

**Borse di dottorato di ricerca finanziate da Regione Lombardia nell'ambito dell'Accordo di collaborazione con ENEA/Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo sostenibile (DGR n. 7792 del 17/01/2018 e 5321 del 4/10/2021).**

## **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO**

Dottorato in: Technology Innovation and Management.

**Mattia Carminati:** Sviluppo di polveri innovative, anche da scarti e/o materiali da riciclo, da impiegare nella realizzazione di componenti mediante tecnologie additive.

### **Abstract**

L'Industria 4.0 sta rivoluzionando il sistema manifatturiero globale. Tra le principali tecnologie abilitanti di questo enorme fenomeno, l'Additive Manufacturing (AM) rappresenta una delle più promettenti e sfruttate, poiché AM rende i processi più flessibili, massimizza la personalizzazione, riduce il time to market di nuovi prodotti e minimizza i costi di produzione per piccoli lotti. Particolare attenzione è rivolta alle tecnologie AM in grado di lavorare materiali metallici a causa del notevole interesse del mercato manifatturiero per questo tipo di materiali. Tuttavia, rimangono ancora diverse lacune da colmare a causa della novità tecnologica, compresi i costi di produzione ancora troppo elevati, soprattutto per la produzione di grandi lotti. In questo contesto, le tecnologie additive sono meno competitive rispetto ai processi tradizionali, sia a causa dell'elevato costo dei macchinari che delle materie prime. Altri fattori includono la lentezza del processo di stampa e l'elevato consumo energetico.

Nell'ultimo decennio è sorta una nuova tecnica di Additive Manufacturing per superare il suddetto inconveniente intrinseco delle tecnologie AM in metallo, soprattutto per quanto riguarda l'elevato costo di acquisto e dispendio energetico, nonché la maggiore sicurezza durante il processo.

Questa nuova tecnica, denominata Metal Material Extrusion (ME), riguarda fondamentalmente la vantaggiosa combinazione tra le attrezzature di Estrusione di Materiale tradizionalmente impiegate per i materiali termoplastici, e le polveri fini metalliche per realizzare componenti finiti in metallo. Questa produzione è ottenuta attraverso una materia prima costituita da particelle metalliche distribuite uniformemente in una matrice polimerica. Questa innovativa materia prima multicomponente viene lavorata mediante un processo multistadio, che comprende le fasi di modellatura, debinding e sinterizzazione.

Nonostante le prospettive promettenti, l'estrusione di materiali metallici è ancora agli inizi e, quindi, scarsamente impiegata nei settori manifatturieri.

L'obiettivo principale di questa tesi riguarda lo studio approfondito del processo di Estrusione di Materiale Metallico con l'obiettivo finale di ampliarne le conoscenze e le possibilità della sua applicazione, per renderlo più utilizzabile in ambito industriale.

Questa ricerca si è concentrata su due acciai inossidabili di grande interesse per diverse applicazioni manifatturiere e quindi ampiamente utilizzati: AISI 316L e AISI 630. Le principali proprietà fisiche e meccaniche dei componenti risultanti dal processo multistep sono state analizzate e confrontate con quelle del relativo materiale monolitico convenzionale per dare un riferimento delle potenzialità della tecnologia.

La questione ambientale sviluppata negli ultimi anni ha richiesto anche una valutazione della sostenibilità di questa tecnologia, soprattutto per quanto riguarda il riciclo e il riutilizzo degli scarti di produzione. In questa prospettiva, è stato sviluppato un metodo AM circolare per il riutilizzo delle parti difettose raccolte dalla fase di formatura del processo per migliorare la competitività economica e sostenibile della tecnologia di estrusione di materiali metallici. Il processo di riciclo è stato sviluppato in un lavoro congiunto tra l'Università di Bergamo e il Laboratorio Nanomateriali e Dispositivi (SSPT-PROMAS-NANO) del Centro Ricerche ENEA Portici.

### **Pubblicazioni**

- Carminati, M.; Quarto, M.; D'urso, G.; Giardini, C.; Maccarini, G. Mechanical Characterization of AISI 316L Samples Printed Using Material Extrusion. Appl. Sci. 2022, 12, doi:10.3390/app12031433.

- Carminati, M.; D'urso, G.; Giardini, C. The enhancement of mechanical properties via post heat treatments of AISI 630 parts printed with material extrusion. Progress in Additive Manufacturing, 2023, <https://doi.org/10.1007/s40964-023-00401-2>.
- Carminati, M.; Quarto, M.; D'urso, G.; Giardini, C.; Borriello, C. A Comprehensive Analysis of AISI 316L Samples Printed via FDM: Structural and Mechanical Characterization. In Proceedings of the Key Engineering Materials; Trans Tech Publications Ltd, 2022; Vol. 926 KEM, pp. 46–55.

### **Convegni/Conferenze**

- Speaker alla conferenza internazionale ESAFORM “25th International Conference on Material Forming” con un lavoro di ricerca sullo sviluppo di un modello simulativo robusto capace di prevedere i fenomeni di saldatura dei trucioli formanti il materiale di partenza delle operazioni di Friction Stir Extrusion. Braga (Portogallo), 27-29 aprile 2022.
- Speaker ai workshop del dottorato in Technology, Innovation and Management, tenuti a presso l'Università degli Studi di Bergamo il 24 settembre 2020 e il 22 settembre 2021.