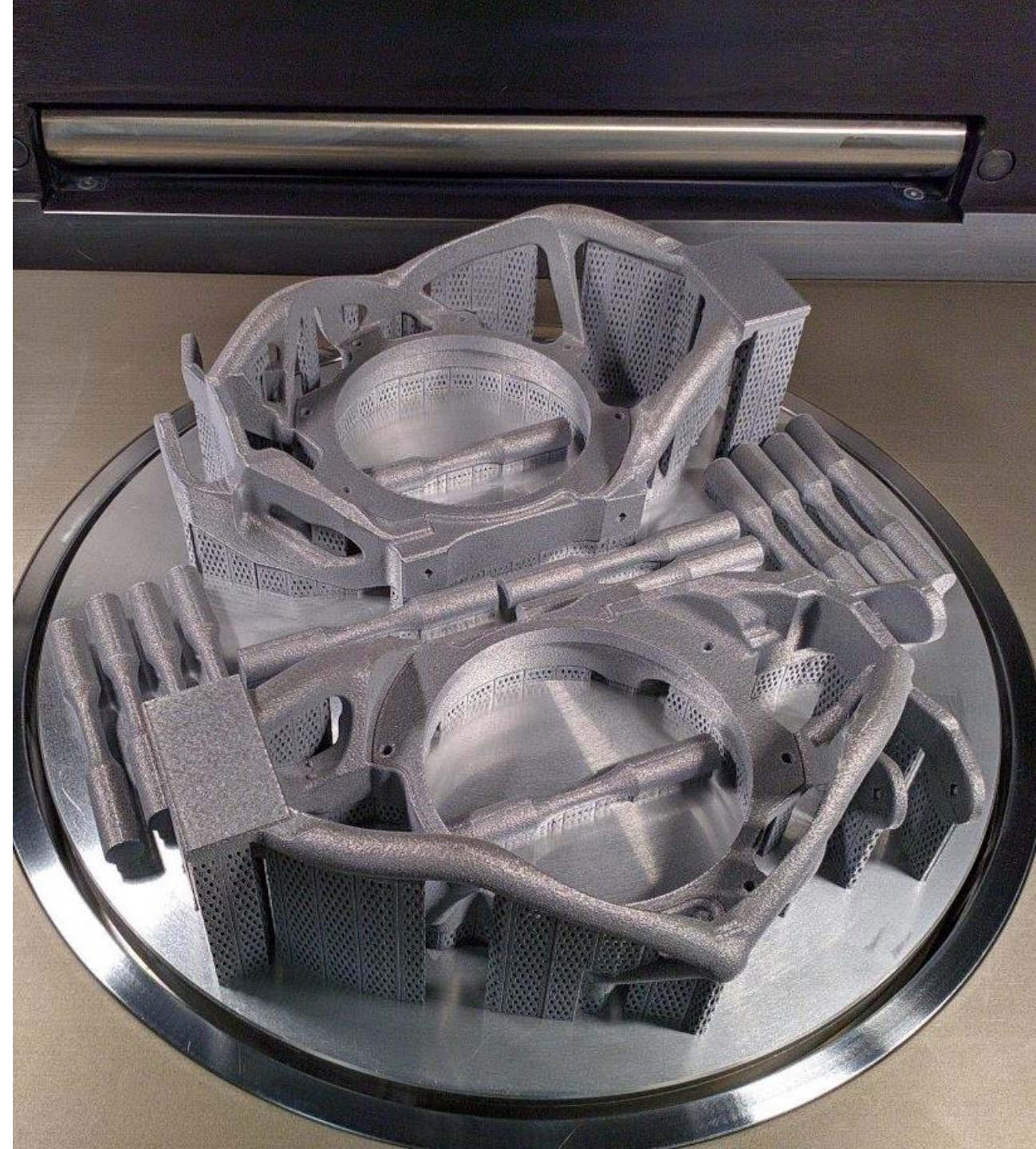




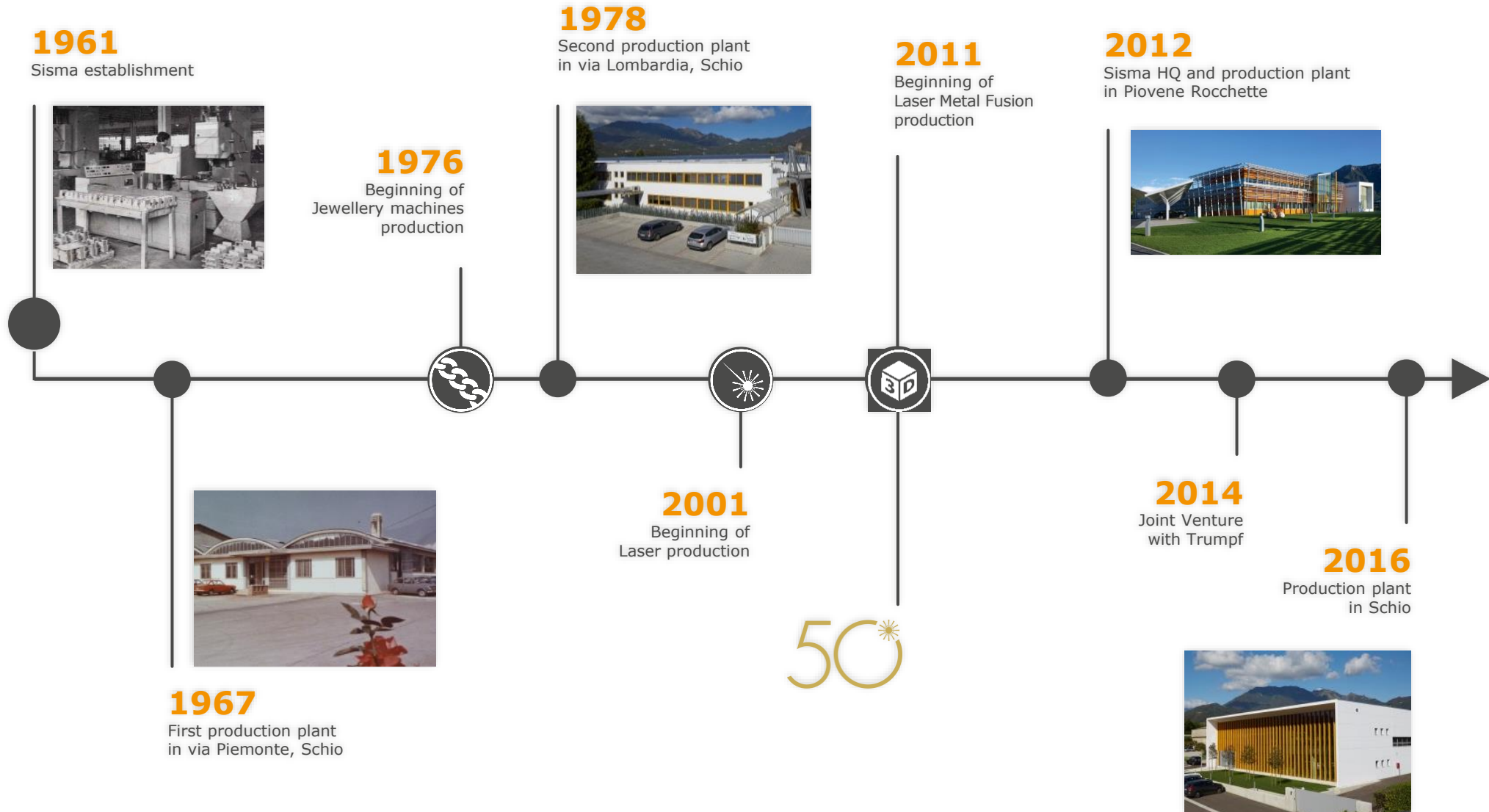
## **SISMA:**

application driven approach in R&D  
activities for metal 3D printing

Padova - 20.09.2019



## Sisma, a journey of growth over more than fifty years



Application driven approach in R&D activities  
for metal 3D printing



## High precision manufacturing solutions: **machinery & laser systems**

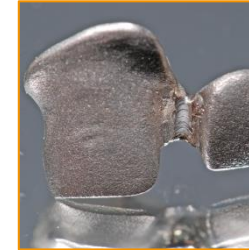
Jewellery



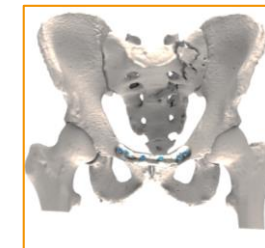
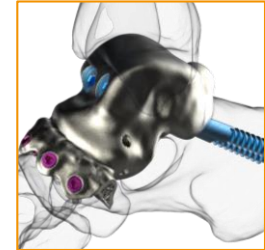
Industry



Dental



Medical



## MYSINT: Metal AM machine range in Sisma



### **MYSINT100**

Ø100x100mm  
Beam Spot 30µm o 55µm  
Laser Power 200W  
OPEN PARAMETERS



### **MYSINT300**

Ø300x400mm  
Variable Beam Spot 100µm a 500µm  
Laser Power 500W  
OPEN PARAMETERS

Application driven approach in R&D activities  
for metal 3D printing

## Attività R&D a 360°:

Aspetti metallurgici: **Ti beta (UNITN)**, **TT Ti64 (UNITN)**, **TT AlSi10Mg (UNITN)**, **Vidia (UNIBO)**, **Mole abrasive**, INFN Rame Puro (INFN)

Aspetti meccanici: Caratterizzazione a Fatica (UNIPD), **caratterizzazione strutture trabecolari (UNIBO)**

