

CHASSIS AND BODY DESIGN AND MANUFACTURING

# **Progettazione di strutture cellulari leggere ottimizzate per il settore automotive sotto l'effetto di carichi statici e dinamici**

Relatore:

Prof. Massimiliano De Agostinis

Candidato:

Andrea Paffetti

Correlatore:

Ing. Mattia Mele

Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIN)

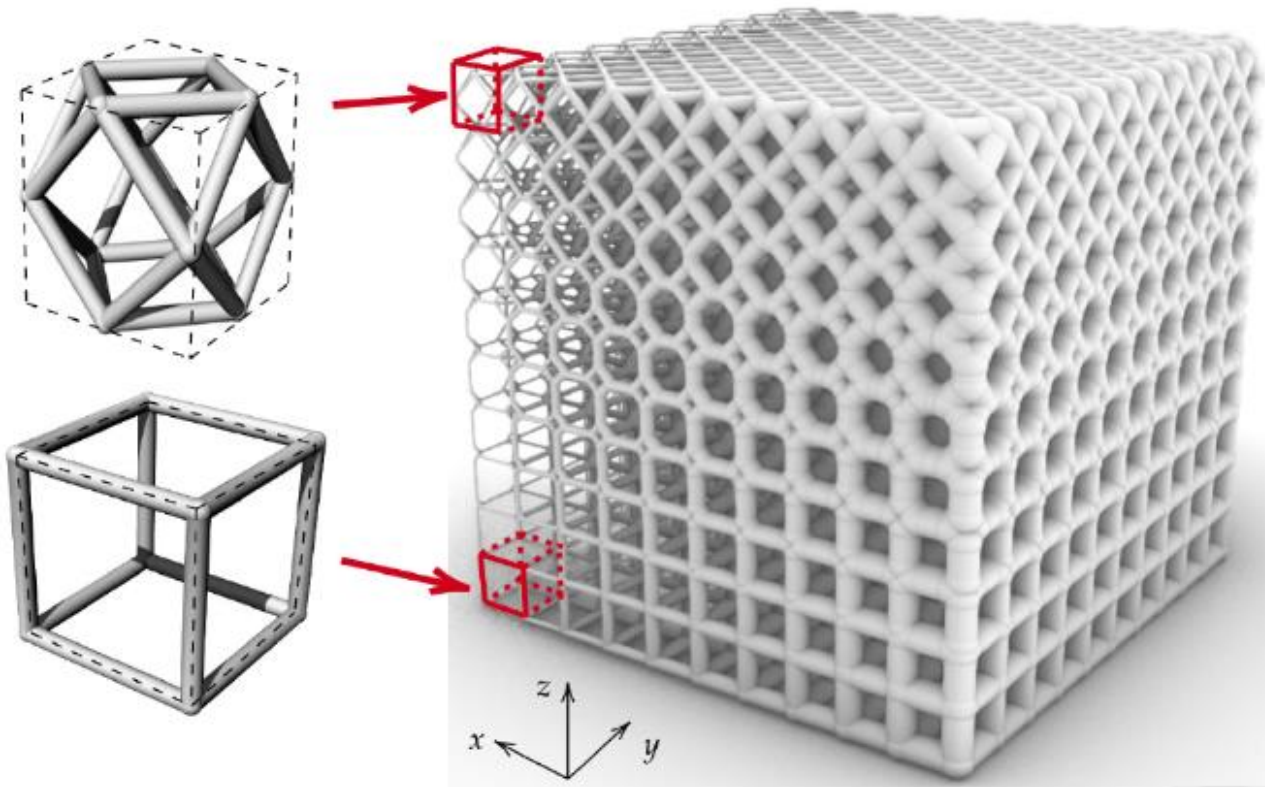
12/04/2025



# Introduzione

## Alleggerimento strutturale

1. Materiali a bassa densità → leghe di titanio e alluminio.
2. Design ottimizzati dal punto di vista geometrico → strutture cellulari.



I solidi cellulari sono costituiti da elementi contigui chiamate celle (mesoscala) con spigoli e facce condivise, disposti in modo da occupare un volume prestabilito (macroscala).

Sourced from:

[https://www.researchgate.net/publication/364330894\\_Beam\\_based\\_lattice\\_topology\\_transition\\_with\\_function\\_representation](https://www.researchgate.net/publication/364330894_Beam_based_lattice_topology_transition_with_function_representation)

## Applicazioni

Ampiamente utilizzati nel settore aerospaziale, automotive e nel biomedicale.

