

***POSSIBILI MODELLI MICROSTRUTTURALI  
DI SCHIUME DI ALLUMINIO***

***M. De Giorgi, R. Nobile, F. Palano***

**Università del Salento**

***Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione***

**Obiettivo:** modellazione numerica della struttura cellulare di schiume di alluminio

**problemi affrontati:**

1. scelta di una morfologia di cella da utilizzare come modulo ripetitivo per la costruzione del modello;
2. definizione delle grandezze geometriche caratteristiche della cella;
3. definizione dei criteri di assemblaggio delle varie celle;
4. costruzione del modello numerico di un blocco di schiuma metallica

## Modelli analizzati

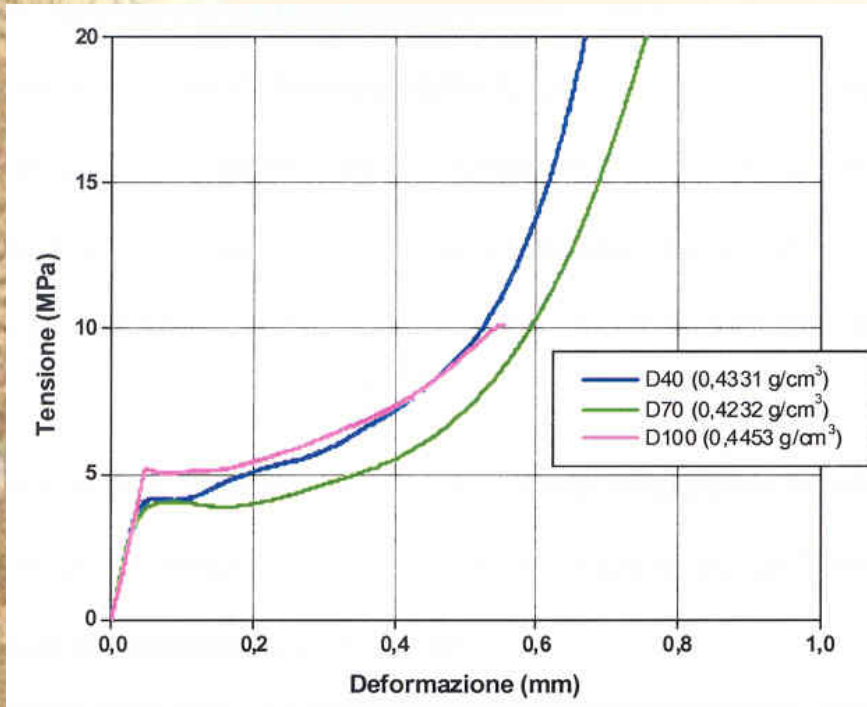
1. celle ideali di tipo Kelvin (tetrakaidecahedron) a pareti piane
2. celle ideali di tipo Kelvin (tetrakaidecahedron) a pareti curve
3. cella elementare di forma ellissoidale