Aspetti applicativi specifici:

- . **preziosi e applicativi con piccole dimensioni**: densità elevate, difetto massimo ammissibile, miglioramento dettaglio e finitura, post-processi;
- . **Medicale**: trabecoli, caratteristiche meccaniche specifiche (E, A), superfici, TT;
- . Industria leggera: **ottimizzazione per pezzi di piccole dimensioni**;

Sviluppo macchine:

- . Powder bed monitoring,
- . Funzionalità avanzate del laser per migliorare superficie;
- . Ottimizzazione flussi.

Sviluppo processo:

- . sky-writing;
- . gas tecnici.

## Trattamento termico della lega Ti6Al4V prodotta tramite fusione laser selettiva

Ricerca condotta dall'università degli studi di Trento che, coadiuvata da Sisma Spa per quanto concerne la parte additive manufacturing e TAV per i trattamenti termici sottovuoto, mira ad indagare gli effetti del trattamento termico e dei diversi stati di finitura e trattamento superficiale sulle caratteristiche meccaniche del Titanio Gr.23 prodotto per manifattura additiva.

- Proprietà meccaniche modeste nello stato as-built;
- Problematiche di ossidabilità del titanio nel corso del TT;
- Influenza di differenti stati di finitura;
- Influenza delle temperature di TT;
- Influenza della modalità di esecuzione del trattamento termico.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO



## Trattamento termico della lega Ti6Al4V prodotta tramite fusione laser selettiva

**Variabili - Trattamento termico:** diversi trattamenti di ricottura(raffreddamenti lenti) distribuiti su un ampio intervallo di temperatura per cui ci si aspetta microstrutture e proprietà significativamente diverse.

**TT1**        950°C x 30min + raffreddamento a 7 °C/s

**TT2**        845°C x 120min + raffreddamento at4°C/min. fino a 450°C seguito da raffr. In flusso di Arad 1 atm

**TT3**        1050°C x 120min + raffreddamento at4°C/min. fino a 450°C seguito da raffr. In flusso di Ar. ad 1 atm

**TT1-TT3:** Trattamenti eseguiti da trattamentista conto terzi, in forno da vuoto (10<sup>-5</sup>bar) con elementi resistivi in grafite. TT3 è stato eseguito anche da un secondo trattamentista.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

Trattamento termico della lega Ti6Al4V prodotta  
tramite fusione laser selettiva

