



Italian National Agency for New Technologies,  
Energy and Sustainable Economic Development

# Sviluppo di Materiali e di componenti in lega metallica

**Daniele Mirabile Gattia**

CR Casaccia - LABORATORIO SSPT-PROMAS-MATPRO



1101 0110 1100  
0101 0010 1101  
0001 0110 1110  
1101 0010 1101  
1111 1010 0000

*Bergamo*



# Sommario

1. Macchine per stampa di metalli
2. Processi post-stampa e caratterizzazione campioni in lega metallica
3. Progettazione e produzione di materiali in lega metallica
4. Esempi

# Stampante a Fascio di elettroni - EBM - ARCAM AB MODELLO A2X



«build» dopo stampa



### Rimozione e recupero polvere



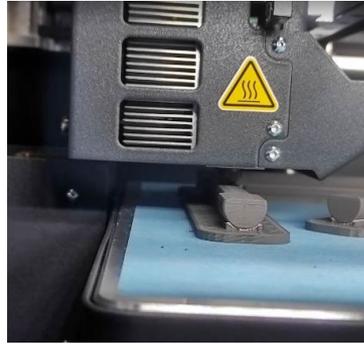
Arcam EBM Ti6Al4V Grade 5  
Arcam EBM Ti6Al4V Grade 23  
Arcam EBM Nickel alloy 718  
Arcam EBM TiAl



# Stampante Atomic Diffusion Additive Manufacturing – Markforged Metal X



Stampa



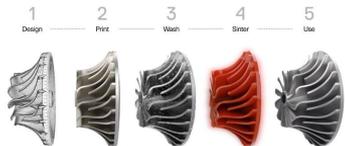
Lavaggio



Sintering



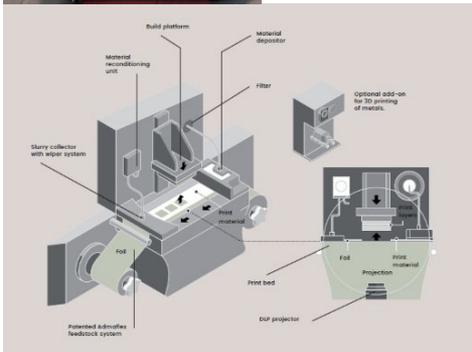
Campioni in lega metallica



- Acciaio inox 17-4 PH
- Rame
- Inconel 625
- Acciaio per utensili H13
- Acciaio per utensili A2 e D2

# Admaflex 130 DLP\_KmRosso

## Admaflex 130 DLP 3D printer



### CARATTERISTICHE FUNZIONALI

Possibilità di stampare materiali ceramici e metallici in modo indiretto, partendo da miscele liquide (slurry) costituite da resine fotosensibili e polveri precursori per materiali ceramici e **metallici** ed essere in grado di ottenere prodotti stampati con una densità finale superiore al 99% nel caso dei Metalli e al 98,5% nel caso delle Ceramiche tecniche.

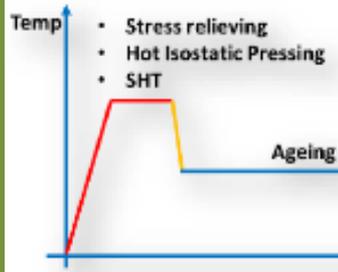
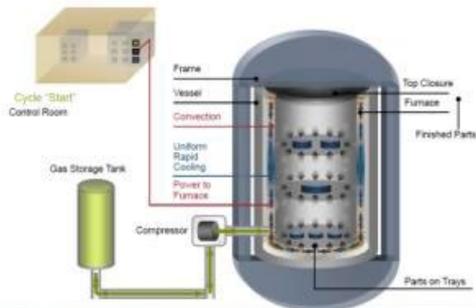
METALS	PROPERTIES	APPLICATIONS
<b>Stainless Steel 316L</b>	High corrosion resistance High toughness Non-magnetizable	Watches, decorative parts Medical devices Food processing equipment Maritime
<b>Stainless Steel 17-4 PH</b>	High strength High hardness Excellent corrosion resistance	Mechanical engineering Automotive and maritime Chemical equipment
<b>Inconel</b>	High strength High oxidation resistance High resistance to severely corrosive environments	Aerospace Automotive
<b>Copper</b>	High thermal conductivity Corrosion resistance High electrical conductivity	Heat transfer applications Induction heat coils Radiofrequency Cathode

