

Ottimizzazione delle prestazioni  
ad urto frontale di un cofano  
automobilistico mediante  
simulazioni agli elementi finiti  
espliciti e mesh morphing

---

**LAUREANDO**

MANUEL VOLPONI

**RELATORE**

MARCO EVANGELOS BIANCOLINI

**CORRELATORE**

LEONARDO GERONZI



**TOR VERGATA**  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

Introduzione

Morphing

LS-DYNA

Simulazioni

Primi risultati

Ottimizzazione

Risultati

Conclusioni

*«Il progetto di un nuovo modello di automobile è il risultato di un lavoro complesso che vede coinvolte professionalità diverse. Un iter metodologico articolato che ha inizio sin dalle prime fasi di impostazione e non si esaurisce nemmeno nell'assemblaggio finale sulle linee di produzione.»*

(Roberto Giolito, Centro Stile Fiat)

La prima fase della progettazione di un veicolo avviene all'interno di centri stile dove architetti e designer attraverso disegni tecnici e **studi di bellezza** danno una prima idea del prototipo automobilistico che dovrà essere costruito. Soltanto dopo, gli ingegneri vanno a valutare **la funzionalità e la fattibilità costruttiva** del prodotto.



Introduzione

Morphing

LS-DYNA

Simulazioni

Primi risultati

Ottimizzazione

Risultati

Conclusioni

Problema  
Iniziale

- **Progettare a crash il cofano di un pick-up di cui conosciamo la geometria.**

Come Agire

- **Conservando gli studi effettuati in precedenza sul cofano di un'altra auto, ovvero un Honda Accord.**

Mezzi  
necessari

- **Fare uso di tecniche di morphing per adattare la griglia computazionale e ottimizzarla.**

Scopo

- **Confrontare i risultati ottenuti a crash del cofano originale e del cofano aggiornato della Accord.**



Introduzione

Morphing

LS-DYNA

Simulazioni

Primi risultati

Ottimizzazione

Risultati

Conclusioni

## Finalità

Dimostrare che con tale procedimento si possono avere dei risultati in termini di **energia**, **decelerazione e stress** simili per il cofano della Silverado originale e della Honda aggiornato.

Dimostrare che la tecnica di morphing nell'ambiente automotive sia una tecnica valida per **condividere e conservare** gli studi effettuati già su modelli precedenti ed avere **risultati rapidi** di come si comporta il nuovo componente.

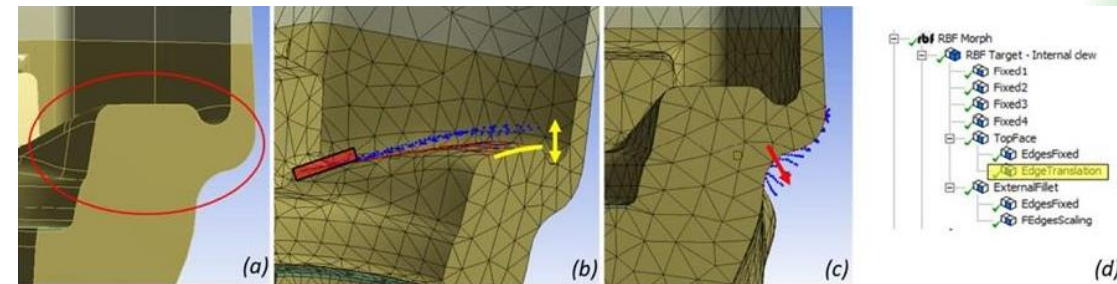
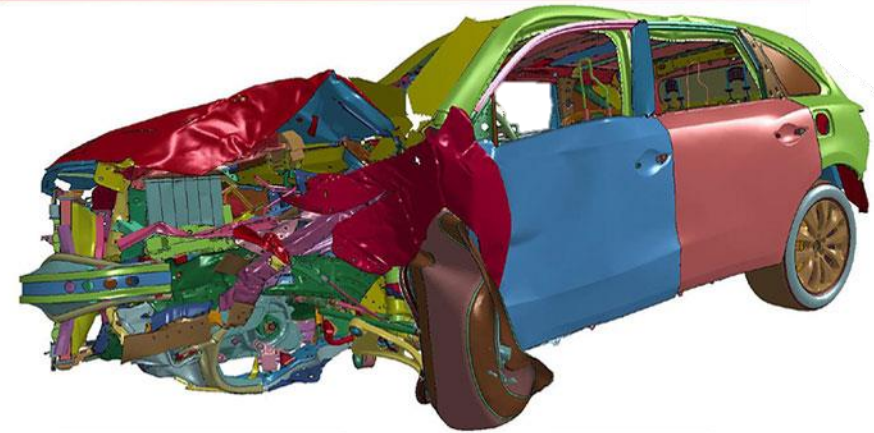


## Strumenti utilizzati

Gli strumenti CAE (Computer-Aided Engineering) utilizzati sono principalmente 3:

- **Ansys Workbench** programma che per mezzo degli **elementi finiti** e utilizzando il **solutore esplicito LS-DYNA**, è in grado di risolvere problemi altamente non lineari e simulare la risposta dei materiali a sollecitazioni forti di breve durata.
- **LS-PrePost** un pre e post-processore avanzato compatibile con LS-DYNA.
- **RBF Morph** estensione di Ansys Mechanical che permette modifiche di griglie computazionali, semplicemente aggiornando le posizioni nodali.

Simulation Postprocessor



Introduzione

Morphing

LS- DYNA

Simulazioni

Primi risultati

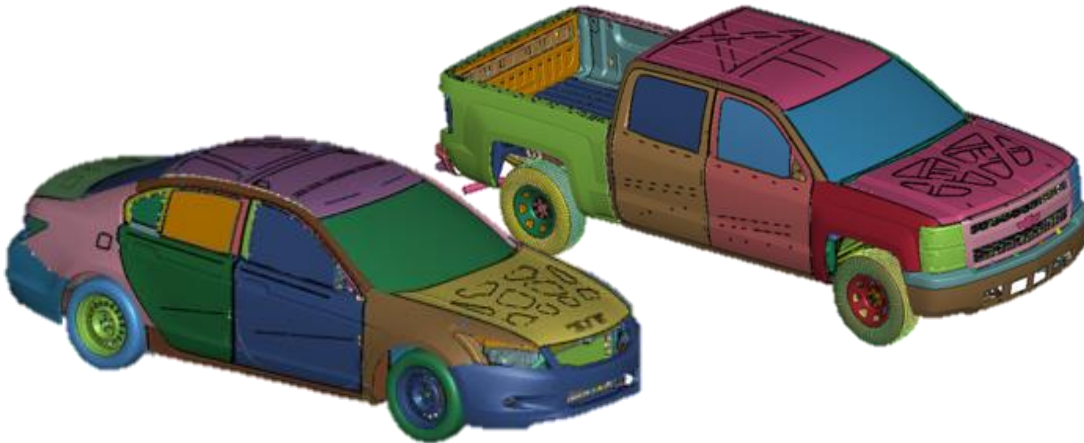
Ottimizzazione

Risultati

Conclusioni

## Primi Passi

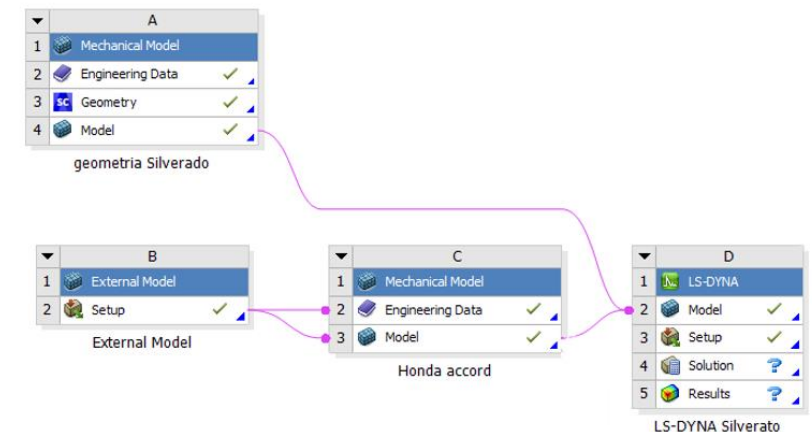
- **Reperire** dal sito di NHTSA i file della Silverado e della Honda necessari per estrarre i cofani usando LS-PrePost.
- **Creazione** della geometria del cofano esterna della Silverado con SpaceClaim.





## Requisiti per il morphing

- La geometria della Honda dopo il morphing deve combaciare perfettamente con la geometria creata della Silverado.
- Le ossature interne devono mantenere le stesse proporzioni per i 2 cofani.
- I vincoli geometrici e di produzione devono essere mantenuti.
- Non sono accettate deformazioni discontinue.





# Source e Target

RBF Morph ACT Extension agisce come un operatore matematico che gestisce due nuvole di punti RBF: da una parte la nuvola “Target” dei cui punti vogliamo determinare lo spostamento e, dall’altra parte, la nuvola “Source” in cui il campo di spostamento è noto e le RBF sono calcolate.

Nel nostro caso i **Target** sono tutti i corpi appartenenti alla mesh dell’Honda, i **Source** invece sono le superfici e le curve i cui punti hanno un moto imposto.

**Target**

Details of "RBF Target"	
<b>Node Selection</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	918 Faces
<b>Definition</b>	
Transformation	Translation
Translation Definition	Manual
<input type="checkbox"/> Delta x	0 m
<input type="checkbox"/> Delta y	0 m
<input type="checkbox"/> Delta z	0 m
<b>RBF Function</b>	
Degree	1
<b>Combine Select</b>	
Acting On	Undeformed
If Selected Nodes Overlap	Override
Coord Filtering	No
<b>RBF Problem</b>	
<input type="checkbox"/> Source	15416
<input type="checkbox"/> Target	46854

**Source**

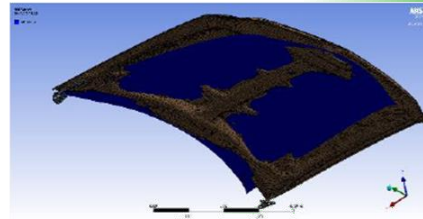
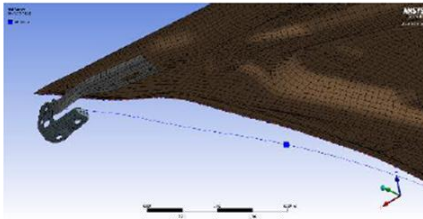
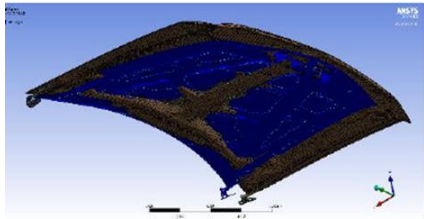
*Curve Targeting*

Details of "RBF Source"	
<b>Node Selection</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Edge
<b>Definition</b>	
Transformation	Curve Targeting
<input type="checkbox"/> Percentage	1
Invert	No
Method	Parametric
Vertex refinement	Yes
<b>Geometry Selection</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Edge
<b>RBF Function</b>	
Degree	1
<b>Combine Select</b>	
Acting On	Undeformed
If Selected Nodes Overlap	Override
Coord Filtering	No
<b>RBF Problem</b>	
<input type="checkbox"/> Source	0
<input type="checkbox"/> Target	157

**Source**

*Surface Targeting*

Details of "RBF Source"	
<b>Node Selection</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
<b>Definition</b>	
Transformation	Surface Targeting
<input type="checkbox"/> Percentage	1
Targeting behaviour	Along Target Normal
<b>Geometry Selection</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
<b>RBF Function</b>	
Degree	1
<b>Combine Select</b>	
Acting On	Deformed
If Selected Nodes Overlap	Override
Coord Filtering	No
<b>RBF Problem</b>	
<input type="checkbox"/> Source	521
<input type="checkbox"/> Target	15416





Introduzione

Morphing

LS- DYNA

Simulazioni

Primi risultati

Ottimizzazione

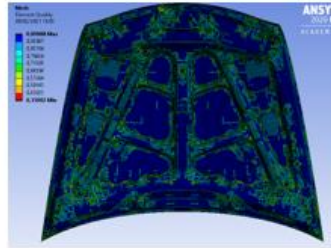
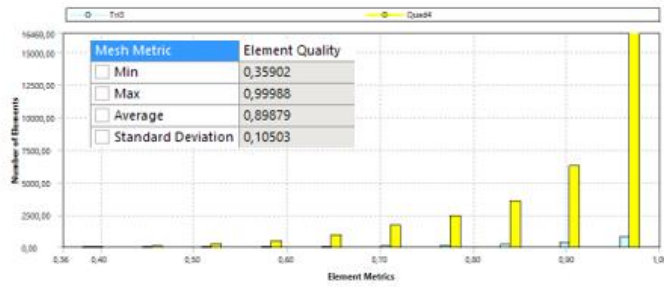
Risultati