### Variabili - Finitura superficiale

- SBA Sabbiatura **dopo** il trattamento termico
- SBB Sabbiatura **prima** del trattamento termico
- MB Tornitura **prima** del trattamento termico
- MA Tornitura **dopo** trattamento termico



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO





Trattamento termico della lega Ti6Al4V prodotta tramite fusione laser selettiva

### **Analisi dei campioni “as built”**

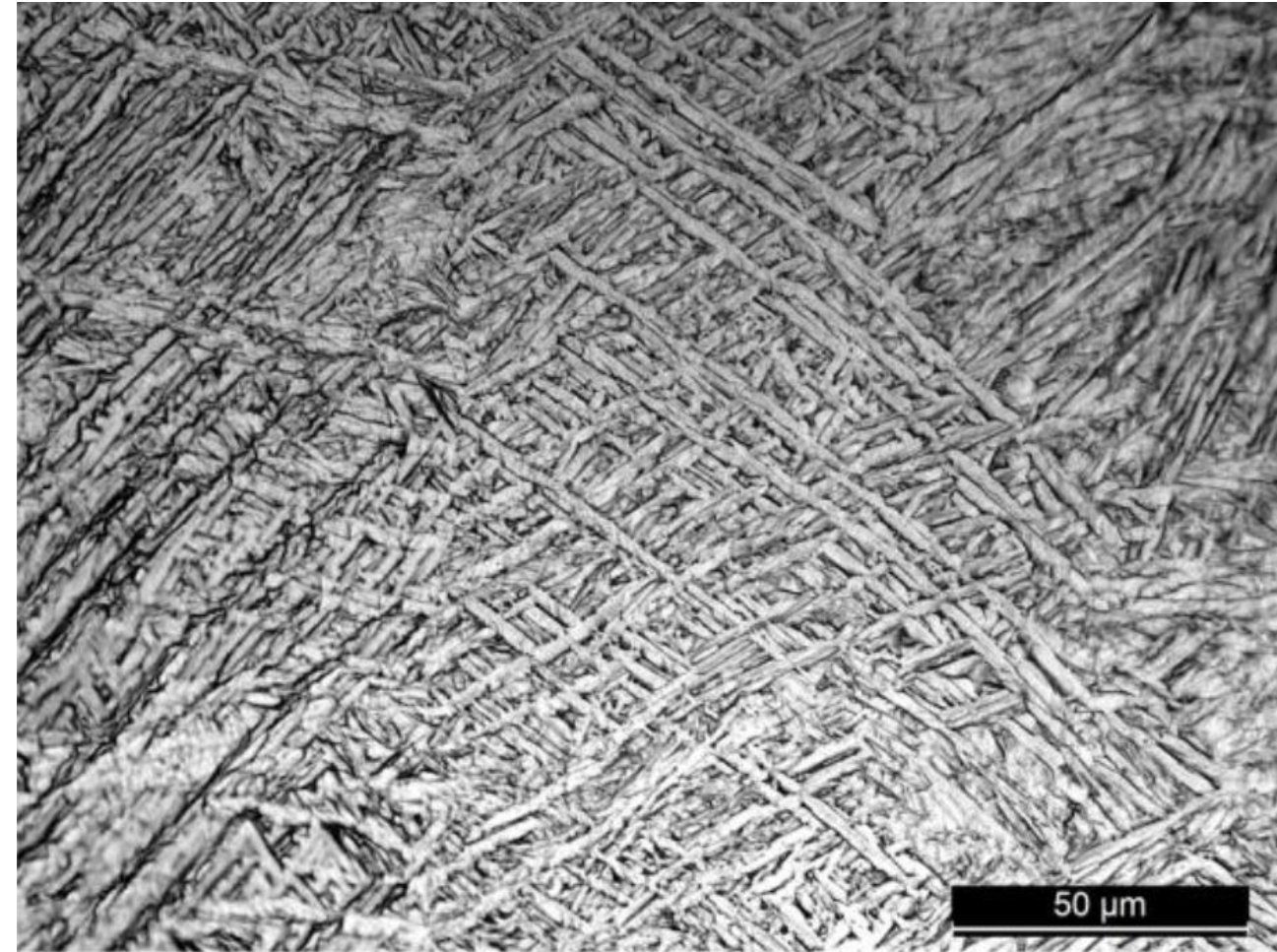
- Misura della densità
- Analisi microstrutturale