## Caratterizzazione meccanica della schiuma

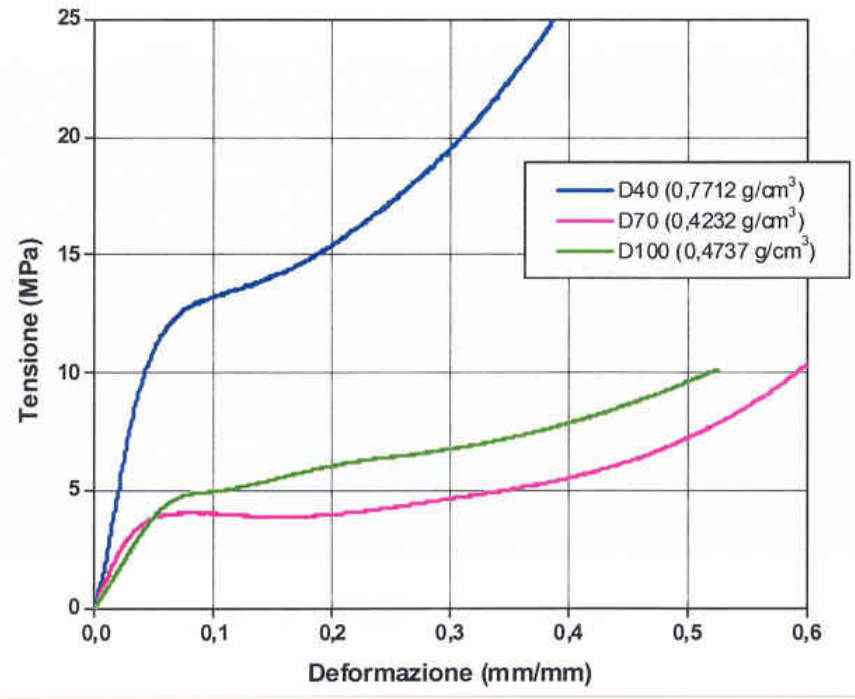
### Schiuma Alulight a base di AlSi10Mg

1. prove di compressione monoassiale su campioni di schiuma di differenti dimensioni per valutare l'effetto della disomogeneità della struttura sul comportamento a deformazione del materiale
2. prove per evidenziare l'influenza della densità apparente dei provini sull'andamento della curva tensione-deformazione;
3. prove di compressione con fase di scarico per determinare la rigidità effettiva della schiuma

# Caratterizzazione meccanica della schiuma



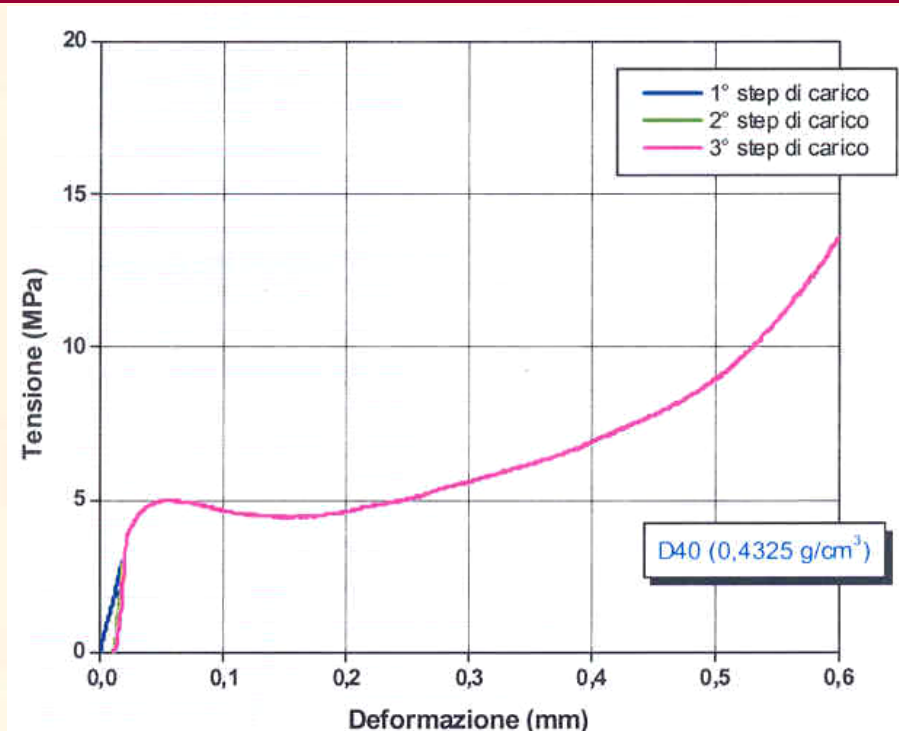
(a)



(b)

- a) Effetto della disomogeneità della struttura cellulare sulle proprietà meccaniche;
- b) Compressione uniassiale di campioni con differente densità