## Vantaggi

Bassa densità, elevato rapporto resistenza-peso e buone proprietà di isolamento termico e acustico.

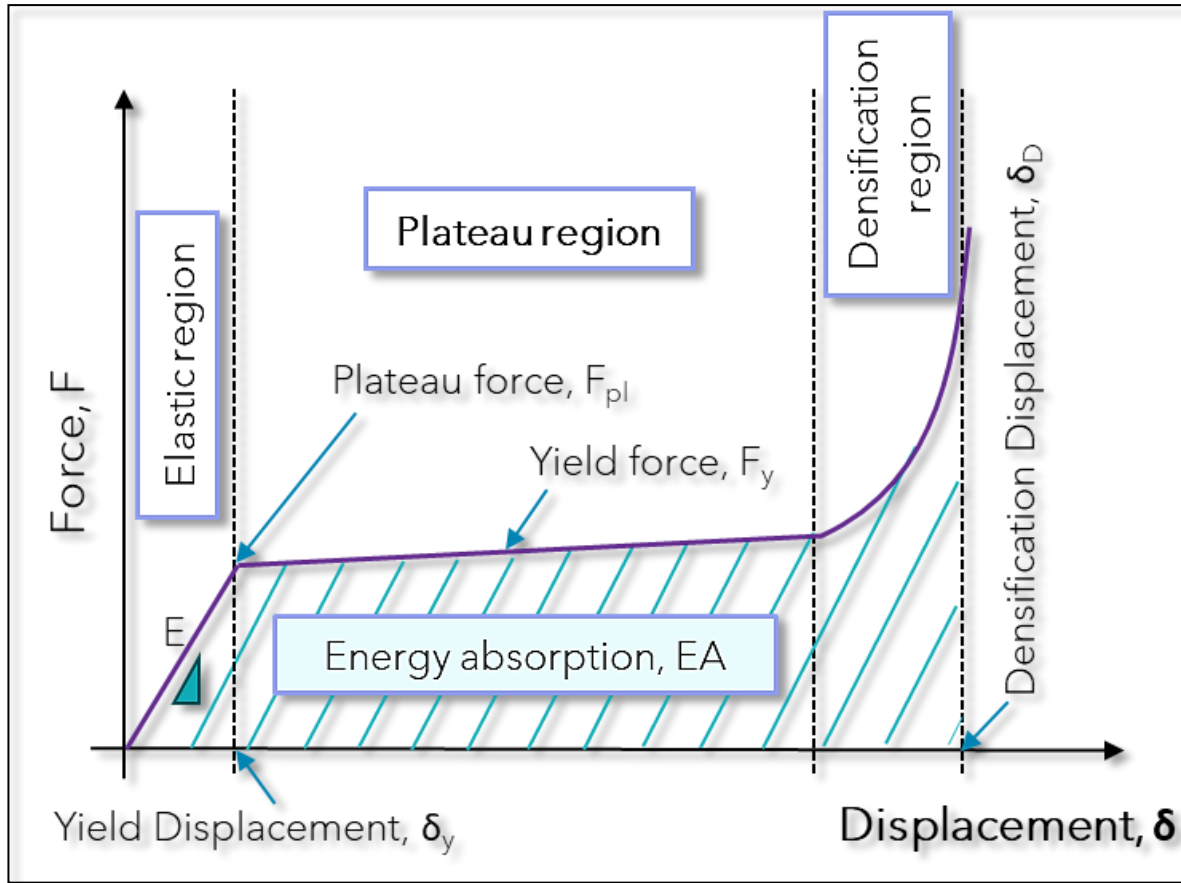
## Energia assorbita

Spiccata capacità di deformarsi riuscendo ad assorbire favorevolmente urti e impatti, sia in campo statico che dinamico.



# Energia assorbita

L'energia assorbita viene definita come l'area sottesa dalla curva forza-spostamento.