### **Analisi dei campioni dopo trattamento termico**

- Trattamenti termici
- Analisi microstrutturale
- Durezza
- Prove di trazione



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO



**HT1:** 950°C x **0.5h** + FC

Trattamento termico della lega Ti6Al4V prodotta tramite fusione laser selettiva

## Effetti della temperatura di trattamento

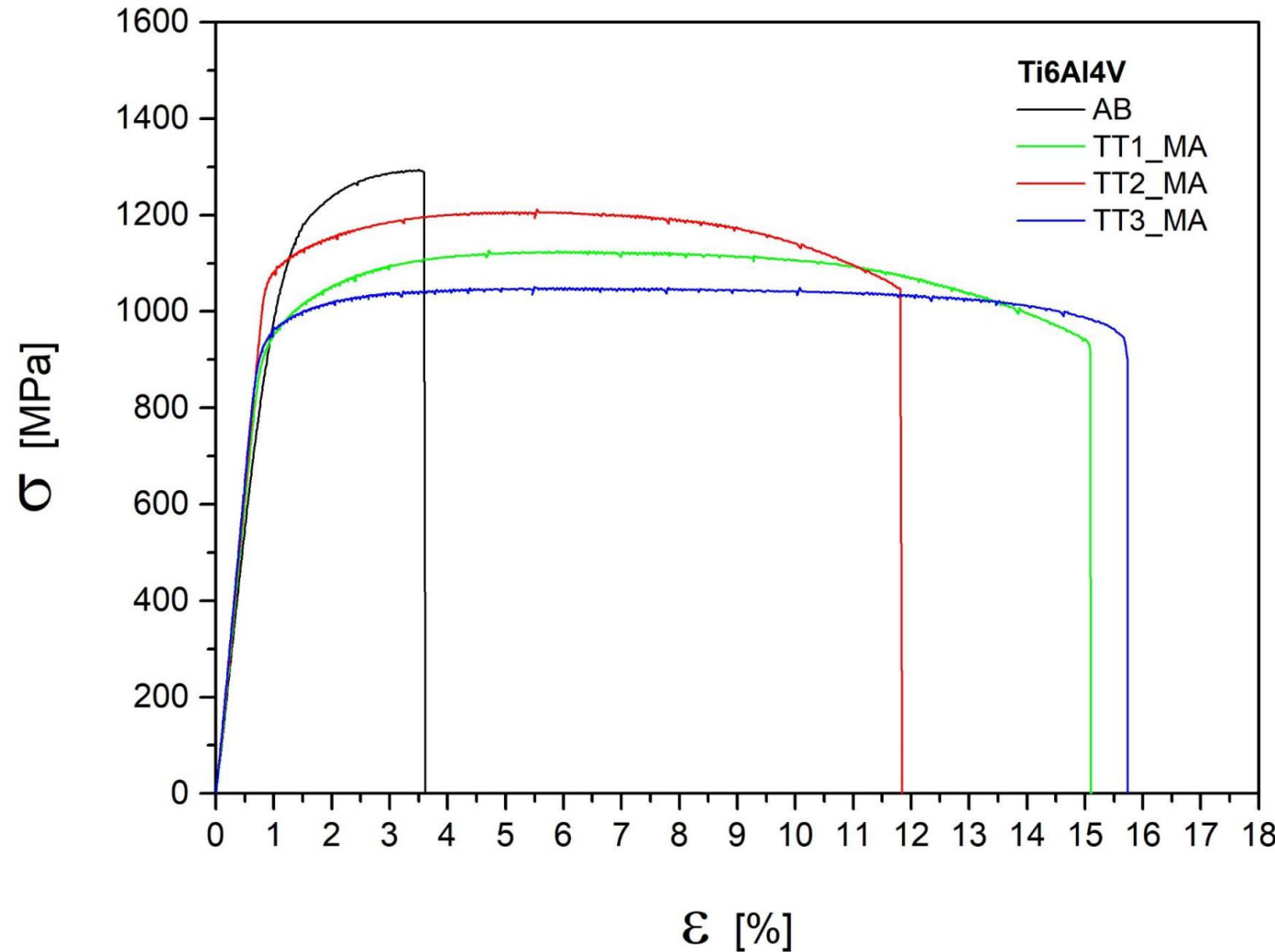
All'aumentare della temperatura di trattamento si hanno