## Caratterizzazione meccanica della schiuma

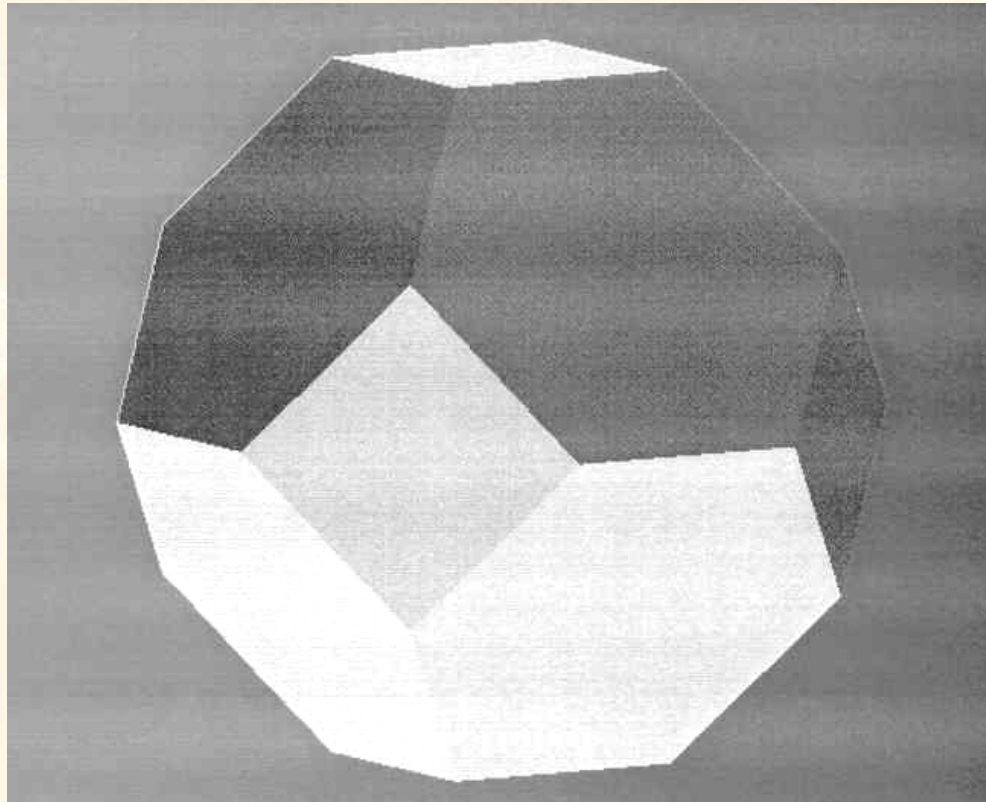


Curva di compressione ottenuta con più cicli di carico per la determinazione del modulo elastico apparente.

Sigla	Tensione massima $s_{max}$ (MPa)	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	$E_{carico}$ (MPa)	$E_{scarico}$ (MPa)
D40	4	0.4325	146	577
D40	4	0.5556	222	493
D70	5	0.4181	181	522

## Analisi numerica

**cella Kelvin (tetrakaidecahedron):** poliedro formato da sei facce quadrate ed otto facce esagonali, cui corrisponde la minima energia superficiale



## Analisi numerica

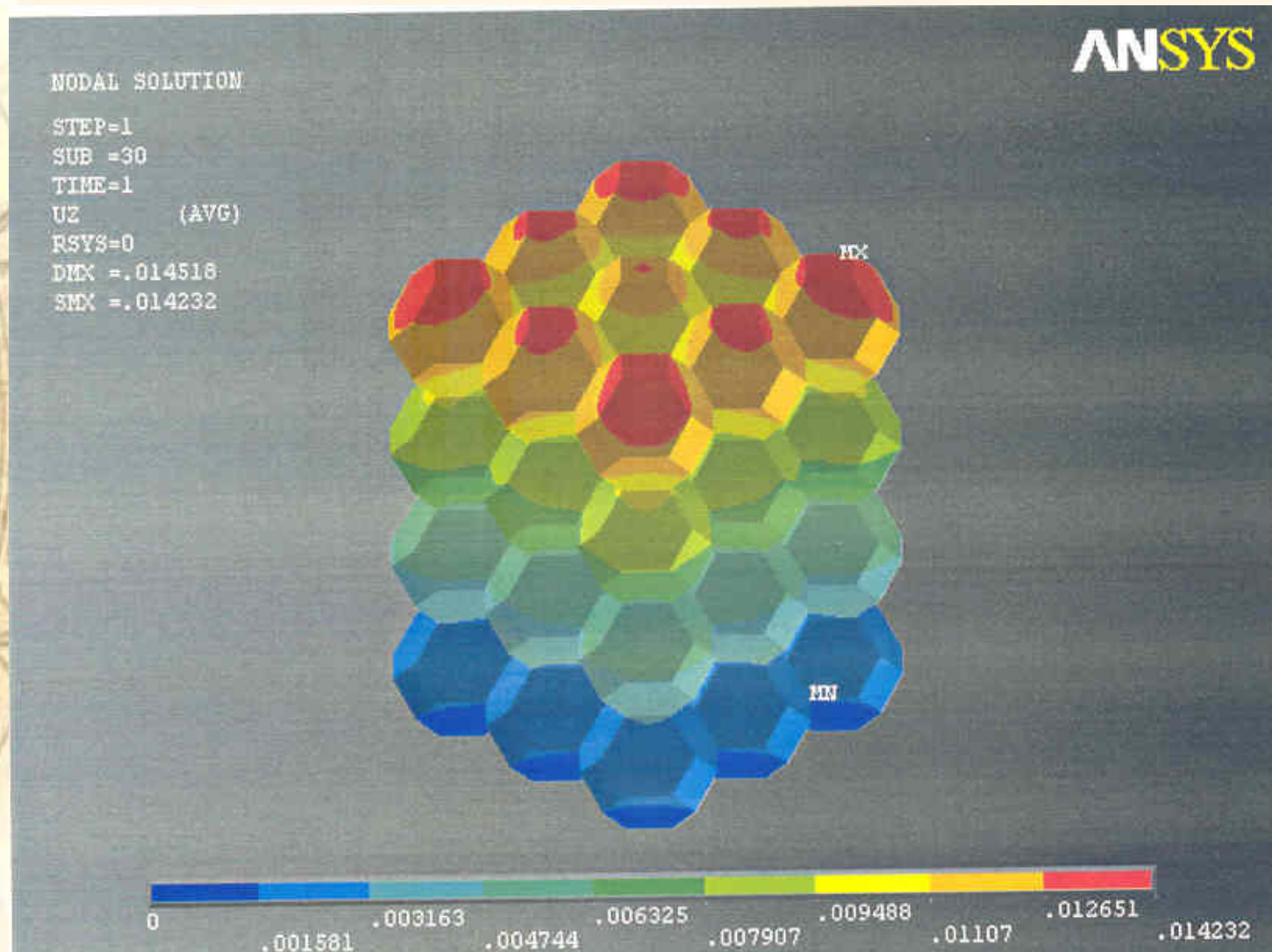
L'analisi numerica è strutturata in tre fasi:

1. modellazione della struttura cellulare con pareti piane;
2. analisi dell'effetto della curvatura delle pareti sulle proprietà meccaniche;
3. introduzione della variabilità dello spessore delle pareti.

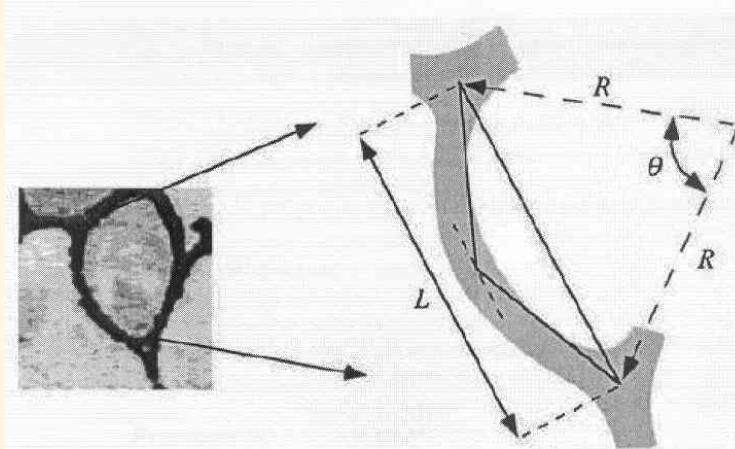
## Analisi numerica Ipotesi ed assunzioni

- **Materiale isotropo con comportamento elastico perfettamente plastico**
- **Modellazione delle pareti con elementi shell**
- **Software FEM: Ansys**
- **Dimensione della cella: 2.6 mm**
- **Numero di elementi per cella: 352**
- **Modello costituito da 9x4 celle**
- **Densità apparente utilizzata per la costruzione del modello: 0.5 g/cm<sup>3</sup>**

