



**Politecnico
di Torino**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica,
Fabbricazione Additiva

A.a. 2021/2022

Sessione di Laurea ottobre 2022

Progettazione di componenti per carrozzina a comando vocale tramite Generative Design

Relatore: Prof. Stefano Pastorelli
Correlatore: Prof. Giorgio Chiandussi

Candidato: Fabio Gibin
Matricola: s288679

Progetto Alba Robot

Carrozzina a comando vocale, interconnessa in rete di facilities quali ospedali, musei, aeroporti

Il progetto nasce con l'obiettivo di garantire indipendenza e autonomia anche alle persone con *ridotta* mobilità

Partendo da una carrozzina commerciale, si integrano una serie di componenti elettronici per automatizzare i movimenti

Carrozzina IV generazione

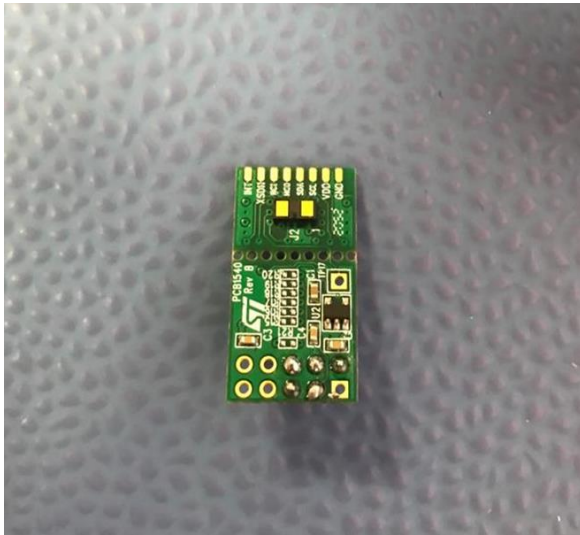


Modello con piastre di alluminio di rinforzo

Progetto Alba Robot

COMPONENTI ELETTRONICI

Fondamentali per rilevare ostacoli e comunicare ai motori i movimenti corretti



Schedina *Time-of-Flight (tof)*

COMPONENTI MECCANICI

Necessari per garantire un sostegno adeguato per i componenti elettronici. Realizzati tramite *Fused Deposition Modelling (FDM)*



Porta joystick

Componenti meccanici

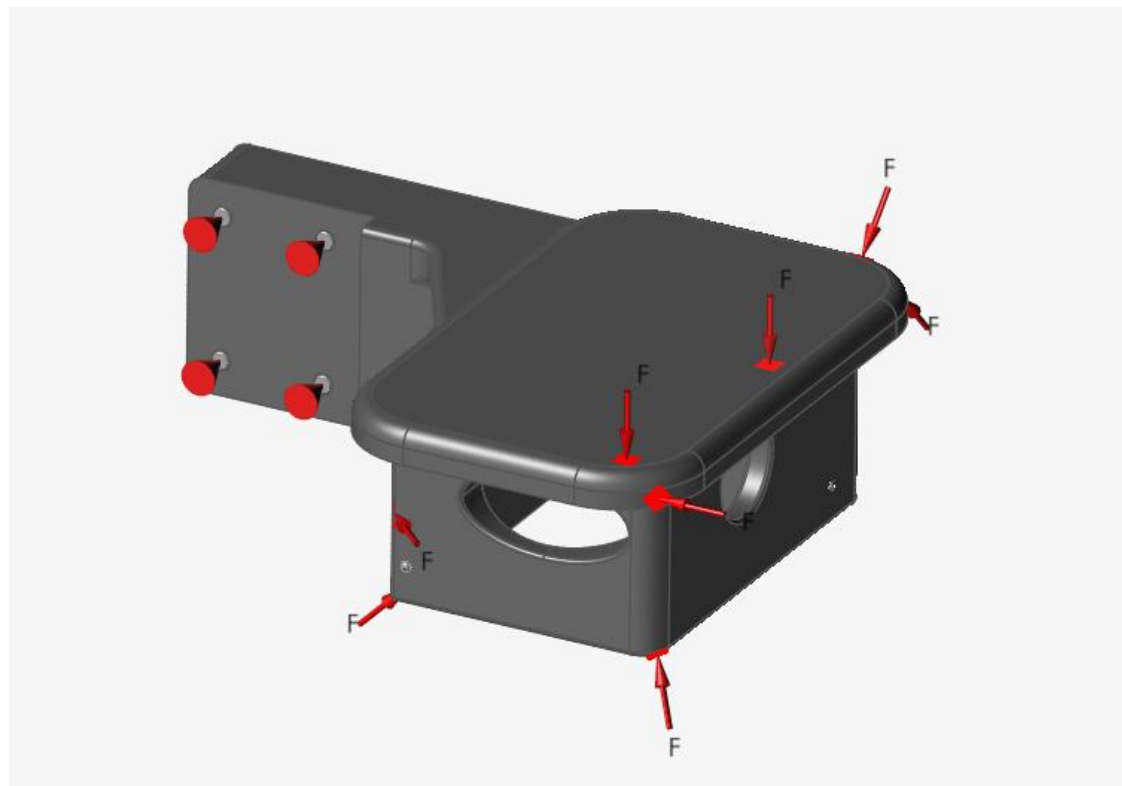
- Il materiale utilizzato per realizzare le stampe è l'acido polilattico, un polimero termoplastico più comunemente conosciuto come PLA
- COMPORTAMENTO DINAMICO: spostamento causato dall'eccitazione dei modi propri della struttura
- ROTTURA (impatti, carichi statici eccessivi)

