

SVILUPPO DI MODELLI DI CALCOLO PER LA STIMA DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DI COMPONENTI REALIZZATI CON TECNOLOGIA ADDITIVA

D. CIOCCARI*, P.P. VALENTINI*, E. FERRANTE**, G. PISCITELLI**, E. COSTA**, A. COLANERI***

INTRODUZIONE

Al giorno d'oggi la manifattura additiva (AM) rappresenta una metodologia produttiva che ha abbandonato da tempo la connotazione di piccola nicchia, costituendo una realtà che punta a ridefinire lo stato dell'arte dei processi produttivi. Questo strumento, pur essendo estremamente promettente, all'atto pratico risulta spesso valorizzato solo in parte. Come sappiamo bene, infatti, dietro la creazione di un prodotto si nasconde una fase di progettazione ed ottimizzazione che è fondamentale per la buona riuscita del risultato finale. Un cambio radicale della tipologia di processo produttivo impone anche un ripensamento delle metodologie di progettazione, le quali dovranno tenere conto di un cambio di libertà e vincoli progettuali che sono esclusivi dell'AM, come nuovi materiali, nuove forme e nuovi parametri di lavorazione.

POSIZIONAMENTO DEL LAVORO

Nonostante nei processi additivi SLM (Selective Laser Melting) si parta dalla polvere di un materiale con determinate caratteristiche, quelle ottenute nei componenti finali risultano estremamente dipendenti dai parametri di processo adottati. A tal proposito, sono molti i lavori in letteratura che si focalizzano sullo studio di come uno o più parametri possano influenzare una specifica caratteristica finale del prodotto, come per esempio quelli di Roach et al. in [1] per le proprietà meccaniche o Strano et al. in [2] per la rugosità. Generalmente questi studi si basano su campagne sperimentali lunghe e costose, che però risultano in un numero limitato di dati finali a disposizione e, conseguentemente, in una limitata valenza

delle conclusioni a cui giungono. Questa limitazione può essere parzialmente superata ricorrendo a simulazioni numeriche, effettuando in maniera virtuale tali campagne sperimentali che diventano quindi molto più rapide ed economiche rispetto a quelle reali in quanto si ha la possibilità di variare, singolarmente o in gruppo, vari parametri di processo. Inoltre, individuati i parametri maggiormente influenti sulle caratteristiche finali del prodotto, questi diventano nuovi gradi di libertà per il progettista che può quindi sfruttarli per ottenere dei componenti finali con caratteristiche più idonee all'applicazione a cui sono destinati. In questo lavoro viene mostrato un efficace impiego degli strumenti numerici che permette di valutare le sopracitate variabilità, al fine di arrivare ad una migliore comprensione del fenomeno per poterne poi usufruire nella produzione.

MODELLO NUMERICO

Nei processi additivi di materiali metallici è di fondamentale importanza la valutazione degli stress residui generati a causa degli elevati gradienti termici sviluppati nel processo di stampa. Nei processi SLM tali stress sono dovuti principalmente alla differenza di conduttività termica tra materiale solido e polvere, e la loro distribuzione è influenzata dai parametri di stampa come testimoniato anche da Williams et al. in [3]. Lo sviluppo del modello numerico oggetto del presente articolo si compone di due

(*) Università di Roma "Tor Vergata",
Via del Politecnico 1, 00133, Roma, Italia

(**) RINA Consulting S.p.A.
Viale Cesare Pavese, 305 - 00144 ROMA - ITALY

(***) RINA Consulting - CSM S.p.A.,
Via Di Castel Romano 100, 00128, Roma, Italia

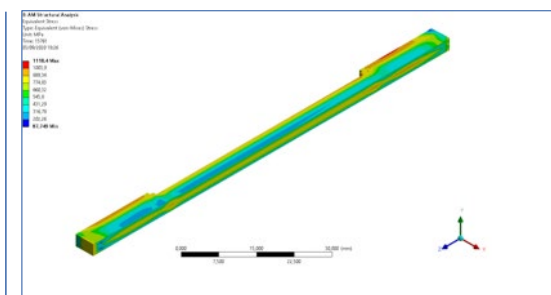


Figura 1 – Distribuzione dello stress residuo equivalente (von Mises) per il campione stampato in verticale.