## Mapa degli abbassamenti per il modello a pareti piane



## Introduzione della curvatura delle pareti



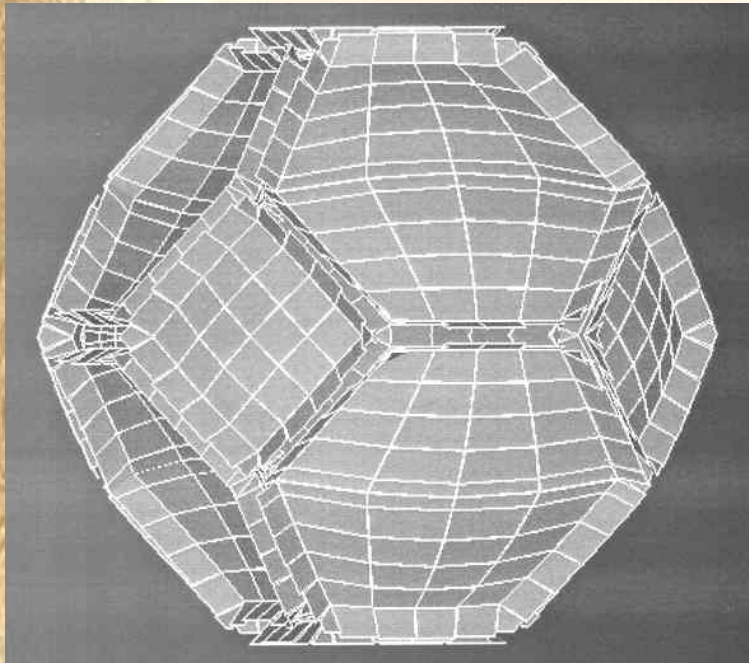
Per mantenere costante la densità del modello è necessario diminuire lo spessore in maniera coerente

$$\frac{L}{2R} = \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

$$A_C \cdot t_C = A \cdot t$$

## Celle a pareti con spessore variabile

Stabilita la frazione di materiale  $\Phi$  contenuto nei bordi, si possono determinare i due spessori  $t_e$  e  $t_f$  rispettivamente sul bordo e sulle facce



792 elementi per cella.

$$\phi = \frac{t_e^2}{t_e + \frac{Z_f}{n} t_f l} \quad \frac{\rho^*}{\rho_s} = 1.2 \left( \frac{t_e^2}{l^2} + 0.7 \frac{t_f}{l} \right)$$

$$\frac{t_f}{l} = 1.4(1 - \phi) \frac{\rho^*}{\rho_s}$$

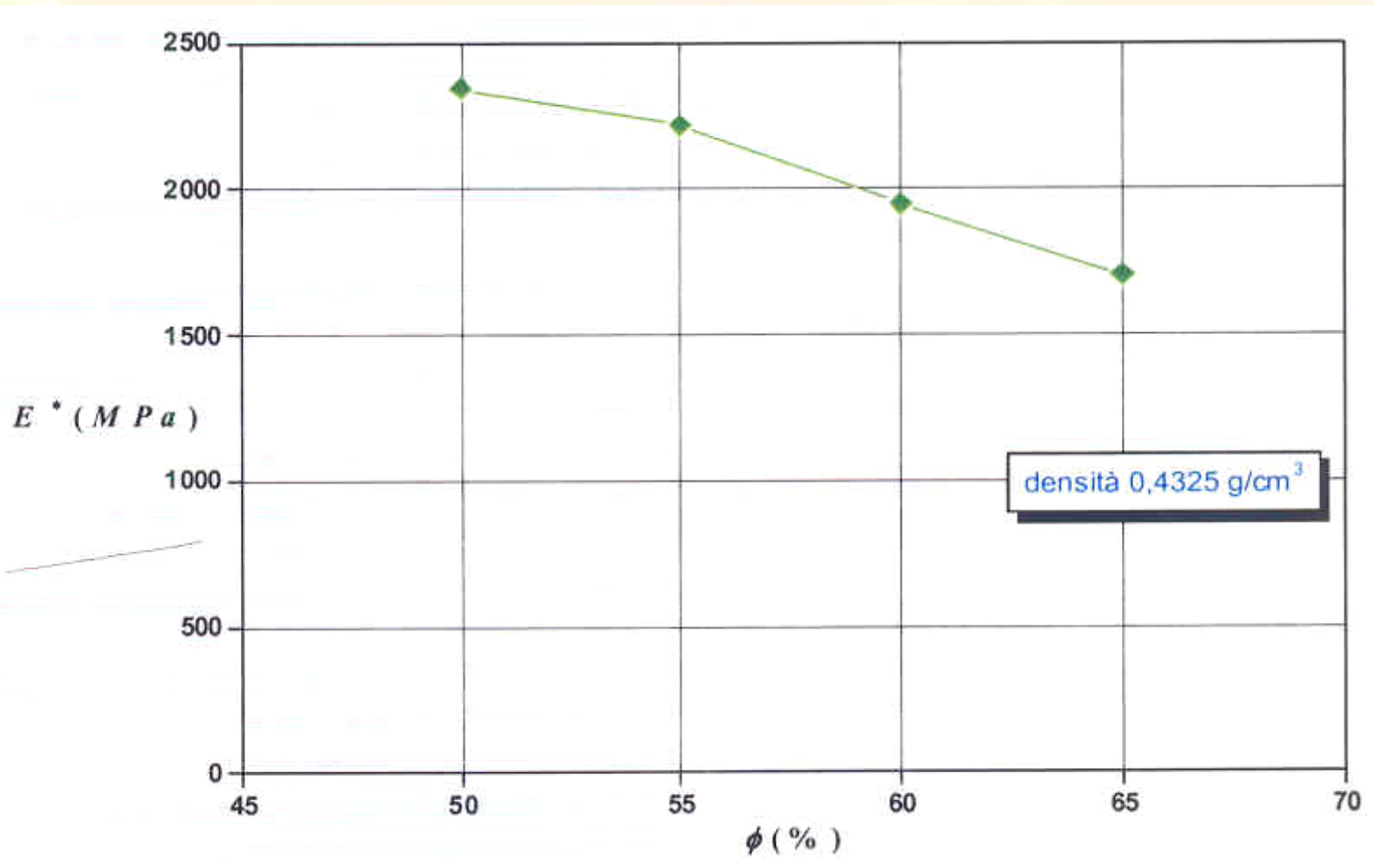
$$\frac{t_e}{l} = 0.93(\phi)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{\rho^*}{\rho_s} \right)^{\frac{1}{2}}$$

