



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E SCIENZE
MATEMATICHE**

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Meccanica

**Analisi strutturale dei rocker posteriori ed anteriori di una
formula SAE: ottimizzazione topologica e produzione tramite
tecnologia additiva**

**Structural analysis of a Fsaе car's rear and front rockers: topological optimization
and production using additive technology**

Relatore:

Prof. Marco Sasso

Tesi di Laurea di:

Giuseppe Di Florio

A.A. 2021 / 2022

*Ringrazio tutte le persone che mi sono state vicine,
in particolar modo la mia famiglia che mi ha dato la
possibilità di realizzare i miei sogni.*

Sommario

1	INTRODUZIONE	4
1.1	Ottimizzazione topologica e tool usati.....	5
2	ASSIEME SOSPENSIVO P4M EVO	6
2.1	Casi di studio	8
2.2	Osservazione sulle geometrie	9
3	ROCKER POSTERIORE	10
3.1	Spazio design e non design	10
3.2	Materiale e proprietà.....	11
3.3	Studio convergenza (mesh).....	12
3.4	Nodi	14
3.5	Condizioni al contorno	15
3.5.1	Load collector vincoli.....	15
3.5.2	Load collector carichi	16
3.6	analisi statico strutturale e visualizzazione	17
3.7	Settaggi dell'ottimizzazione	20
3.7.1	Design variable	20
3.7.2	Responses (risposte)	22
3.7.3	Dconstraints (vincoli).....	22
3.7.4	Obiettivi.....	23
3.8	Settaggi aggiuntivi e osservazioni	23
3.9	Risultati prima visualizzazione e visualizzazione.....	25
3.10	Seconda simulazione.....	26
3.11	Terza simulazione.....	27
3.12	Convertire il file (.stl) in geometria	28
4	ROCKER ANTERIORE	30

4.1	Spazio design e non design	30
4.2	Materiale e convergenza (mesh).....	31
4.3	Nodi o rigids	32
4.4	Condizioni al contorno	33
4.4.1	Load collector vincoli.....	33
4.4.2	Load collector carichi	34
4.5	Analisi statico strutturale e visualizzazione.....	35
4.6	Setting dell'ottimizzazione	37
4.6.1	Design variable	37
4.6.2	Responces (risposte)	38
4.6.3	Dconstraint (vincoli)	38
4.6.4	Obiettivi.....	39
4.7	Setting aggiuntivi e osservazioni	39
4.8	Risultati prima simulazione e visualizzazione	40
4.9	Risultati seconda simulazione	41
4.10	Convertire il file (.stl) in geometria	42
5	PRODUZIONE ADDITIVA	44
5.1	Stampa 3D dei metalli	44
6	CONCLUSIONE.....	45
7	RIFERIMENTI	45

1 INTRODUZIONE

La formula SAE (Society of Automotive Engineers) è una competizione studentesca automobilistica nata nel 1971, che prevede la progettazione di una monoposto da formula a ruote scoperte. Il progetto viene esposto in gare mondiali attraverso una serie di eventi sia statici dove vengono valutati il design e gli aspetti finanziari, sia dinamici dove vengono testati qualità ed efficienza in circuiti. Applicare nuovi materiali e tecnologie è uno degli obiettivi principali di questa competizione che mira al “saper fare” oltre che al “sapere”.

Le prove dinamiche sono quattro e sono accessibili solo dopo aver passato le rigide ispezioni tecniche. Si dividono in accelerazione, skidpad, autocross ed endurance e consumi.

Nell’accelerazione si valuta l’accelerazione del veicolo su un rettilineo di 75 metri.

Lo skidpad (fig2) valuta la tenuta in curva e il tracciato richiama una figura ad otto.

L’autocross è un circuito sprint disegnato e delimitato da coni che valuta l’agilità della monoposto con slalom, curve a raggio variabile e tornanti.

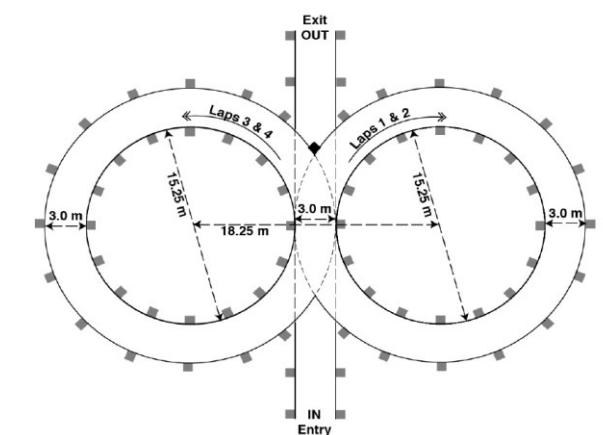


Figura2 – configurazione skidpad

L'endurance è l'evento che conclude il fine settimana di gara con ben 22 km da percorrere, si svolge in un circuito simile a quello dell'autocross e mira a testare affidabilità ed efficienza complessiva dell'auto.



Figura1 – monoposto Polimarche Racing Team

Lo studio proposto in questo progetto di tesi è stato sviluppato con la collaborazione del prof. Marco Sasso e il Polimarche Racing Team (fig1) dell'Università Politecnica delle Marche. Ha come obiettivo minimizzare il peso dei rocker dei sistemi sospensivi, fattore importante per migliorare le prestazioni e la manovrabilità della vettura, senza andar ad alterare l'affidabilità dei componenti meccanici che sono molto sollecitati.

1.1 Ottimizzazione topologica e tool usati

Uno dei metodi di ottimizzazione strutturale in forte sviluppo in ambito automobilistico è l'ottimizzazione topologica. Questo studio, effettuato con software di ultima generazione, consente di cercare la geometria e la distribuzione

migliore di materiale all'interno dei componenti garantendo le prestazioni meccaniche. Oltre alle tecniche di produzioni tradizionali il grande vantaggio è quello di poter applicare quelle additive tra cui la stampa 3D. I tempi e i costi di produzione sono ridotti e si possono realizzare progetti di maggior complessità.

I programmi utilizzati come risolutori sono del pacchetto di Altair:

- Hyperwoks 2019 optistruct;
- Hyperview 2019.

Offrono molteplici strumenti e sono i più usati in ambito industriale per analisi lineari e non lineari data l'esperienza maturata in 25 anni in ambito software.

2 ASSIEME SOSPENSIVO P4M EVO

È stata posta l'attenzione sui sistemi sospensivi della P4M evo, riportati di seguito in fig4 e fig5. Presentano un doppio triangolo sovrapposto di tipo push-rod dove il puntone diagonale (fig3) è soggetto solo a carichi di compressione (la sua funzione è quella di trasmettere al gruppo ruota, quindi a terra, la forza sviluppata dal gruppo molla-smorzatore).

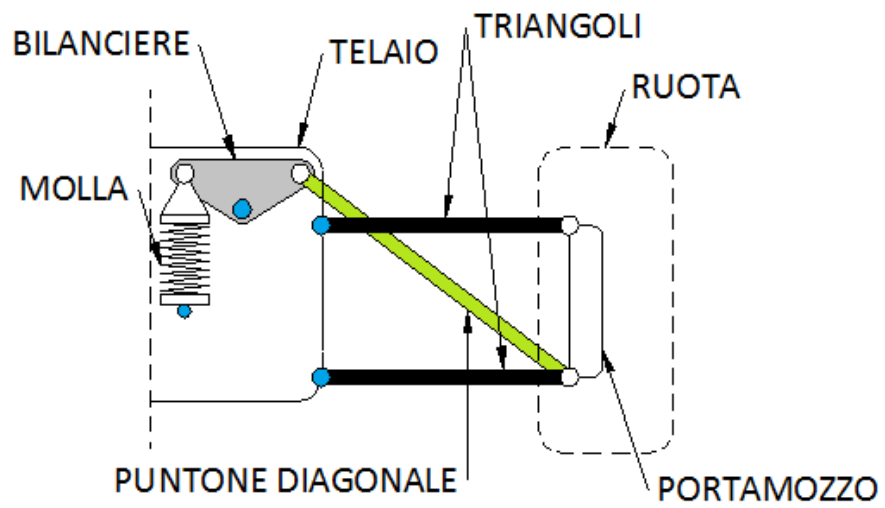


Figura3 – schema push rod [1]

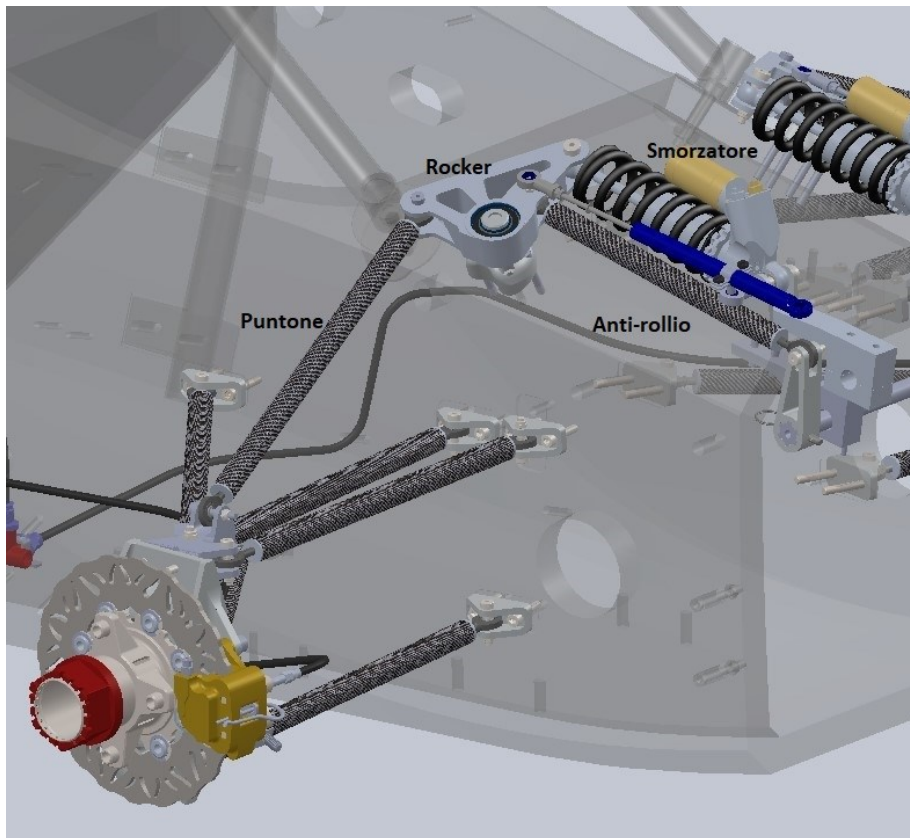


Figura4 – sospensione posteriore

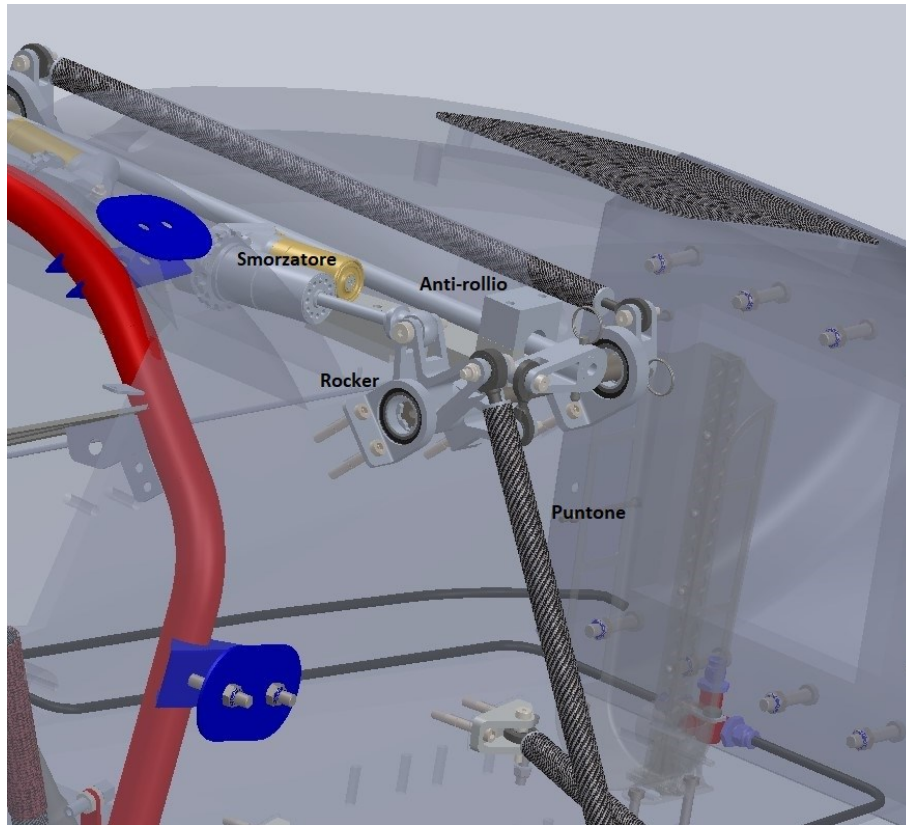


Figura5 – sospensione anteriore

2.1 Casi di studio

L'intero studio di analisi è stato svolto sui **rocker** in lega di alluminio (ergal 7075) posteriori ed anteriori dei sistemi sospensivi, riportati in fig6 e fig7.