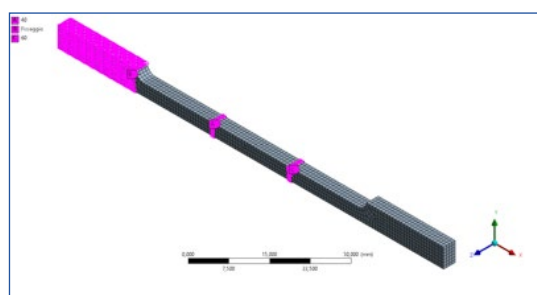


Figura 2 – Selezioni dei nodi fissati durante la simulazione (B) e quelli dei quali sono stati valutati gli spostamenti (A) e (C).

fasi successive: nella prima, utilizzando ANSYS ADDITIVE che è il tool creato per l'analisi dei processi di AM, è stato replicato virtualmente il processo di stampa di Simonelli et al. [4] per provini in lega di Titanio così da ottenere gli stress residui generati in funzione dell'angolo di costruzione (vedi Fig.1). Nella seconda fase, tali stress vengono esportati in un file di testo per essere successivamente assegnati come stress iniziali in una nuova analisi strutturale statica, nella quale il provino pre-caricato viene messo in trazione con un carico che, applicato in più step, porta allo snervamento. Valutando gli spostamenti medi dei nodi contenuti all'interno di due fasce inizialmente a distanza L_0 , indicate con A e C in Figura 2, è possibile risalire alle deformazioni e, conoscendo lo sforzo applicato al termine di ogni step di calcolo, tracciare le curve sforzo-deformazione. Da queste curve è possibile poi determinare il valore del modulo di Young, come la pendenza del tratto lineare e quello dello snervamento. Lo scostamento del valore dello snervamento e del modulo di Young calcolati mediante il modello computazionale rispetto a quello registrato sperimentalmente è stato rispettivamente del 8.58% e del 10.24%.

CONCLUSIONI

Il modello numerico, implementato con lo scopo di analizzare le caratteristiche meccaniche di provini in materiale metallico realizzati tramite tecnologia SLM, può essere ritenuto adatto per la predizione del valore di snervamento e del modulo di Young del materiale per pezzi prodotti tramite SLM, considerando i ridotti scostamenti ottenuti rispetto ai risultati sperimentali. I risultati conseguiti per campioni in acciaio 316L, allineati con quelli basati sui provini in titanio riportati in letteratura [4], confermano la bontà del modello

numerico e l'indipendenza dal materiale trattato. Da un'analisi di sensitività rispetto ai parametri coinvolti, è stato valutato come i più importati parametri risultino essere l'angolo di costruzione, la velocità di scansione, la geometria e la sezione del pezzo, oltre che il numero di pezzi che vengono contemporaneamente stampati. L'utilizzo del modello numerico per la previsione dei componenti finali ottenibili a seguito di diverse operazioni di stampa, consente la generazione di un database, da utilizzare poi in sede di progettazione, per capire quali parametri impiegare in base alle caratteristiche funzionali che si vogliono avere nel componente finale.

BIBLIOGRAFIA

1. A. M. Roach, B. C. White, A. Garland, B. H. Jared, J. D. Carroll, and B. L. Boyce, "Size-dependent stochastic tensile properties in additively manufactured 316L stainless steel," *Addit. Manuf.*, vol. 32, no. November 2019, p. 101090, 2020, doi: 10.1016/j.addma.2020.101090.
2. G. Strano, L. Hao, R. M. Everson, and K. E. Evans, "Surface roughness analysis, modelling and prediction in selective laser melting," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 213, no. 4, pp. 589–597, 2013, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2012.11.011.
3. R. J. Williams and R. J. Williams, "Finite element prediction and validation of residual stress profiles in 316L samples manufactured by laser powder bed fusion," *Procedia Struct. Integr.*, vol. 13, pp. 1353–1358, 2018, doi: 10.1016/j.prostr.2018.12.283.
4. M. Simonelli, Y. Y. Tse, and C. Tuck, "Effect of the build orientation on the mechanical properties and fracture modes of SLM Ti-6Al-4V," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 616, pp. 1–11, 2014, doi: 10.1016/j.msea.2014.07.086.