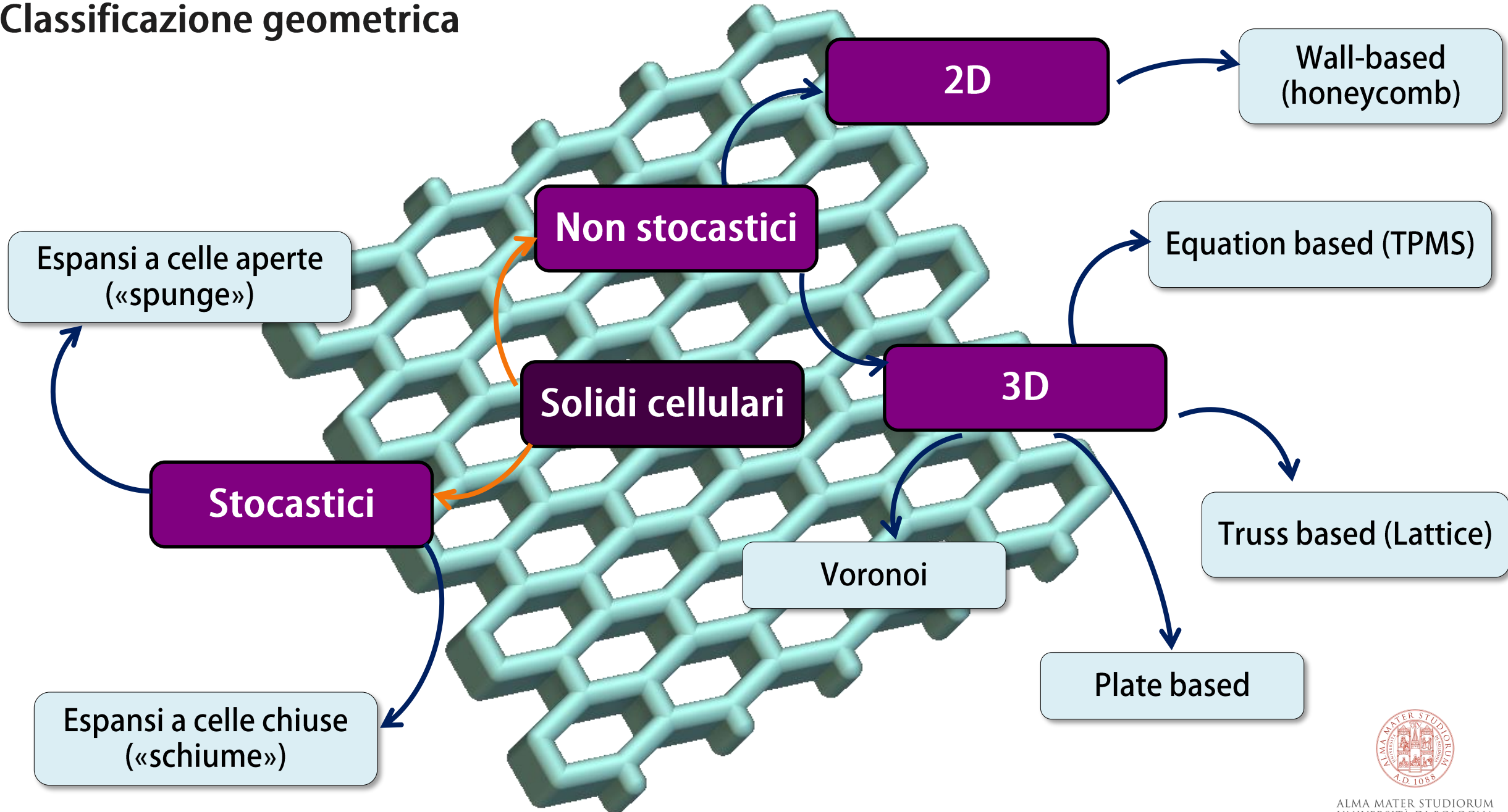


Nei materiali cellulari sottoposti a compressione quasi-statica (bassi regimi di deformazione), la curva  $F - \delta$  si articola in tre fasi distinte:

- Elastica
- Plastica
- Densificazione

La forma dipende da materiale, topologia della cella e velocità di applicazione del carico.