- un progressivo calo della resistenza
- un aumento della duttilità

Il miglior compromesso è dato dal trattamento **TT1** (950°C x 30min + raffreddamento a 7 °C/s)



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

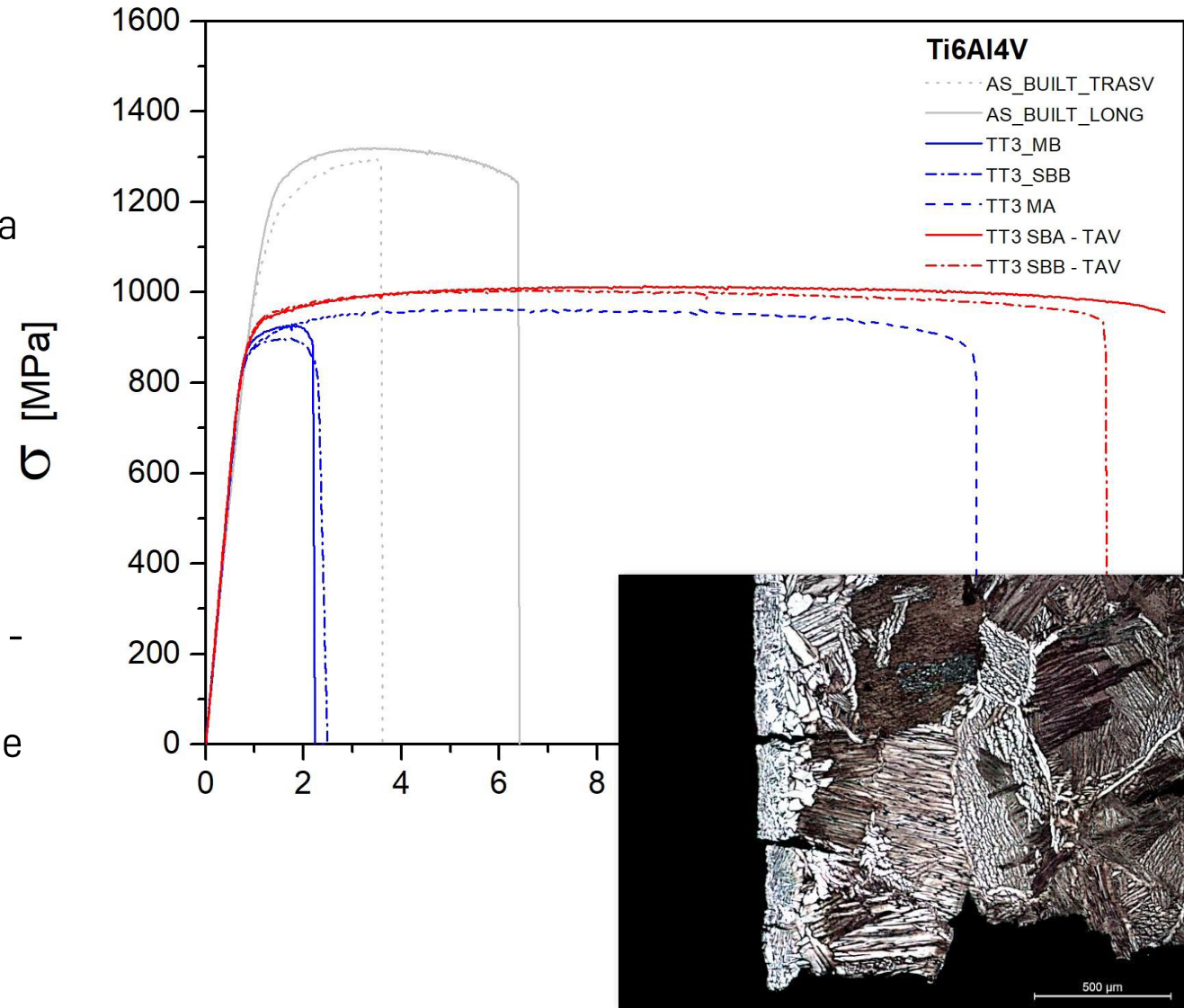


Trattamento termico della lega Ti6Al4V prodotta tramite fusione laser selettiva

## Effetti di finitura e trattamento superficiale

Il **TT3** causa una consistente riduzione della resistenza meccanica ed un importante recupero di duttilità rispetto al materiale AB

- Effetto deleterio della **contaminazione superficiale durante TT sotto vuoto** (SBB) non eliminabile attraverso sabbiatura post-TT (SBA)
- Rimozione dello strato contaminato solo attraverso lavorazione meccanica (MA)
- **Un trattamento in vuoto svolto a regola d'arte** (SBB - TAV) produce effetti migliori della lavorazione meccanica dopo un TT in condizioni di contaminazione (MA)
- La sabbiatura post-TT permette di recuperare 1% di duttilità



## Titanio Beta

**Variazione chimica delle polveri** per rispondere a requisiti applicativi

### Caratteristiche ricercate:

- Modulo elastico più basso (utile per la produzione di protesi)
- Buona resistenza a fatica
- Ottima resistenza alla corrosione
- Ottima biocompatibilità (lega senza Vanadio)
- Processo e TT semplificato



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