| PROPRIETÀ MECCANICHE PLA | | | | |
|-----------------------------|---------|--------------------|-----------|-----------------|
| ρ [g/cm ³] | E [GPa] | YS (printed) [MPa] | ν [/] | YS (filo) [MPa] |
| 1.24 | 2.5 | 40 | 0.36 | 57 |

Staffa porta tof



Montaggio su carrozzina con
motore tedesco

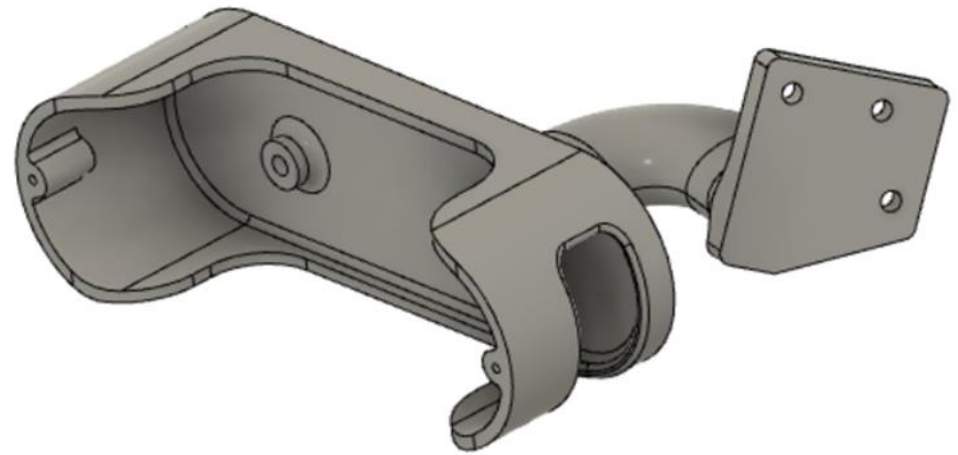


Modello CAD, design iniziale

Porta telecamera



Montaggio su carrozzina con
motore cinese

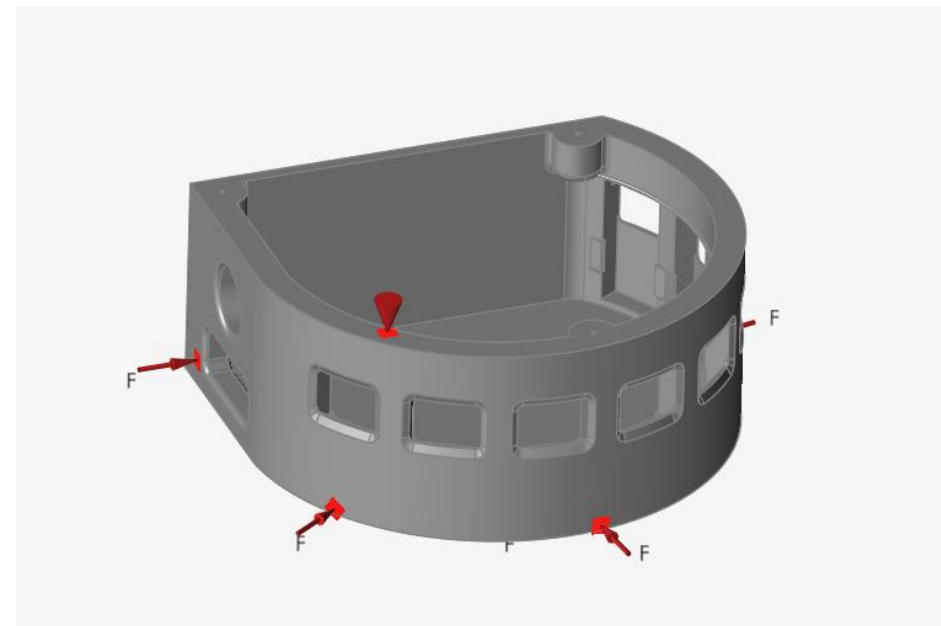


Modello 3D, geometria originale

Porta tof anteriore



Montaggio su carrozzina con
motore cinese



Modello 3D, geometria iniziale

Flowchart riprogettazione per Additive Manufacturing

Definizione obiettivi e vincoli

Condizioni di carico

Analisi componente originale

Defeaturing

Design Space

Ottimizzazione topologica

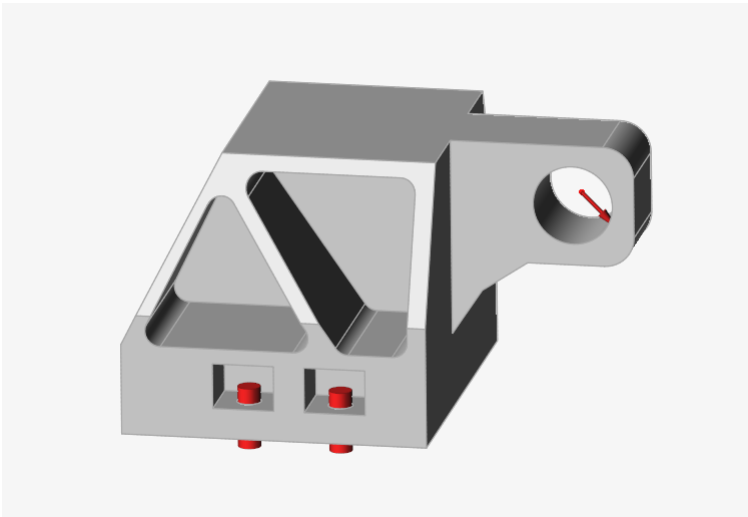
Ricostruzione PolyNurbs

Verifica finale

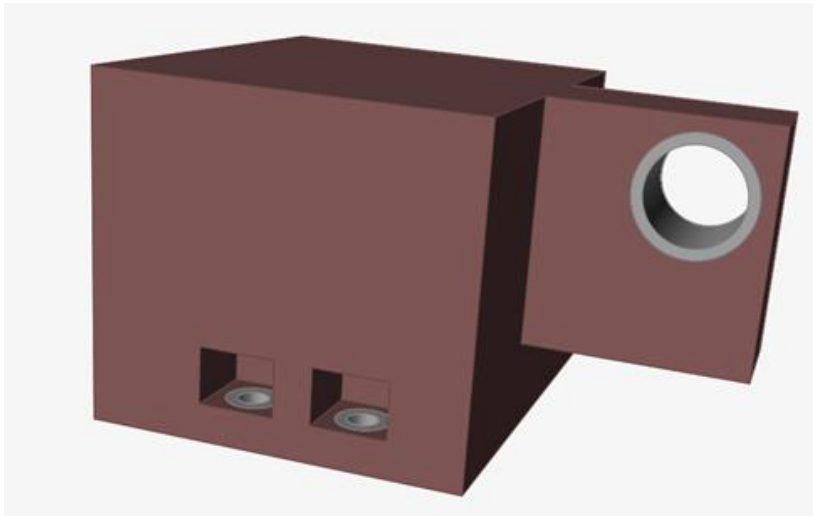