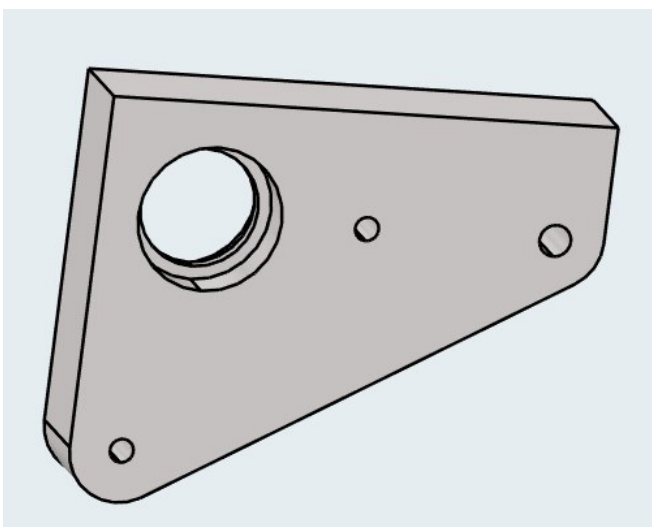


Figura6 – rocker posteriore

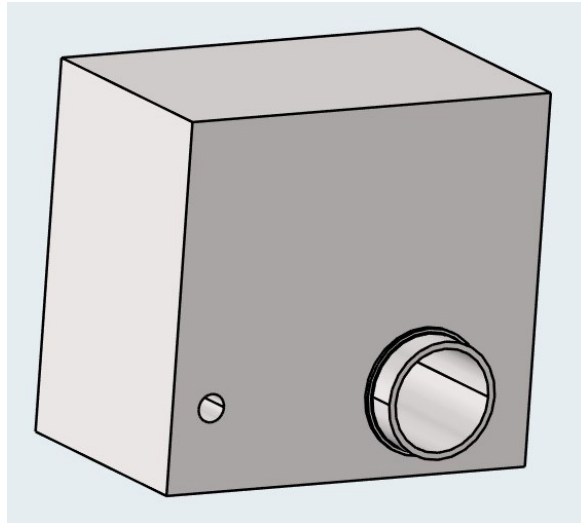


Figura7 – rocker anteriore

La loro funzione è quella di collegare telaio, smorzatore, antirollio e puntone.

Il rocker anteriore non presenta la classica forma triangolare in quanto è parte di un sistema più complesso che permette di regolare in maniera indipendente la rigidità a rollio e a beccheggio simile a quello delle monoposto di Formula1.

2.2 Osservazione sulle geometrie

I componenti di partenza presentano più volume di quelli installati sulla monoposto, in quanto per le ottimizzazioni topologiche è buona regola lasciar molto dominio da poter essere analizzato ed asportato, fondamentale per la creazione di geometrie. Sono stati ulteriormente editati per non aver problemi di assemblaggio e mesh come in fig9 e fig10. Gli scavi risolvono i problemi di installazione e lasciano spazio ai rod-ends, fig8.



Figura 8 – rod end [2]

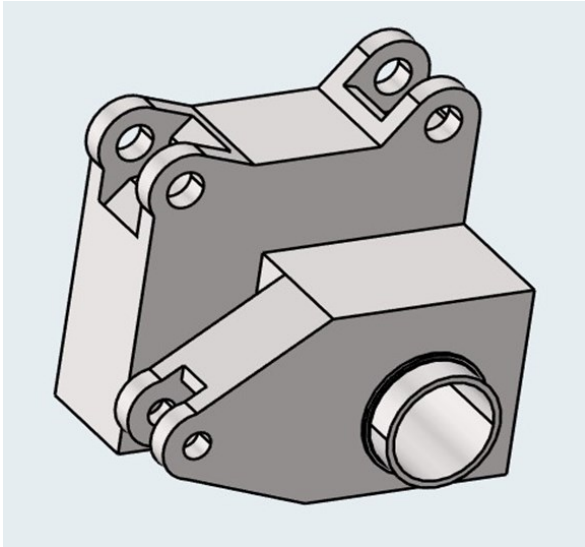


Figura9 – geometrie modificate

Peso iniziale: 433 grammi

Volume iniziale: 154 cm³

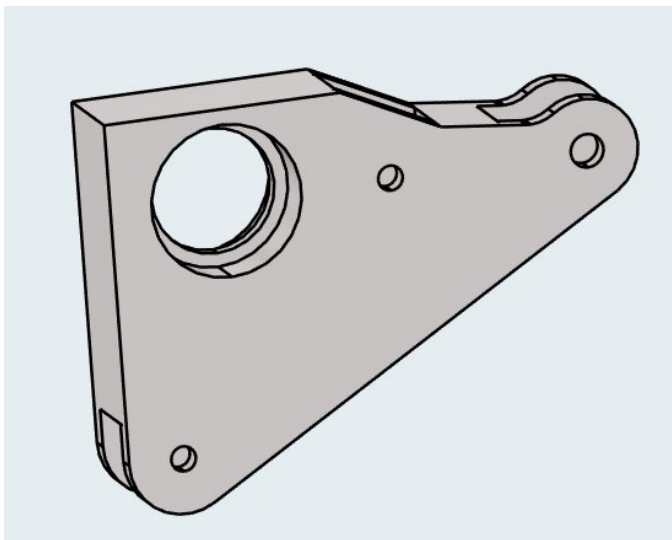


Figura10 – geometrie modificate

Peso iniziale: 423 grammi

Volume iniziale: 151 cm³

3 ROCKER POSTERIORE

3.1 Spazio design e non design

Si definiscono i domini che possono essere analizzati ed eventualmente alleggeriti, dagli spazi che devono rimanere inalterati durante l'ottimizzazione (fig11). Vengono creati due component:

- Lo spazio di **design** è quel volume che indica il dominio dell'ottimizzazione. Al suo interno l'algoritmo distribuisce la massa e crea la nuova geometria in base alle condizioni di carico e vincoli. Come già anticipato maggiore è lo

spazio di design, maggior è la libertà di calcolo che viene lasciata al software. Nel componente è evidenziato dal colore grigio.

- Lo spazio di **non design** è quella regione di spazio che non deve essere alterata durante l'ottimizzazione. La massa evidenziata dal colore blu nella figura 6 non può essere rimossa dato che ha qualità funzionali. In corrispondenza dei fori si garantisce una corona circolare di 3 mm. Nella circonferenza maggiore verranno inseriti internamente i cuscinetti e nei fori minori esternamente appoggeranno la testa della vite e il dado di fissaggio dei rod-ends.

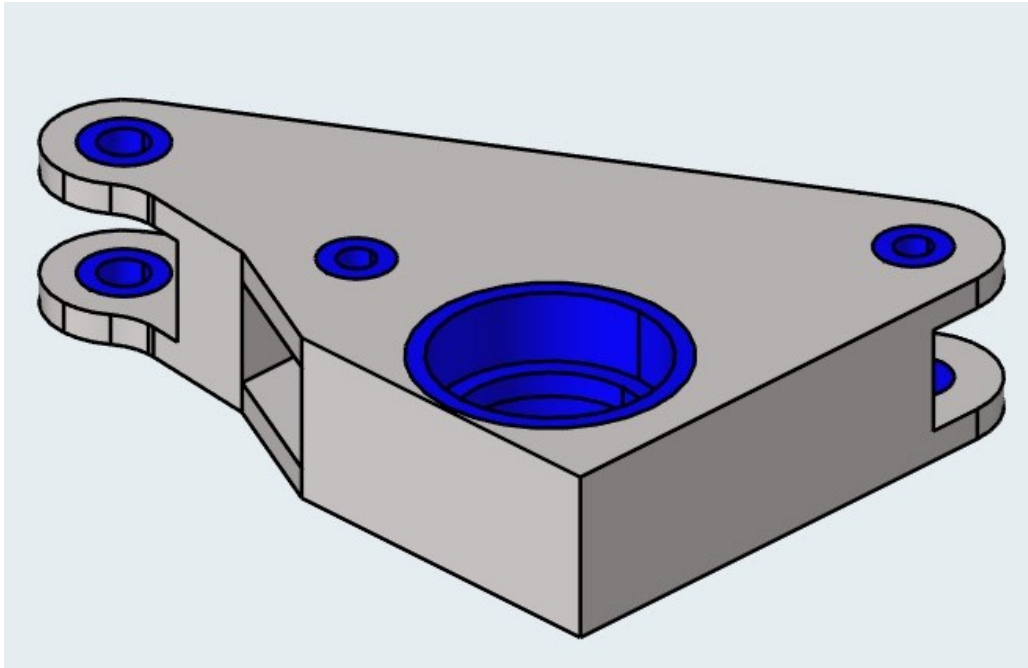


Figura 11 – spazio design grigio, spazio non design blu

3.2 Materiale e proprietà

Si inseriscono le caratteristiche del materiale, nel caso preso in considerazione alluminio 7075 (tab1), più comunemente chiamato Ergal. Il suo utilizzo varia in

campo meccanico e aeronautico proprio per le sue ottime proprietà strutturali e leggerezza.

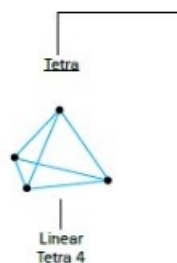
-	Rho	Nu	E
Alluminio 7075	2,8 e-09 t/mm ³	0,3	72000 MPa

Tabella1

Dove Rho è la densità, Nu il coefficiente di Poisson e il modulo di elasticità E. Prestare particolare attenzione alle unità di misura in modo che siano coerenti. Si creano due proprietà, rispettivamente design e non design, e assegnato il materiale a queste ultime, si seleziona la voce **PSOLID**.

3.3 Studio convergenza (mesh)

Procedere con la creazione della griglia (mesh) e lo studio della convergenza. All'aumentare degli elementi che la caratterizzano, lo studio tende idealmente ad un



valore che coincide con la soluzione analitica. La discretizzazione avviene tramite creazione di una griglia composta da elementi **finiti** di geometria semplice, scegliendo i triangoli per la 2D e i tetraedri per quella 3D [3]. (Finiti proprio per rimarcare il fatto che non sono infinitesimi). Sono state effettuate varie prove con le dimensioni degli elementi, una

mesh più fitta risulterà molto più accurata (a discapito del tempo e della potenza di calcolo) ma non sempre è la soluzione migliore. Scelto il valore di 4 mm, si procede ad analizzare le altre opzioni. I vertici degli elementi sono chiamati nodi.

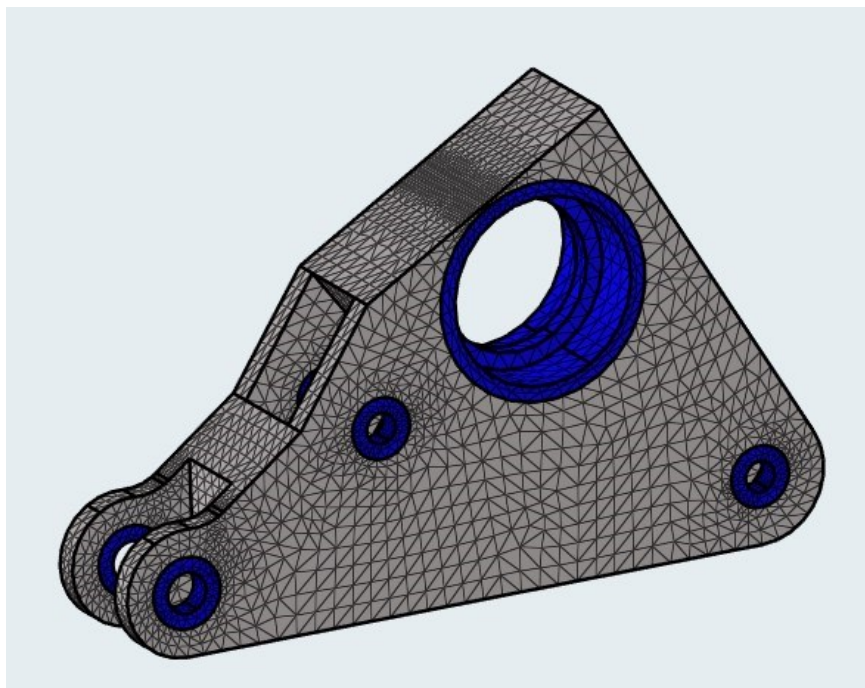



Figura12 – mesh scelta

2D type:	▼		R-trias
3D type:	▼		tetras
element order:	◆		first

<input checked="" type="checkbox"/>	Use curvature
<input checked="" type="checkbox"/>	Use proximity
Min elem size:	1.000
Feature angle:	30.000
Element size:	4.000

Figura 13 e 14 – settaggi mesh

Vengono inseriti anche i vincoli di prossimità e curvatura che agiscono come si vede dalla fig15 [4] sui fori, in modo da creare geometrie più accurate. La serie di procedimenti che porta al risultato finale non è univoca e può variare da persona a persona.

