

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



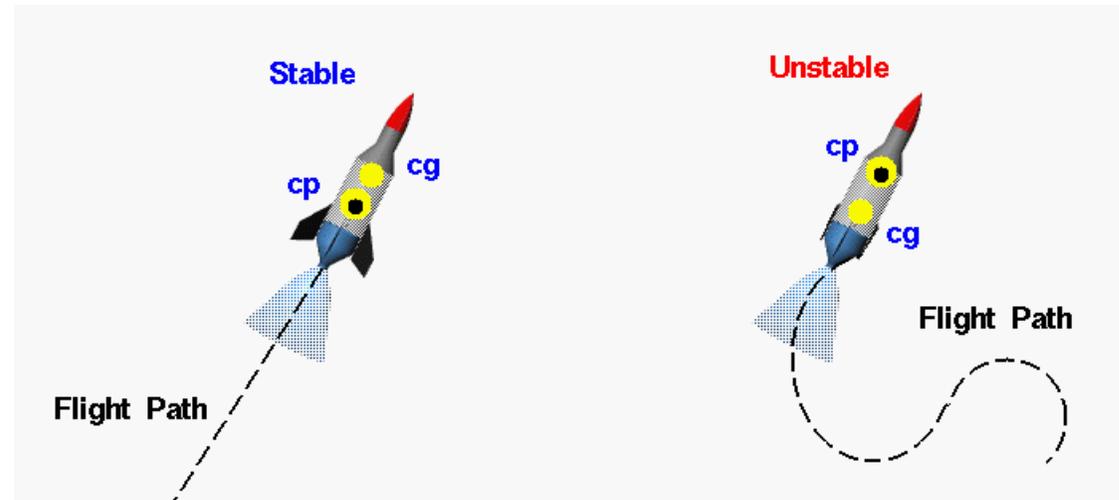
Il modello 1:1 del razzo SFR I al Meeting Space Veneto di Venezia

Progettazione delle alette per
garantire la stabilità del razzo

Requisiti secondari:
• Aspetto estetico

Requisiti principali:

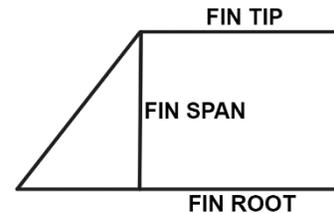
- Peso contenuto
- Resistenza alla flessione
- Facilità di montaggio



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



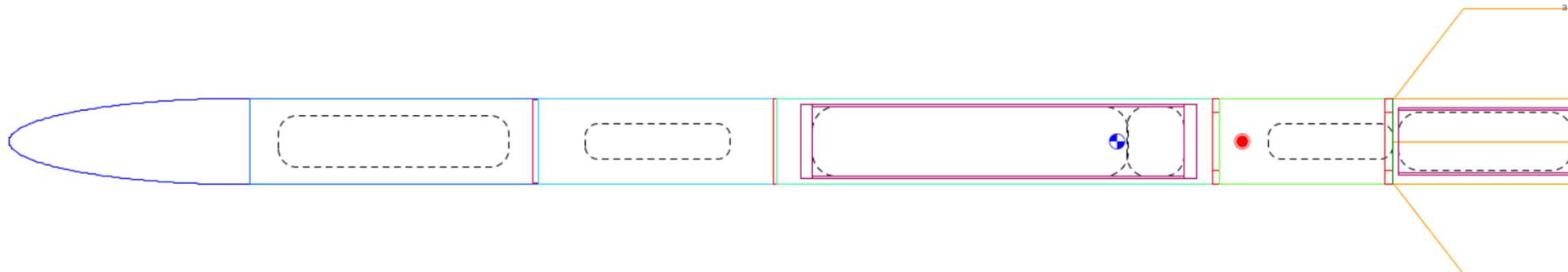
Rappresentazione schematica delle alette

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 ³
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

Momento esercitato dal lift	10556 Nmm
Momento esercitato dal drag	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]
- λ = 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**