Definizione sovrametalli

Esempio riprogettazione

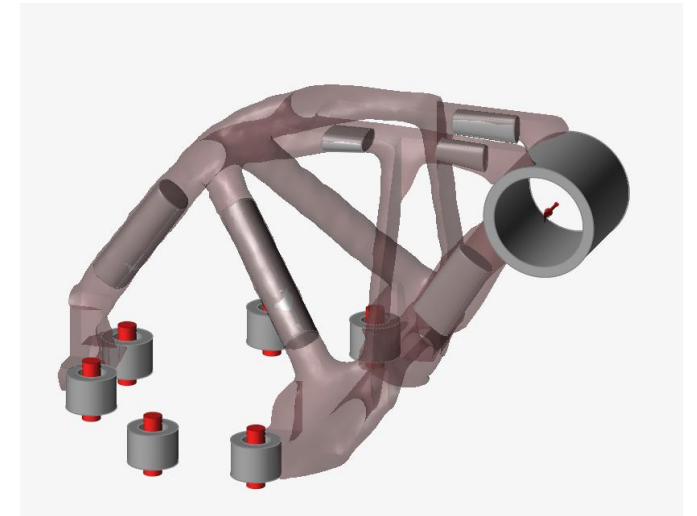
Supporto portellone aereo



Semplificazione geometria e
distinzione spazi di progettazione



Ottimizzazione e
generazione nurbs



Condizioni di carico

- Carichi statici: 100 kg appoggiati sulla parete piana superiore, a simulare il peso di una persona
- Carichi accidentali: urti imprevisti durante il riposizionamento della carrozzina nelle apposite sedi. Per trasformare tali carichi in forze statiche, si usa la seguente relazione:

$$F_i = \frac{m * v}{t_d}$$

Metallo o polimero?

Alluminio: *Selective Laser Melting (SLM)*

| 3D Systems, AlSi10Mg | Valori |
|--|-------------------------------|
| Spessore layer [μm] | 30 |
| Trattamento termico SR2 | Invecchiamento a 190° per 6 h |
| Modulo elastico [GPa] | 65 |
| Tensione di snervamento lungo z [MPa] | 250 |
| Densità [g/cm^3] | 2.7 |
| Allungamento a snervamento lungo z [%] | 5.2 |