Conclusioni

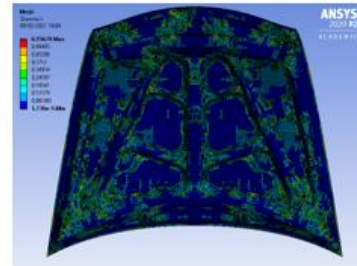
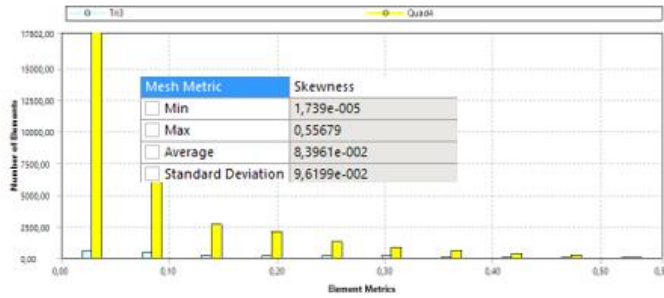


## Mesh Honda

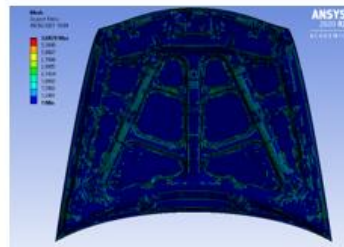
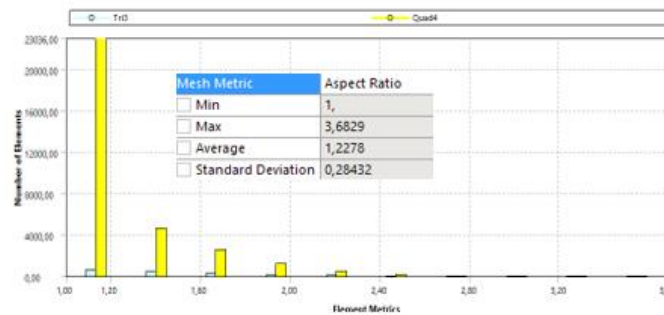
- Element quality



- Skewness

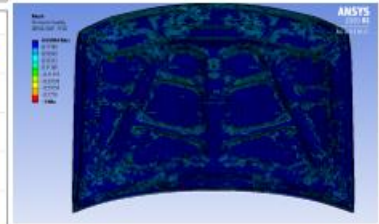
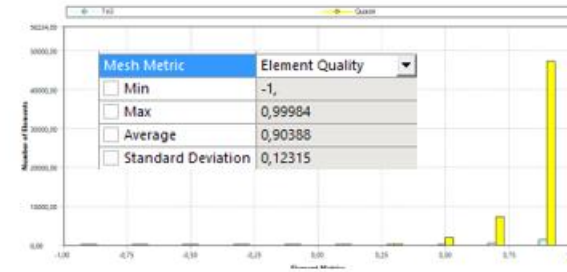


- Aspect ratio

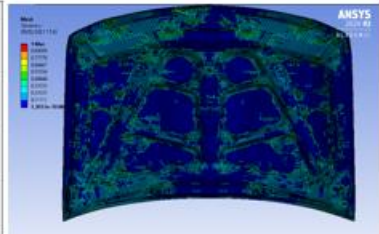
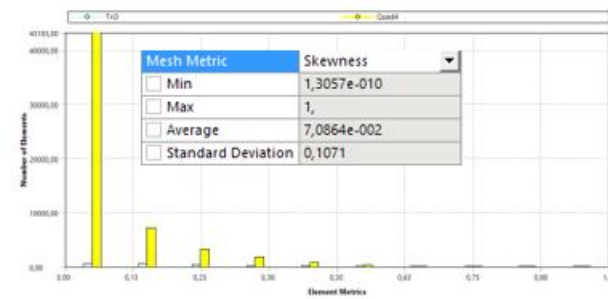


## Mesh Honda aggiornata

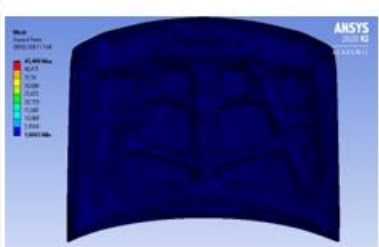
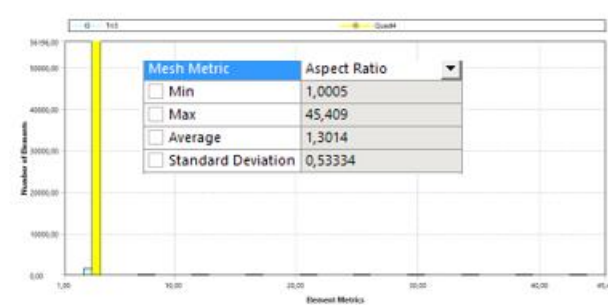
- Element quality



- Skewness



- Aspect ratio



Introduzione

Morphing

LS-DYNA

Simulazioni

Primi risultati

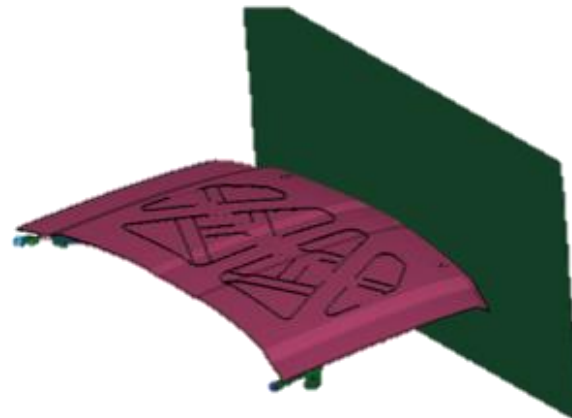
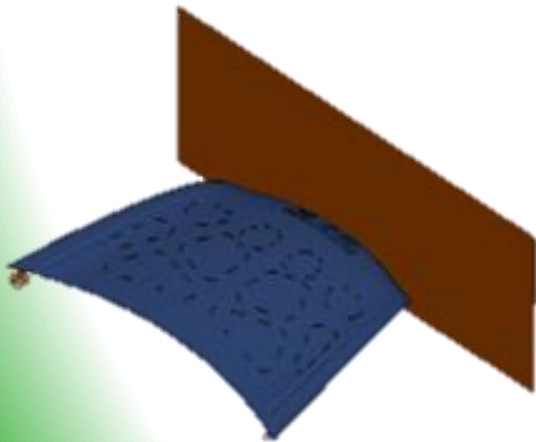
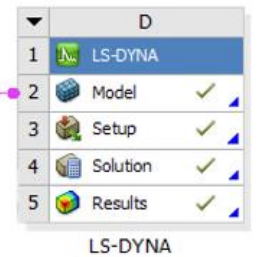
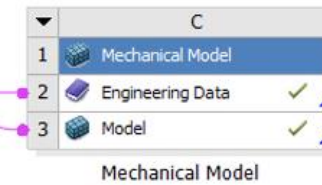
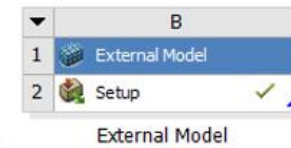
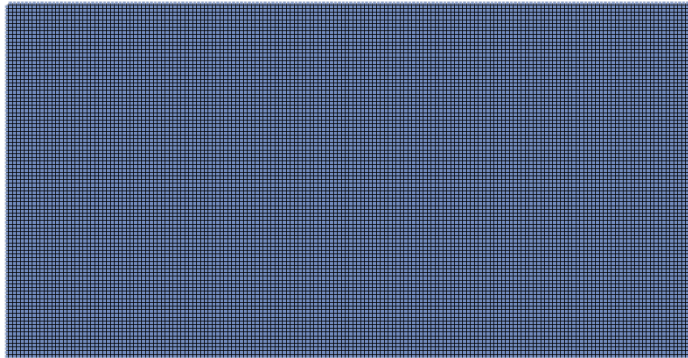
Ottimizzazione

Risultati

Conclusioni

## ESECUZIONE SIMULAZIONI

Creazione del muro con LS-PrePost



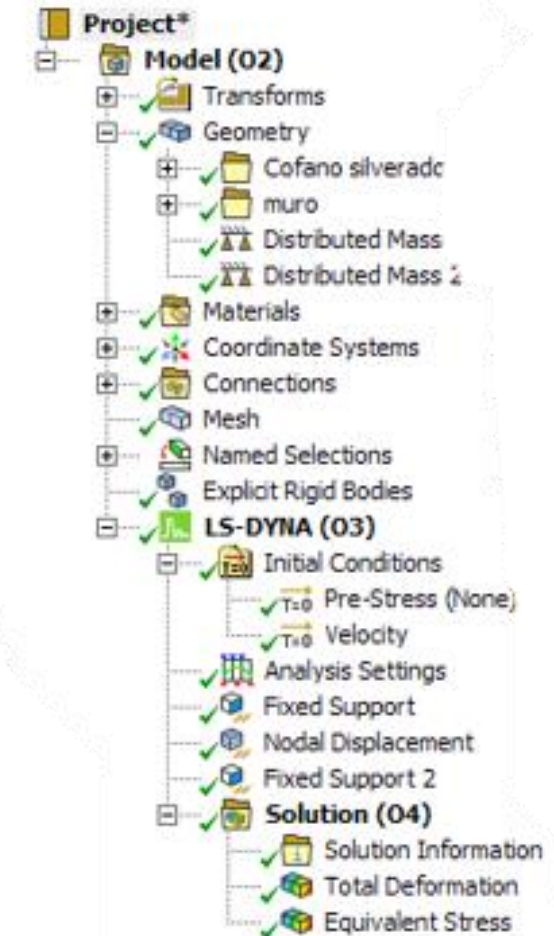
# Impostazioni dell'analisi con LS-DYNA

## Condizioni al contorno necessarie per svolgere la simulazione:

- Velocità del cofano di 50 km/h.
- Corpi rigidi con la funzione « Explicit Rigid Bodies».
- Traslazione e rotazione del muro vincolata.
- Massa battente da rallentare durante l'impatto uguale al 10% del peso dell'auto.

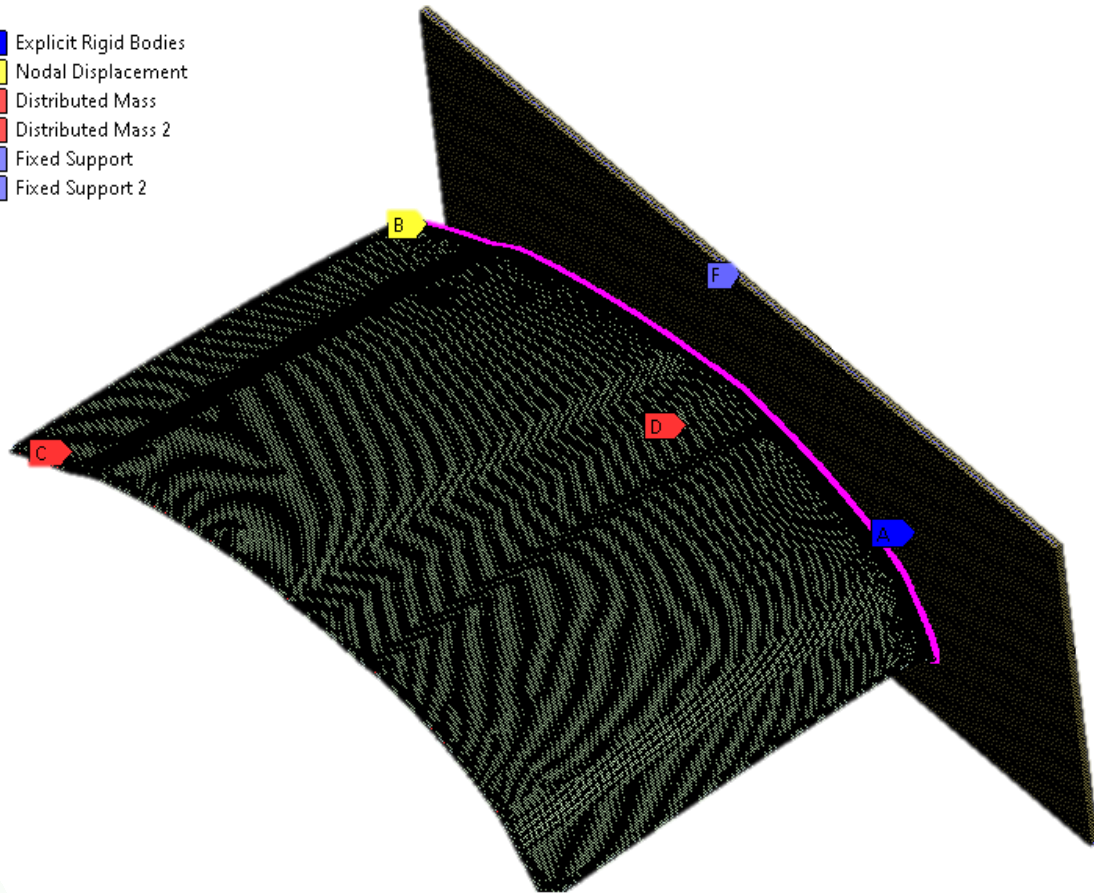
## Impostazioni di analisi per il solutore esplicito:

- End time di 0,05 s.
- Time step scale factor (TSSFAC) di 0,7.
- Max numero di cicli di 10000000.