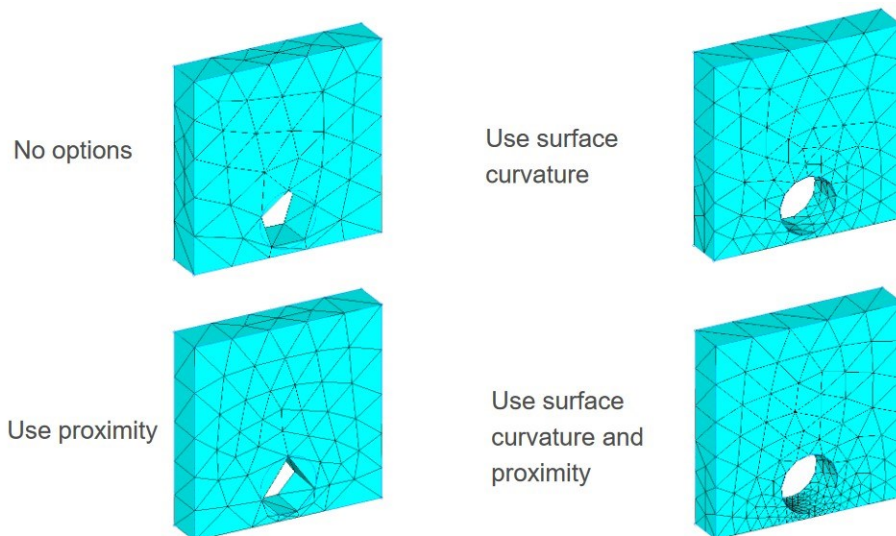


Figura15 – opzioni di curvatura e prossimità [4]

3.4 Nodi

Dopo aver trovato una buona qualità della mesh, si procede ad inserire i carichi e i vincoli sul componente, ma prima di far questo c'è la creazione dei nodi o rigids che sono i punti di applicazione. Quindi va aggiunto un nuovo component in cui inserire solo questi ultimi. Sono indicati nella fig16 con il color acquamarina e nel componente sono quattro, uno per i vincoli e tre per le forze.

 The image shows a 3D perspective view of a grey mechanical component. Four blue circular markers, representing "rigids" or nodes, are placed on the component:

- One large blue circle is located on the top surface of the main body.
- Three smaller blue circles are located on the bottom surface: one near the front-left corner, one near the front-right corner, and one near the rear-right corner.

Figura16 - rigids

3.5 Condizioni al contorno

Per condizioni a contorno si intende tutto ciò che riguarda i carichi ed i vincoli. Questi parametri sono contenuti nei **load collector** e vengono distinti quelli che contengono tutti i vincoli da quelli che contengono tutti i carichi.

3.5.1 Load collector vincoli

Vincolare uno o più nodi significa bloccare uno o più gradi di libertà di quest'ultimo. È importante definirli correttamente altrimenti l'applicazione di un carico comporta spostamenti infiniti e porta ad un errore del calcolo.

<input checked="" type="checkbox"/>	dof1	=	0.000
<input checked="" type="checkbox"/>	dof2	=	0.000
<input checked="" type="checkbox"/>	dof3	=	0.000
<input checked="" type="checkbox"/>	dof4	=	0.000
<input checked="" type="checkbox"/>	dof5	=	0.000
<input checked="" type="checkbox"/>	dof6	=	0.000

load types = SPC

Buttons: create, create/edit, reject, review, return

Figura17 – load collector vincoli

Il termine SPC fig17 sta per “single point constraint” e si tratta di vincoli riferiti al singolo nodo. Con [dof1, ... , dof6] vengono indicati i gradi di libertà con le tre traslazioni e le tre rotazioni lungo i tre assi principali. Spuntare la casella significa applicare il vincolo e una volta creato in grafica vengono visualizzati dei valori. Nel caso di studio viene vincolato completamente il nodo ed è riportato in fig18.

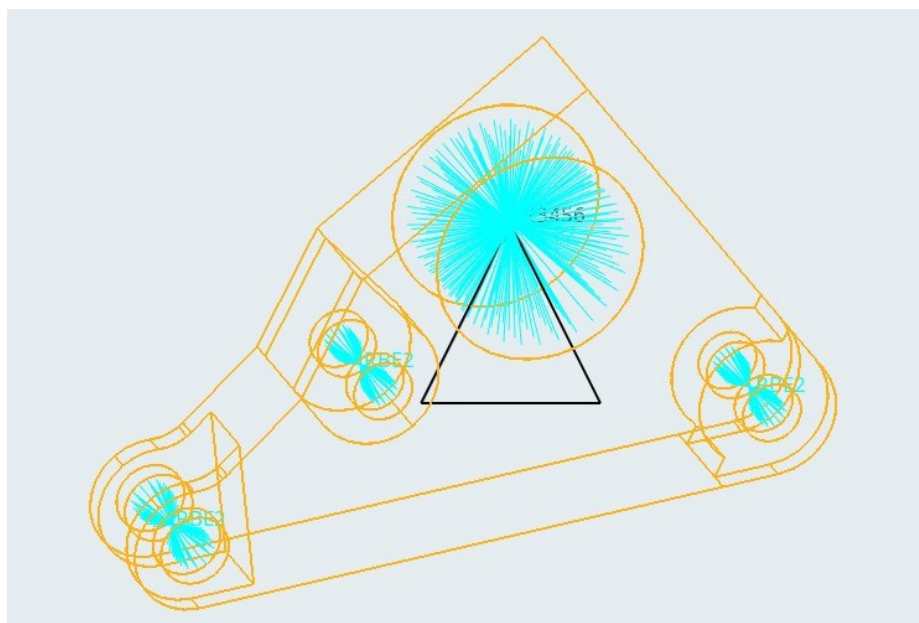


Figura18 – vincoli agenti sul rocker

3.5.2 Load collector carichi

In modo analogo si crea il load collector dei carichi, dove vengono definite le varie tipologie:

- forza concentrata e distribuita;
- momento flettente e torcente;
- pressione;
- gravità;
- termico.

Nel caso di studio sono presenti tutte forze concentrate e sono riportate di seguito fig19.

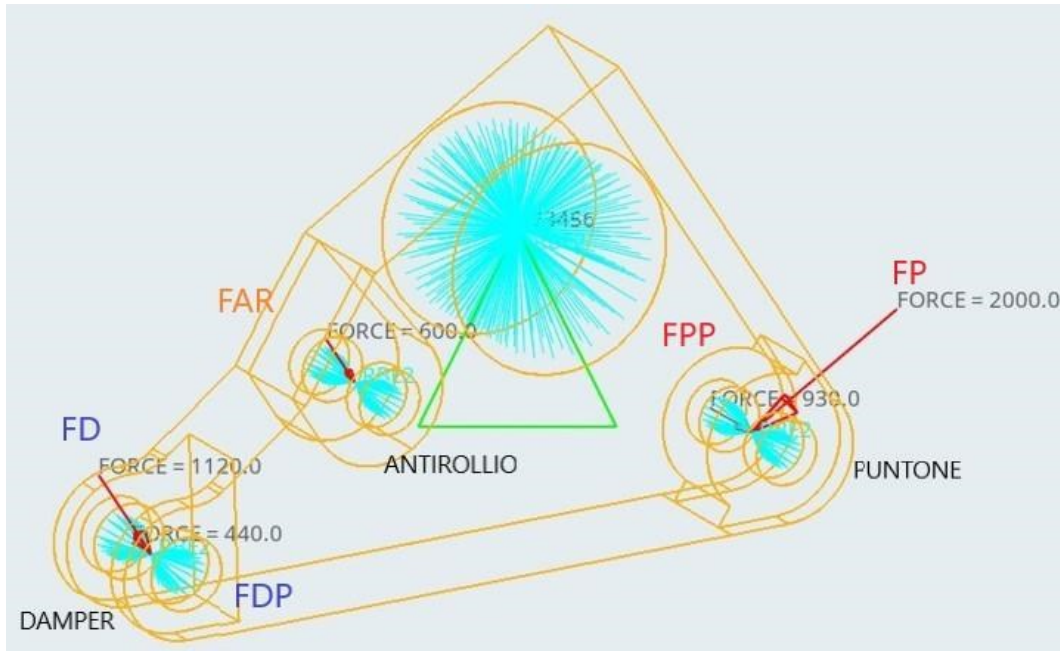


Figura19 – carichi agenti sul rocker

FP 2000 [N]

FDP 440 [N]

FPP 930 [N]

FAR 600 [N]

FD 1120 [N]

3.6 analisi statico strutturale e visualizzazione

Tutti gli elementi per analizzare le prestazioni meccaniche del rocker sono definiti. Viene creato un **load step** dove si sceglie l'analisi statico lineare e si assegnano i casi di carico. Sul pannello di controllo della run si imposta Analysis (fig20) e si lancia il solutore (fig21).

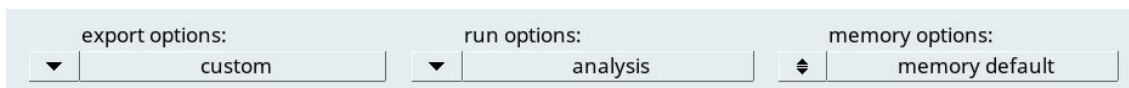


Figura20 – opzioni della run

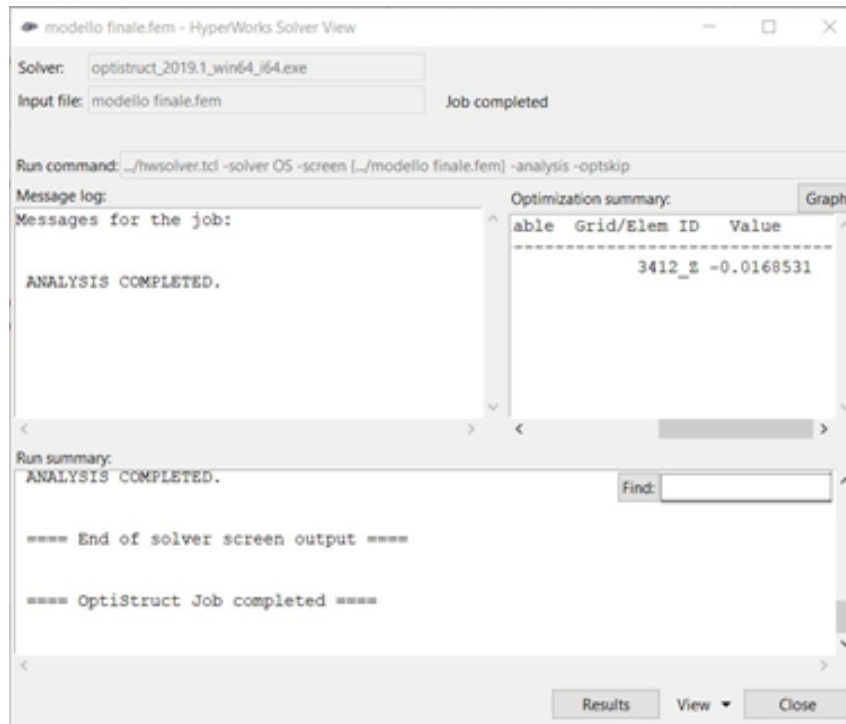


Figura21 - solutore

Dopo che l'analisi è completata per la visualizzazione è necessario spostarsi su Hyperview: si aprono i file (.fem) e (des_s1). È importante impostare l'iterazione massima nell'area tab a sinistra e poi lavorare sui comandi in basso che permettono la visualizzazione grafica.

Tramite il pannello "Conteur" viene scelto il criterio di resistenza di Von Mises e il metodo Simple. La distribuzione delle tensioni apparirà meno discontinua, i valori verranno mediati e sul singolo elemento si hanno diversi colori (fig22).

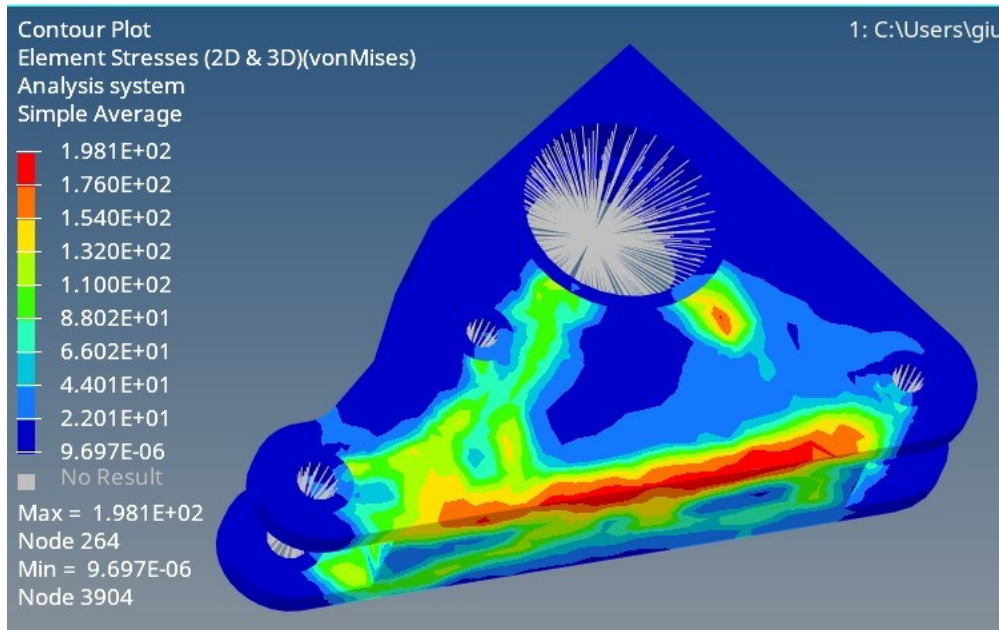


Figura22 – criterio di resistenza Von Mises

Si osserva che le tensioni maggiori si sviluppano nelle vicinanze dei fori e sulla base del componente, c'è molto margine su cui poter lavorare. Altre informazioni che sono possibili visualizzare graficamente sono gli spostamenti fig23.