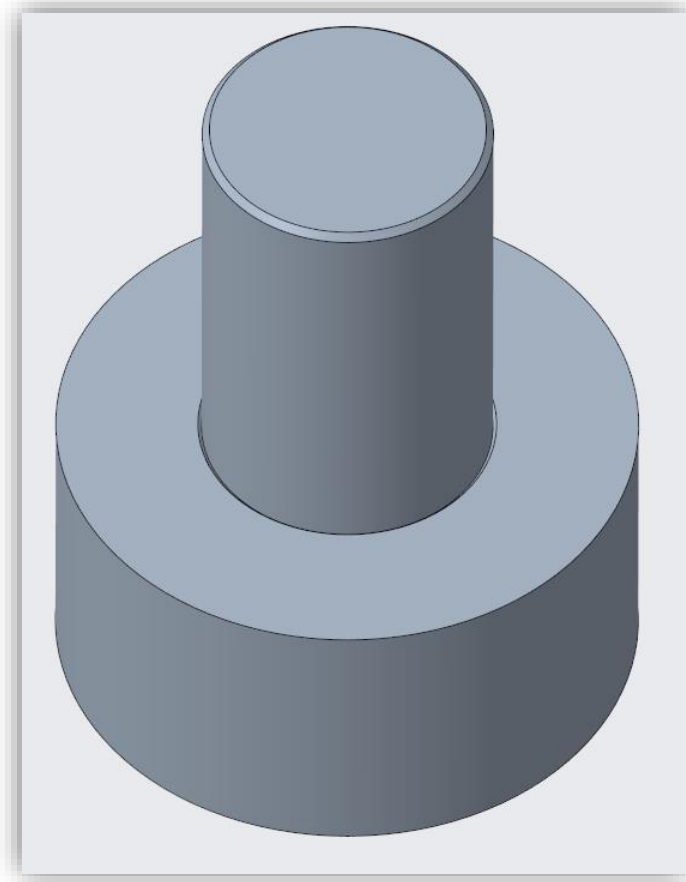
# Classificazione geometrica



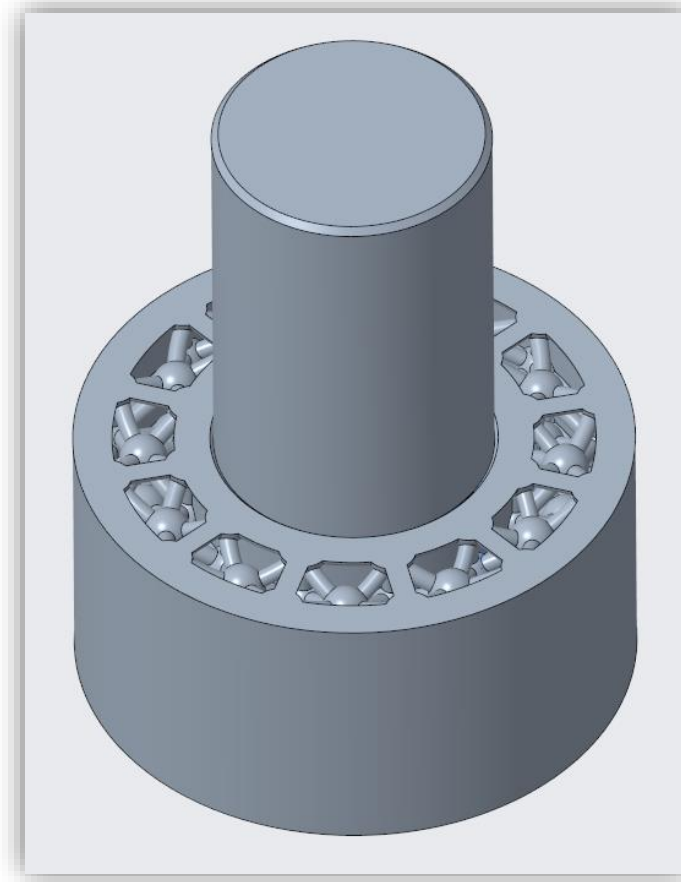
# Obiettivo dello studio

Il presente elaborato ha l'obiettivo di riprogettare, sotto il profilo geometrico e funzionale, la parte cava di un collegamento cilindrico di tipo pin-collar, mediante l'introduzione di architetture cellulari nel provino.

(Normative di riferimento:  
ISO 10123 e ASTM  
D4562-01).



Classico



Lightweight

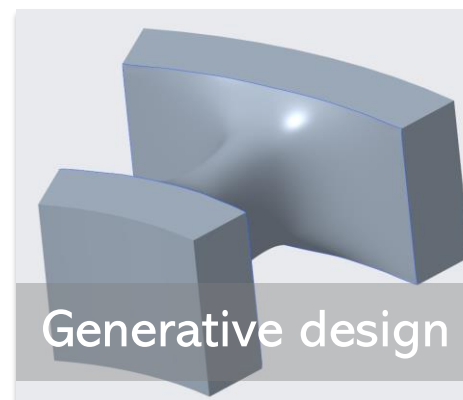
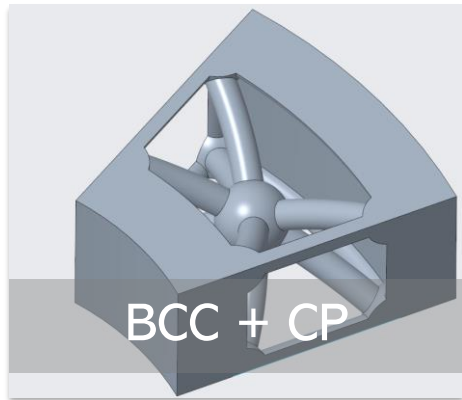