### CARATTERISTICHE TECNICHE

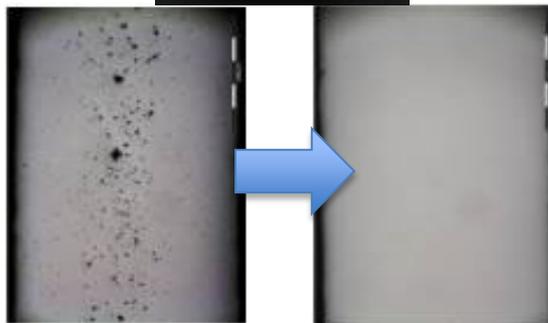
- Tecnologia di stampa: Digital Light Processing;
- Sistema di trasporto dello slurry nell'area di stampa una pellicola trasparente denominata «foil»;
- Build platform: **96 x 54 mm**;
- Product height: **110 mm**;
- Risoluzione del layer: **50 µm**;
- Lunghezza d'onda fotopolimerizzazione slurry: 405 nm;
- Minima quantità di slurry necessaria alla stampa: **20cc**;
- Velocità max di stampa: 300 layer/h

# Hot Isostatic Press – Quintus QIH 21 – 2070 – 1450M URC & 1400 M URQ

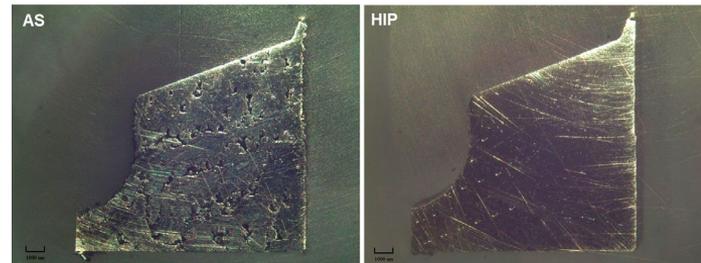
## HIP – How does it work



- Materiali avanzati ad alte prestazioni (settori aerospazio, automotive, energia, etc.);
- Pressioni fino a **2070 bar**;
- Temperature fino a **1450°C**;
- Gradienti di raffreddamento oltre i **3000°C/min**;
- Dimensioni max: cilindro altezza 700 e Ø 230 mm



## Caso studio



In 718

# Tomografo industriale – Gilardoni SpA – Mod-XE-L HE 450



Analisi di componenti con dimensioni:

- Peso max: 500 kg;
- Ingombro: altezza 1200 e  $\varnothing$  700 mm;
- Spessori: in funzione dei materiali (assorbimento)



## Doppia Sorgente Minifuoco:

Tensione massima: 200kV (450kV)  
Macchie focali: diam. 0.4 mm, 700 watt; diam. 1 mm, 1500 W

## Microfuoco

Tensione massima: 150kV  
Macchie focali: minima 5  $\mu$ m, 4 Watt;  
massima 50  $\mu$ m, 75 Watt



# Indagini NDT e prove meccaniche

## Nanotomografo GE Phoenix Nanotom

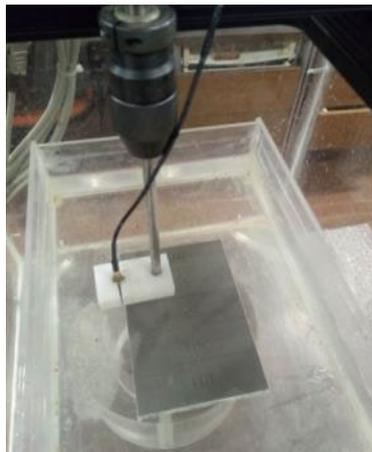


Tubo a nanofuoco, da 180 kV/15 W  
Rivelatore piano 2300 x 2300 pixel, con una  
larghezza fisica dei pixel quadrati di 50  $\mu\text{m}$  e  
una gamma dinamica di 12 bit