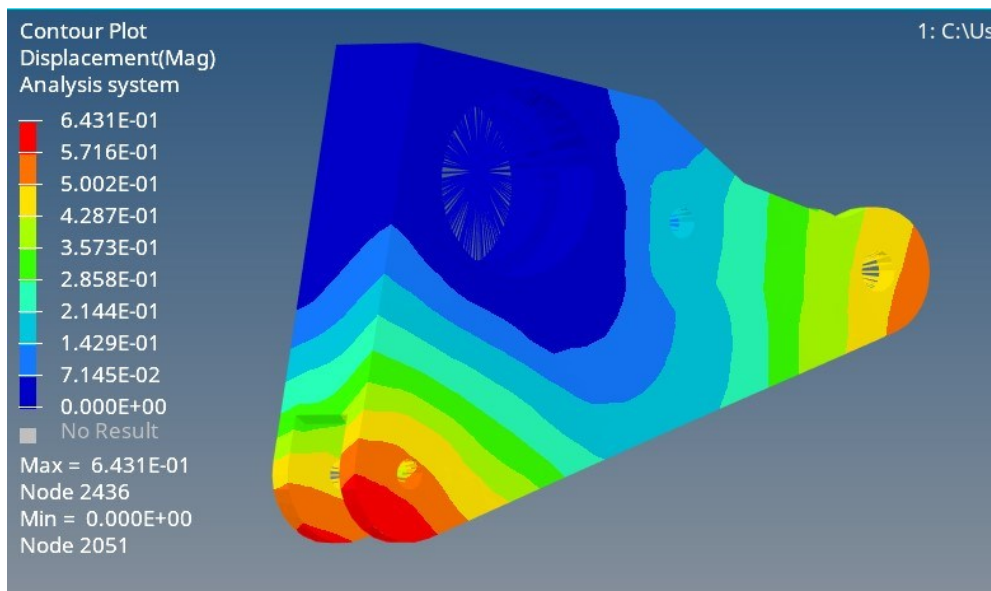


Figura23 - spostamenti

Si può procedere ad introdurre l'analisi topologica.

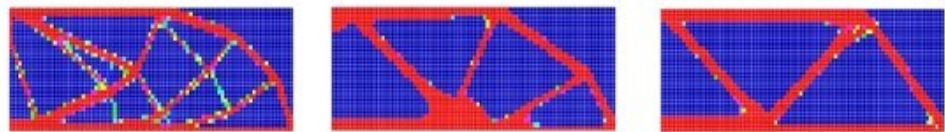
3.7 Settaggi dell'ottimizzazione

In questo paragrafo viene introdotto tutto il processo di ottimizzazione con i quattro grandi gruppi di impostazioni, per poi analizzare le varie simulazioni al variare di questi parametri.

3.7.1 Design variable

Si va a definire la porzione di spazio del componente che deve essere analizzata, il **design**. Da qui ci sono ulteriori strumenti che permettono di poter modificare la geometria finale del componente.

- **Parametro limite di volume:** si differenziano il minimo (MINDIM) ed il massimo (MAXDIM). Il minimo agisce sulla dimensione più piccola da mantenere nell'ottimizzazione e ottenere un design più pulito possibile. Sebbene penalizzi la



Without Minimum Member Size

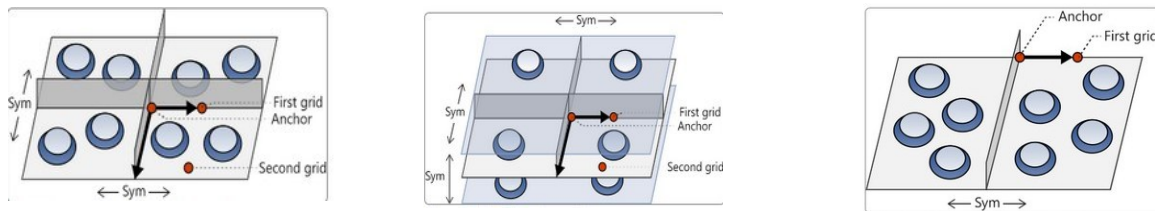
Minimum D=60

Minimum D=90

zione di piccole parti si possono ottenere elementi di piccole dimensioni in quanto all'interno della struttura possono essere importanti per la trasmissione del carico. [5] Questo comando funziona più come parametro di qualità che quantità. Sono state effettuate varie simulazioni al variare di questo, dato che i valori ideali oscillano dai 6 ai 10 mm, è stato scelto il valore di 8 mm.

Il valore massimo agisce sulla dimensione massima di grandi elementi e deve avere un valore almeno doppio rispetto il MINDIM. Introduce un ulteriore vincolo e dopo varie prove si è deciso di non inserirlo nell'ottimizzazione.

- **Piani di simmetria:** se il componente presenta delle simmetrie è possibile inserirle per aver distribuzioni di massa simmetriche, è possibile farlo però anche su parti **asimmetriche**. Tre è il numero massimo di piani, e possono essere applicati definendo il punto “ancora” e successivamente gli altri punti “nodo”. [6] Si è inserito solo un piano di simmetria ed è stato fatto variare nelle componenti X, Y, Z per vedere come variava la distribuzione, per poi scegliere la migliore.



- **Draw:** nelle ottimizzazioni solitamente si creano geometrie difficili da realizzare per colata, per tanto si può indicare la direzione di realizzazione del componente. Non è un parametro necessario nello studio in quanto la realizzazione avviene tramite stampaggio 3D. Può essere comunque inserito, ma sarebbe un'ulteriore limitazione non necessaria.
- Sono presenti altri comandi fig24 di cui si parlerà velocemente in quanto non utilizzati nello studio corrente

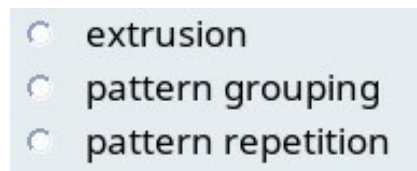


Figura24 – comandi design variable

Il comando estrusione è utile se si hanno sezioni trasversali lungo un determinato percorso e per la creazione di nervature. I comandi di pattern, ossia la ripetizione di un modello, si prestano per creare layout topologici simili.

3.7.2 Responses (risposte)

Il secondo grande gruppo di impostazioni. Nelle risposte si inseriscono i parametri che riducono quanto più massa possibile garantendo sempre la rigidità. Vengono definiti i vari parametri utili:

- **La massa:** sotto la voce mass e selezionando totale.
- **Lo stress:** sotto la voce static stress e selezionando come proprietà il design.
- **Il volume limite:** sotto la voce volume_frac e selezionando il totale.

3.7.3 Dconstraints (vincoli)

Inserite le risposte si procede ad introdurre i valori che vanno a vincolare l'ottimizzazione. Si lavora su quelli dello stress e del volume limite. Vengono fatte diverse simulazioni per vedere come al variare di questi la geometria cambi in modo anche vistoso.

Il valore dello stress posto a 266 è stato ricavato tramite formula, dividendo il dato di snervamento dell'alluminio (circa 400 Mpa) al coefficiente di sicurezza adottato. Per quest'ultimo un valore elevato indica sì un maggior grado di sicurezza, allo stesso tempo l'obiettivo è quello di trovar il giusto compromesso fra rischio e affidabilità. La scelta è stata di adottare 1,5 dato il margine lasciato sugli altri parametri.

Per il volume limite, nelle simulazioni in cui è stato inserito, si è scelto il 30% del volume totale. Viene vincolata la distribuzione ad aver solo valori al di sopra e mai inferiori a tale valore.

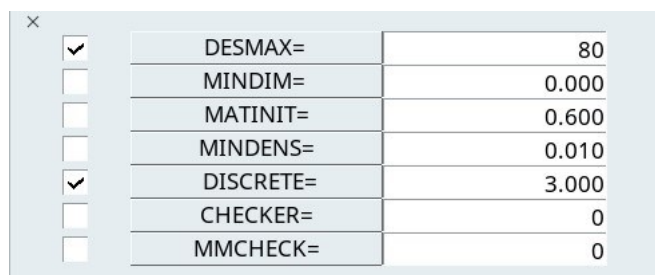
3.7.4 Obiettivi

Si conclude con l'inserire l'obiettivo finale che è quello di minimizzare la massa.

3.8 Settaggi aggiuntivi e osservazioni

È stata posta l'attenzione anche su altri settaggi base al fine di migliorare la qualità dell'ottimizzazione.

Il primo valore analizzato è quello del DESMAX, agisce sul numero di iterazioni ed è settato di default a 30. Per la convergenza di alcune simulazioni potrebbe non essere sufficiente ed è stato portato ad 80. Le iterazioni sono importanti per formare la struttura e fanno variare vari indici: la compliance, la densità e gli spostamenti.



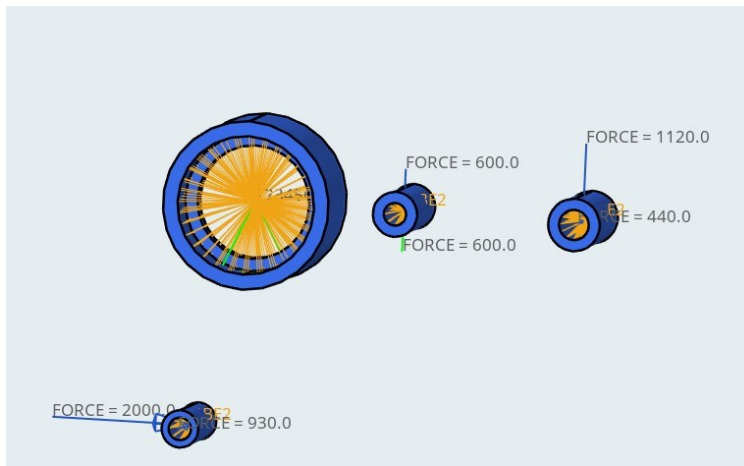
<input checked="" type="checkbox"/>	DESMAX=	80
<input type="checkbox"/>	MINDIM=	0.000
<input type="checkbox"/>	MATINIT=	0.600
<input type="checkbox"/>	MINDENS=	0.010
<input checked="" type="checkbox"/>	DISCRETE=	3.000
<input type="checkbox"/>	CHECKER=	0
<input type="checkbox"/>	MMCHECK=	0

Figura25 – settaggi aggiuntivi

La discretizzazione aumentata da 1.000 a 3.000

È necessario fare un'ulteriore precisazione, i carichi applicati sul componente sono quelli che si verificano in caso di “rebound” ossia nel caso di estensione

(caso sfavorevole) rispetto a quello di compressione. Per questo non è corretto inserire sullo stesso nodo due forze uguali ed opposte, dato che la loro risultante sul darà come valore zero. Esempio inserito nell'immagine che segue, dove sul nodo che corrisponde all'antirollio è presente la forza +600 e - 600, caso in cui l'auto ha diverso comportamento a rollio in base alla direzione della curva.



Carichi in modo errato

3.9 Risultati prima visualizzazione e visualizzazione

Dopo che tutti i vincoli sono soddisfatti e l'ottimizzazione è andata a buon fine, ci si sposta su HyperView per visualizzare i risultati. Impostato il numero di iterazioni massimo nell'area tab a sinistra, ci si concentra sui comandi nella parte inferiore per aver un riscontro grafico dello studio. Si applica "contour" e si seleziona simple come nel caso dell'analisi, si procede selezionando "iso" e settando il valore di **0.15**. La variazione di questo parametro modifica la quantità di massa che va ad aggiungersi o sottrarre alla geometria creata.

In questa prima simulazione (fig26, fig27, fig28) si può subito notare come non è presente alcun tipo di simmetria e la massa distribuita crea un design molto particolare. Il MIDMIN è stato fissato a 8 mm e lo stress ha parametro 266. È stato omesso il valore minimo di volume. Nelle figure di seguito sono riportate alcune viste.