# Materiali e metodi

Precursore → polveri di **AISI 316L** → proprietà meccaniche mediate

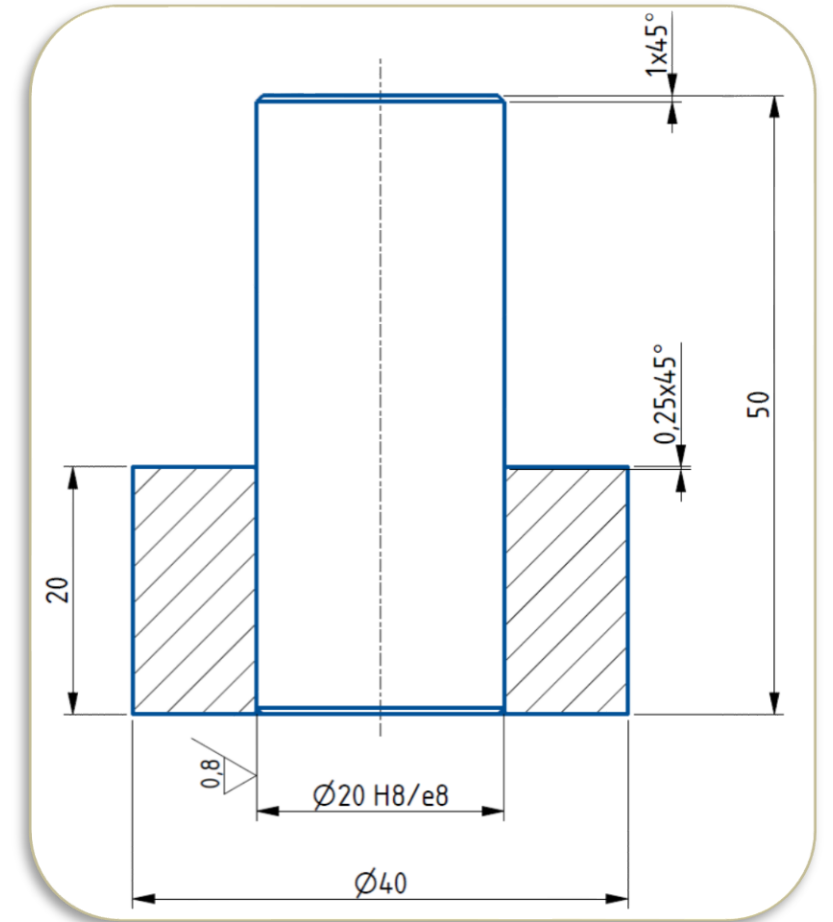
Adesivo → resina epossidica **LOCTITE® Hysol® 9466** ( $\tau_{ad} = 37$  MPa)

Sono state modellate **tre** celle differenti:



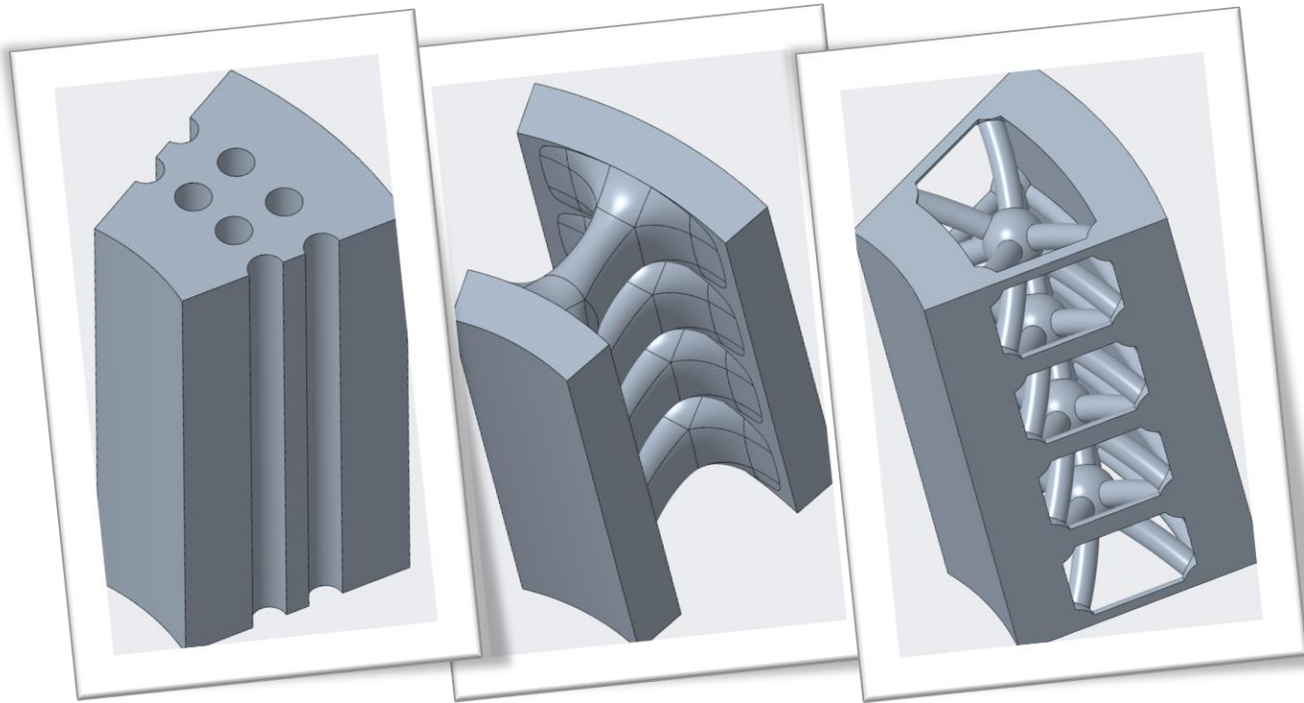
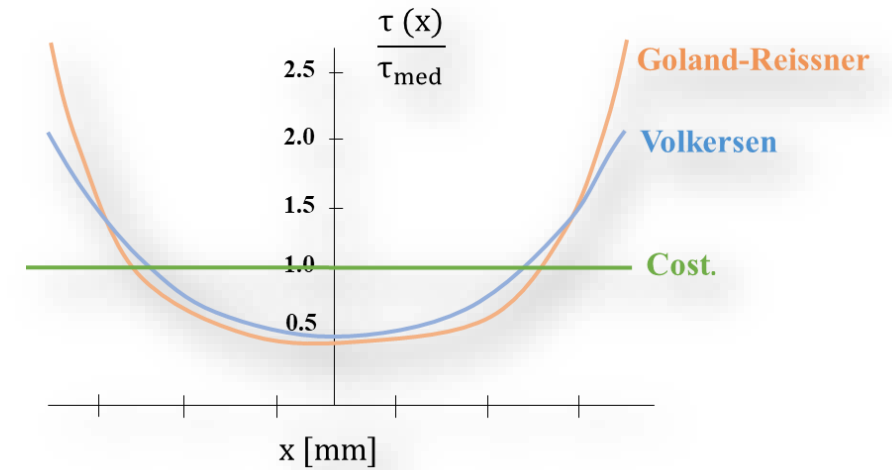
Le architetture cellulari sono delimitate tra  $\varnothing 24$  mm e  $\varnothing 36$  mm, garantendo layer pieni da 2 mm all'interno e all'esterno per massimizzare l'area di contatto, migliorare la maneggevolezza e la stabilità del giunto.

Il collar completo è composto da **48** unità elementari (12 circonferenziali  $\times$  4 livelli sovrapposti).



# Ipotesi preliminari

- Tensione adesiva ( $\tau_{ad}$ ) **costante** lungo tutta l'area di contatto, trascurando effetti di bordo e variazioni locali.
- Analisi FEM **statica** in campo **lineare elastico**: si ricerca la cella che si deforma maggiormente (maggior spostamento).
- Simulazione dell'intero spessore per via di limiti di licenza.

