

## STRUMENTAZIONE OTTICA PER LA MISURA DI STRUTTURE TRABECOLARI: CARATTERIZZAZIONE METROLOGICA E CONFRONTO TRA SETUP SPERIMENTALI

S. Pasinetti<sup>(1)</sup>, G. Calciolari<sup>(1)</sup>, C. Nuzzi<sup>(1)</sup>, M. Lancini<sup>(1)</sup>, F. Docchio<sup>(1)</sup>, G. Sansoni<sup>(1)</sup>  
<sup>(1)</sup> Dip. di Ingegneria Meccanica e Industriale, Università degli studi di Brescia, Brescia  
mail autore di riferimento: simone.pasinetti@unibs.it

### 1. INTRODUZIONE

L'*additive manufacturing* (prototipazione rapida o stampa 3D) è una tecnica che permette di riprodurre oggetti senza i vincoli geometrici tipici della manifattura classica.

Questa tecnica consente di realizzare particolari di estrema complessità tra cui le cosiddette “strutture trabecolari”, strutture che presentano proprietà fisiche, meccaniche e topologiche molto vantaggiose.

Grazie a queste caratteristiche, negli ultimi anni, esse sono state sempre più utilizzate in ambiti applicativi quali ad esempio la biomedica e l'automotive. Nonostante l'elevata flessibilità delle macchine per la prototipazione, la complessità di queste strutture è tale da generare spesso differenze tra la struttura progettata e il risultato finale della stampa 3D. Risulta quindi necessario progettare e realizzare dei banchi di misura che possano individuare tali differenze. Attualmente la caratterizzazione sperimentale è infatti limitata alla valutazione delle curve di sforzo (mediante test di compressione), e alla valutazione della porosità della superficie (tramite microscopi elettronici) [1]. Queste valutazioni vengono eseguite tramite tecniche quali, ad esempio, la Digital Image Correlation [2]. Un altro approccio di misura comprende la visione 2D e 3D, con la quale è possibile effettuare misure dimensionali di campioni di strutture trabecolari prototipate.

La presente memoria descrive i primi risultati ottenuti tramite due diversi setup sperimentali per la misura dimensionale di una struttura trabecolare realizzata tramite *additive manufacturing* (figura 1). In particolare sono stati utilizzati due trasduttori di misura differenti, un triangolatore laser e una telecamera con ottica telecentrica, per la misura delle dimensioni caratteristiche di un campione prototipato. Le misure effettuate sono state valutate sia in termini di accuratezza di misura che di conformità con il progetto di partenza.

### 2. SETUP SPERIMENTALE

Le misure dimensionali sono state effettuate tramite due diversi trasduttori: un triangolatore laser (Wenglor MLWL132) e una telecamera con ottica telecentrica (telecamera Ids Ueye 1460-C, munita di ottica telecentrica Opto Engineering TC23036).

Il triangolatore laser fornisce una nuvola di punti 3D che è stata poi analizzata tramite il software Polyworks (InnovMetric).

Polyworks è un software utilizzato per il *reverse engineering* che si basa sulla creazione di modelli 3D (*mesh*) elaborando nuvole di punti importate. Un *tool* fornito dal software permette di creare delle superfici primitive (piani, cilindri, sfere, etc.) per approssimare al meglio la

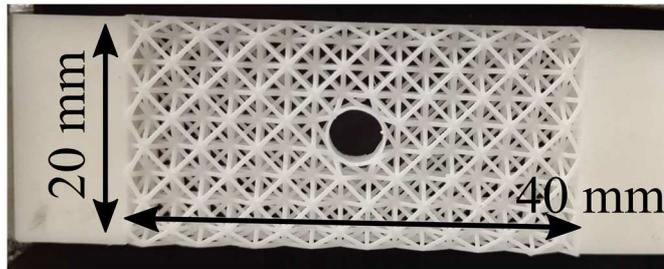


Figura 1 – Struttura trabecolare analizzata

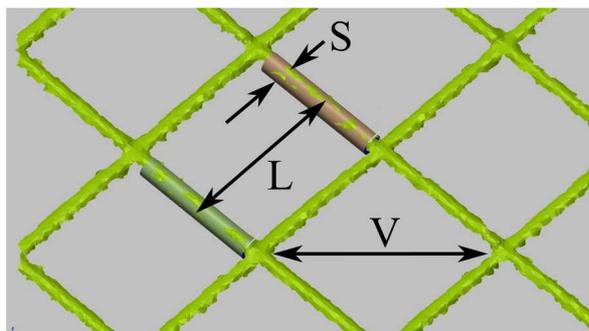


Figura 2 – Descrizione procedura di misura tramite analisi della nuvola di punti ottenuta tramite triangolatore laser

forma dell'oggetto scansionato. Il fitting della superficie viene eseguito minimizzando l'errore ai minimi quadrati tra i punti acquisiti e la superficie primitiva stessa. Tramite questa procedura è stato possibile risalire alle misure rappresentate in figura 2. In particolare è stato possibile misurare il diametro dei tiranti che compongono la struttura (indicato con S in figura 2), la distanza tra due tiranti consecutivi (indicata con L in figura 2), e la distanza tra due vertici consecutivi della struttura (indicata con V in figura 2). Tramite queste misure è stato possibile caratterizzare dimensionalmente la struttura prototipata, confrontandola con il progetto di partenza.

