



## **Omogenizzazione elasto-plastica di celle F2CCZ al variare dell'aspect ratio e validazione tramite provini lattice ottimizzati**

*giovedì 4 settembre 2025 14:30 (15 minuti)*

- 1. Obiettivi** Negli ultimi anni, la domanda di componenti con peso ridotto e notevoli proprietà meccaniche in termini di resistenza e rigidità è rapidamente aumentata. In questo senso, le strutture cellulari possono rappresentare un'alternativa valida ai classici componenti massivi. Nei contesti aerospaziale e biomedicale, la possibilità di produrre componenti con strutture cellulari è stata indagata approfonditamente. In particolare, la cella F2CCZ ha dimostrato ottime proprietà di resistenza meccanica se caricata, ad esempio, a trazione lungo la trabecola verticale. L'obiettivo del lavoro consiste nel proporre un metodo semplificato per descrivere il diverso incrudimento di celle lattice nelle varie direzioni. Inoltre, si propongono espressioni matematiche per descrivere le proprietà omogenizzate elasto-plastiche della cella F2CCZ in AlSi10Mg al variare dell'aspect ratio (AR). Quest'ultimo è definito come il rapporto tra lo spigolo del cubo che circonda la cella ed il suo diametro.
- 2. Metodi** Le proprietà costitutive elasto-plastiche del materiale sono state ottenute con prove di trazione su provini massivi, ottenuti tramite fusione laser a letto di polvere. Al fine di investigare la dipendenza delle proprietà meccaniche dalla direzione di stampa, sono stati realizzati un provino inclinato di 90° rispetto al piano di stampa ed un provino con inclinazione di 0°. Due curve plastiche medie sono state definite per i provini massivi: la prima per i soli provini verticali, mentre la seconda per tutti i provini. La curva plastica media ottenuta dai soli provini verticali è stata impiegata per caratterizzare il comportamento plastico delle trabecole verticali, mentre la curva media ottenuta da tutti i provini è stata utilizzata per le trabecole oblique. In seguito, le condizioni al contorno periodiche sono state impiegate per implementare il processo di omogenizzazione delle celle tramite software ad elementi finiti. Il diverso incrudimento nelle varie direzioni è stato descritto combinando il criterio di snervamento di Hill e la legge di flusso plastico di Levy-Mises.
- 3. Risultati** La validazione dei risultati ottenuti è stata realizzata in due fasi: una prima numerica ed una seconda sperimentale. Quella numerica è stata effettuata implementando il processo di omogenizzazione elasto-plastico su celle aventi AR differenti rispetto a quelle impiegate nella calibrazione delle espressioni matematiche ottenute. I risultati dell'omogenizzazione sono stati dunque confrontati con quelli ricavabili dalle espressioni matematiche proposte. La validazione sperimentale è stata implementata con l'impiego di provini lattice ottimizzati e sottoposti a prove di trazione. Il design dei provini si ispira ai risultati teorici di un recente studio condotto presso la Technical University of Darmstadt, adeguato alle peculiarità e alla fattibilità dei processi di stampa del presente lavoro. I valori numerici di forza e spostamento della traversa ottenuti dalla prova di trazione sono stati quindi rapportati ai corrispondenti ricavati da prove di trazione numeriche su provini lattice completamente omogenizzati. In aggiunta, l'innovativa tecnica del Digital Image Correlation (DIC) è stata adoperata al fine di valutare l'andamento della deformazione longitudinale nella zona centrale dei provini. Tramite microscopio a scansione elettronica sono state valutate le differenze tra i diametri teorici e quelli ottenuti nella zona centrale in seguito al processo di stampa. I valori ottenuti sono stati poi utilizzati per svolgere simulazioni ad elementi finiti relative a una singola cella con le condizioni periodiche. I risultati di tali simulazioni sono stati da ultimo confrontati con i corrispondenti valori sperimentali.
- 4. Conclusioni** A seguito dei processi di validazione, si può affermare che le espressioni numeriche si siano dimostrate accurate nel prevedere le proprietà elasto-plastiche omogenizzate per valori di AR indipendenti e non impiegate durante la calibrazione. Inoltre, il confronto numerico-sperimentale delle grandezze forza e spostamento della traversa ha rivelato lo stesso livello di precisione. Infine, le simulazioni numeriche delle celle della zona centrale del provino con le dimensioni "reali" hanno prodotto risultati simili ai valori sperimentali, con un livello di accuratezza superiore rispetto al caso in cui fossero state impiegate le dimensioni nominali. Lo studio si è dunque rivelato efficiente e innovativo nel

proporre un nuovo approccio per descrivere il differente incrudimento delle celle nelle varie direzioni ed ha dimostrato come le quantità omogenizzate ottenute con celle di dimensioni nominali possano essere sufficienti in una prima fase della progettazione. Tuttavia, per un'analisi maggiormente approfondita del comportamento meccanico di componenti in strutture cellulari, è risultata necessaria una precisa caratterizzazione delle differenze tra valori nominali e reali delle geometrie stampate.

**Autore principale:** Dr. ROMANELLI, Lorenzo (Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale Università di Pisa)

**Relatore:** Dr. ROMANELLI, Lorenzo (Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale Università di Pisa)

**Classifica Sessioni:** Modellazione

**Classificazione della track:** Modellazione