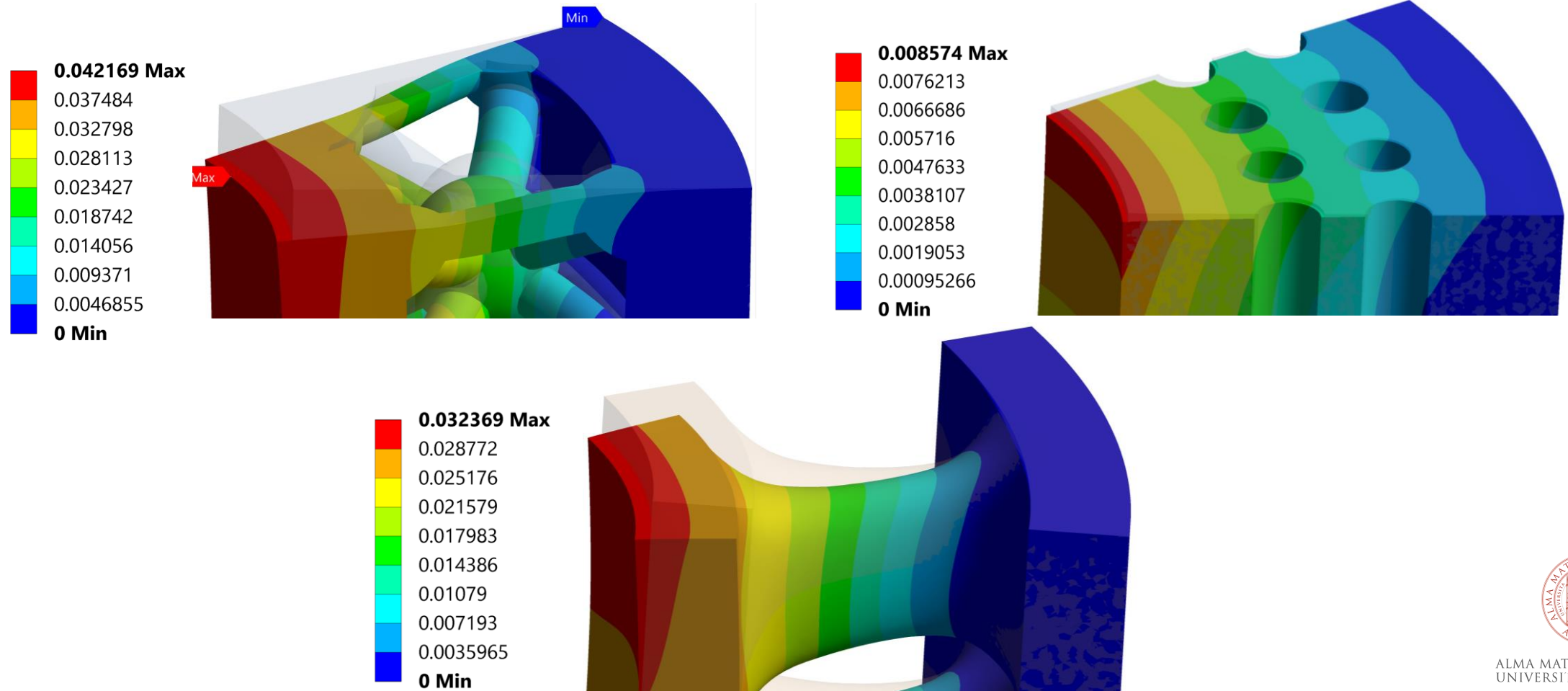


- Impostazione del vincolo di simmetria ciclica e applicazione della forza adesiva media sul diametro interno.
- **Processo iterativo** di ottimizzazione geometrica: garantire che la rottura avvenga nell'adesivo e non nel collar.