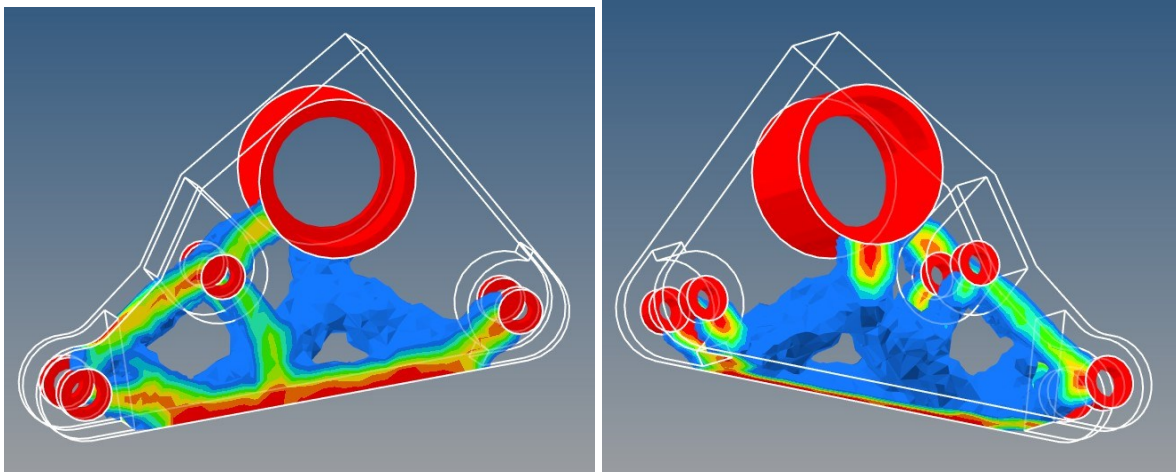


Figura26 e 27 – prima simulazione

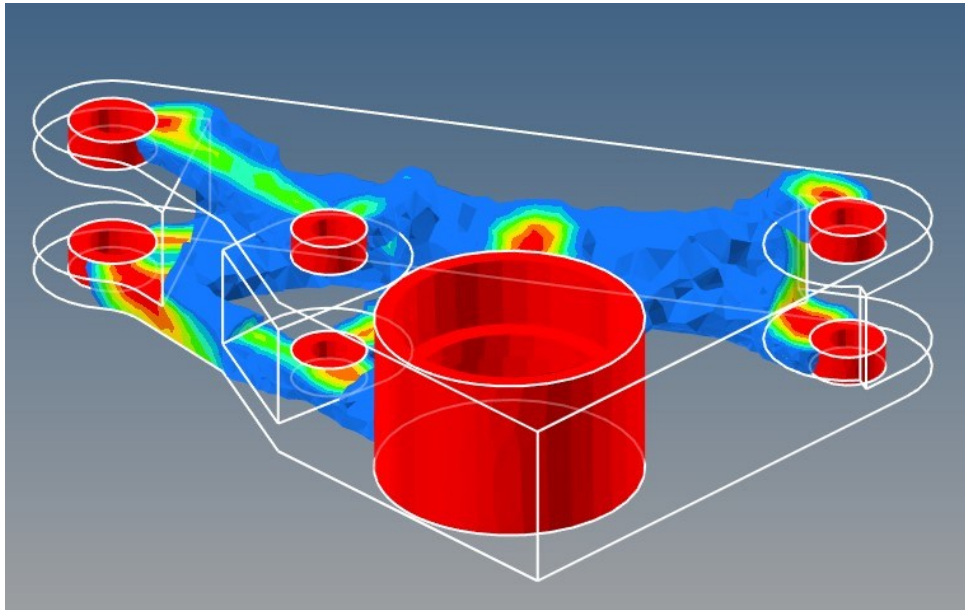


Figura28 – prima simulazione

3.10 Seconda simulazione

Nella seconda simulazione (fig29, fig30, fig31) è stato inserito un piano di simmetria (XY) e si nota come è variata la distribuzione di massa a livello di design (molto più pulita ed ordinata alla vista). I parametri del MIDMIN e dello stress rimangono invariati (8mm; 266). Non è stato inserito il limite di volume minimo.

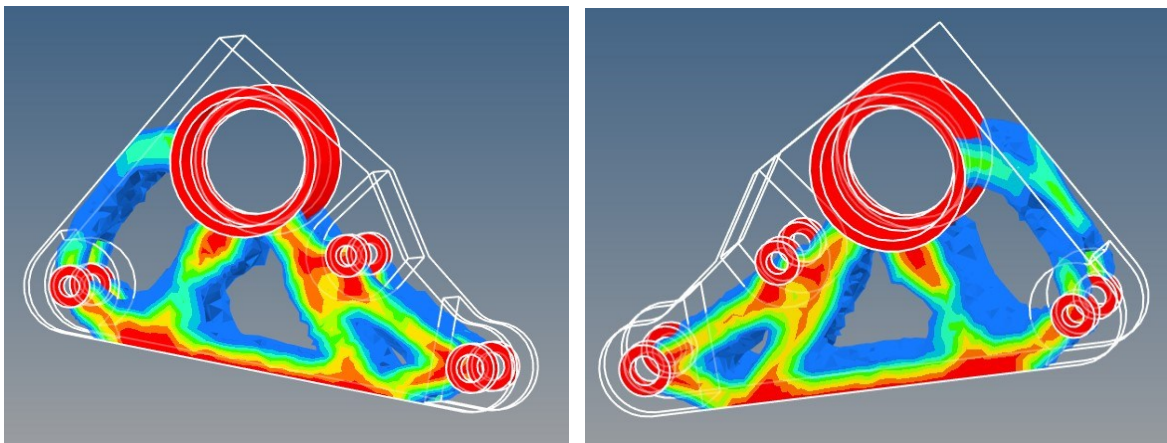


Figura29 e 30 – seconda simulazione

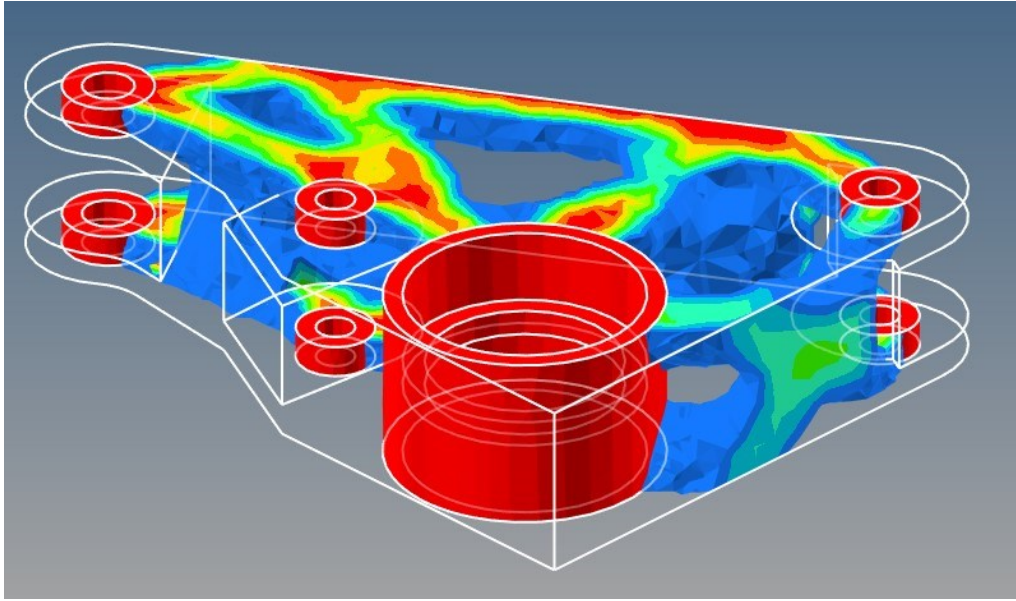


Figura31 – seconda simulazione

3.11 Terza simulazione

Nell'ultima simulazione (fig32, fig33, fig34) riportata qui di seguito son stati mantenuti invariati i parametri di simmetria, midmin e stress. È stato aggiunto il vincolo del 30% di volume limite. È la simulazione più estrema e verrà presa in analisi per portare avanti il concetto di ottimizzazione topologica e riduzione peso.

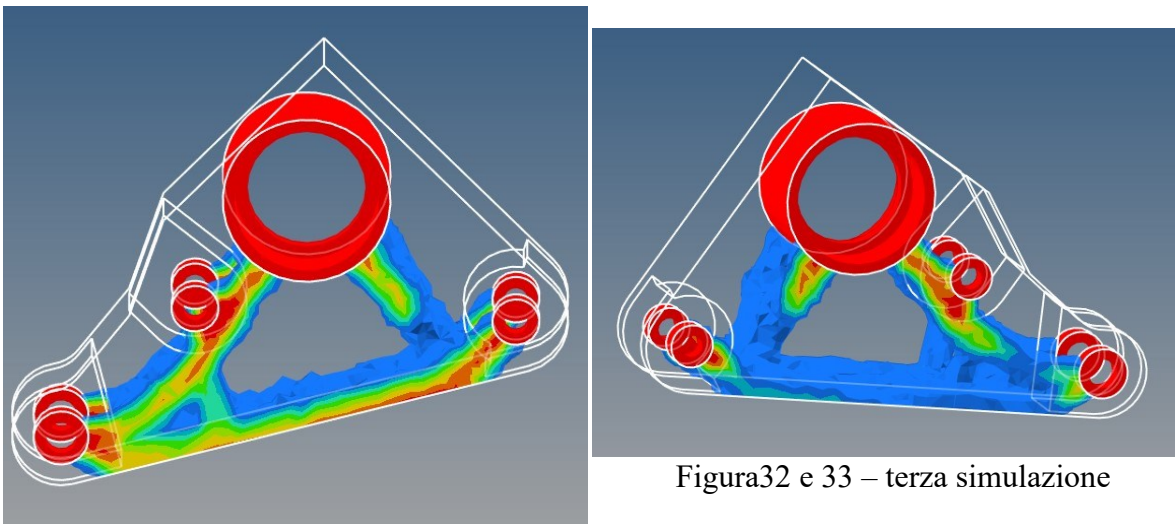


Figura32 e 33 – terza simulazione

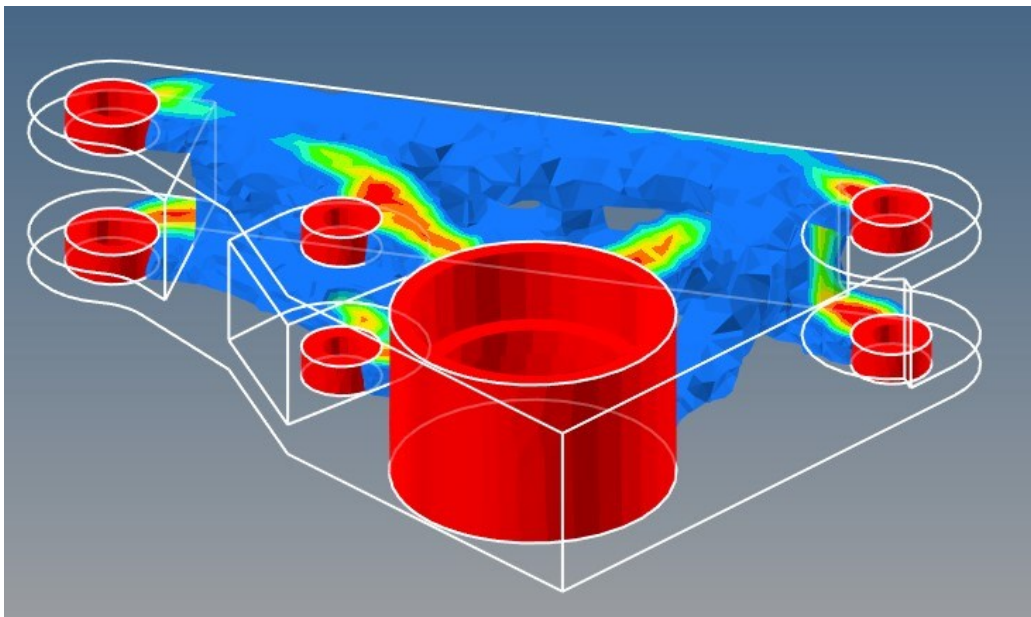


Figura34 – terza simulazione

3.12 Convertire il file (.stl) in geometria

Tutta la parte che riguarda l'ottimizzazione è completa, ci si può occupare dei vari passaggi per tradurla in geometria da poter produrre tramite stampa additiva. Il primo di questi è esportare il file in formato (.stl) e importarlo di nuovo su HyperWorks.