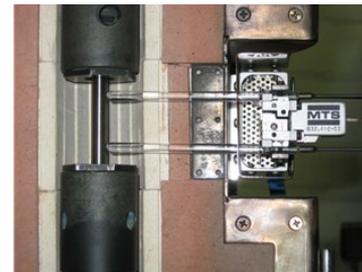
**Dimensione massime** campione cilindrico:  
 $\varnothing < 120 \text{ mm}$ , altezza  $< 150 \text{ mm}$ ; **peso**  $< 2 \text{ kg}$



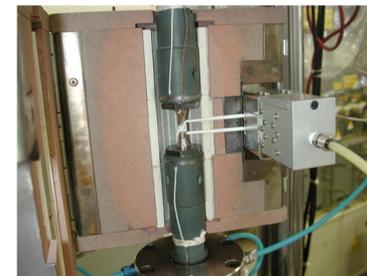
## Ultrasuoni



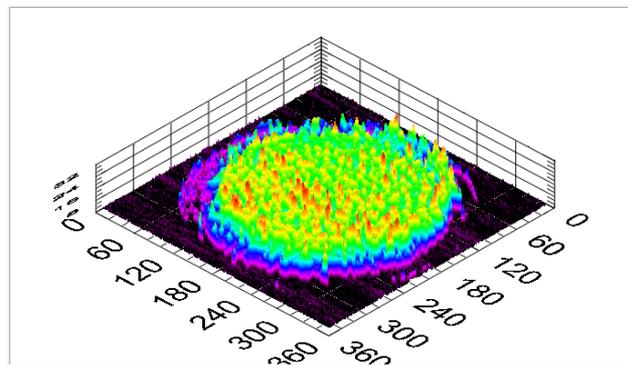
## Prove di Trazione



## LCF



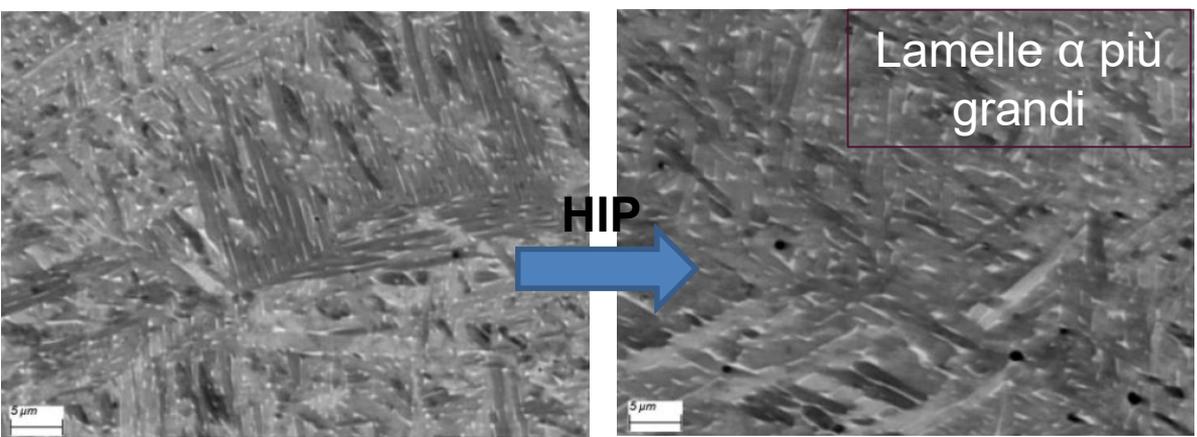
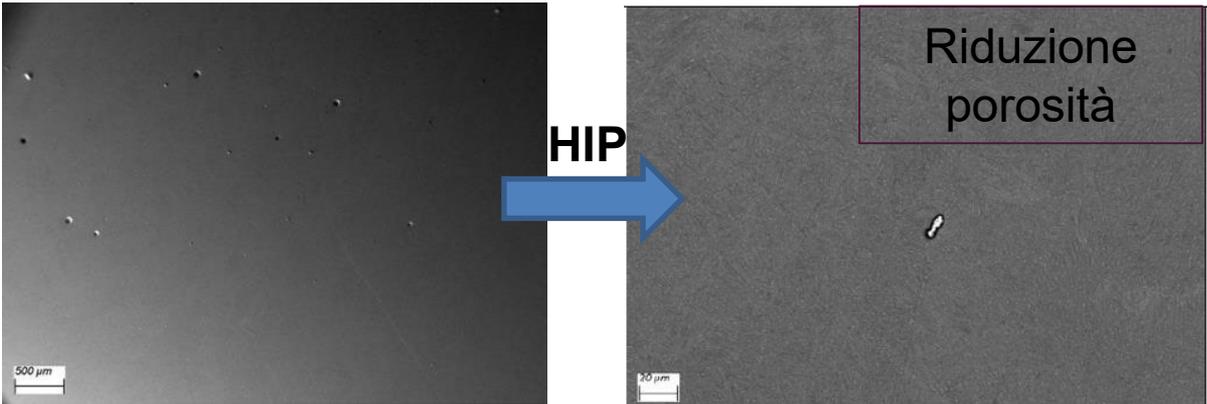
3D Surface