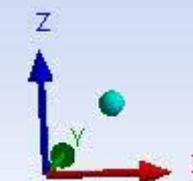
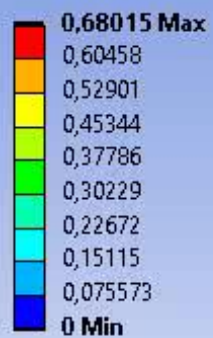
# Simulazione del cofano originale Silverado

- A** Explicit Rigid Bodies
- B** Nodal Displacement
- C** Distributed Mass
- D** Distributed Mass 2
- E** Fixed Support
- F** Fixed Support 2



C: LS DYNA SILVERADO ORIGINALE

Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: m  
Time: 5,e-002  
10/02/2021 16:48



Introduzione

Morphing

LS-DYNA

Simulazioni

Primi risultati

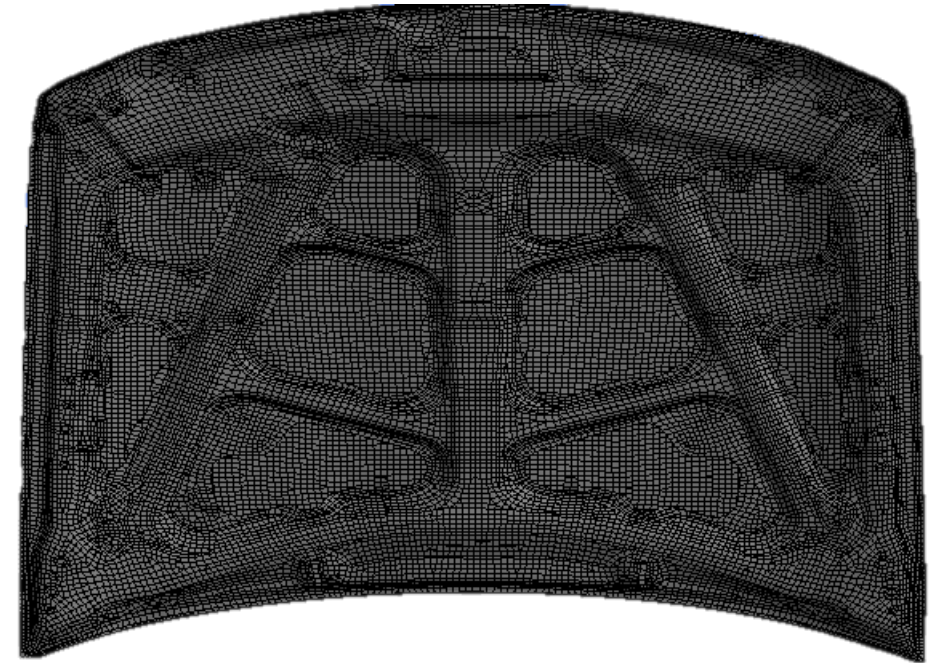
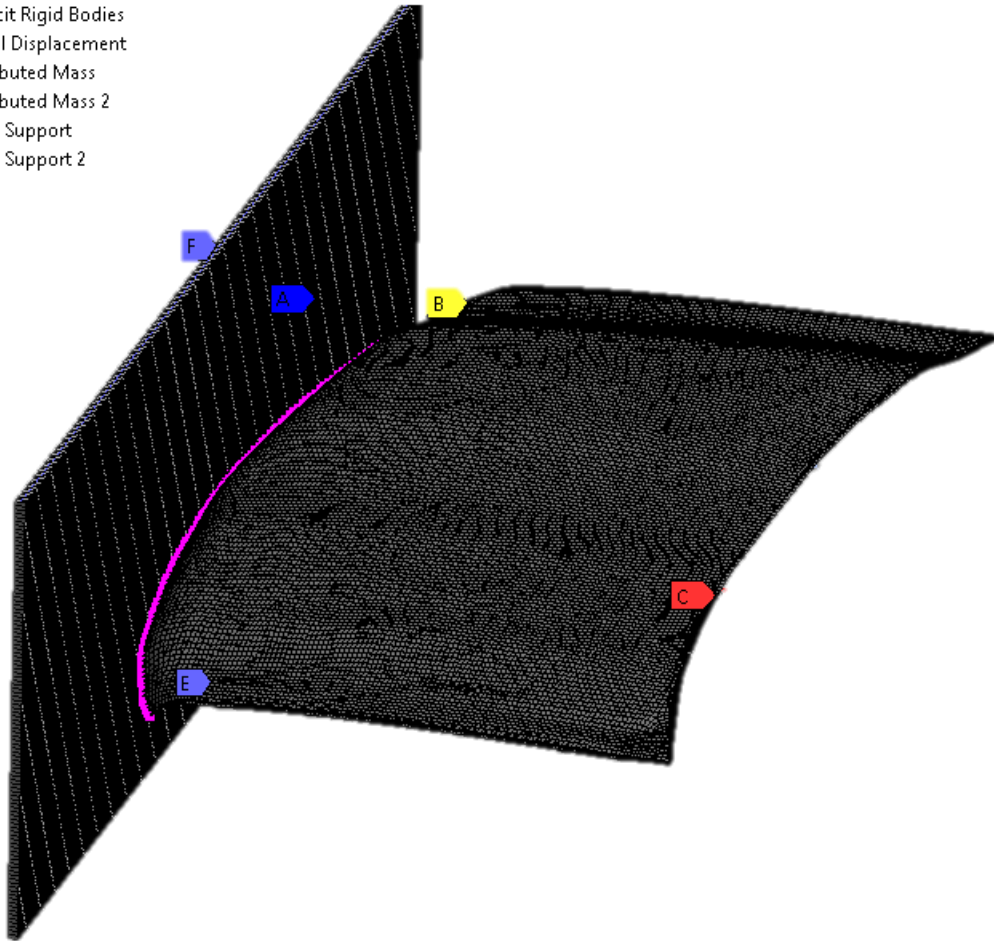
Ottimizzazione

Risultati

Conclusioni

# Simulazione del cofano ottenuto per morphing

- A** Explicit Rigid Bodies
- B** Nodal Displacement
- C** Distributed Mass
- D** Distributed Mass 2
- E** Fixed Support
- F** Fixed Support 2



**J: LS-DYNA cofano morphato**

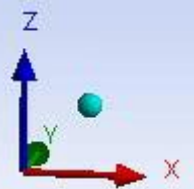
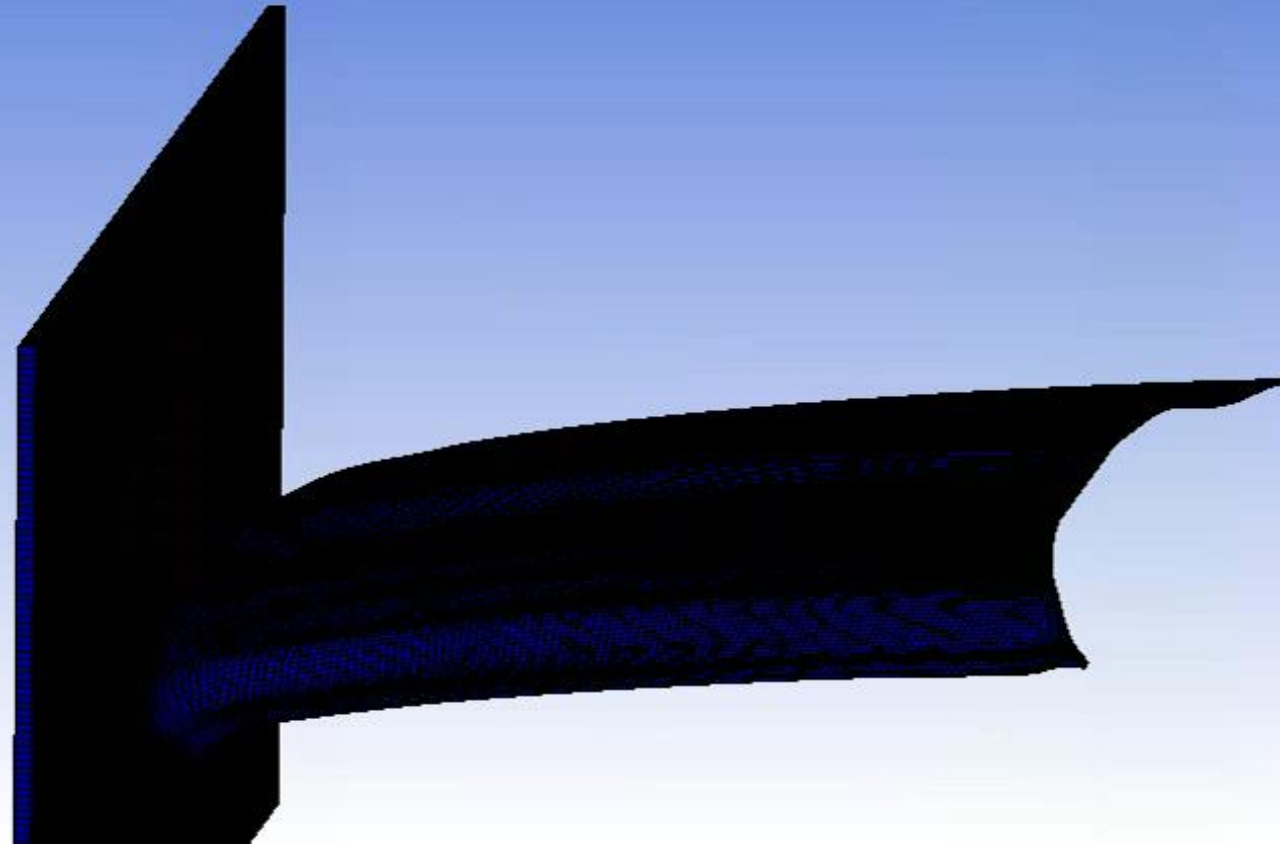
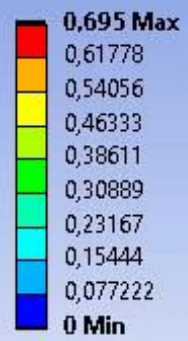
Total Deformation