## Modelli esaminati

	Dimensioni medie cella [mm]	Curvatura media L/2R	Lunghezza del bordo L [mm]	Densità [g/cm <sup>3</sup> ]	Spessore pareti t <sub>f</sub> [mm]	Spessore bordi t <sub>e</sub> [mm]	frazione in volume dei bordi Φ	Modulo di elasticità [MPa]
Alulight				0.4181÷0.5556	-	-	-	493÷577
Modello a pareti piane				0.50	0.1360	0.1360	-	3287
Modello a pareti curve	2.6	0.37	0.9192	0.50	0.1178	0.1178	-	1944
				0.4325	0.113	0.113	-	1265
Modello a pareti curve e a spessore variabile					0.0973	0.2350	50	2340
				0.4325	0.0876	0.2465	55	2198
					0.0778	0.2575	60	1947
					0.0681	0.2680	65	1714

## Risultati modello a spessore variabile

### Andamento del modulo elastico al variare di $\Phi$



## Modello a geometria casuale con cella ellissoidale

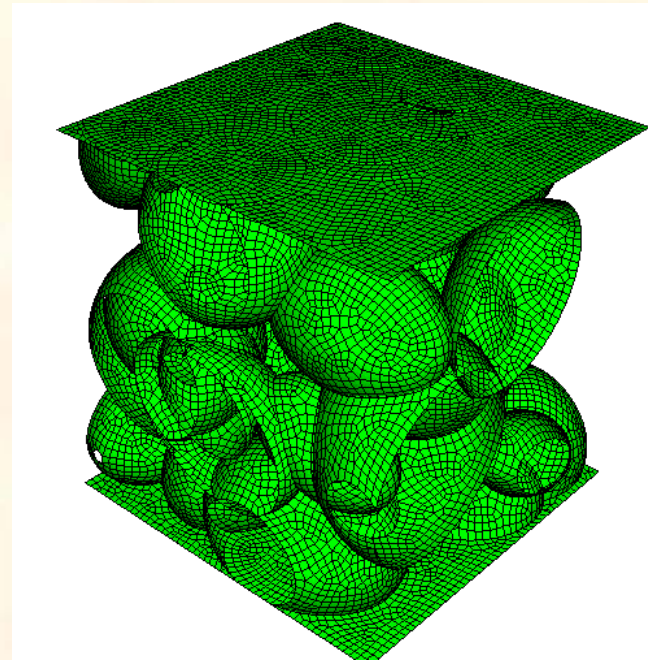
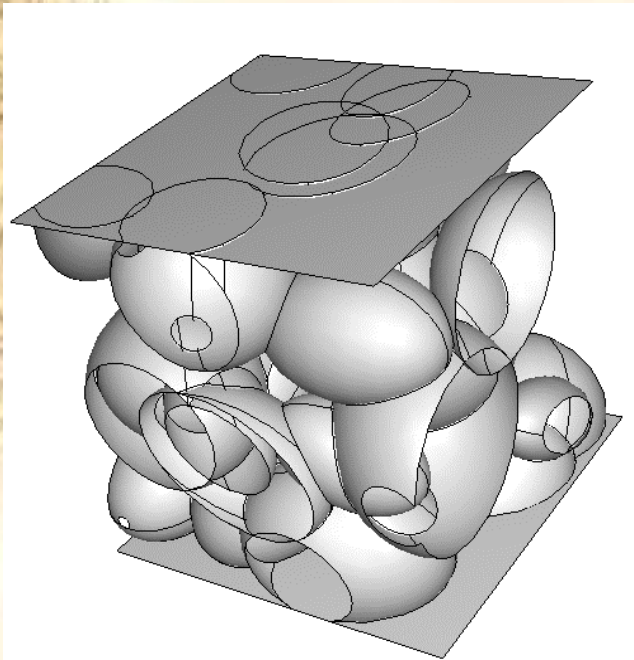
Il modello parametrico con cella ellissoidale è costruito facendo variare casualmente le seguenti variabili:

- coordinate  $x_c$ ,  $y_c$ ,  $z_c$  del centro dell'ellissoide all'interno del volume di riferimento;
- dimensione del semiasse maggiore  $r$ , variabile tra 2 e 3mm;
- il rapporto tra semiasse maggiore e minore  $t$ ;
- angoli di inclinazione dell'asse maggiore e minore dell'ellissoide rispetto ad un riferimento cartesiano globale;

## Modello con cella ellissoidale

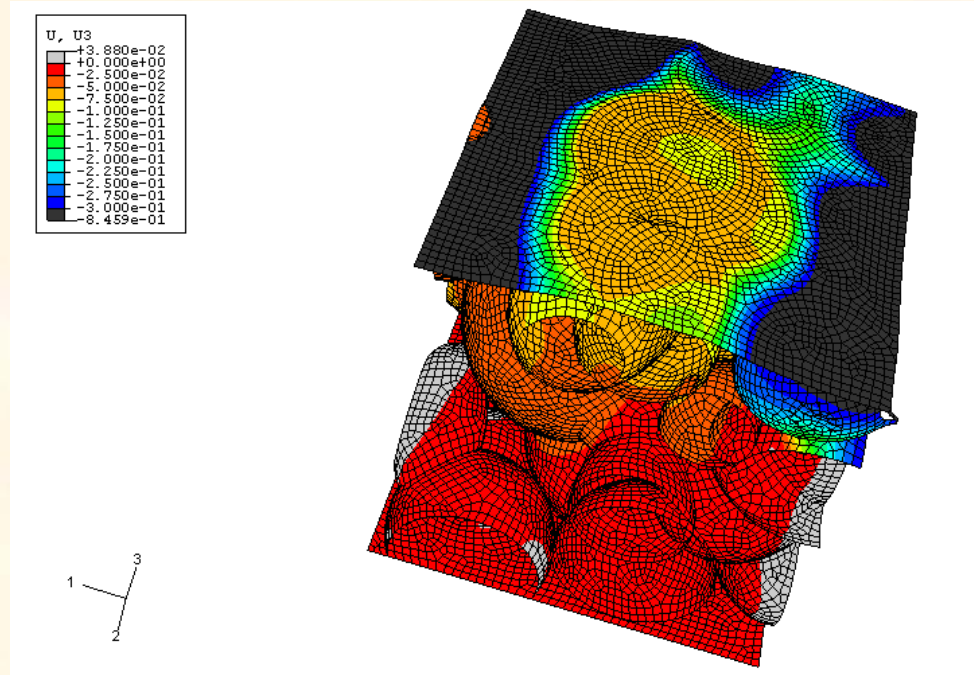
Modello costituito da 35 ellissoidi e due piani

- Eliminazione delle parti di ellissoidi esterne al volume 10x10x10 mm
- Spessore uniforme 0.10 mm →  $\rho = 0.432 \text{ g/cm}^3$
- Mesh con elementi prevalentemente quadratici di tipo shell
- Modello costituito da 132198 nodi e 46196 elementi