| Densità relativa con layer 3 μm [%] | 99.9 |

Nylon: *Selective Laser Sintering (SLS)*



3D Systems, tipologie nylon

Classificazione prove di impatto

CHARPY

I test si rifanno alla normativa seguente:

- **ISO 179:**

1. Campione 55 x 10 x 10 mm³
2. Unità di misura J, oppure kJ/m²



Schematizzazione prova d'impatto Charpy

<https://www.zwickroell.com/it/settori-industriali/plastiche/tubi-in-plastica/prove-di-impatto/>

IZOD

I test si rifanno alle normative seguenti:

- **ASTM D256:**

1. Campione 64 x 12,7 x 3,2 mm³
2. Unità di misura J/m

- **ISO 180:**

1. Campione 80 x 10 x 4 mm³
2. Unità di misura kJ/m²

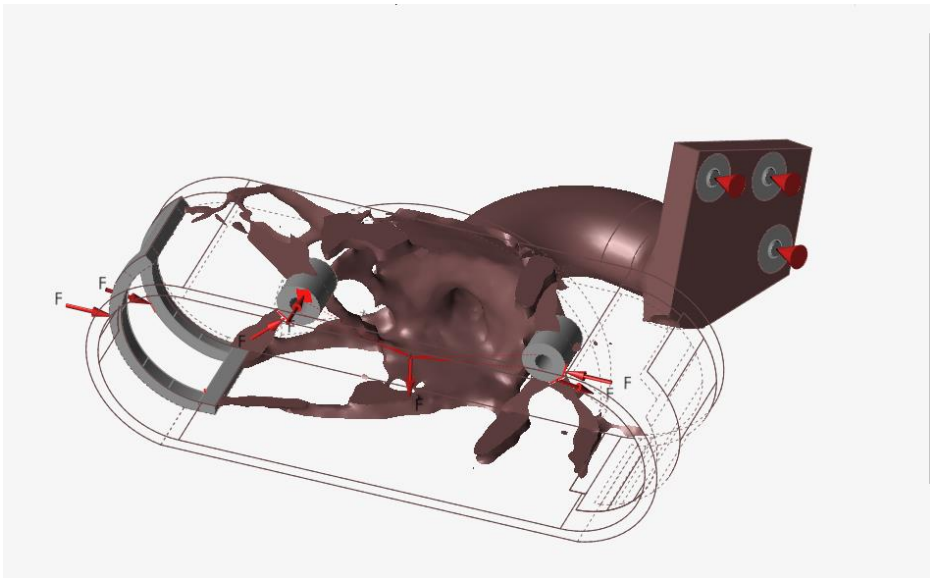
Scelta materiale

Note le dimensioni dei vari provini, è possibile trasformare i valori delle tenacità nella medesima unità di misura (kJ/m^2). Confrontando i nuovi risultati, la scelta ricade sul polimero **Duraform ProX AF+**, ovvero un nylon **caricato alluminio**.