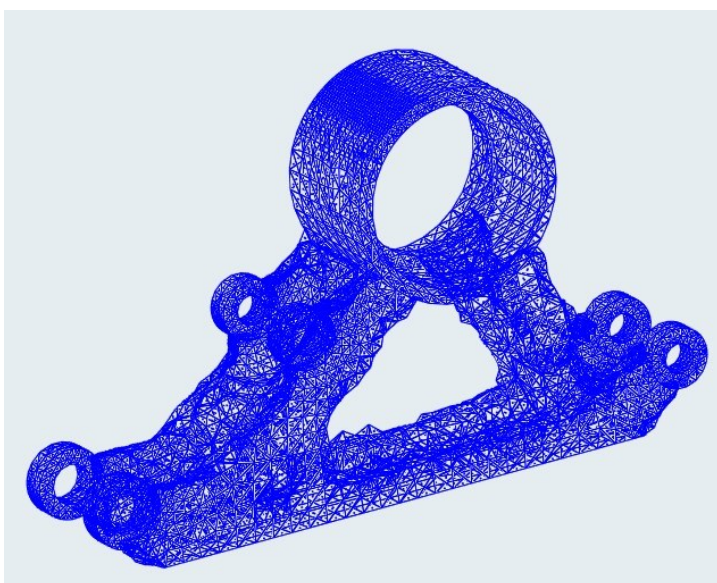


Figura35 – mesh in trasparenza

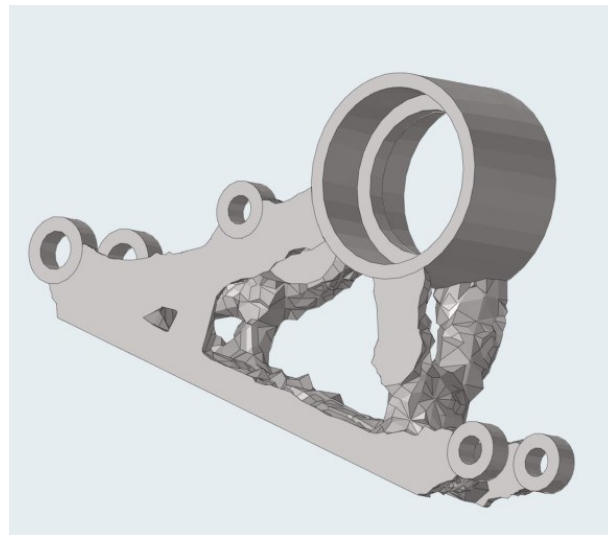


Figura 36 e 37 - mesh

Dalle figure riportate (fig35, fig36, fig37) si può osservare la creazione della nuova mesh e della geometria che deve essere “pulita” e ricostruita tramite il comando OSSmooth. Nelle ultime versioni è stato implementato il comando “polynurbs” che lascia la possibilità di modellare non in modo automatico la nuova geometria. Successivamente quando si è soddisfatti del risultato, il componente è pronto per essere stampato 3D.

Il peso finale del componente è di 127 grammi con un volume di 45,3 cm³, il risparmio totale sulla monoposto è potenzialmente di 596 grammi, dato che sono due i componenti installati.

4 ROCKER ANTERIORE

Si procede ora con lo studio del rocker anteriore, la metodologia rimane invariata, si delineano nuovamente tutte le parti e le variabili.

4.1 Spazio design e non design

- Il design è evidenziato dal colore grigio, è molto più complesso rispetto il rocker posteriore, il calcolo dell'ottimizzazione avrà molte più limitazioni a livello geometrico.
- Il non design è evidenziato dal colore blu, in corrispondenza dei fori è presente una corona circolare di 3 mm. Nella circonferenza maggiore verranno inseriti internamente i cuscinetti e la barra di torsione antibeccheggio. Nei fori minori esternamente appoggeranno la testa della vite e il dado di fissaggio dei rod-ends. (fig39)

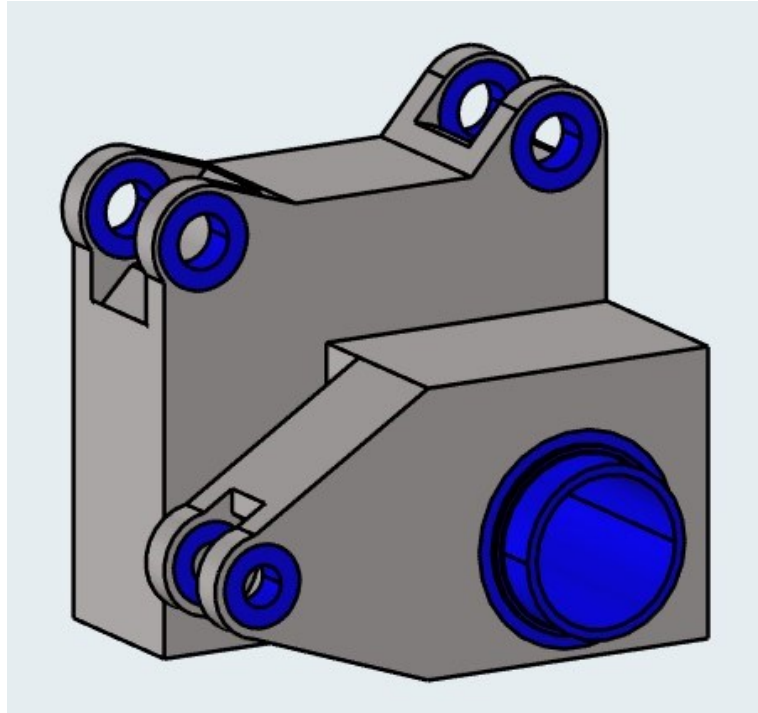



Figura39 – spazio design grigio e spazio non design blu

4.2 Materiale e convergenza (mesh)

Il materiale anche in questo studio sarà l'alluminio 7075 (ergal), vengono inseriti i valori della tabella1 (pag12) e assegnati alle due proprietà di design e non design.

Si crea la griglia (mesh) fig40 e si studia la convergenza. Vengono scelti elementi del primo ordine triangolari per la mesh 2D e tetraedrici per quella 3D. Sono state effettuate varie simulazioni ed è stato scelto il valore di 4 mm per la grandezza degli elementi, giusto compromesso fra qualità e potenza di calcolo necessaria. (fig41 e fig42)

2D type:	▼		R-trias
3D type:	▼		tetras
element order:	◆		first

<input checked="" type="checkbox"/>	Use curvature	
<input checked="" type="checkbox"/>	Use proximity	
Min elem size:		1.000
Feature angle:		30.000
Element size:		4.000

Figura41 e 42 – settaggi mesh

Anche qui si spuntano le caselle dei vincoli di prossimità e delle curvature.

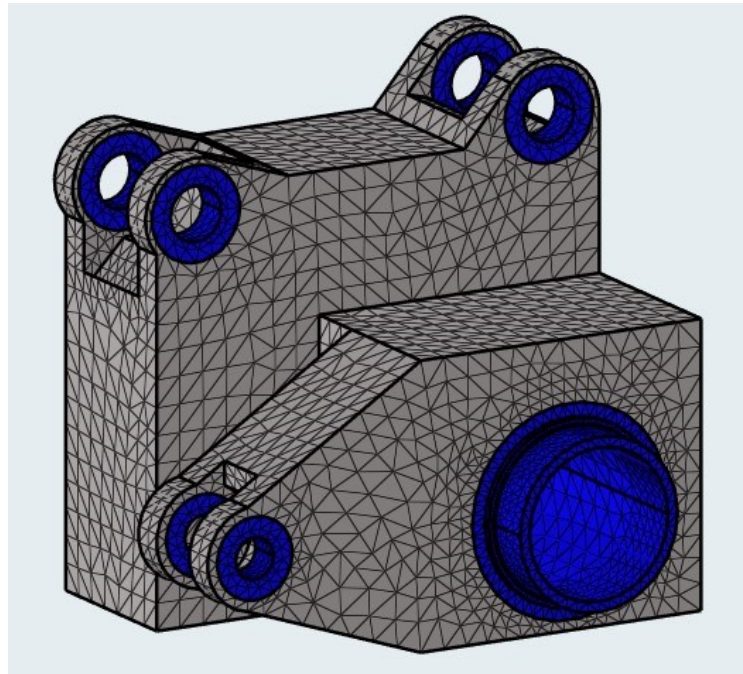


Figura40 – mesh rocker anteriore

4.3 Nodi o rigids

Si crea un nuovo componenti per i rigids o nodi (fig41), utili poi per applicare i carichi ed i vincoli. Sono indicati dal colore acquamarina.

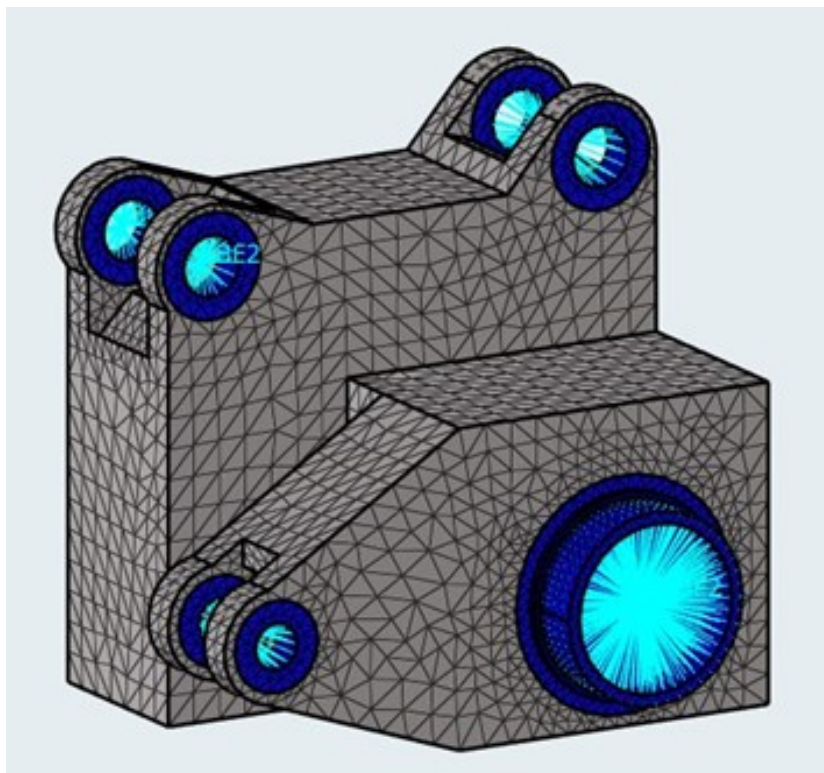


Figura41 – nodi o rigids

4.4 Condizioni al contorno

Si possono ora inserire i due **load collector** o casi di carico, uno per i vincoli ed uno per le forze.

4.4.1 Load collector vincoli

Sono presenti quattro vincoli (fig42). In corrispondenza delle superfici di calettamento dei cuscinetti son stati bloccati tutti i gradi di libertà tranne la rotazione attorno l'asse Z (dof6). Il load types è SPC.

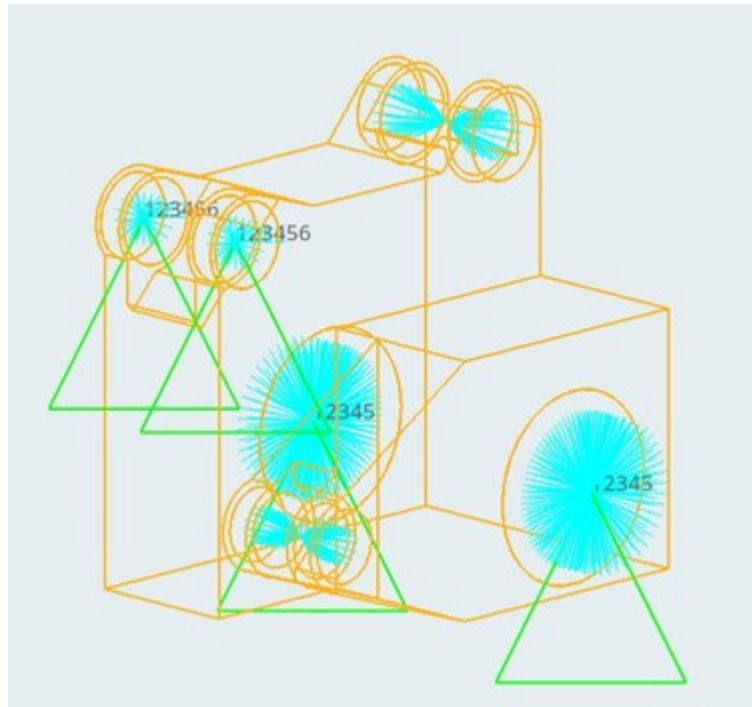


Figura42 – vincoli che agiscono sul rocker anteriore

Sui fori di attacco del puntone diagonale sono stati inseriti due incastri, si notano in figura i valori 123456. Il load types è anche qui SPC.

È stata fatta un'ulteriore semplificazione sulla scanalatura che è stata rappresentata liscia.

4.4.2 Load collector carichi

Vengono definiti tutti i carichi (fig43), ci si trova in presenza sia di forze concentrate che di momenti torcenti.

FMS 830 [N] è inclinata di 7 gradi, si deve scomporre la forza lungo le componenti principali.