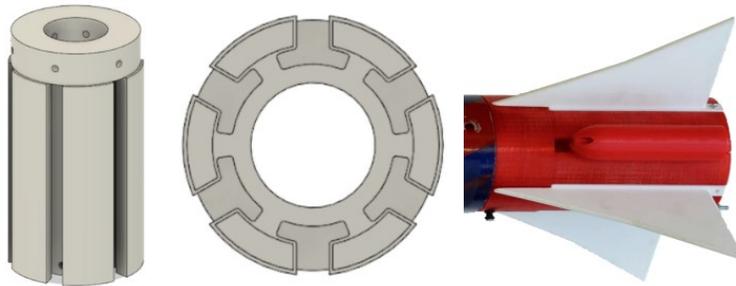


Immagine esemplificativa delle alette a incastro

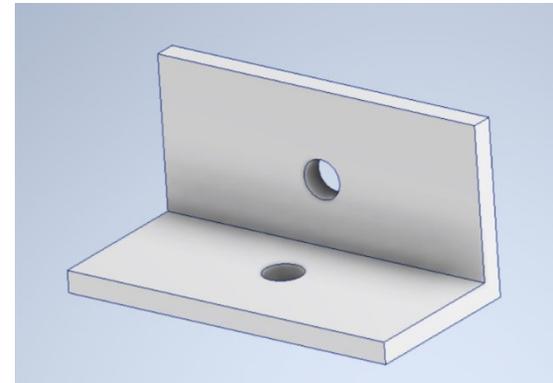


Immagine esemplificativa di una flange di collegamento usata nell'unione bullonata

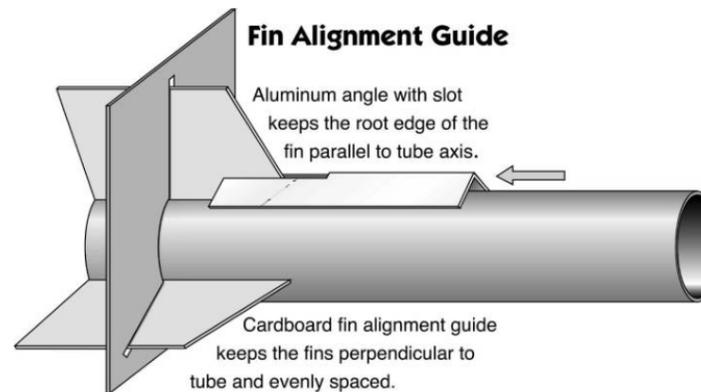
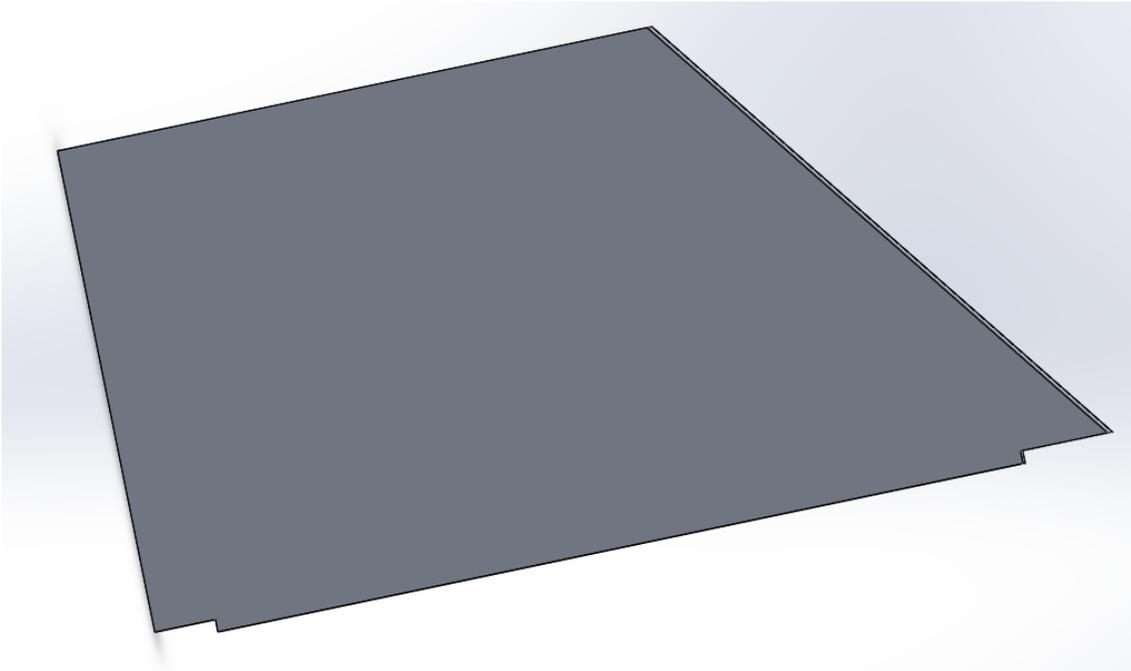