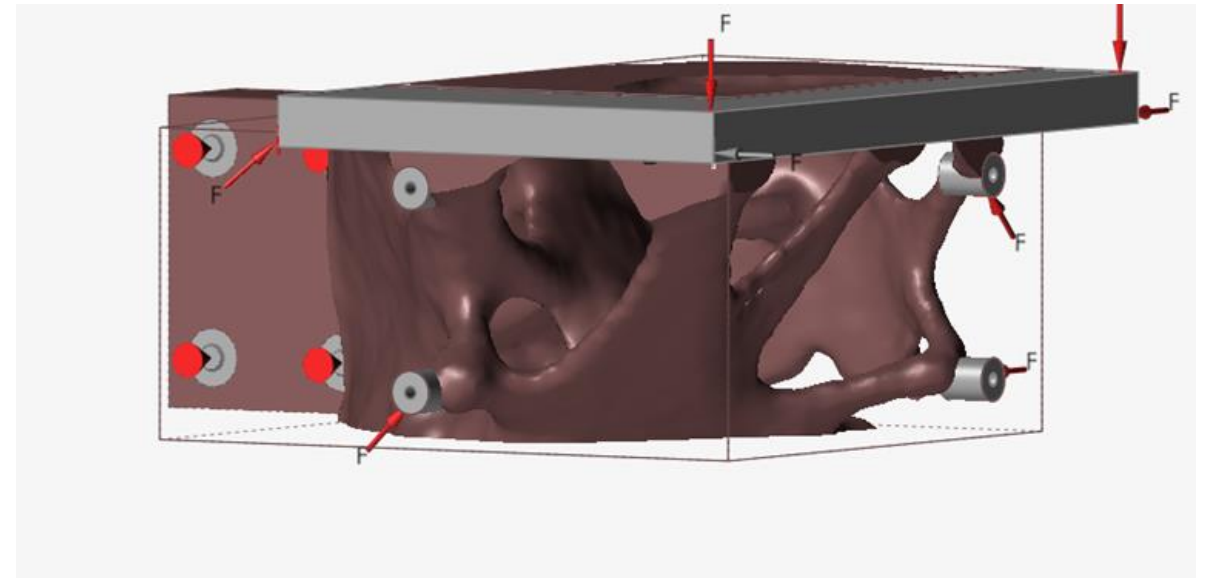
| MATERIALE | Tenacità [kJ/m^2] (Charpy) | Modulo di Young [MPa] | Tensione di snervamento [MPa] |
|---------------------|--|--------------------------|----------------------------------|
| Duraform EX Plastic | 5.8 | 1517 | 37 |
| Duraform Pro X AF+ | 4.3 | 4340 | 37 |
| PLA | 2.7 | 2500 | 40 |
| AlSi10Mg | 40 | 65000 | 250 |

Ottimizzazione topologica

Noti i problemi legati al comportamento dinamico, si esegue un'ottimizzazione topologica di *massimizzazione della prima frequenza propria di risonanza*