Come seconda metodologia di misura è stato scelto un sistema di visione 2D composto da telecamera più ottica telecentrica (così da ridurre le distorsioni ottiche al minimo). Il sistema di visione è stato progettato in modo da avere un campo inquadrato (Field-Of-View, FOV) di 26.3 x 19.7 mm. L'analisi dell'immagine è stata fatta tramite il software LabView (National Instruments). La struttura trabecolare è stata analizzata concentrandosi su un singolo elemento ritagliando l'immagine coerentemente (figura 3). Per ogni elemento sono state impostate quattro diverse Region Of Interest (ROI), come descritto in figura 3. Per ogni ROI è stato poi sviluppato un edge detector in grado di identificare i bordi dei tiranti principali dell'elemento analizzato. Successivamente, tramite una media degli edge ricavati in ogni ROI, è stato possibile ricavare le 4 rette che identificano la direzione principale di ogni tirante e, da quest'ultime, è stato possibile ricavare le medesime misure effettuate con il sistema a triangolazione (L, V e S in figura 3).

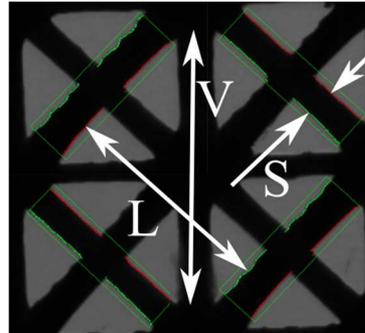


Figura 3 – Descrizione procedura di misura tramite analisi immagine

### 3. RISULTATI SPERIMENTALI

In figura 4 sono rappresentati i primi risultati ottenuti. La figura riporta la media e la deviazione standard di 50 misurazioni effettuate da ogni sistema su un singolo elemento della struttura prototipata. In particolare sono rappresentate le distanze L e V ottenute tramite i due sistemi di misura. In ogni grafico è anche riportato il valore di riferimento (linea tratteggiata) di ogni dimensione. Come si vede dalle figure, le misure ottenute tramite i due sistemi di misura sono compatibili tra loro, seppur in entrambi i casi la misura risulti minore del valore di riferimento. Questo potrebbe essere legato a un bias comune presente in entrambi i sistemi di misura, così come ad una errata prototipazione del campione. Il lavoro successivo prevede un'analisi più approfondita delle cause di questa sottostima.

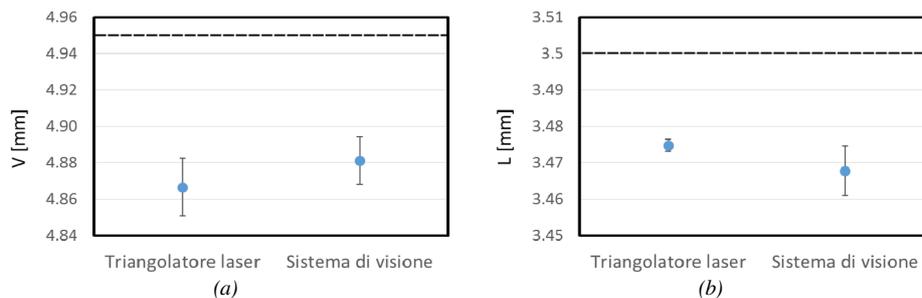


Figura 4 – Media e deviazione standard di 50 misurazioni della distanza V (a) e della distanza L (b) di un elemento della struttura prototipata effettuate tramite i due sistemi di misura sviluppati.

### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] F. Li, J. Li, G. Xu, G. Liu, H. Kou, and L. Zhou, "Fabrication, pore structure and compressive behavior of anisotropic porous titanium for human trabecular bone implant applications", *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.*, vol. 46, pp.104-114, 2015.
- [2] J. Karlsson, T. Sjögren, A. Snis, H. Engqvist, J. Lausmaa, "Digital Image correlation analysis of local strain fields on Ti6Al4V manufactured by electron beam melting", *Mater. Sci. Eng. A.*, vol. 618, pp.456-461, 2014.