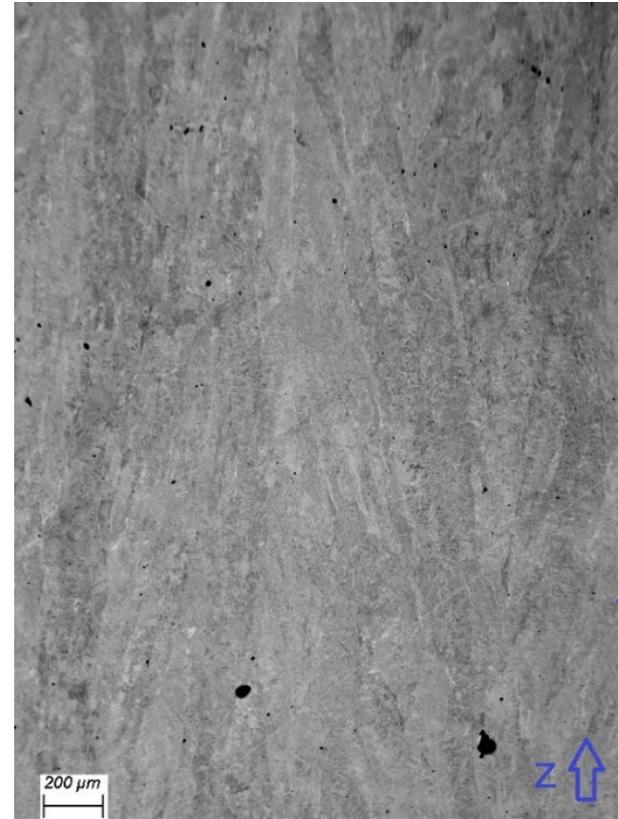
# Morfologia e microstruttura dei campioni realizzati mediante stampa 3D – Microscopia Ottica e Elettronica a Scansione