Immagine esemplificativa della struttura da aggiungere in fase di saldatura

Difficoltà, requisiti e verifiche relativi alla saldatura



Immagine esemplificativa dell'unione saldata



Design delle alette sviluppato in SolidWorks

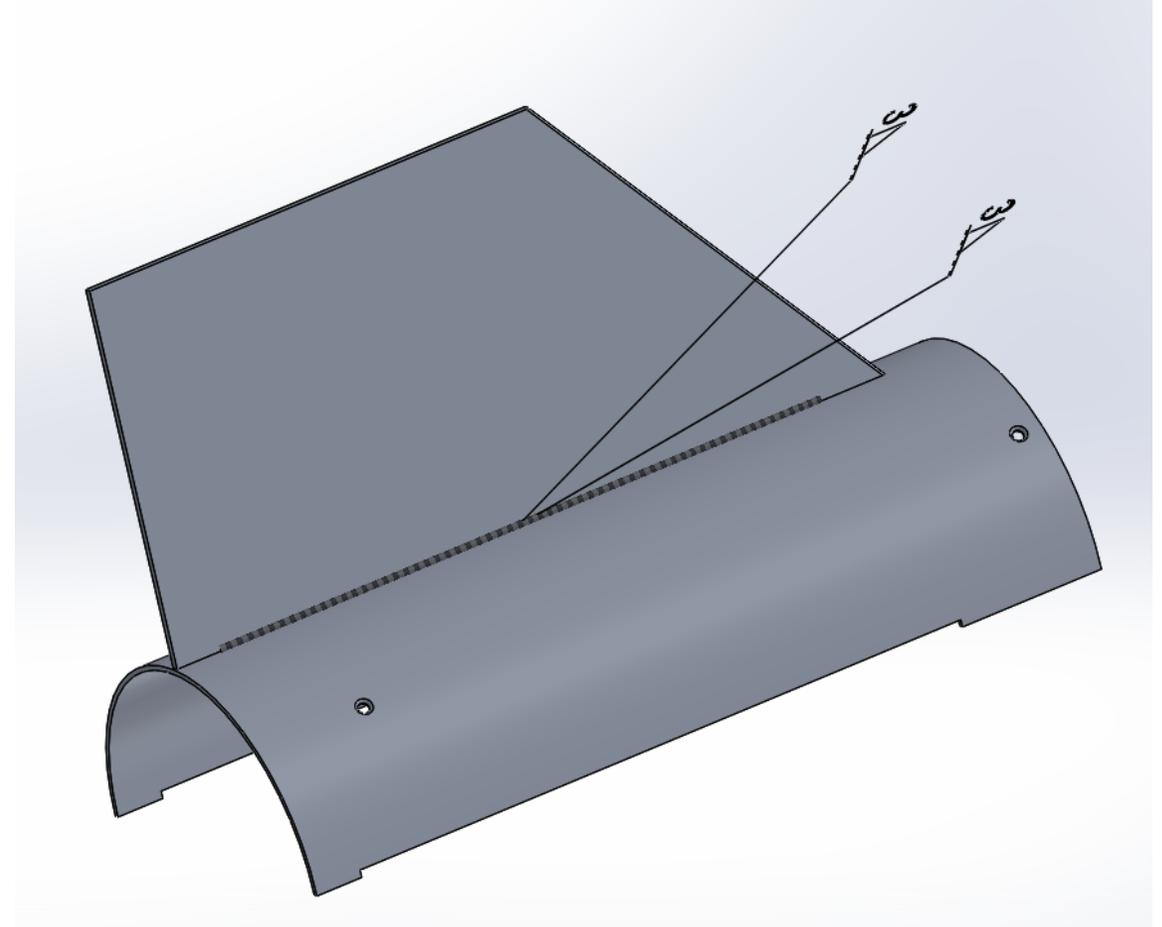


Immagine dell'assieme aletta-skin con cordone di saldatura in SolidWorks

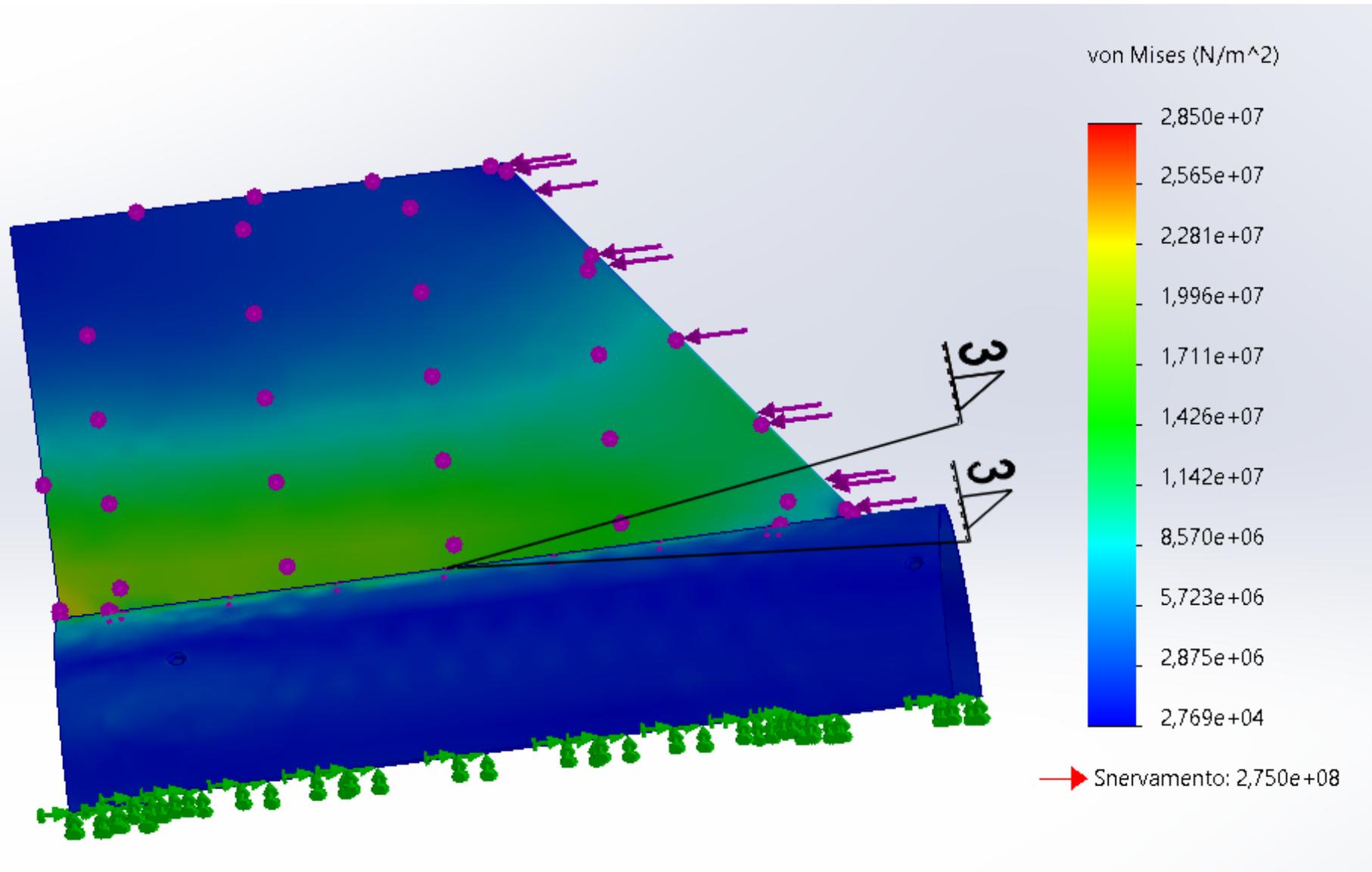


Immagine dei
risultati ottenuti
tramite analisi
FEM in termini di
tensioni grazie al
software
SolidWorks