Type: Total Deformation

Unit: m

Time: 1,0101e-003

10/02/2021 16:38





Introduzione

Morphing

LS-DYNA

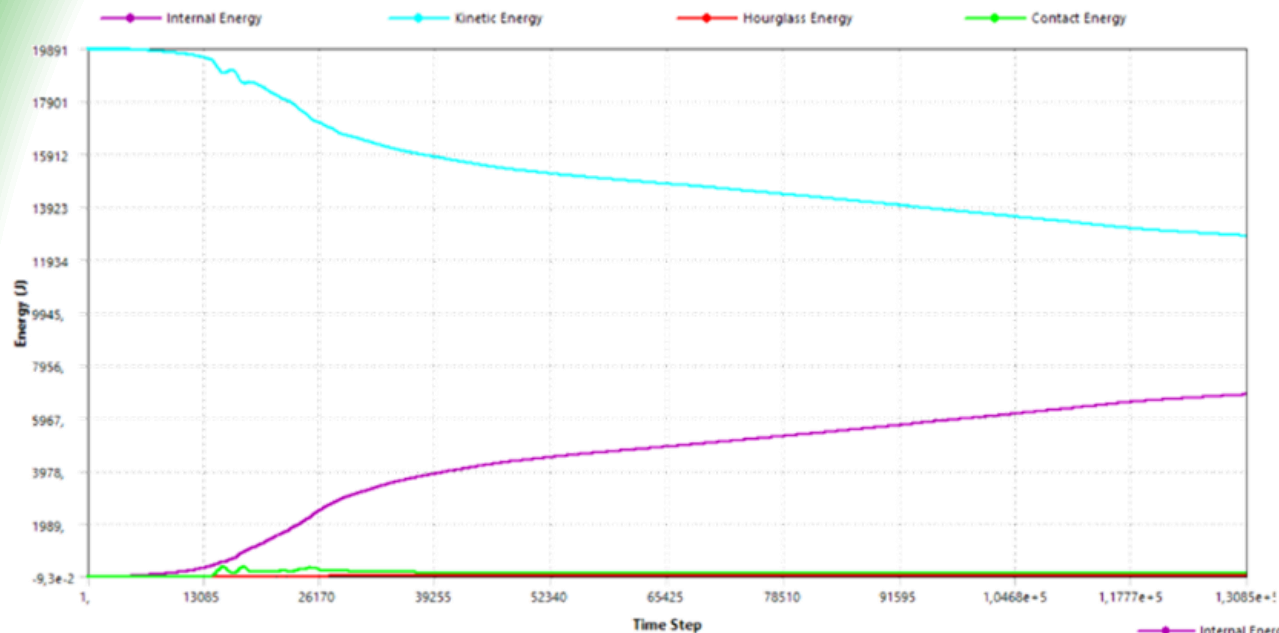
Simulazioni

Primi risultati

Ottimizzazione

Risultati

Conclusioni

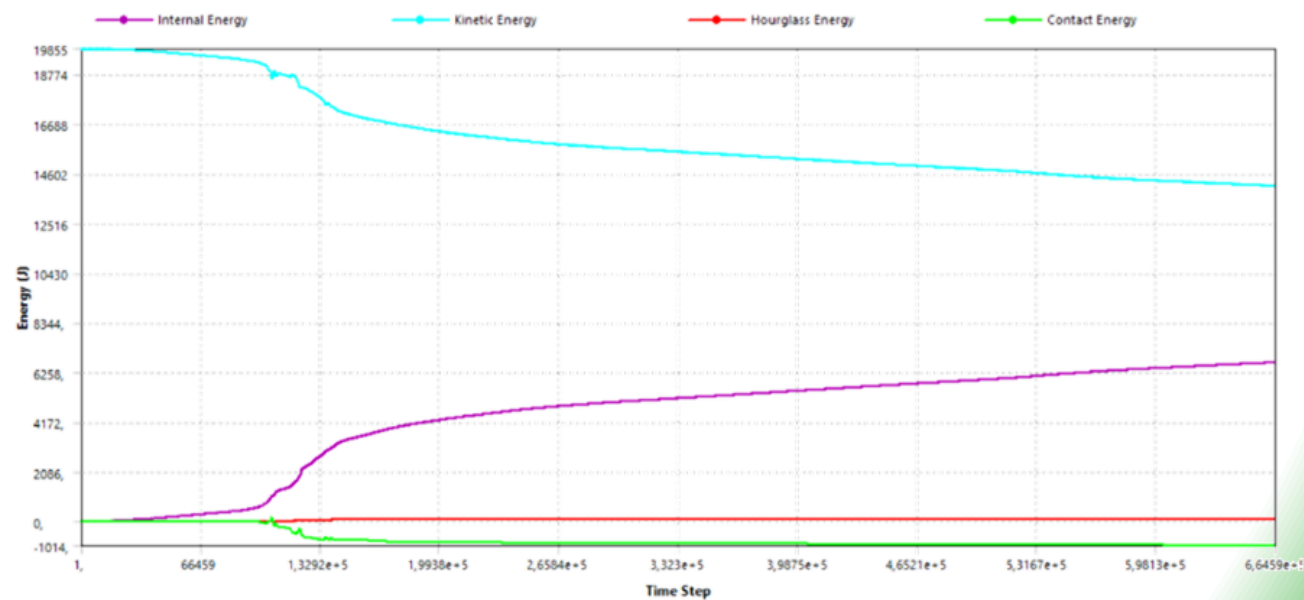


## Cofano originale

Energia cinetica dissipata è di 6900J

## Cofano Honda aggiornato

Energia cinetica dissipata è di 5350J



Introduzione

Morphing

LS-DYNA

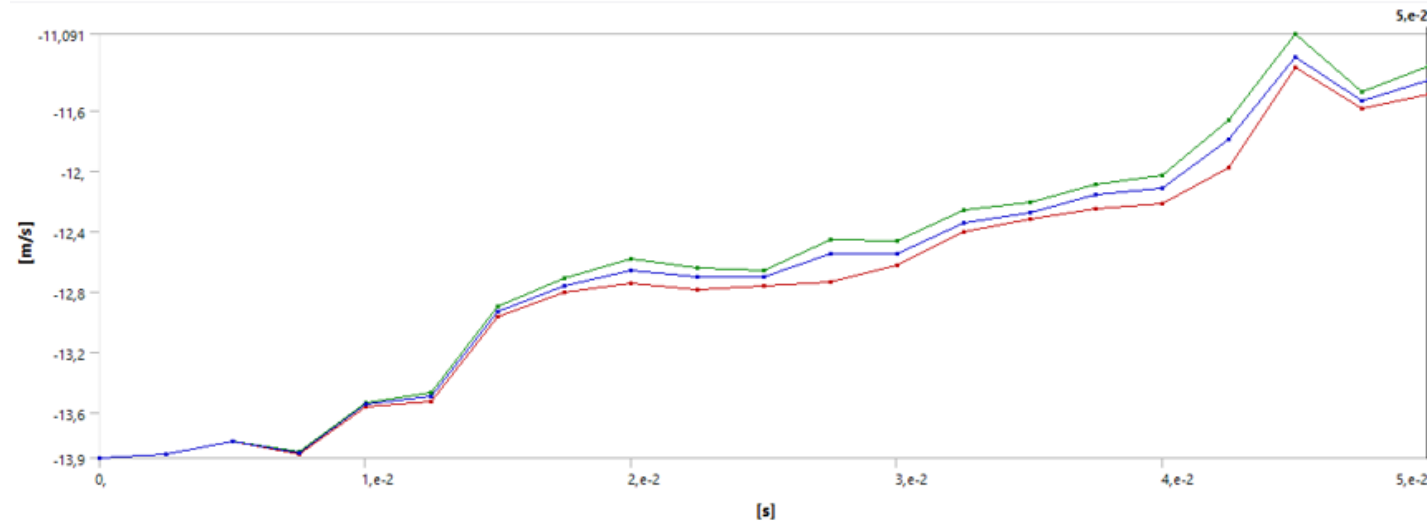
Simulazioni

Primi risultati

Ottimizzazione

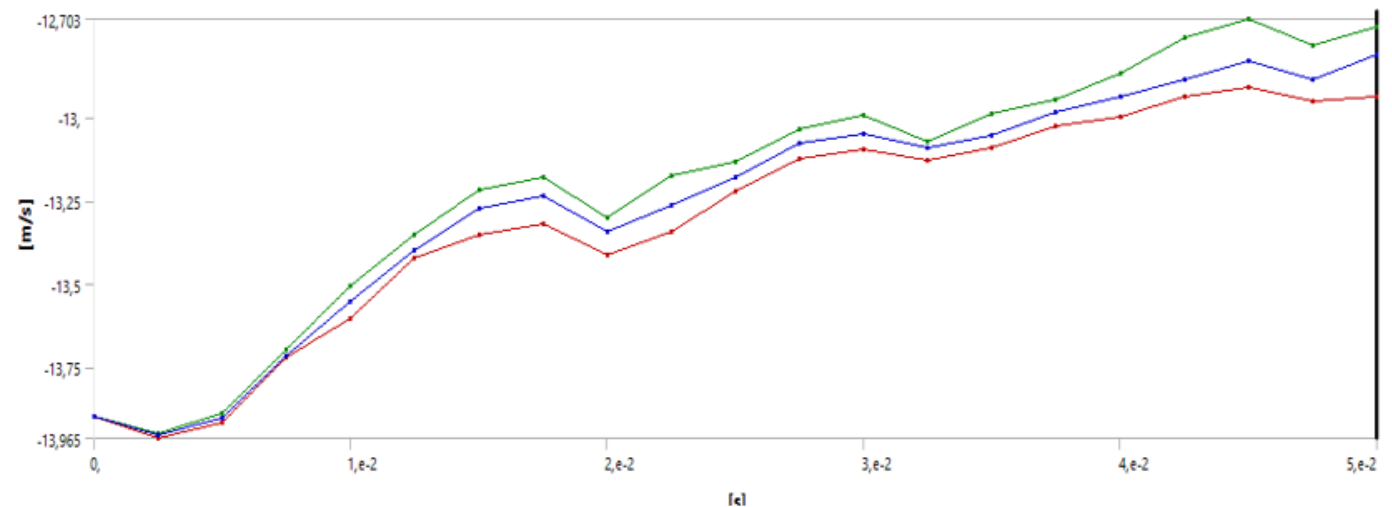
Risultati

Conclusioni



Cofano originale

Cofano Honda aggiornato



Si può osservare nel cofano originale una pendenza diversa che indica un cambiamento di velocità diverso e quindi una decelerazione diversa.

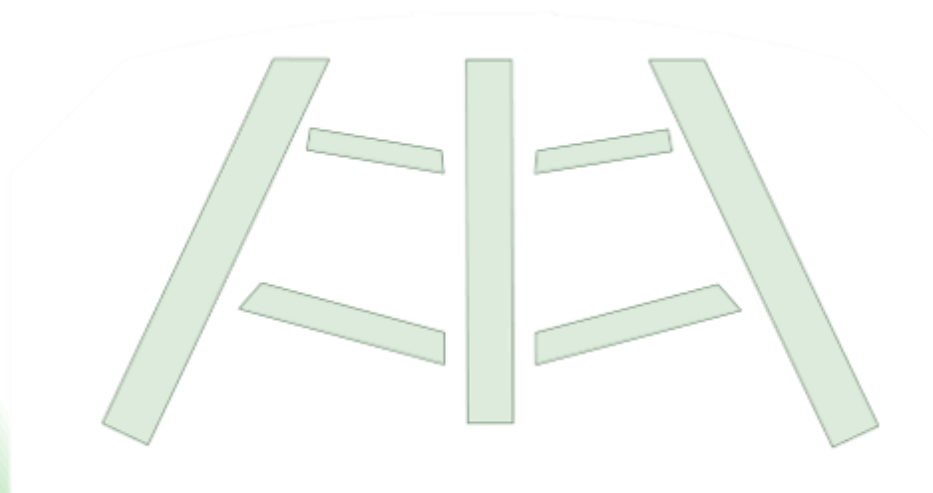


## Ottimizzazione

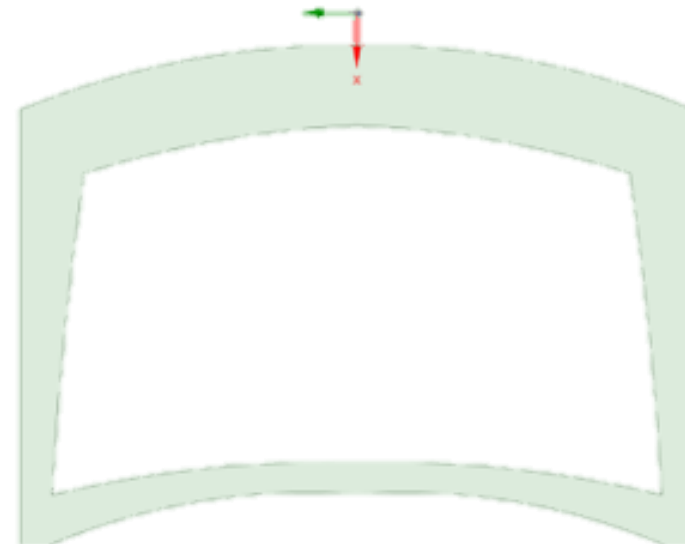
Anche per l'ottimizzazione si è fatto uso della estensione RBF ma questa volta utilizzando il comando di morphing **curve offset**.

La scelta di tale comando è dovuta al fatto che non si vuole ottimizzare solamente il corpo ma sperimentare una tecnica di morphing poco usata che permette di controllare geometrie con mesh di complicata forma attraverso delle semplici superfici guida 2D.