SEM

Esempio: lega Ti6Al4V – EBM + HIP – porosità e microstruttura

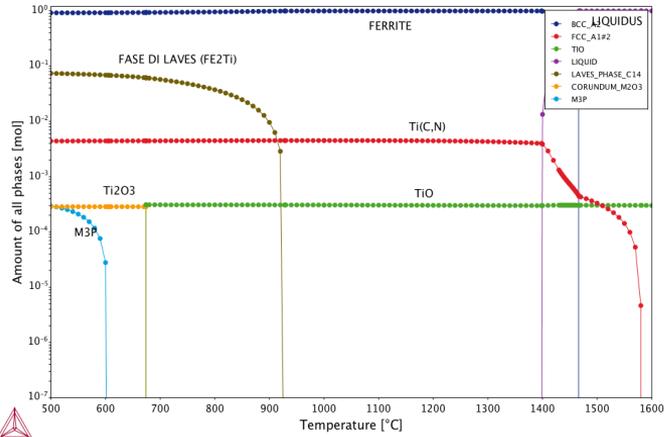


Grani colonnari



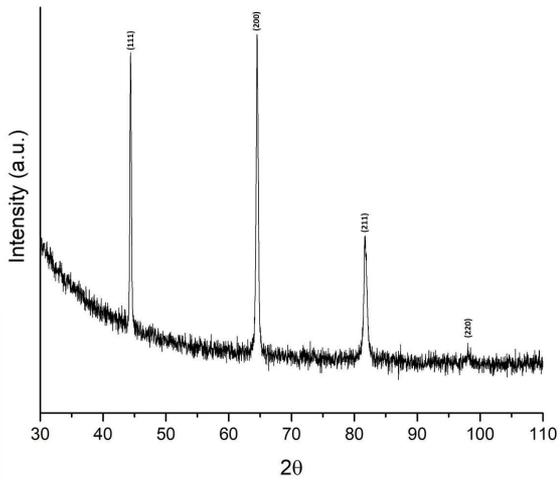
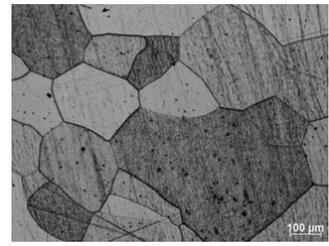
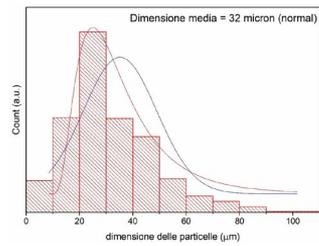
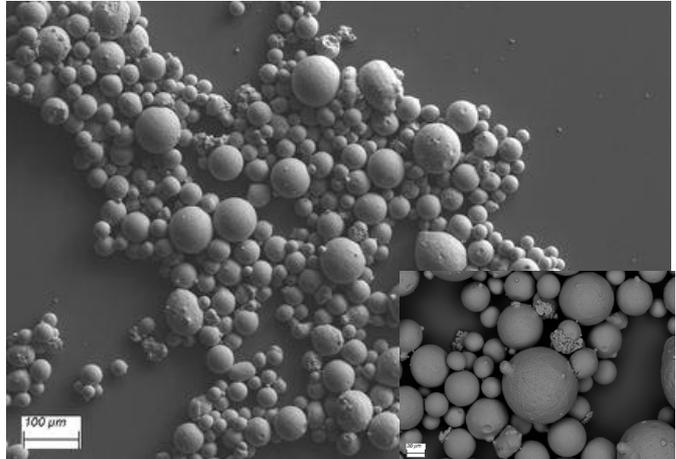
# Progettazione e produzione di una nuova lega ferritica per applicazioni nel settore energetico

Progetto «Materiali di Frontiera per usi energetici»  
(CUP: I34I19005780001)



Nuova lega ferritica per applicazioni in macchine ad assorbimento con ciclo acqua-ammoniaca:

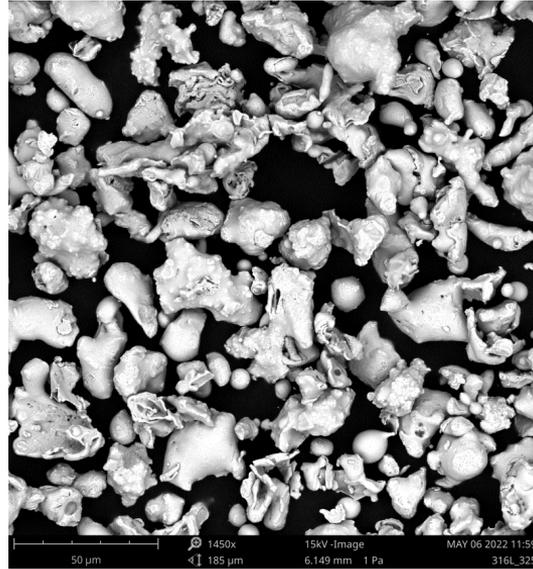
- Alloy design mediante **software di simulazione termodinamica**;
- Elevata **conducibilità termica**: doppia rispetto ad AISI 316;
- **Coeff. Dila. Termica** < AISI 316
- **Resistenza alla corrosione** in H<sub>2</sub>O/NH<sub>3</sub> (fino a 150°C);
- **Parametri di stampa DMLS**;
- Può essere utilizzata per la realizzazione di scambiatori di calore mediante AM