# Risultati

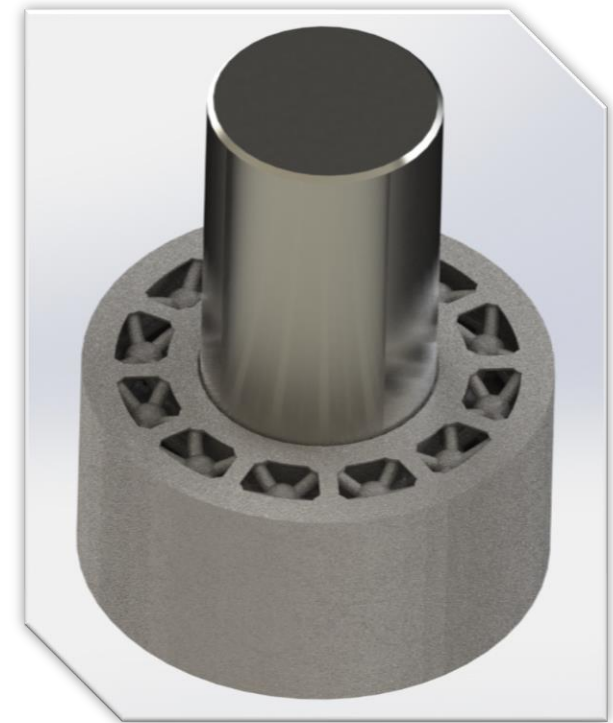
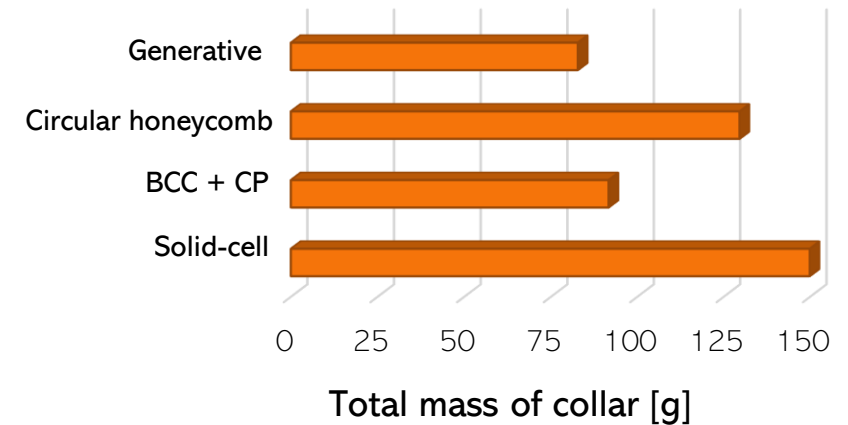
Le tensioni di von Mises risultano generalmente inferiori rispetto al limite di snervamento del materiale ( $\sigma_y = 470$  MPa), ad eccezione di picchi localizzati attribuibili a una discretizzazione di mesh non ottimale (limiti sui nodi). Il comportamento globale risulta quindi elastico, senza evidenti fenomeni di plasticizzazione per tutti i modelli.



# Conclusioni

- Architetture cellulari nei giunti adesivi → approccio innovativo per ottimizzare la distribuzione dei carichi, ridurre le sollecitazioni sull'adesivo e migliorare efficienza e durabilità del sistema.
- L'analisi svolta si è limitata al caso statico. A causa della sensibilità allo strain-rate, non è possibile estendere le conclusioni a condizioni dinamiche senza ulteriori studi specifici.
- Le unità con celle a nido d'ape circolari risultano poco adatte per applicazioni orientate all'assorbimento di energia (alta rigidezza e scarso alleggerimento strutturale).
- Le forme generative, pur offrendo elevate prestazioni, dipendono dal tipo di algoritmo genetico utilizzato, limitando la scalabilità tra celle di dimensioni diverse.

Scelta finale → **BCC + CP** (miglior compromesso)

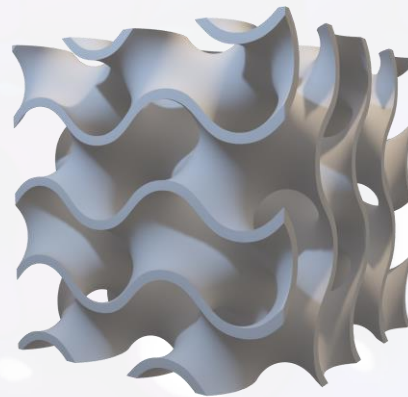


# Sviluppi futuri

Ulteriori sviluppi mirano a:

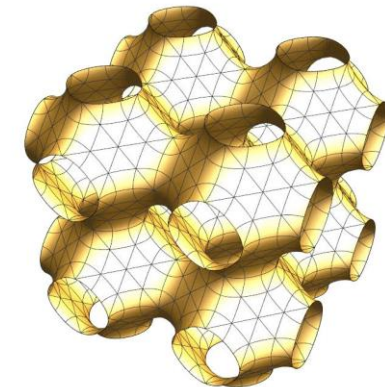
- ❑ Esplorare il comportamento dinamico ad alta velocità
- ❑ Validare il modello proposto tramite una campagna sperimentale
- ❑ Implementare altre geometrie cellulari

Le strutture equation-based, generate con funzioni trigonometriche e spessorate tramite isosuperfici, offrono geometrie continue che riducono le concentrazioni di stress e migliorano l'assorbimento rispetto alle strutture truss-based.



**Shoens Gyroid**

## Eterogenizzazione strutturale



Transizione delle celle per adattare la risposta al tipo di carico



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

**Andrea Paffetti**

Dipartimento di Ingegneria Industriale

[andrea.paffetti@unibo.it](mailto:andrea.paffetti@unibo.it)

[www.unibo.it](http://www.unibo.it)