- Creazione superficie guida 1



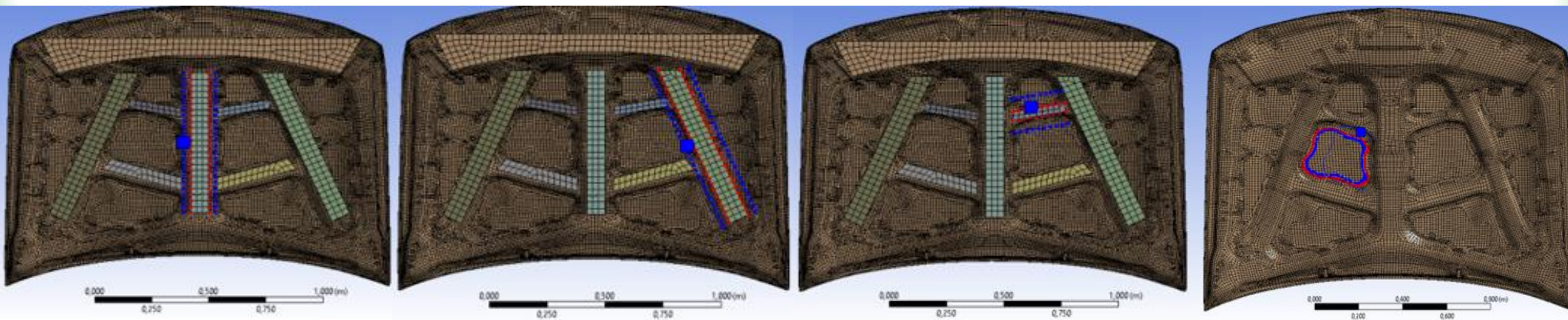
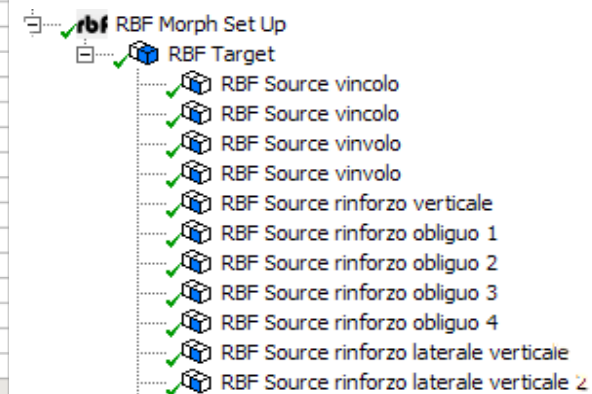
- Creazione superficie guida 2



## Creazione Albero RBF

- Come **Target** è stata selezionata la mesh dell'Honda morphato in Silverado.
- Come **Source** sono stati selezionati gli angoli della superficie guida da spostare per mezzo del comando curve offset e le parti che non si vogliono deformare.

Node Selection	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	2 Edges
General	
Transformation	Curve Offset
<input type="checkbox"/> Curve Offset	0,035 m
Geometry Selection	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
RBF Function	
Degree	1
Combine Select	
Acting On	Undeformed
If Selected Nodes Overlap	Override
Coord Filtering	No
RBF Problem	
<input type="checkbox"/> Source	0
<input type="checkbox"/> Target	55





## Procedimento

### Parametrizzazione

- Si parte da un valore di curve offset negativo e gradualmente si aumenta.

### Valutazione ottimizzazione

- Per ogni ottimizzazione ottenuta si esegue una simulazione e si valuta l'energia cinetica dissipata, lo stress e la decelerazione.

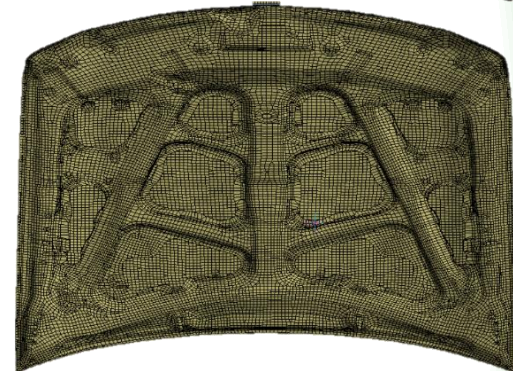
### Ottimizzazione extra

- Trovata la miglior ottimizzazione si applicano ulteriori miglioramenti ad esempio l'inserimento di bugne.

**Cofano ottimizzato 1**



**Cofano ottimizzato 2**



**Cofano ottimizzato 3**



Introduzione

Morphing

LS-DYNA

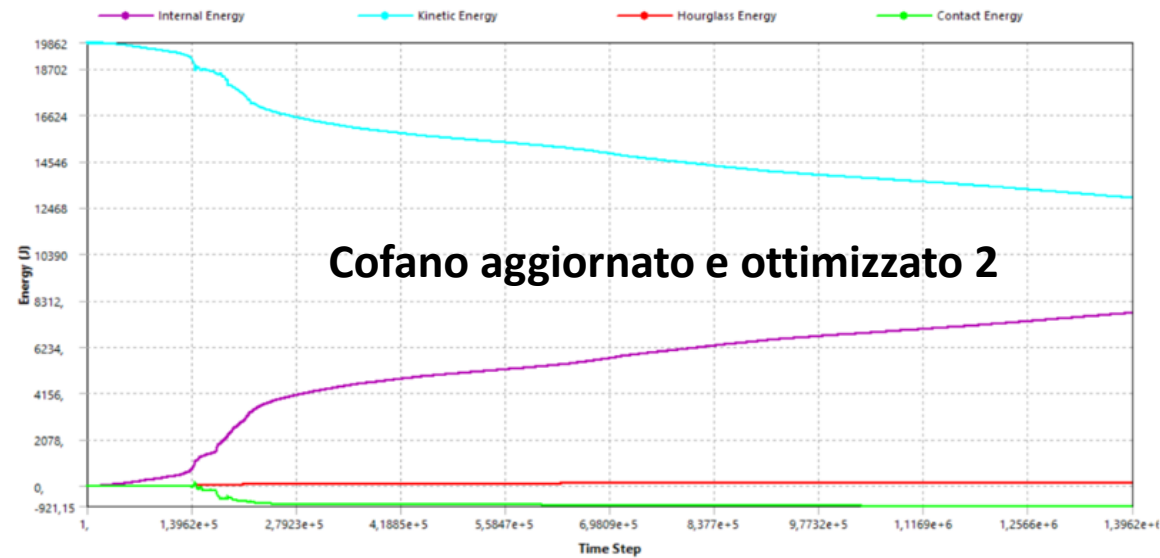
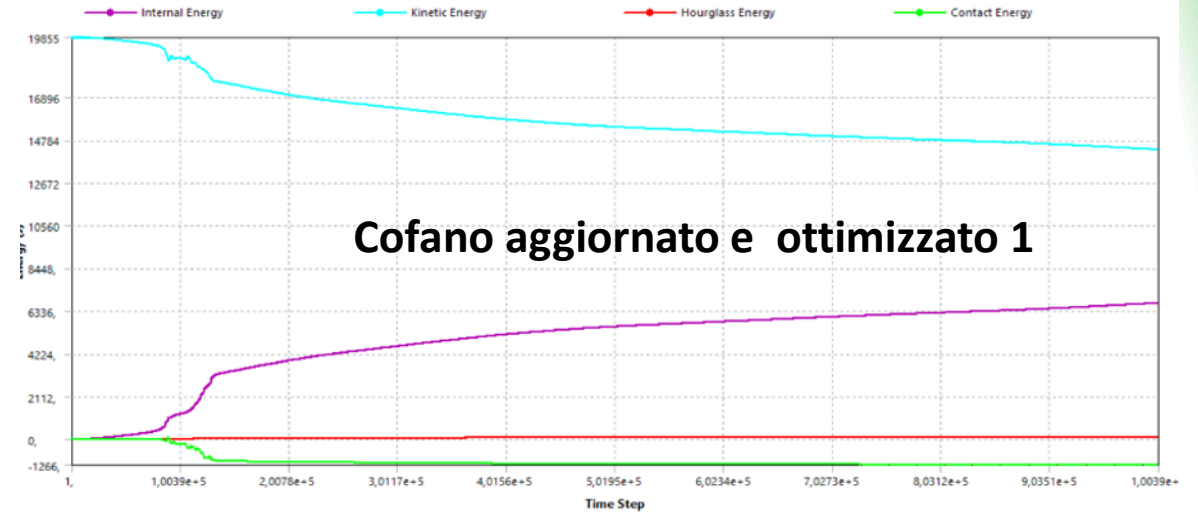
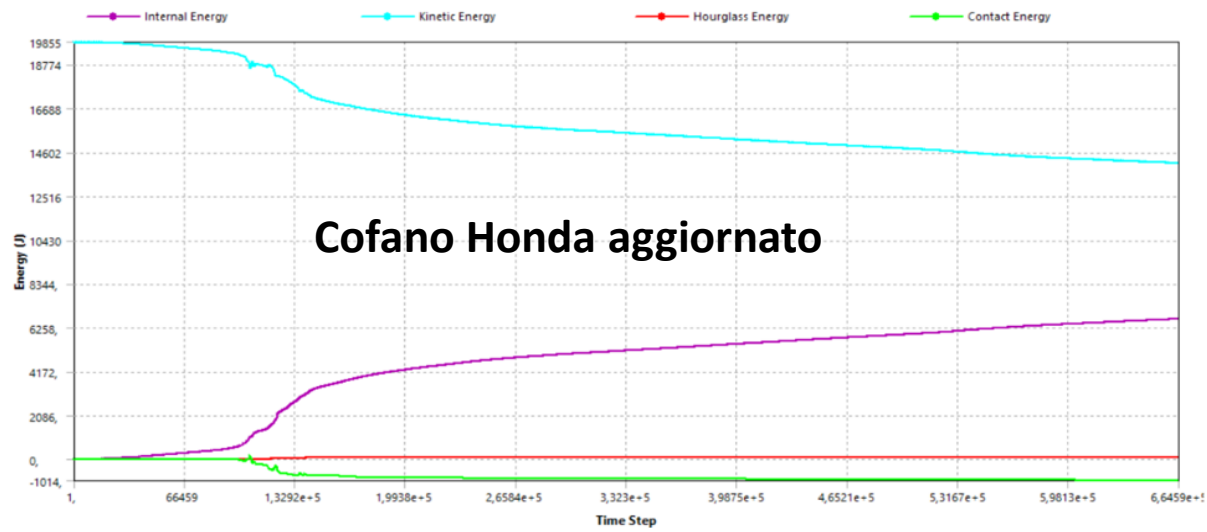
Simulazioni

Primi risultati

Ottimizzazione

Risultati

Conclusioni



Introduzione

Morphing

LS-DYNA

Simulazioni

Primi risultati

Ottimizzazione

Risultati

Conclusioni

## Scelta dell'ottimizzazione

- Tra i grafici dell'energia si può osservare la mancanza del grafico dell'ottimizzazione 3, questo perché aumentando il valore di curve offset in modo eccessivo si arriva ad avere una soluzione che non converge in quanto la degradazione della qualità della mesh è eccessiva.

Confrontando i grafici si può notare un correlazione tra l'aumento di rigidezza del corpo e l'energia dissipata dal corpo dopo 0,05 secondi, infatti:

Cofano morphato  
non ottimizzato

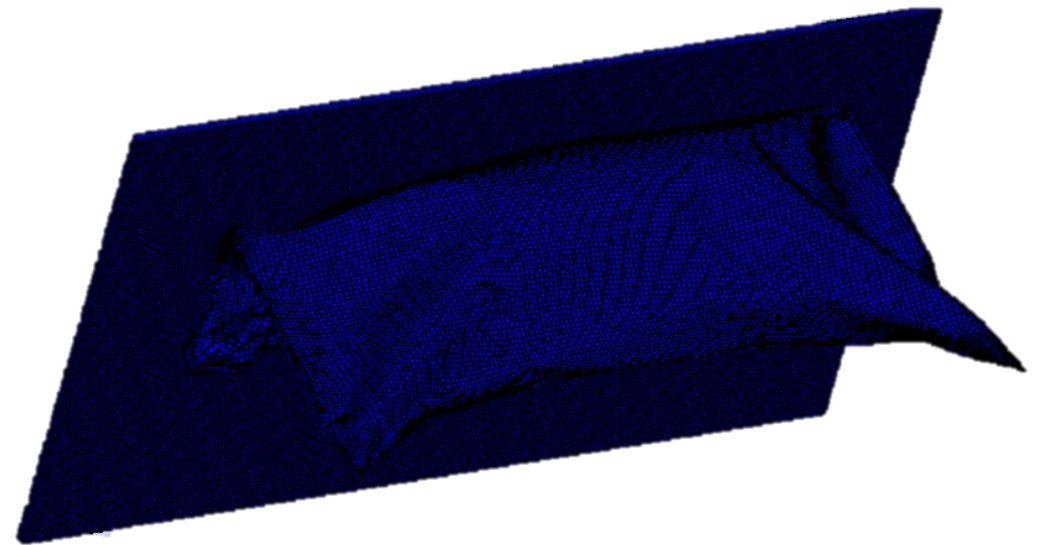
- Energia dissipata è di 5250J

Cofano ottimizzato  
1  
(diminuzione dei  
supporti )