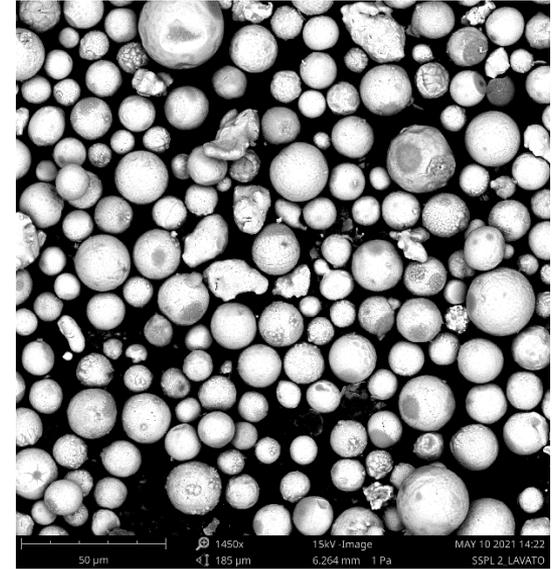
# Produzione polveri sferoidali metalliche per AM mediante plasma DC



Impianto plasma termico DC



SS316L <325mesh (<44 micron)



SS316L trattata

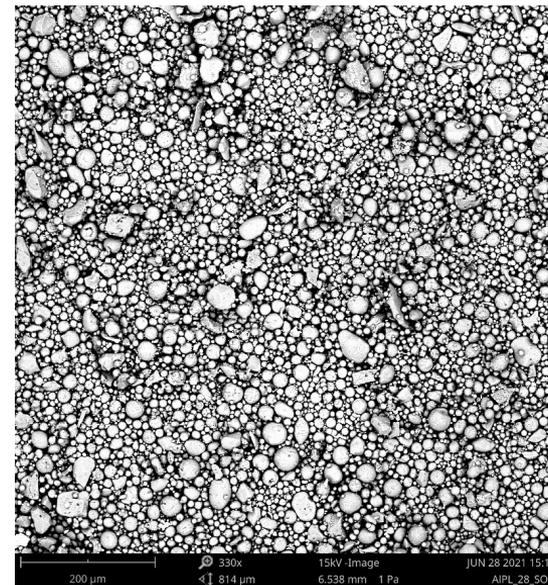
# Produzione polveri sferoidali ceramiche per AM mediante plasma DC



Impianto plasma  
termico DC



$\text{Al}_2\text{O}_3$   
t.q.



$\text{Al}_2\text{O}_3$  trattata

# Filamenti di riciclo, stampa FDM e sintering (attività ENEA-UNIBG)



Filatura

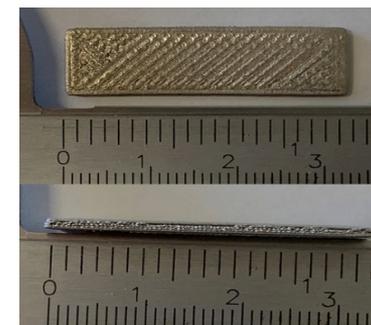
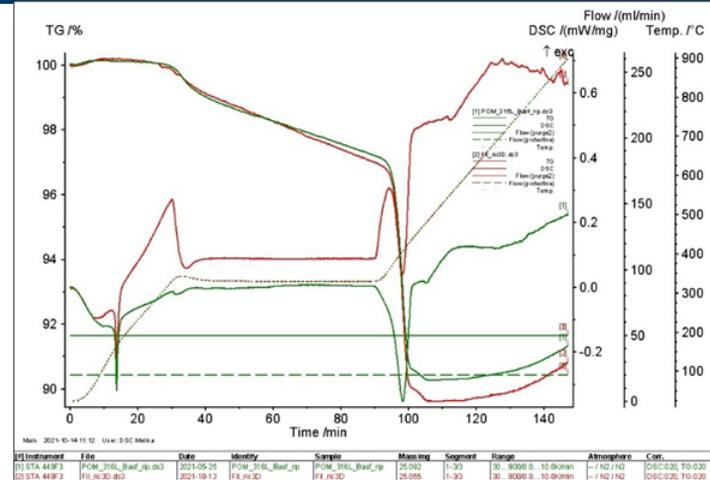