## Risultati modello a celle ellissoidali

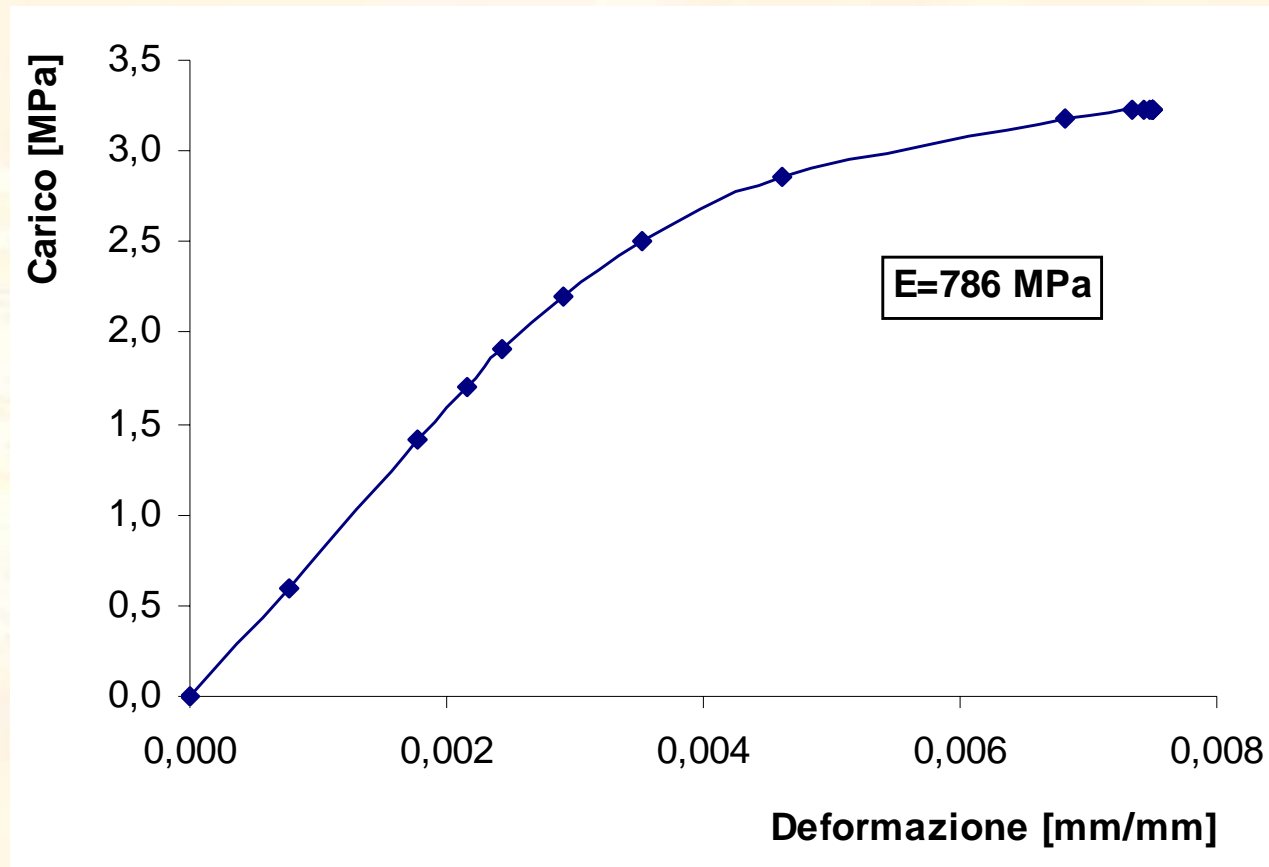
### Mappa degli abbassamenti del modello costruito con ellissoidi



- Gli abbassamenti della superficie superiore sono irregolari e presentano effetti di bordo
- L'abbassamento utilizzato per il calcolo del modulo elastico è quello medio di un'area centrale quadrata di 2mm di lato

## Risultati modello a celle ellissoidali

### Curva di compressione ottenuta numericamente



## Conclusioni

**La caratterizzazione meccanica della schiuma Alulight AlSi10Mg ha fornito la base sperimentale per il confronto dei modelli numerici**

**Il modello basato sulla ripetizione regolare della cella Kelvin è stato studiato dapprima nella versione a pareti piane e poi raffinato introducendo la curvatura delle pareti e ispessendo i bordi della cella**

**Tutti i modelli mostrano valori di rigidità eccessiva rispetto ai dati sperimentali, anche se l'introduzione della curvatura migliora l'approssimazione; la variabilità dello spessore sembra invece essere una inutile complicazione**

## Conclusioni

**Il modello a geometria casuale a celle ellissoidali riesce a dare valori del modulo elastico prossimi alla realtà e permette di simulare agevolmente anche la zona di plateau caratteristica di questi materiali**

## Sviluppi futuri

**Si completerà la modellazione riproducendo esattamente la geometria della schiuma grazie ad una TAC**

**Si estenderà la modellazione ad altre tipologie di schiume**