- Energia dissipata è di 5200J

Cofano ottimizzato  
2  
(ingrandimento dei  
supporti )

- Energia dissipata è di 7355J



Introduzione

Morphing

LS-DYNA

Simulazioni

Primi risultati

Ottimizzazione

Risultati

Conclusioni

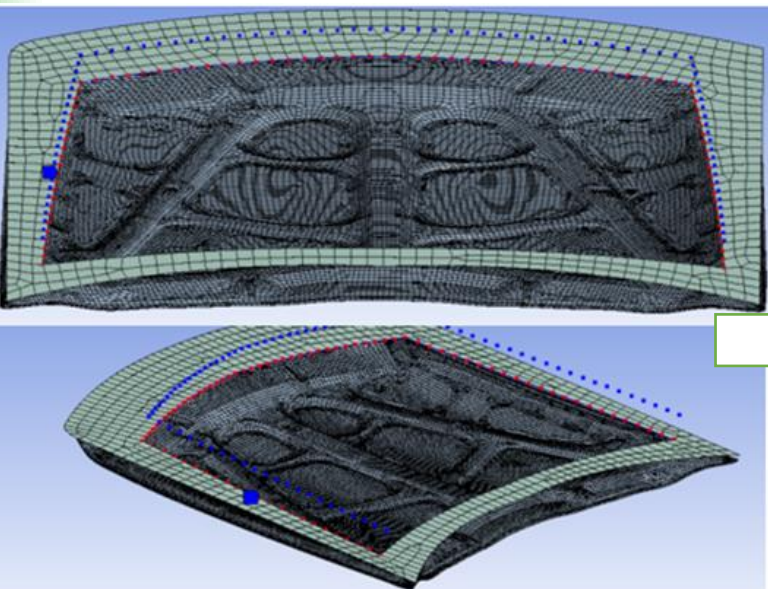
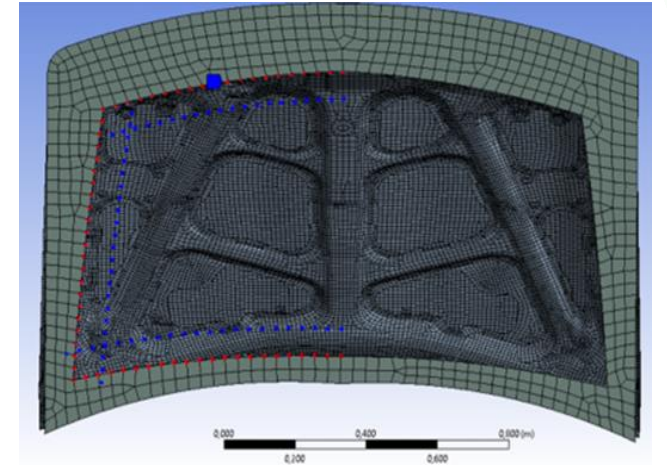
# Ottimizzazione 2



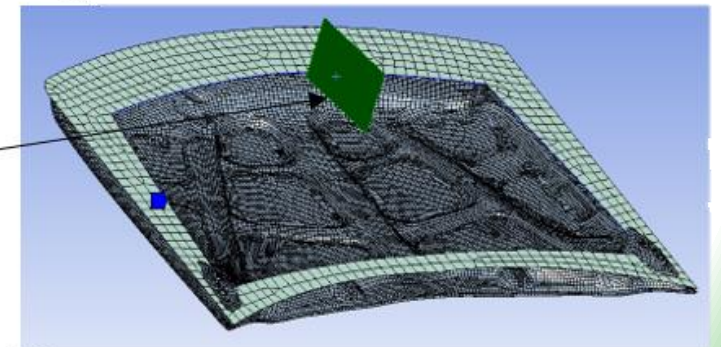


## Ottimizzazione 4

Lo step successivo a partire dall'ottimizzazione 2 è stato proseguire con il rinforzare del cofano, agendo sulla cornice esterna per mezzo della superficie guida 2 e successivamente creando delle bugne.



Details of "RBF Source"	
Node Selection	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	4 Edges
General	
Transformation	Curve Offset
<input type="checkbox"/> Curve Offset	0,07 m
Geometry Selection	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	Apply
RBF Function	
Degree	1
Combine Select	
Acting On	Undeformed
If Selected Nodes Overlap	Override
Coord Filtering	No
RBF Problem	
<input type="checkbox"/> Source	0
<input type="checkbox"/> Target	86



Introduzione

Morphing

LS-DYNA

Simulazioni

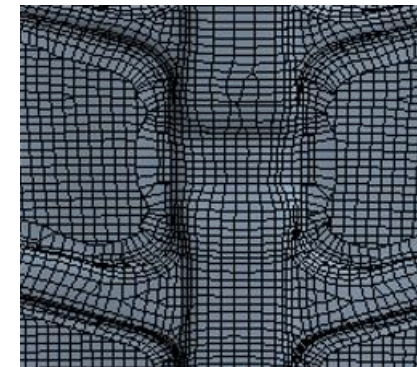
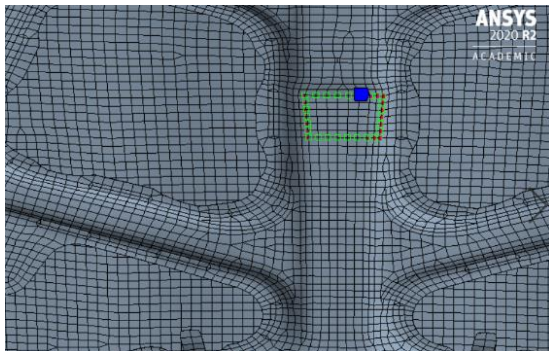
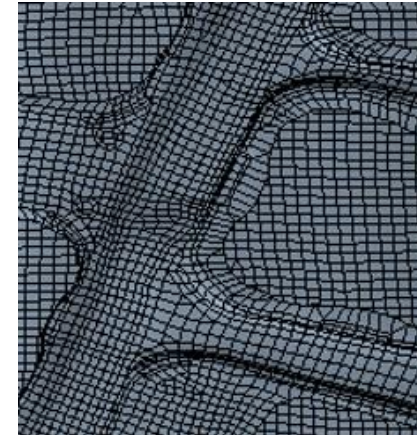
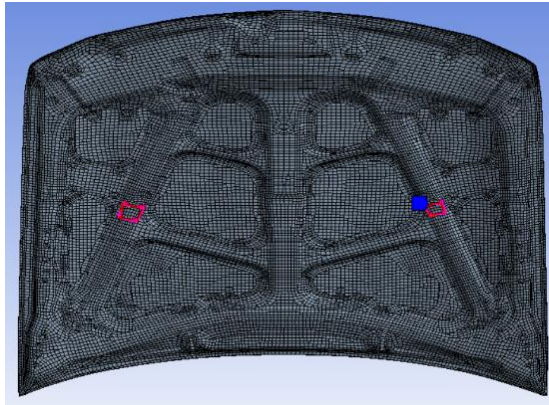
Primi risultati

Ottimizzazione

Risultati

Conclusioni

Per la creazione delle bugne si è fatto uso del comando di morphing traslazione ottenendo il seguente risultato.



Introduzione

Morphing

LS-DYNA

Simulazioni

Primi risultati

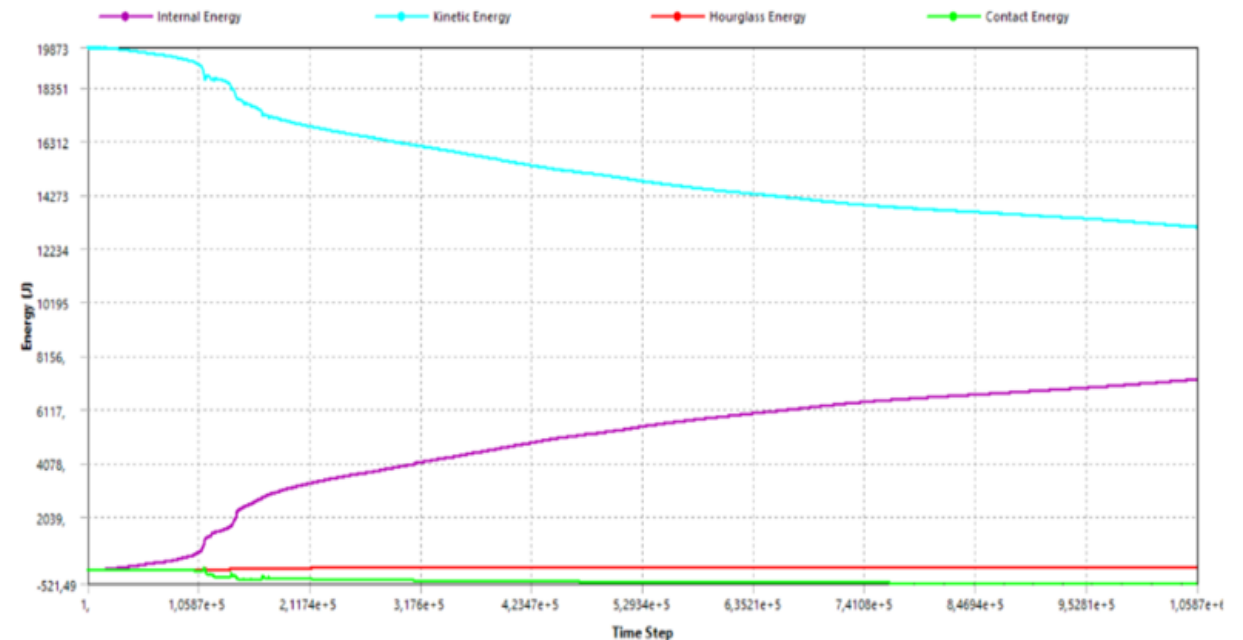
Ottimizzazione

Risultati

Conclusioni

Come si può vedere dal grafico seguente, l'ottimizzazione 4 non ha portato grandi risultati, infatti l'energia dissipata cambia di poco poiché l'aumento eccessivo di rigidità comporta un aumento della energia interna assorbita dal corpo ma una minore energia dissipata nel contatto.

Inoltre avere un corpo troppo rigido non è buon segno di ottimizzazione poiché comporta decelerazioni brusche che possono danneggiare i conducenti del veicolo.



L: Is dyna ottimizzato1

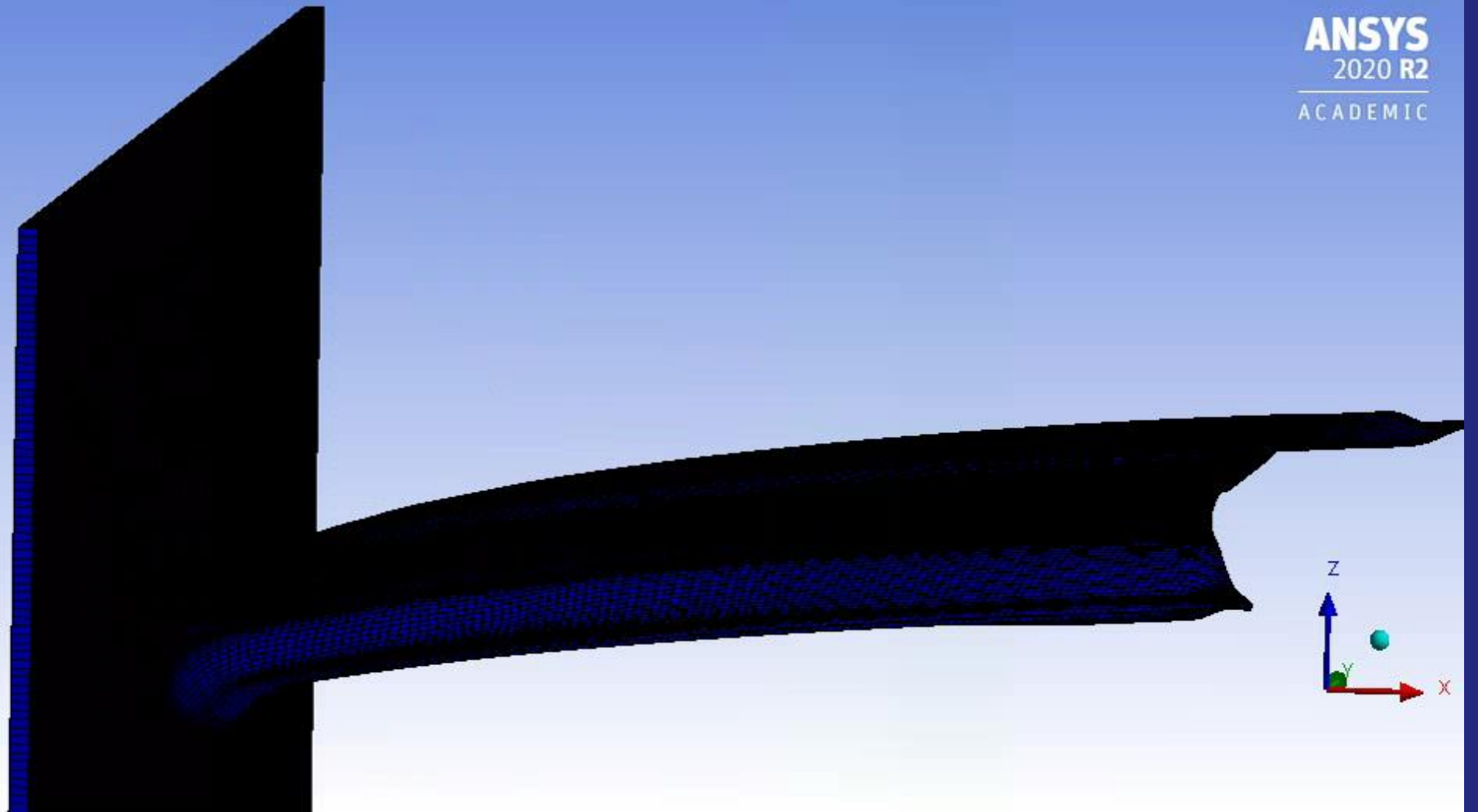
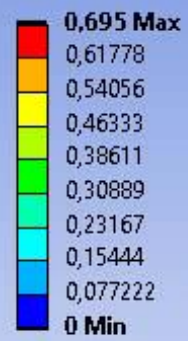
Total Deformation