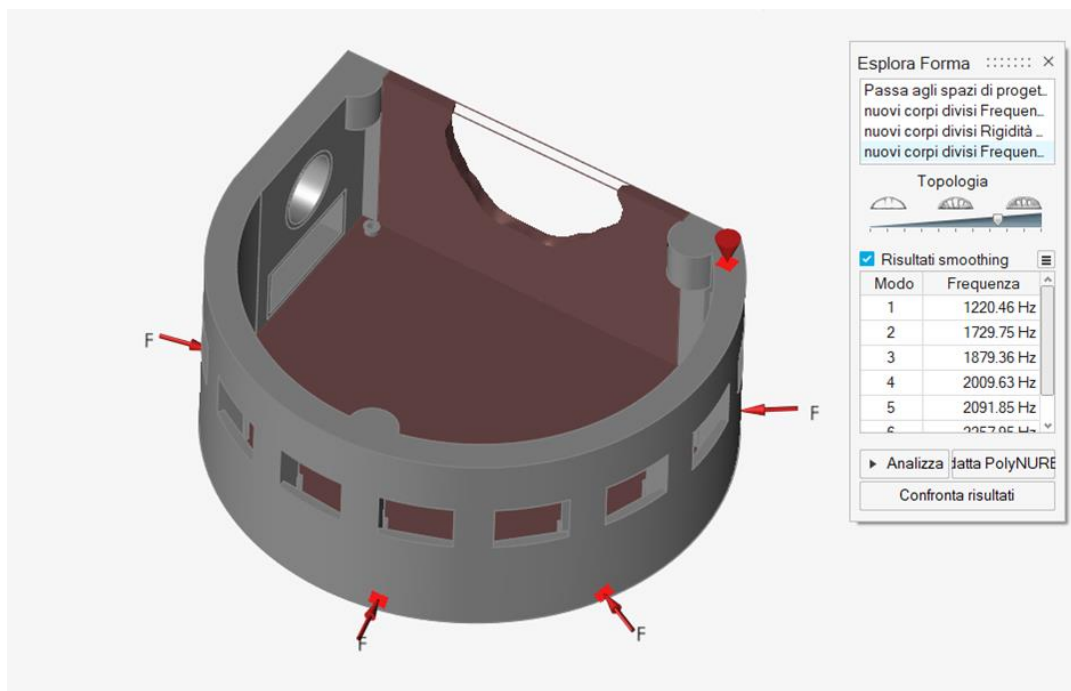


Risultato ottimizzazione porta
telecamera

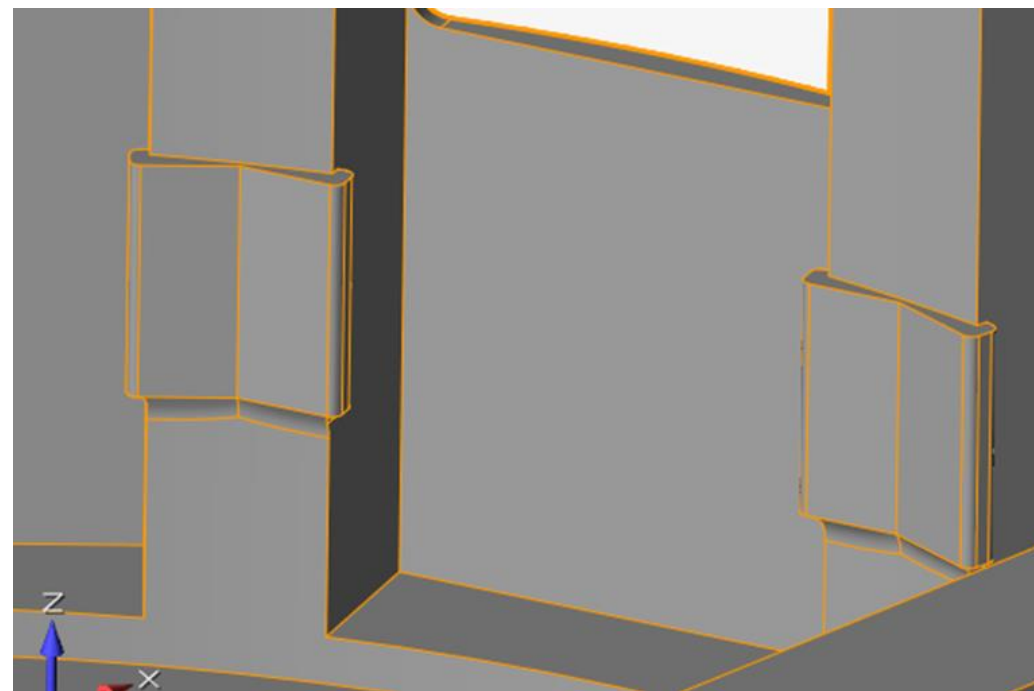


Risultato ottimizzazione staffa
porta tof

Ottimizzazione topologica



Ottimizzazione porta tof anteriore



Cunei per incastro schedine

Difficoltà nel distinguere le zone di progettazione. La maggior parte del volume ha vincoli di forma.
È davvero necessario il Generative Design?