FR 720 [N]

Momento 66 [Nm]

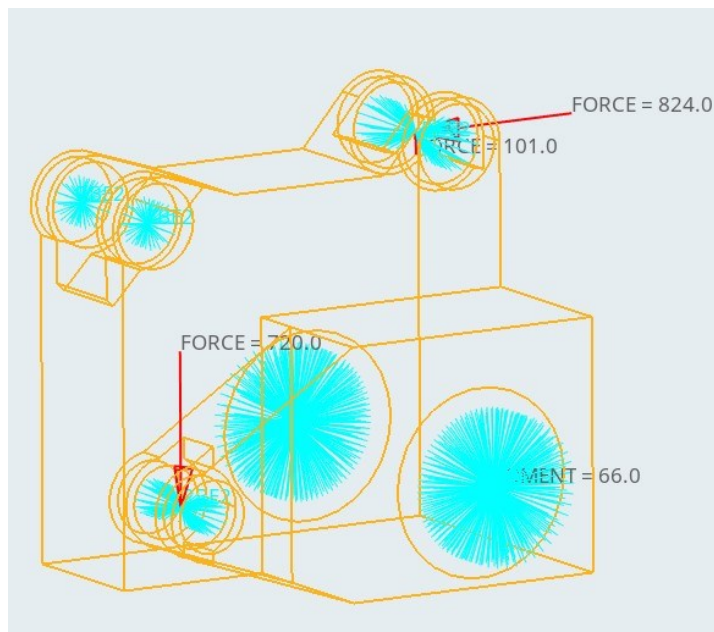


Figura43 – carichi che agiscono sul rocker anteriore

4.5 Analisi statico strutturale e visualizzazione

Ci sono tutti gli elementi per analizzare le prestazioni meccaniche del rocker. Si crea un **load step** dove viene scelta l'analisi statico lineare e si assegnano i casi di carico. Sul pannello di controllo della run si seleziona Analysis e viene lanciato il solutore fig44.

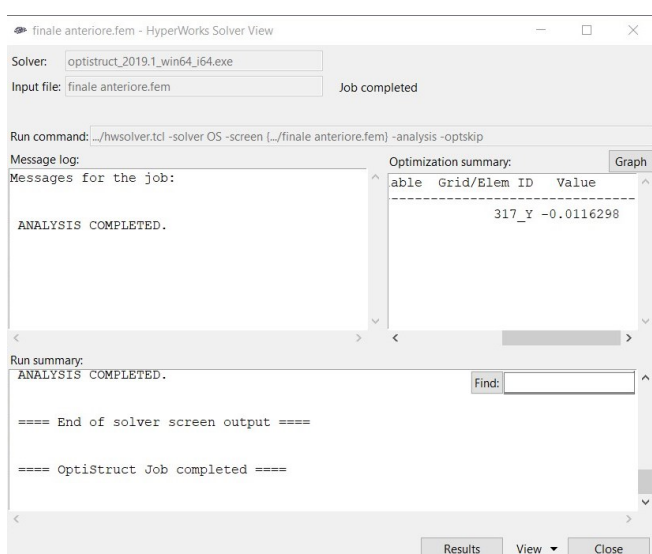


Figura44 - solutore

Dopo l'analisi ci si sposta su Hyperview per la visualizzazione (fig45, fig46) e vengono applicati gli stessi settaggi del rocker posteriore.

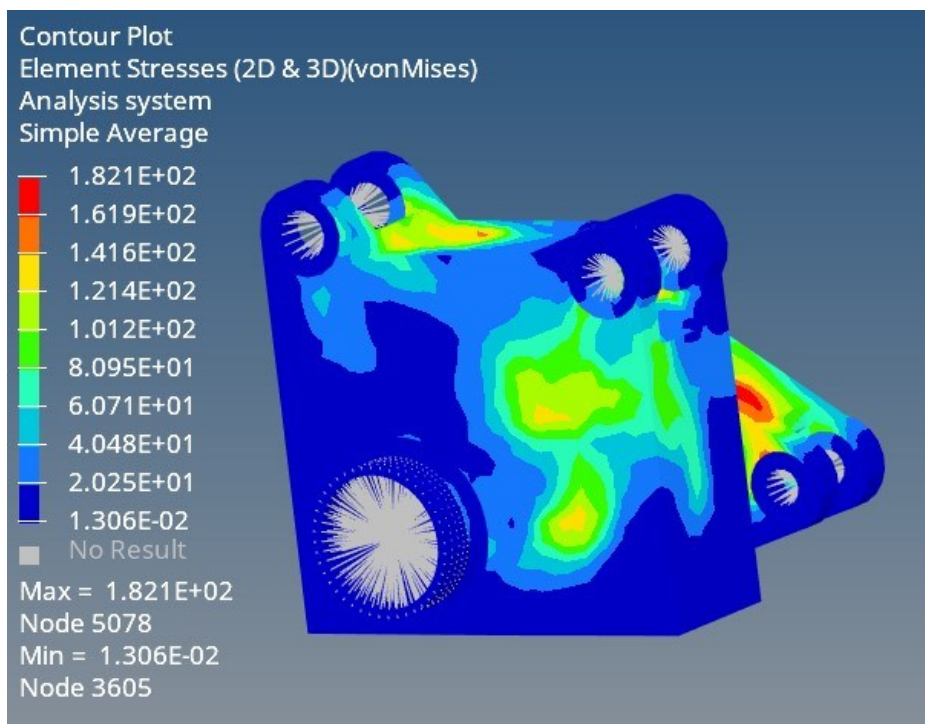
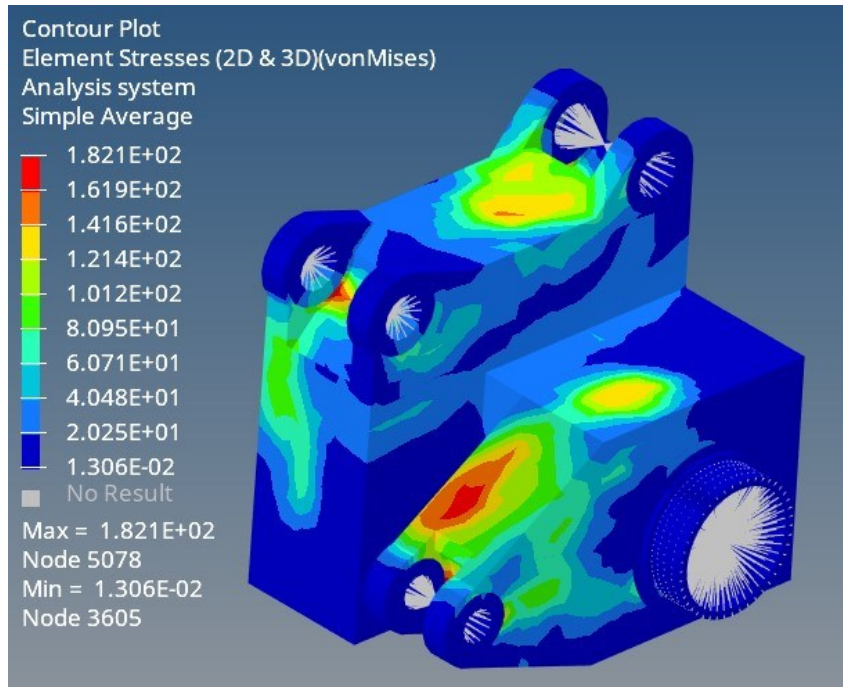


Figura45 e 46 – visualizzazione con Von Mises

Le tensioni sono distribuite in maniera più omogenea rispetto al rocker posteriore, questo implica che ci sarà minor asportazione di materiale e le geometrie saranno meno complesse.

Viene visualizzato anche dove avvengono gli spostamenti massimi.

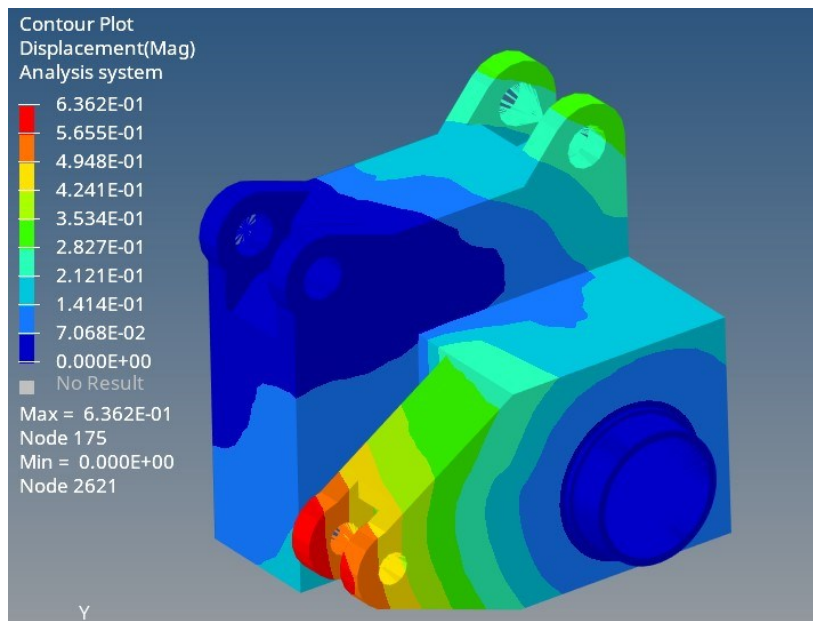


Figura47 – visualizzazione spostamenti

Ora viene posta l'attenzione sull'ottimizzazione topologica e le varie simulazioni.

4.6 Setting dell'ottimizzazione

Vengono ripercorsi velocemente tutti i settaggi e i valori inseriti.

4.6.1 Design variable

Si definisce il dominio da analizzare: lo spazio di design.

- **Parametro limite di volume:** per il valore MINMID sono state effettuate varie prove, essendo la geometria più complessa si sono presentati errori con determinati valori (es. 6mm), per tanto è stato scelto il parametro 8mm. Il MAXMID è stato omesso in quanto non necessario.

- **Piani di simmetria:** il componente è fortemente asimmetrico, ma come già enunciato questo comando riesce a lavorare bene anche con queste limitazioni. Sono state effettuate prove con 1 piano di simmetria senza simmetria.
- **Draw:** non necessario per la stampa 3D, ma può essere inserito per poter produrre il pezzo con diverse lavorazioni.

Gli ulteriori settaggi non rispettavano i vincoli della geometria.

4.6.2 Responces (risposte)

Secondo grande gruppo di impostazioni, vengono definiti i parametri che riducono la massa e garantiscono rigidità strutturale.

- **La massa:** sotto la voce mass e selezionando totale.
- **Lo stress:** sotto la voce static stress e selezionando come proprietà il design.
- **Il volume limite:** sotto la voce volume_frac e selezionando il totale.

4.6.3 Dconstraint (vincoli)

Il valore dello stress è posto a 266 è stato ricavato tramite formula, dividendo il dato di snervamento dell'alluminio (circa 400 Mpa) al coefficiente di sicurezza adottato. La scelta è stata di adottare 1,5 visto il margine lasciato anche sugli altri parametri.

Per il volume limite, nelle simulazioni in cui è stato inserito, si è scelto il 30% del volume totale.

4.6.4 Obiettivi

Si conclude con l'inserire l'obiettivo finale che è quello di minimizzare la massa.

4.7 Setting aggiuntivi e osservazioni

<input checked="" type="checkbox"/>	DESMAX=	80	<input type="checkbox"/>	OBJTOL=	0.005	<input type="checkbox"/>	DDVOPT=	1
<input type="checkbox"/>	MINDIM=	0.000	<input type="checkbox"/>	DELSIZ=	0.500	<input type="checkbox"/>	TMINPLY=	0.000
<input type="checkbox"/>	MATINIT=	0.600	<input type="checkbox"/>	DELSHP=	0.200	<input type="checkbox"/>	ESLMAX=	30
<input type="checkbox"/>	MINDENS=	0.010	<input type="checkbox"/>	DELTOP=	0.500	<input type="checkbox"/>	ESLSOPT=	1
<input checked="" type="checkbox"/>	DISCRETE=	3.000	<input type="checkbox"/>	GBUCK=	0	<input type="checkbox"/>	ESLSTOL=	0.300
<input type="checkbox"/>	CHECKER=	0	<input type="checkbox"/>	MAXBUCK=	10	<input type="checkbox"/>	SHAPEOPT=	2
<input type="checkbox"/>	MMCHECK=	0	<input type="checkbox"/>	DESCRTID=	1.000	<input type="checkbox"/>	OPTMETH=	MFD

Figura48 – settaggi aggiuntivi

Il DESMAX è stato portato dal valore base di 30 al valore 80, ed è stata aumentata la discretizzazione da 1.000 a 3.000.

Il dimensionamento è stato effettuato nel caso sfavorevole di rebound.

4.8 Risultati prima simulazione e visualizzazione

Dopo che tutti i vincoli sono soddisfatti e l'ottimizzazione è andata a buon fine, ci si sposta su HyperView per visualizzare i risultati (fig49, fig50). Come per le altre simulazioni viene definito il numero di iterazione massimo, il comando "contour" settato su simple, ed iso con un valore di **0,15**.

In questa prima simulazione non sono presenti piani di simmetria. Il MIDMIN è stato fissato a 8 mm e lo stress ha parametro 266. Il volume limite è del 30%. Si può vedere dalle figure riportate qui sotto come le geometrie siano meno complesse e la riduzione della massa è collegata solo al lato dove sono presenti le tensioni più basse o nulle.