Type: Total Deformation

Unit: m

Time: 5,0505e-004

10/02/2021 16:35



Introduzione

Morphing

LS-DYNA

Simulazioni

Primi risultati

Ottimizzazione

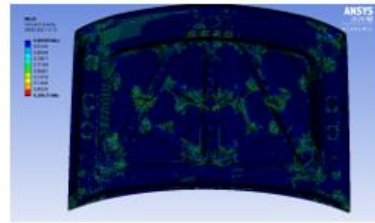
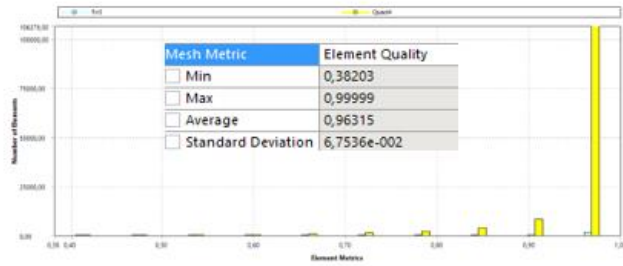
Risultati

Conclusioni

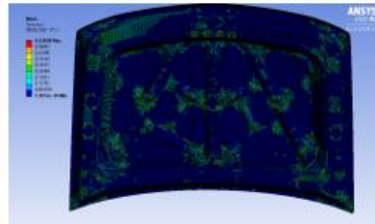
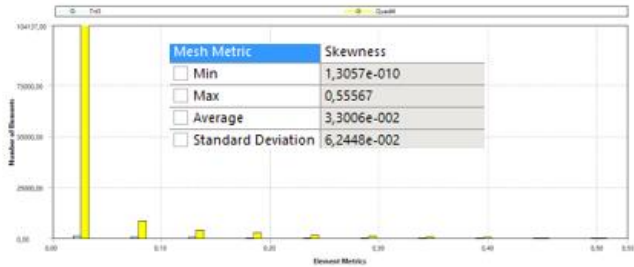
# Mesh

## Cofano Silverado

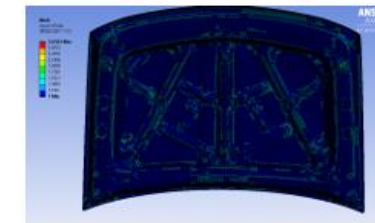
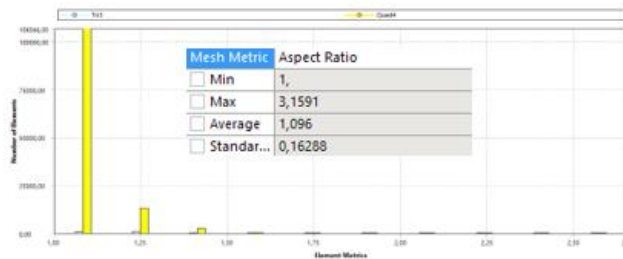
### • Element quality



### • Skewness

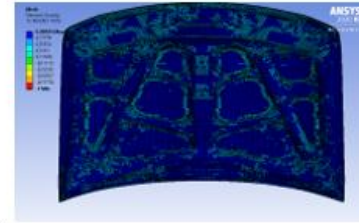
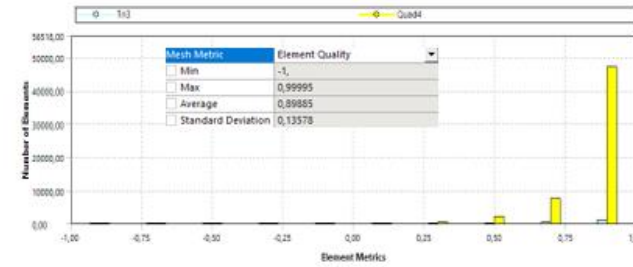


### • Aspect ratio

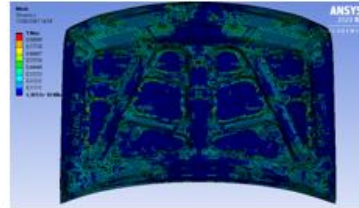
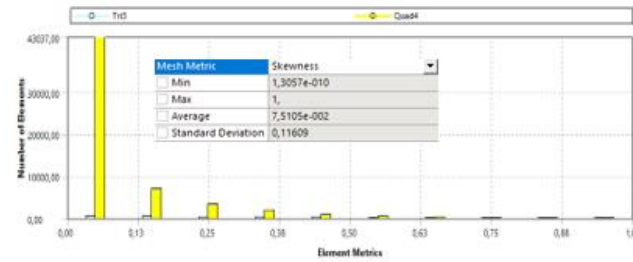


## Cofano Honda aggiornato e ottimizzato

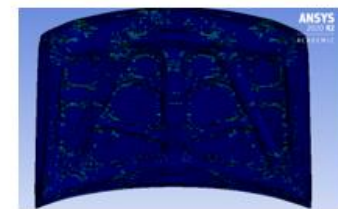
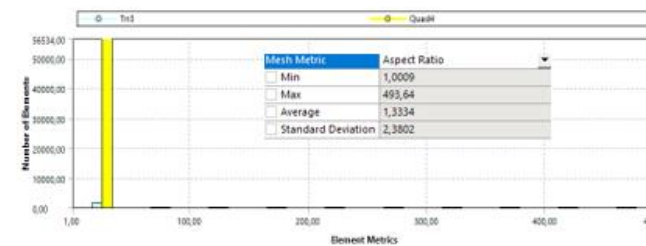
### • Element quality



### • Skewness



### • Aspect ratio

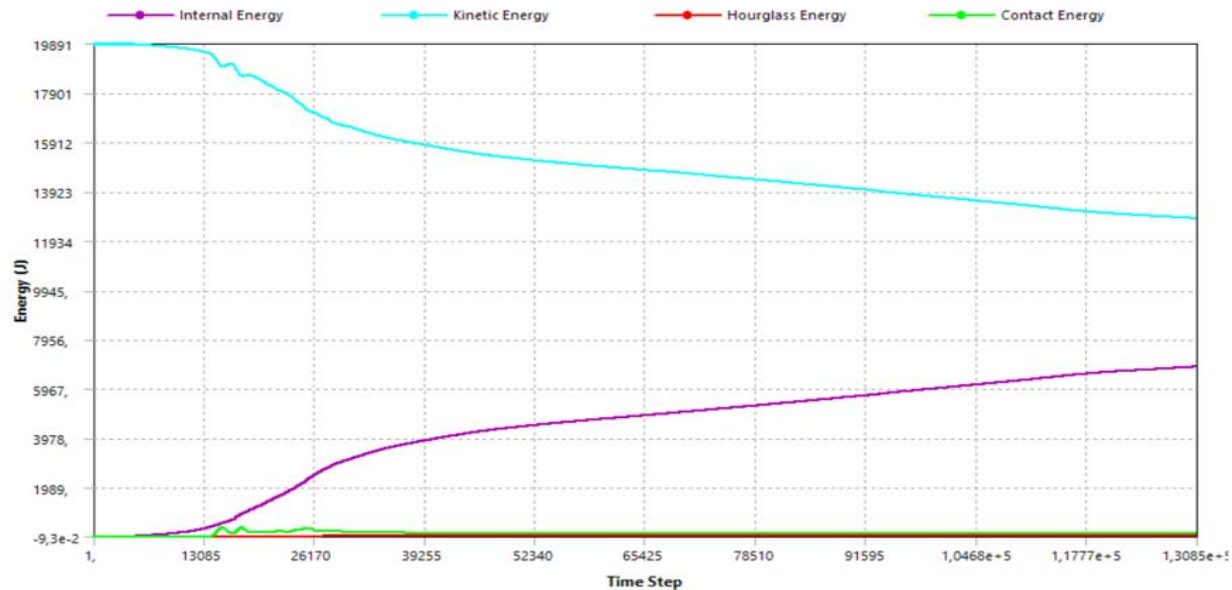




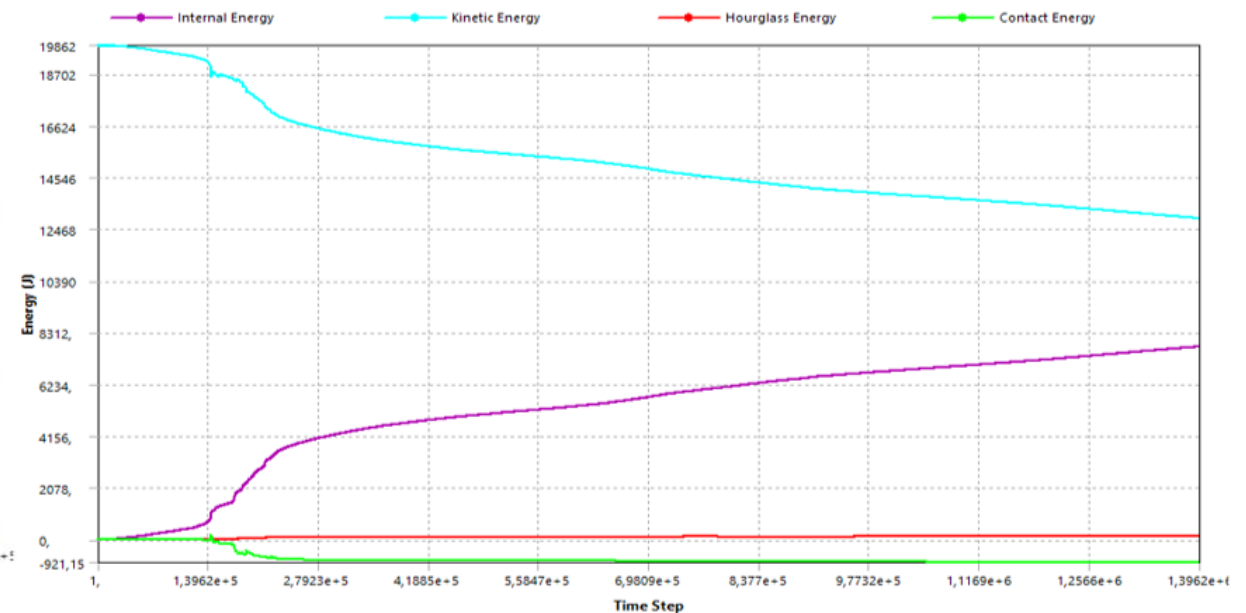
# Energia

Molto simile è l'energia cinetica dissipata nel crash dei 2 cofani, infatti il cofano originale dissipa 6900J mentre il cofano ottimizzato leggermente di più, ovvero 7355J. Tale risultato può essere considerato come indice di una buona ottimizzazione.