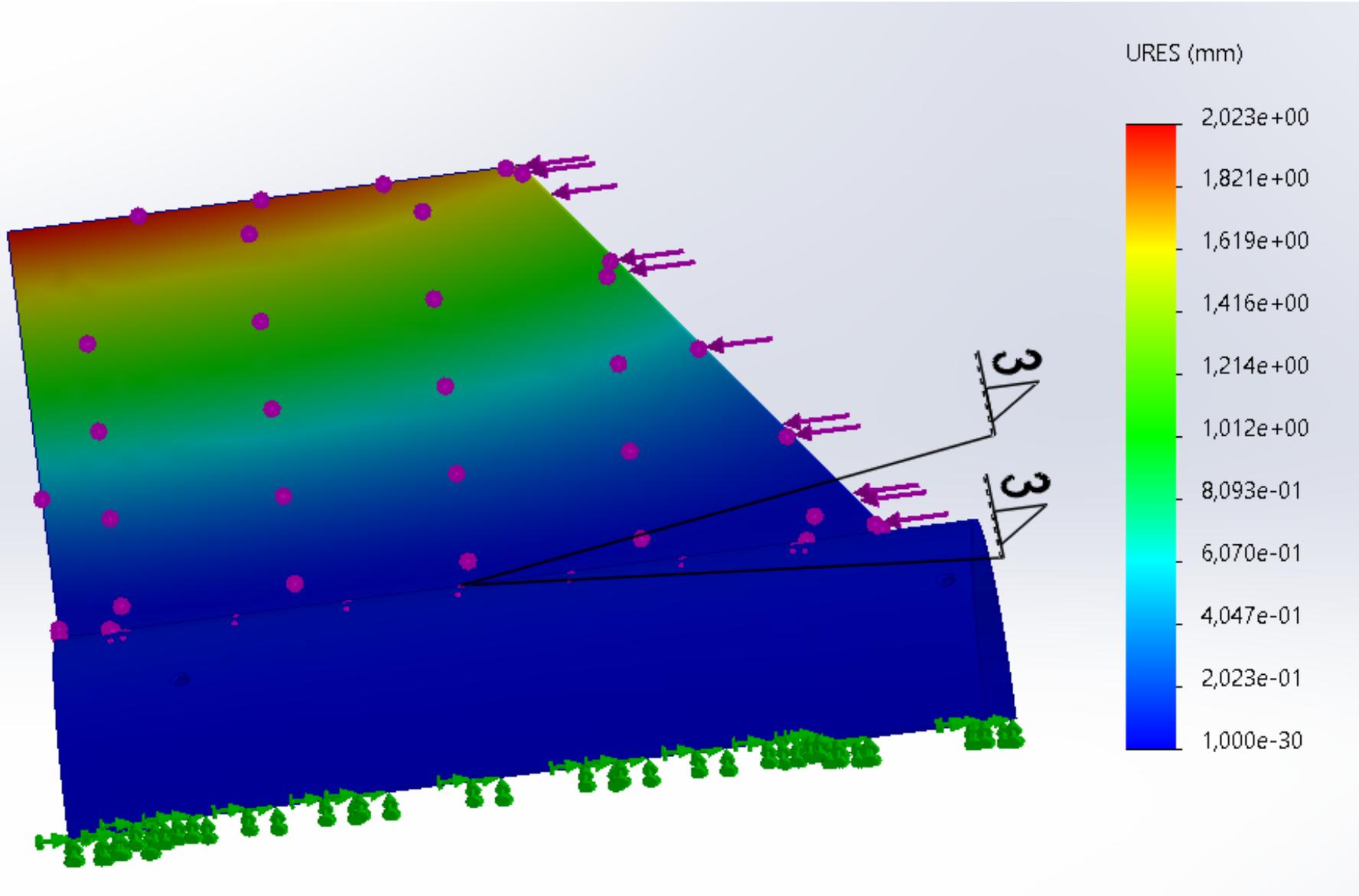
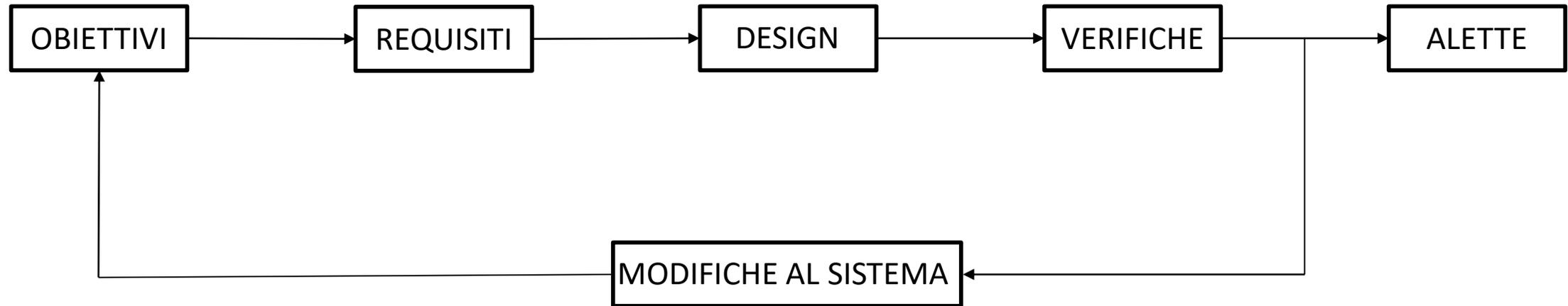


Immagine dei
risultati ottenuti
tramite analisi
FEM in termini di
spostamenti grazie
al software
SolidWorks



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?