Risultati

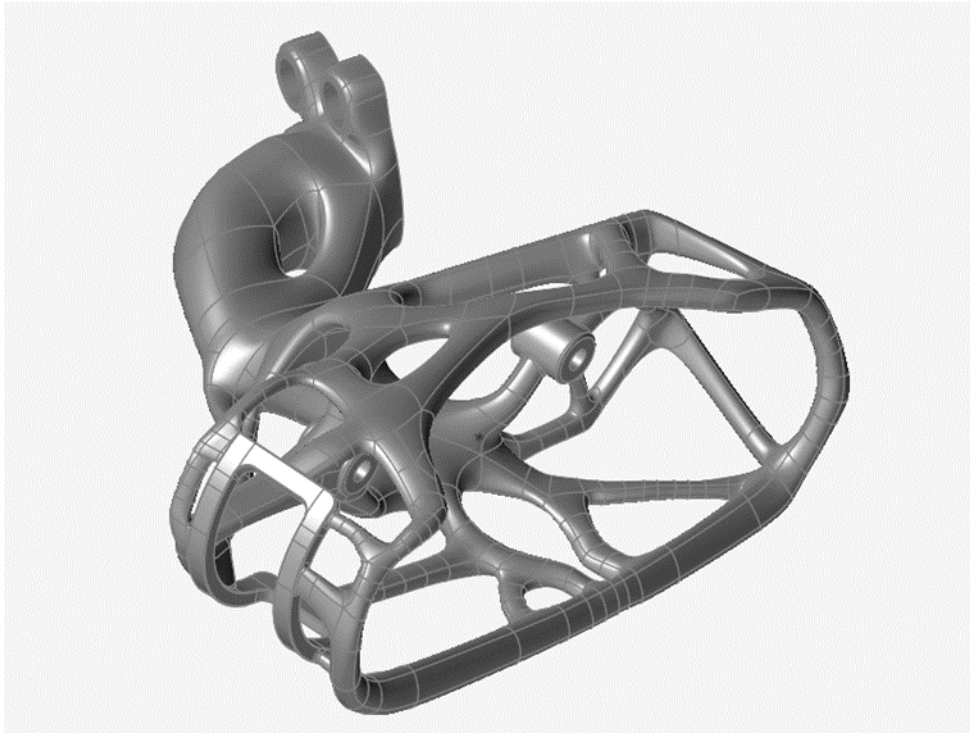


Nuova geometria staffa porta tof

Supporti angolari: miglior adesione al piano di stampa

| | GEOMETRIA ORIGINALE | GENERATIVE DESIGN |
|--|------------------------|-------------------|
| Prima frequenza propria [Hz] | 142 | 300 |
| Coeff. Sicurezza minimo | 0,9 | 1,2 |
| Massa [g] | 264 | 550 |
| Volume [cm ³] | 573 | 203 |
| Risparmio volume [cm ³] | / | 370 |
| Risparmio percentuale [%] | / | 64,6 |