## Cofano originale



## Cofano Honda aggiornato e ottimizzato



Introduzione

Morphing

LS-DYNA

Simulazioni

Primi risultati

Ottimizzazione

Risultati

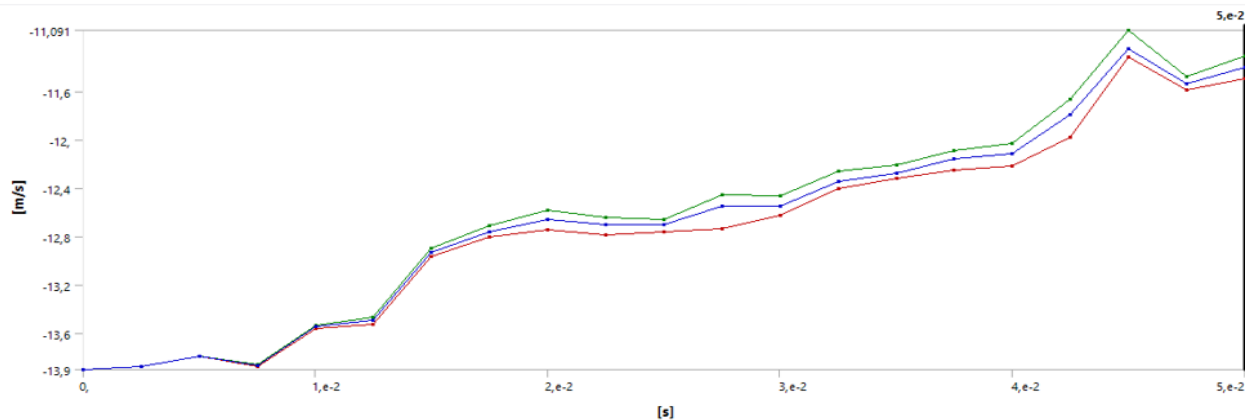
Conclusioni

## Velocità finale

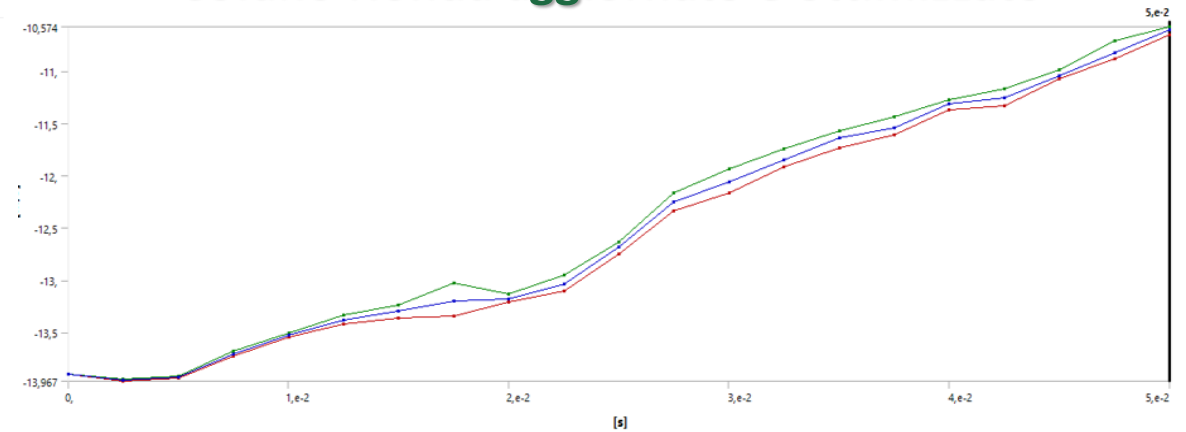
La diminuzione dell'energia cinetica è strettamente legata alla variazione delle velocità del corpo, infatti come si può osservare nei grafici seguenti il corpo ottimizzato dopo 0,05 secondi arriva ad una velocità finale di 10,5m/s mentre il cofano originale ad una velocità di 11 m/s.

Questa piccola differenza è dovuta al fatto che l'energia dissipata dal cofano della Honda aggiornato e ottimizzato è maggiore.

### Cofano originale



### Cofano Honda aggiornato e ottimizzato



Introduzione

Morphing

LS-DYNA

Simulazioni

Primi risultati

Ottimizzazione

Risultati

Conclusioni

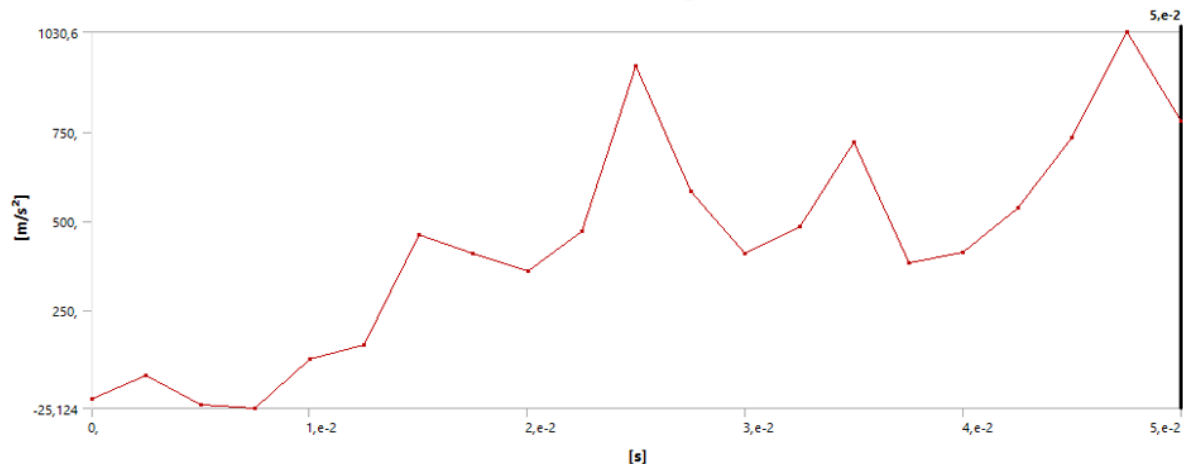
## Decelerazione

Requisito fondamentale da soddisfare per la sicurezza dei passeggeri e molto utile per capire se il cofano non ha anomalie durante il crash è l'accelerazione. Infatti, una decelerazione molto brusca può comportare anche la morte dei passeggeri.

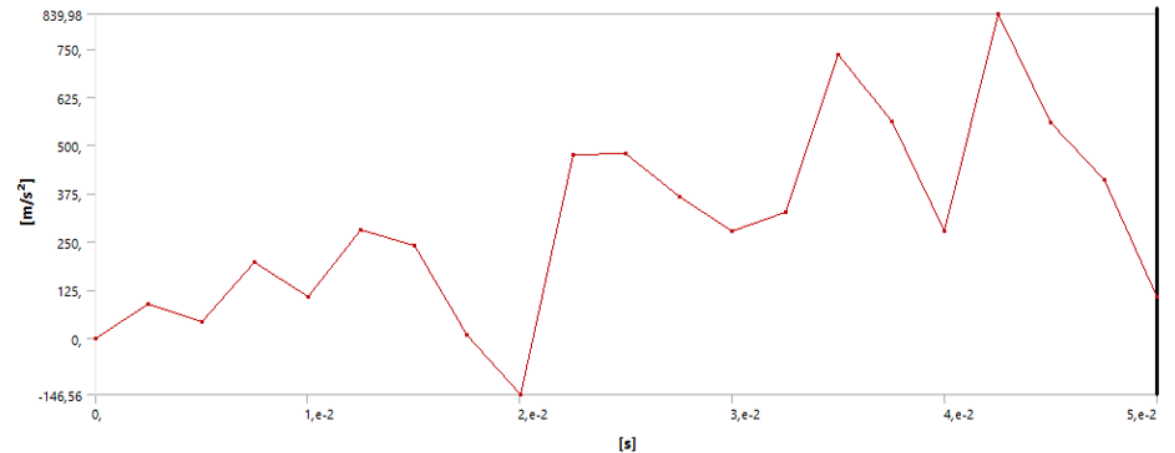
Come si osserva nel seguente grafico il cofano ottimizzato anche diminuendo maggiormente la velocità dopo 0,05 s ha un'accelerazione istantanea minore del cofano originale, questo comporta una decelerazione più lineare e meno pericolosa per i passeggeri.

In questo caso non ci aspettiamo di avere decelerazioni confrontabili con quelle dell'abitacolo di un'automobile ovvero inferiore a 15g ma si avranno decelerazioni più grandi date dal fatto che stiamo considerando solo il cofano.

### Cofano originale



### Cofano Honda aggiornato e ottimizzato





Introduzione

Morphing

LS-DYNA

Simulazioni

Primi risultati

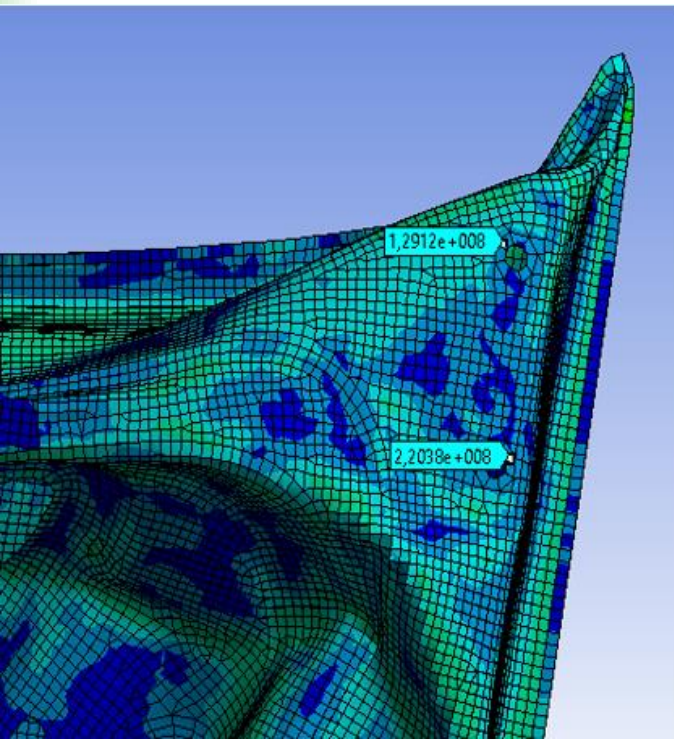
Ottimizzazione

Risultati

Conclusioni

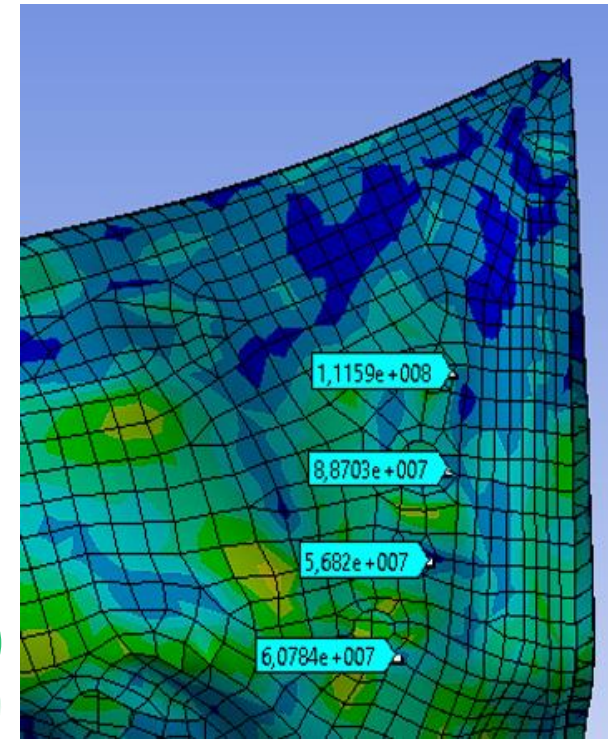
## Stress


Requisito finale da tenere bene in mente consiste nel fatto che il cofano rimanga ben collegato al telaio dell'auto. Per garantire che questo requisito sia soddisfatto, si va a valutare lo stress nei punti di collegamento del cofano con il telaio, ovvero nelle cerniere.



Originale

Ottimizzato





Introduzione

Morphing

LS-DYNA

Simulazioni

Primi risultati

Ottimizzazione

Risultati

Conclusioni

## Conclusioni

Lo studio svolto ha dimostrato che la tecnica di morphing è molto valida in ambito automotive per avere rapidi risultati e una conservazione degli studi fatti precedentemente su altri modelli.

L'ingegnere può così concentrarsi principalmente sulla sola ottimizzazione del componente da progettare.

Nel caso analizzato è possibile affermare che attraverso il morphing e delle piccole ottimizzazioni si sono riusciti ad ottenere, tra 2 cofani molto differenti sia di dimensioni che di forma, dei risultati in termini di energia, decelerazione e stress molto simili.

Ottimizzazione delle prestazioni  
ad urto frontale di un cofano  
automobilistico mediante  
simulazioni agli elementi finiti  
espliciti e mesh morphing

---

LAUREANDO

MANUEL VOLPONI

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**