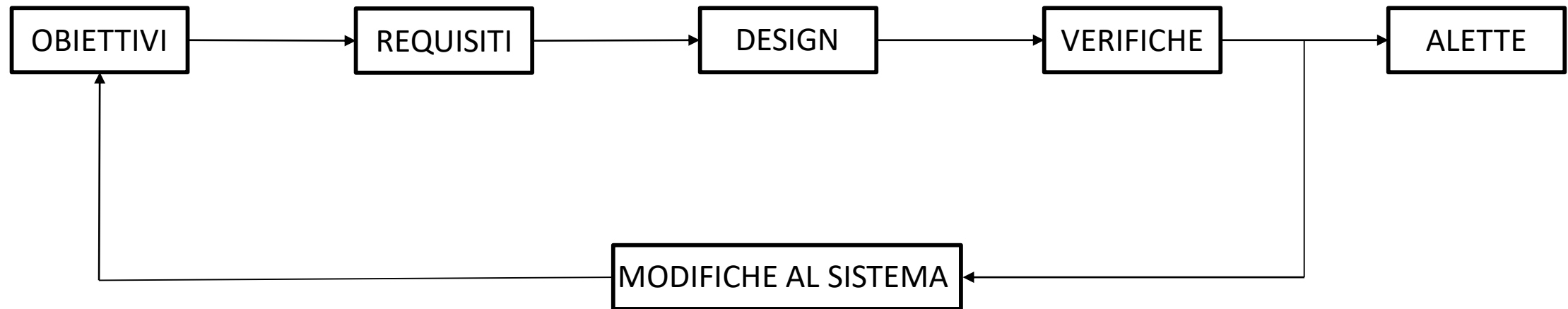


Immagine dei  
risultati ottenuti  
tramite analisi  
FEM in termini di  
spostamenti grazie  
al software  
SolidWorks



Dato	Valore
Corda di base	316 mm
Corda di punta	196 mm
Altezza	155 mm
Massa	357 g (ciascuna)

Tabella riassuntiva delle caratteristiche principali delle alette

# Grazie per l'attenzione

## Domande?