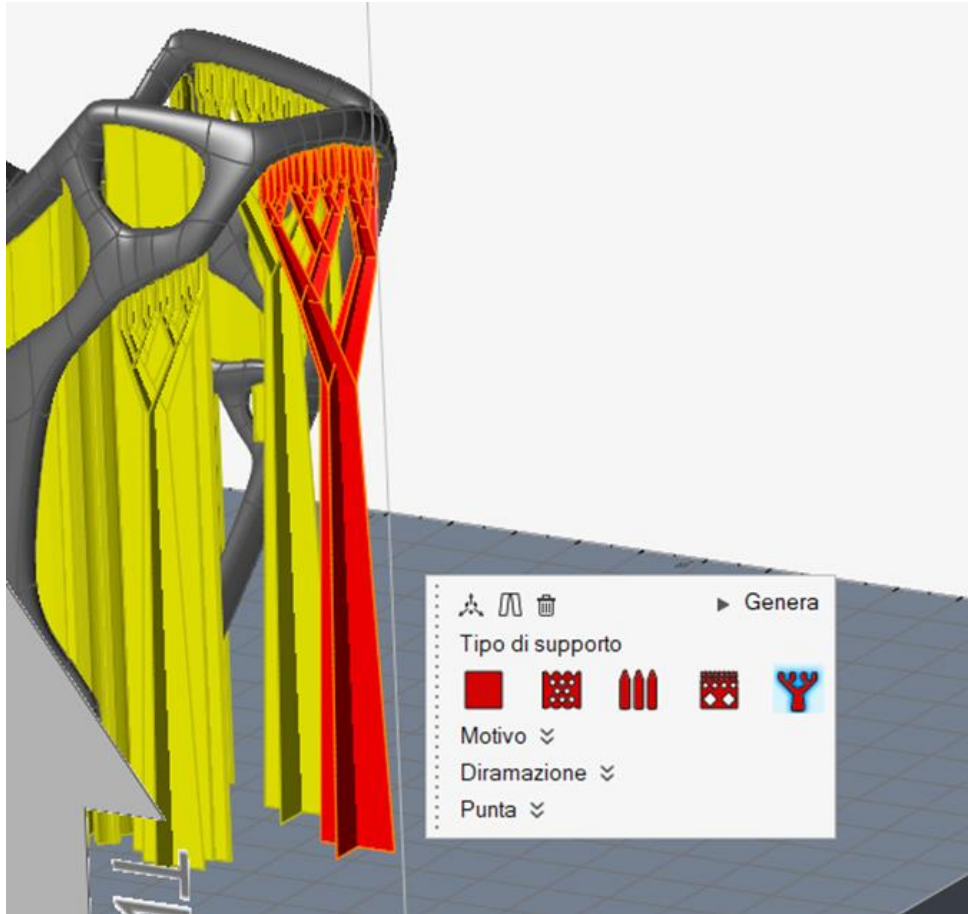
Risultati



Nuovo design porta telecamera

| | GEOMETRIA ORIGINALE | GENERATIVE DESIGN |
|--|------------------------|----------------------|
| Prima frequenza propria [Hz] | 145 | 899 |
| Coeff. Sicurezza minimo | 0,4 | 1,3 |
| Massa [g] | 35 | 94 |
| Volume [cm ³] | 45,5 | 35 |
| Risparmio volume [cm ³] | / | 10,5 |
| Risparmio percentuale [%] | / | 23,1 |

Supporti ad albero: risparmio materiale

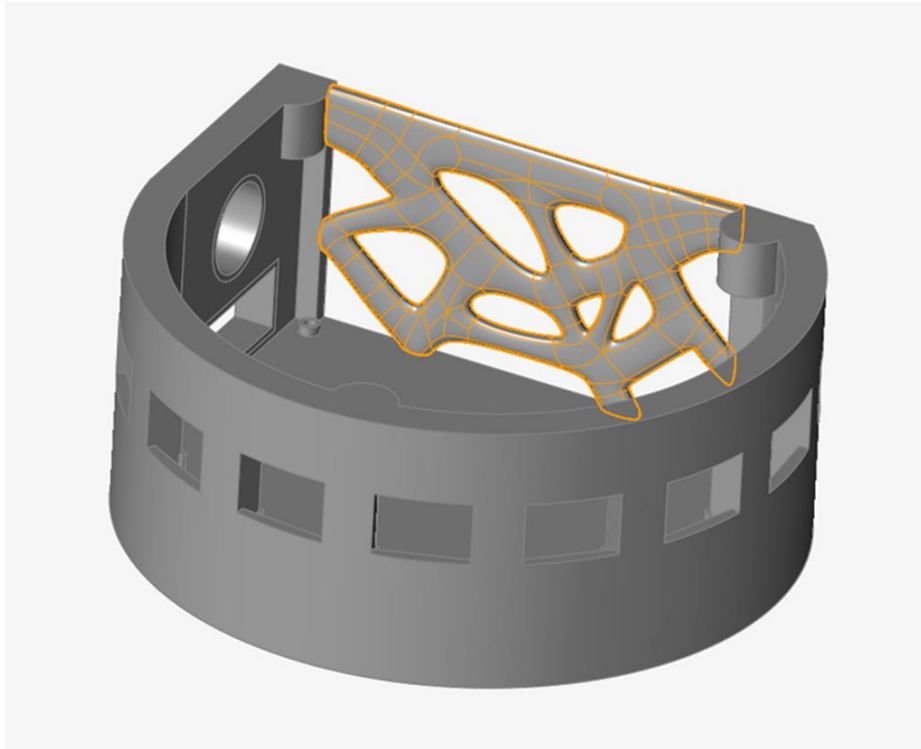


Esempio di supporto ad albero

Supporti ad albero

- Tronco principale collegato al piano di stampa
- Rami secondari
- Foglie: supporto del componente
- Risparmio di materiale, ma non del tempo di stampa

Risultati



Nuova geometria porta tof anteriore

| | GEOMETRIA ORIGINALE | GENERATIVE DESIGN |
|--|------------------------|----------------------|
| Prima frequenza propria [Hz] | 1544 | 1240 |
| Coeff. Sicurezza minimo | 2,2 | 1,5 |
| Massa [g] | 61 | 81,4 |
| Volume [cm ³] | 65,8 | 62,2 |
| Risparmio volume [cm ³] | / | 3,6 |
| Risparmio percentuale [%] | / | 5,5 |

Non vi è necessità di supporti: autosostegno della polvere

Conclusioni

I processi di Fabbricazione Additiva possono offrire vantaggi significativi, se applicati nella circostanza corretta. È di fondamentale importanza valutare il rapporto tra costi e benefici, caso per caso.

Se, a seguito della riprogettazione, si ottengono **geometrie complesse** e **migliori prestazioni meccaniche**, in termini di resistenza, comportamento dinamico, rigidità, leggerezza, allora si giustifica la scelta (staffa porta tof, porta telecamera).

Se invece, il nuovo design non conduce a miglioramenti tangibili e le forme restano pressoché invariate, è consigliabile restare fedeli alle più economiche tecniche convenzionali (porta tof anteriore).