Filamento ultrafuso riciclato



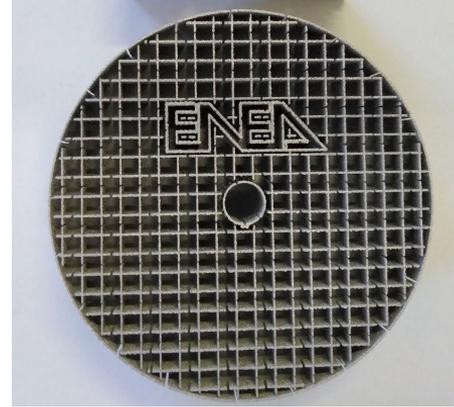
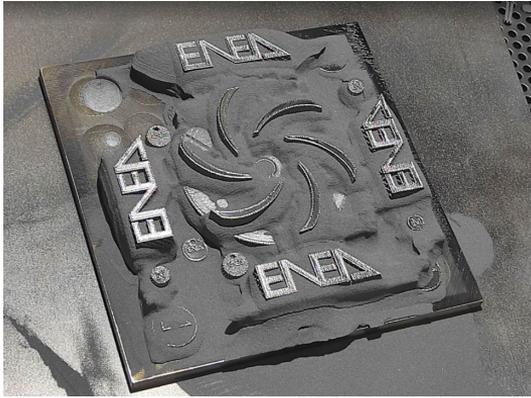
Provino stampato con filamento riciclato

Materiale	Durezza Vickers
AISI 316L (monolitico)	155 HV
Provino da filamento commerciale	132 ± 3.8 HV
Provino da filamento riciclato	138 ± 5.1 HV



Provino sinterizzato

# Componenti stampate mediante EBM



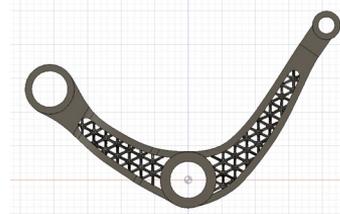
**Materiale:** Ti6Al4V  
**Tecnologia:** EBM  
**Diametro girante =**  
120 mm



Componente reale



Modello del  
componente  
reale



Modello del  
componente  
alleggerito



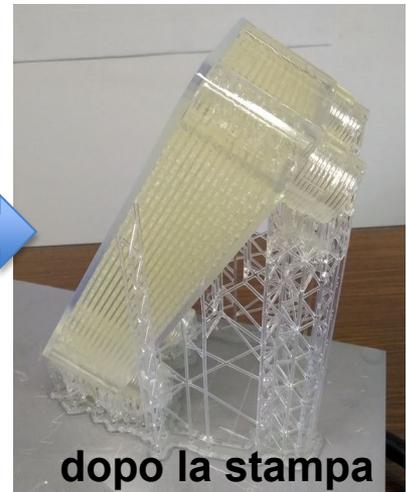
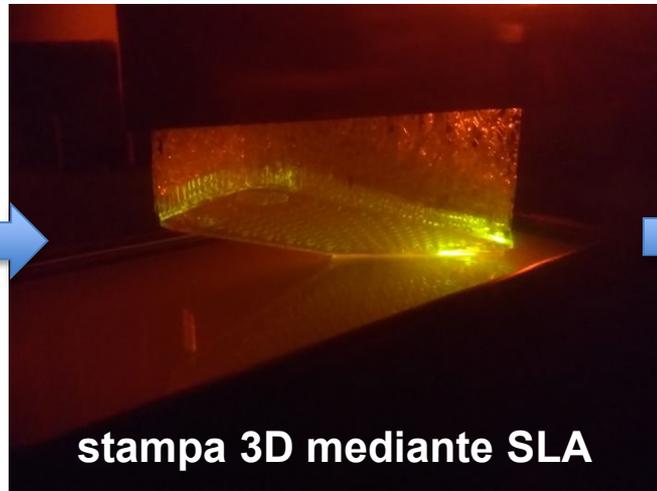
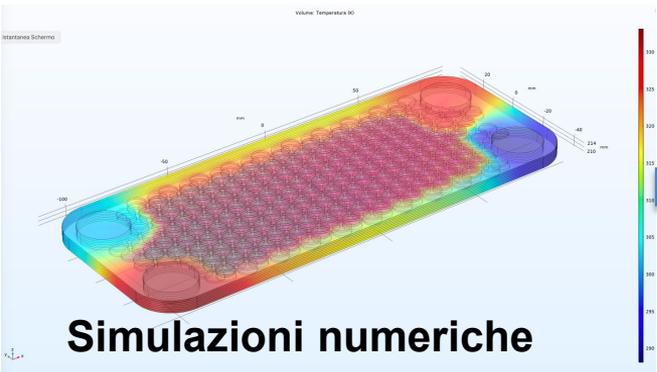
Componente alleggerito  
realizzato mediante EBM

