

---

**Dottorando:** Francesco Carugo

Dottorato di Ricerca Engineering and Applied Sciences (XXXV Ciclo)

Curriculum: Meccanico

**Titolo:** "Development and investigation of innovative materials produced by means of additivemanufacturing technologies "

**Tutor:** Prof. Tommaso Pastore, Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Università degli Studi di Bergamo

**Tutor:** Ing. Giuseppe Barbieri – SSPT PROMAS MATPRO

**Co-Tutor ENEA:** Ing. Francesco Cognini – SSPT PROMAS MATPRO

---

**Abstract:**

Il dottorando Francesco Carugo ha concluso le attività del terzo anno di Dottorato di Ricerca in ingegneria e scienze applicate XXXV Ciclo.

Lo scopo della tesi di dottorato è stato lo sviluppo e comparazione di tecnologie di stampa 3D sulla superlega di nichel commercialmente nota come Inconel® 625. Questa lega è ampiamente utilizzata nelle industrie aerospaziale, nucleare e petrolifera, in quanto associa ad elevate proprietà meccaniche un'eccezionale resistenza alla corrosione. Tuttavia, la matrice austenitica di cui è composta tende ad indurirsi per incrudimento e per questo rende difficile le lavorazioni per asportazione di truciolo.

La diffusione delle tecnologie di produzione additiva (AM) applicate ai metalli ha ottenuto un crescente interesse per il mondo industriale negli ultimi anni per la capacità di ottenere forme "Near Net Shape", ottimizzare le geometrie e limitare le lavorazioni meccaniche sui componenti. Tra le tecniche AM disponibili oggi, le più popolari sono quelle a letto in polvere come la Laser Bed Powder Fusion (LPBF) e la Direct Energy Deposition (DED) in cui il materiale sotto forma di filo o polveri viene fuso localmente per realizzare la geometria desiderata. Inoltre, recentemente, sono state sviluppate nuove tecniche che combinano il processo di stampa con i processi di debinding e sinterizzazione. Tra queste, la Metallic Fused Filament Fabrication (MFFF) è una tecnica emergente che utilizza un filamento composto da polvere di metallo e polimero per creare un componente. Il componente così realizzato viene quindi sottoposto a un ciclo di debinding, per rimuovere il polimero, seguito da un trattamento di sinterizzazione per densificare il prodotto finale.

A seconda della tecnica AM utilizzata, si ottengono microstrutture completamente diverse da quelle tradizionali. Pertanto, il problema relativo alla qualifica di questi nuovi materiali diventa fondamentale.

Lo scopo della tesi è stato valutare il comportamento di corrosione della lega di nichel 625 ottenuta mediante tre diverse tecnologie di produzione additiva: LPBF, DED e tecniche MFFF. In particolare, il comportamento di corrosione è stato valutato confrontando i risultati ottenuti con quelli di un prodotto commerciale forgiato.

Presso ENEA Casaccia sono stati sviluppati i processi AM relativi alle tecnologie MFFF e DED, e sono stati inoltre valutati gli effetti indotti dai trattamenti post stampa mediante Hot Isostating Press. Lo sviluppo è avvenuto verificando la qualità dei prodotti realizzati mediante Radiografia digitale computerizzata e test metallografici e di micromeccanici mentre presso UNIBG sono stati realizzati i test meccanici ed a corrosione.