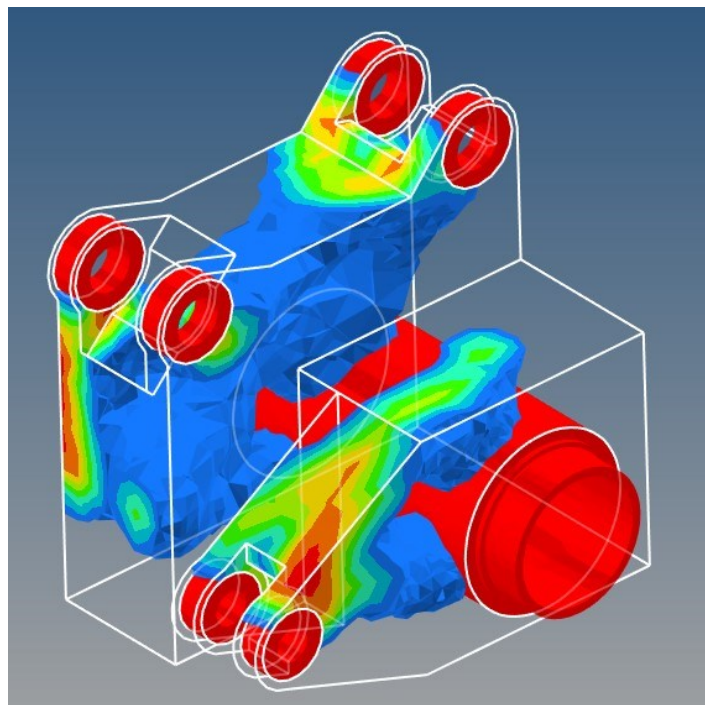


Figura49 – prima simulazione

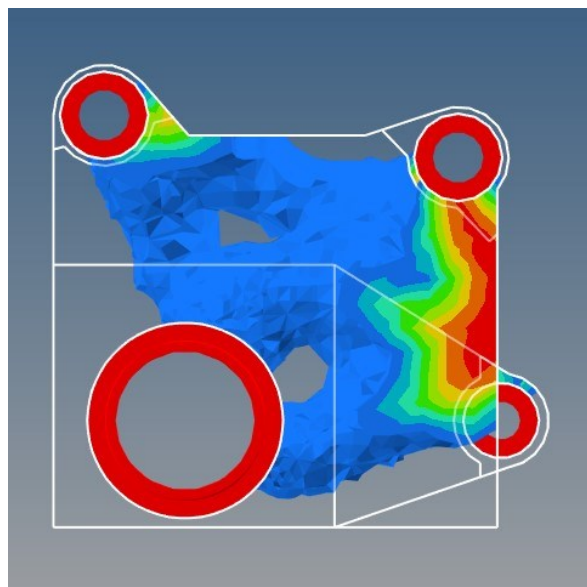


Figura50 – prima simulazione

4.9 Risultati seconda simulazione

Nella seconda simulazione (fig51, fig52) riportata, sono inseriti un piano di simmetria (ZY), i restanti valori sono stati mantenuti invariati. (MIDMIN 8 mm, stress 266, volume min 30%).

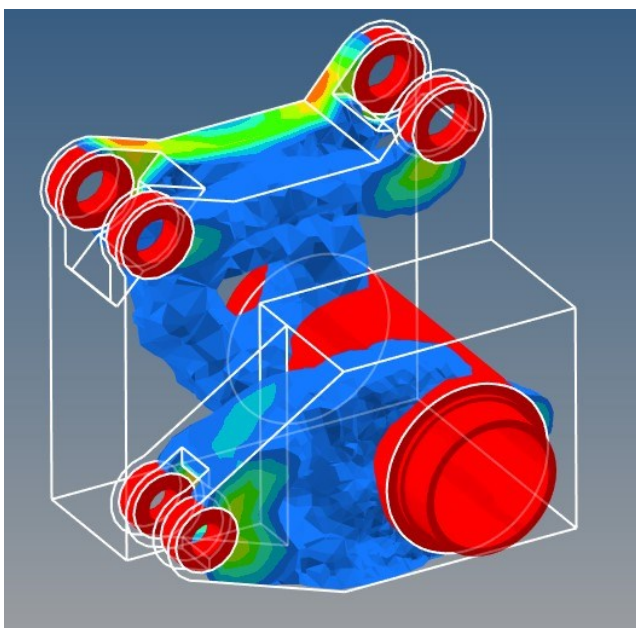


Figura51 – seconda simulazione

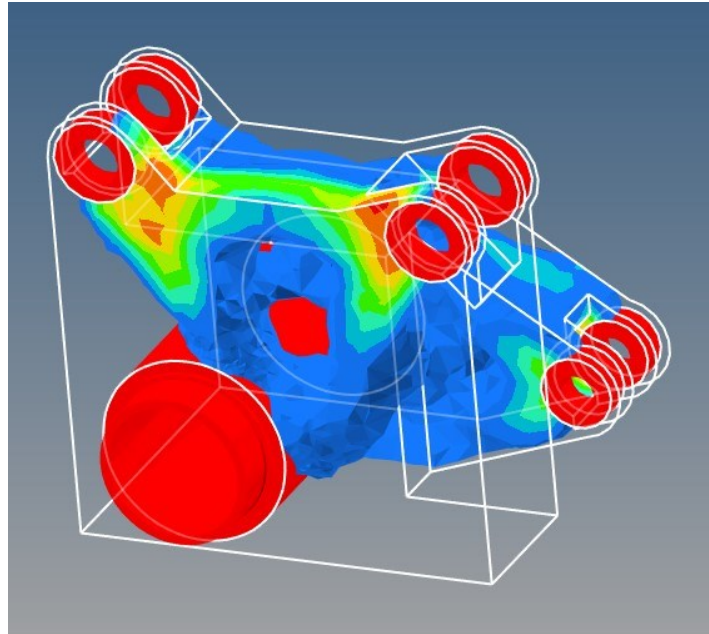


Figura52 – seconda simulazione

4.10 Convertire il file (.stl) in geometria

L'ottimizzazione è completa, ora si eseguono i vari passaggi per tradurla in geometria da produrre tramite stampa additiva. Il primo di questi è esportare il file in formato (.stl) e importarlo su Hypermesh.

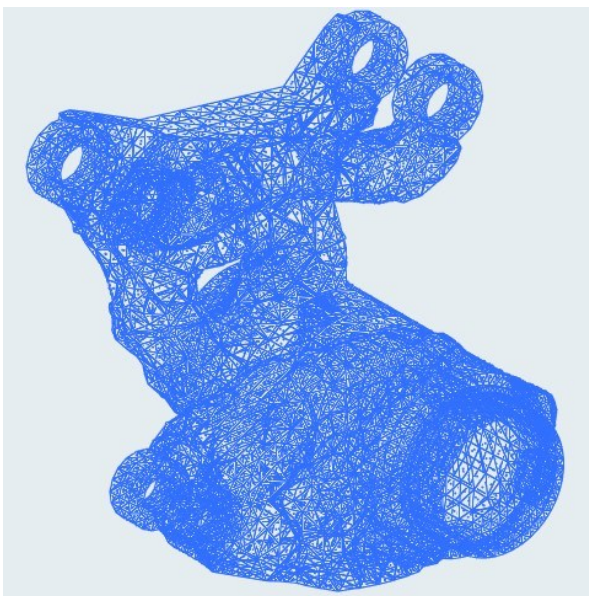


Figura53 – mesh in trasparenza

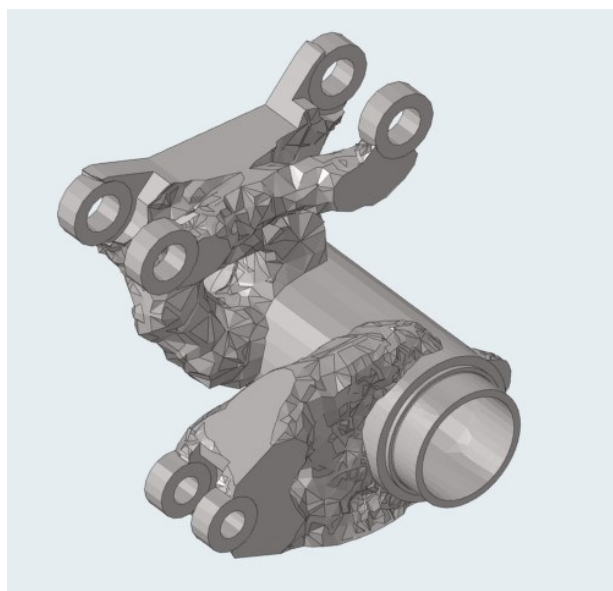
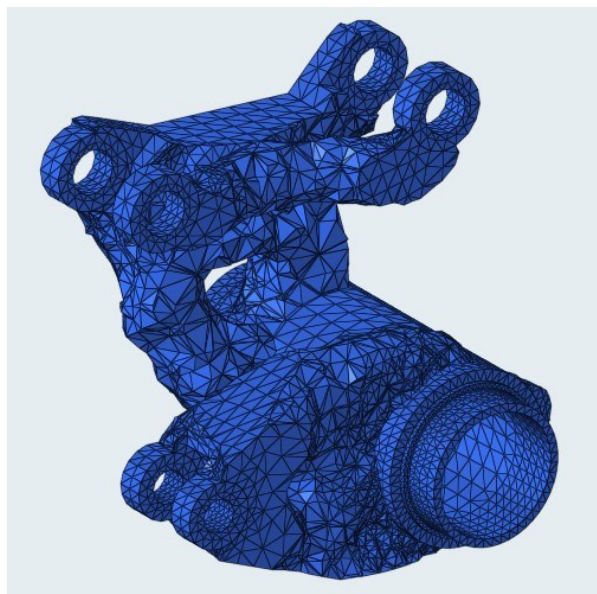


Figura54 e 55 - mesh

Dalla fig53, fig54, fig55, si nota la creazione della nuova mesh e della geometria che deve essere “pulita” e ricostruita tramite il comando OSSmooth. Nelle ultime versioni è stato implementato il comando “polynurbs” che lascia la possibilità di modellare non in modo automatico la nuova geometria. Successivamente quando si è soddisfatti del risultato, il componente è pronto per essere stampato 3D.

Il peso finale è di 130 grammi con un volume di 46,2 cm³, il risparmio potenziale totale sulla monoposto è di 606 grammi dato che sono installati in coppia.

5 PRODUZIONE ADDITIVA

In questo capitolo si introduce brevemente la produzione additiva fig38, metodo con cui è possibile produrre il rocker. Si differenzia dalla sottrattiva perché prevede la creazione del componente attraverso la sovrapposizione di strati piccoli di materiale e i vantaggi sono diversi:

- i **materiali** usati sono diversi e con varie proprietà (es. ceramica, plastica, metallo);
- lo scarto è minimo, di conseguenza ci sono meno sprechi e **minor consumi**;
- Si possono realizzare componenti con forme e geometrie complesse.

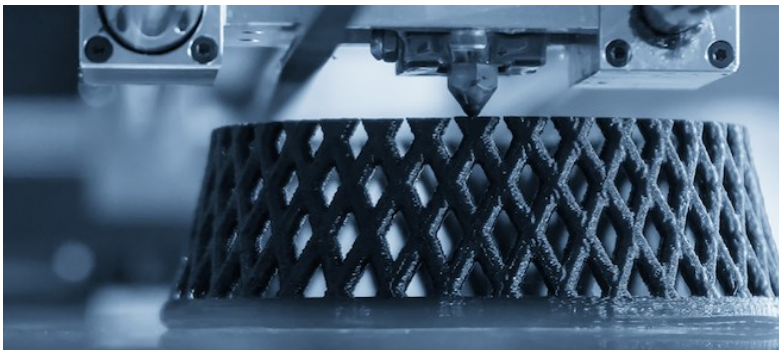


Figura38 – stampa 3D [7]

5.1 Stampa 3D dei metalli

La stampa 3D metallica è in costante sviluppo, si riescono a creare componenti meccanici con caratteristiche molto simili a quelli creati con i classici modi (es CNC). Il materiale è in polvere e viene unito a dei collanti durante la stratificazione, viene poi cotto e se necessario lavorato e rifinito, nel caso in cui c'è la rimozione dei supporti per la stampa.

6 CONCLUSIONE

Lo studio svolto documenta come l'utilizzo dei software di ottimizzazione topologica apportano una sostanziale riduzione della massa ai componenti elaborati, che mantengono inalterate le loro caratteristiche meccaniche.

Il potenziale risparmio con i quattro rocker della monoposto si attesta sui 1202 grammi. La metodologia può essere applicata ad una grande varietà di componenti dell'auto, e grazie ai nuovi metodi di produzione additiva si abbattano gli sprechi. Questo è importante sia a livello economico, dato che è possibile risparmiare fondi, sia a livello ambientale, vista l'attenzione delle aziende nel ridurre l'impatto ambientale.

Questo lavoro in futuro può essere implementato con lo studio della vita a fatica del componente e l'uso della creazione di geometrie con il software "Inspire" del pacchetto di Altair, sarà a disposizione della squadra per essere consultato e formare i nuovi membri.

7 RIFERIMENTI

Le informazioni riguardanti i materiali e le immagini sono stati reperiti dai seguenti siti e libri:

[1] Corso di progettazione meccanica – tesina Samir Borriello e Mattia Utzeri

[2] Catalogo Schaeffler rod-ends

[3] Metodi di progettazione avanzata prof. F. Campana

[4] [5] [6] Academic program Altair optimization PDF

[7] Meccanica news