# Prototipazione di scambiatori di calore

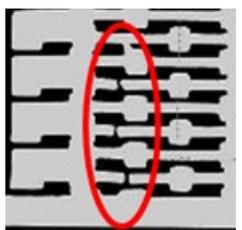
**SLA**



Progetto «Materiali di Frontiera per usi energetici»  
(CUP: I34I19005780001)



Analisi dei difetti e ottimizzazione



**Materiale:** dimetacrilato e composito  
**Dimensioni:** 210x82x40 mm

Qualifica su **Banco Prova**

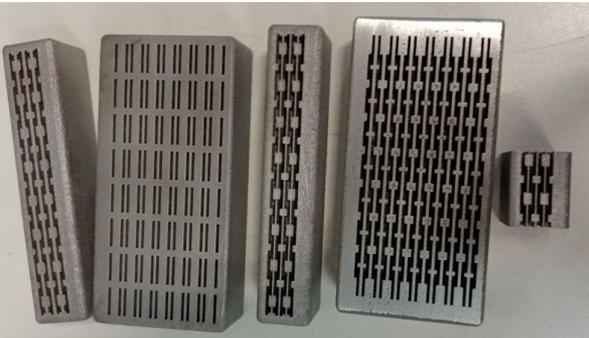
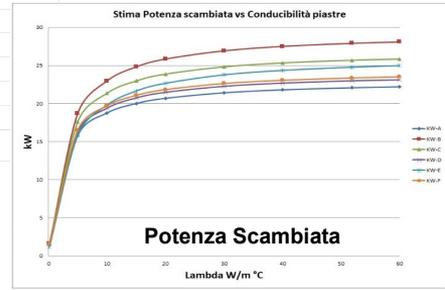
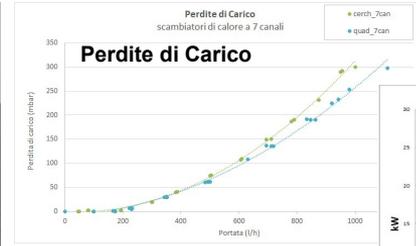
# Progettazione e stampa di scambiatori di calore in acciaio inox

# DMLS



Progetto «Materiali di Frontiera per usi energetici»  
(CUP: I34I19005780001)

Scambiatori in acciaio inox realizzati mediante DMLS



Spaccati degli scambiatori di calore realizzati in acciaio inox

**Materiale:** AISI316L  
**Tecnologia:** DMLS  
**Dimensioni:** 210x82x40 mm



Scambiatore di calore in SS su banco prova

AdP

# ENEA e AM di materiali metallici

Nell'ambito AM di materiali metallici, ENEA è attiva tra gli altri nei seguenti settori:

## Aerospazio



## Trasporti



## Energia



- Sviluppo di **nuove leghe metalliche** per applicazioni innovative;
- Processi di **sferoidizzazione** polveri metalliche;
- Produzione di filamenti in **materiali compositi** per processi di stampa 3D;
- **Trattamenti post-stampa** (HIP e trattamenti termici);
- Caratterizzazioni: **NDT, prove meccaniche e microstrutturali**;
- Progettazione, realizzazione e testing di **componenti per applicazioni speciali (scambio termico, produzione di energia, etc.)**;
- Progettazione e realizzazione di **componenti alleggeriti** (strutture trabeolari e leghe leggere)

**Daniele Mirabile Gattia**



1101 0110 1100  
0101 0010 1101  
0001 0110 1110  
1101 0010 1101  
1111 1010 0000



**CR Casaccia**

daniele.mirabile@enea.it

Tel.: 06 30483484

Cell.: 393 5323564



<https://materiali.sostenibilita.enea.it/projects/materiali-frontiera-usi-energetici>