**Table 8.1 Mechanical properties of biomedical titanium alloys [7]**

Material	Standard	Elastic modulus, (GPa)	Tensile strength, (MPa)	Alloy type
<i>First generation biomaterials (1950–90)</i>				
Commercially pure Ti (Cp grade 1–4)	ASTM 1341	100	240–550	$\alpha$
Ti-6Al-4V ELI Wrought	ASTM F136	110	860–965	$\alpha+\beta$
Ti-6Al-4V ELI Standard grade	ASTM F147	112	895–930	$\alpha+\beta$
Ti-6Al-7Nb Wrought	ASTM F129	110	900–1050	$\alpha+\beta$
Ti-5Al-2.5Fe	–	110	1020	$\alpha+\beta$
<i>Second generation biomaterials (1990 till date)</i>				
Ti-13Nb-13Zr Wrought	ASTM F171	79–84	973–1037	Metastable $\beta$
Ti-12Mo-6Zr-2Fe (TMZF)	ASTM F181	74–85	1060–1100	$\beta$
Ti-35Nb-7Zr-5Ta (TNZT)	–	55	596	$\beta$
Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr	–	65	911	$\beta$
Ti-35Nb-5Ta-7Zr-0.40 (TNZTO)	–	66	1010	$\beta$
Ti-15Mo-5Zr-3Al	–	82		$\beta$
Ti-Mo	ASTM F206			$\beta$

**Table 8.2 Mechanical properties of human bone [8]**

Property	Cortical bone		Cancellous bone
	Longitudinal	Transverse	
Strength, tension	79–151 MPa	51–56 MPa	
Strength, compression	121–224 MPa	106–122 MPa	2–5 MPa
Elastic moduli of compact bone	17–20 GPa	6–13 GPa	0.76–4 GPa
Apparent density	1.99 g/cm <sup>3</sup>		0.05–1.00 g/cm <sup>3</sup>

Manifattura additiva dei metalli a parametri aperti:  
effetti sulla velocità e possibilità di sviluppo nuove applicazioni e materiali



## Titanio Beta

**Variazione chimica delle polveri** per rispondere a requisiti applicativi

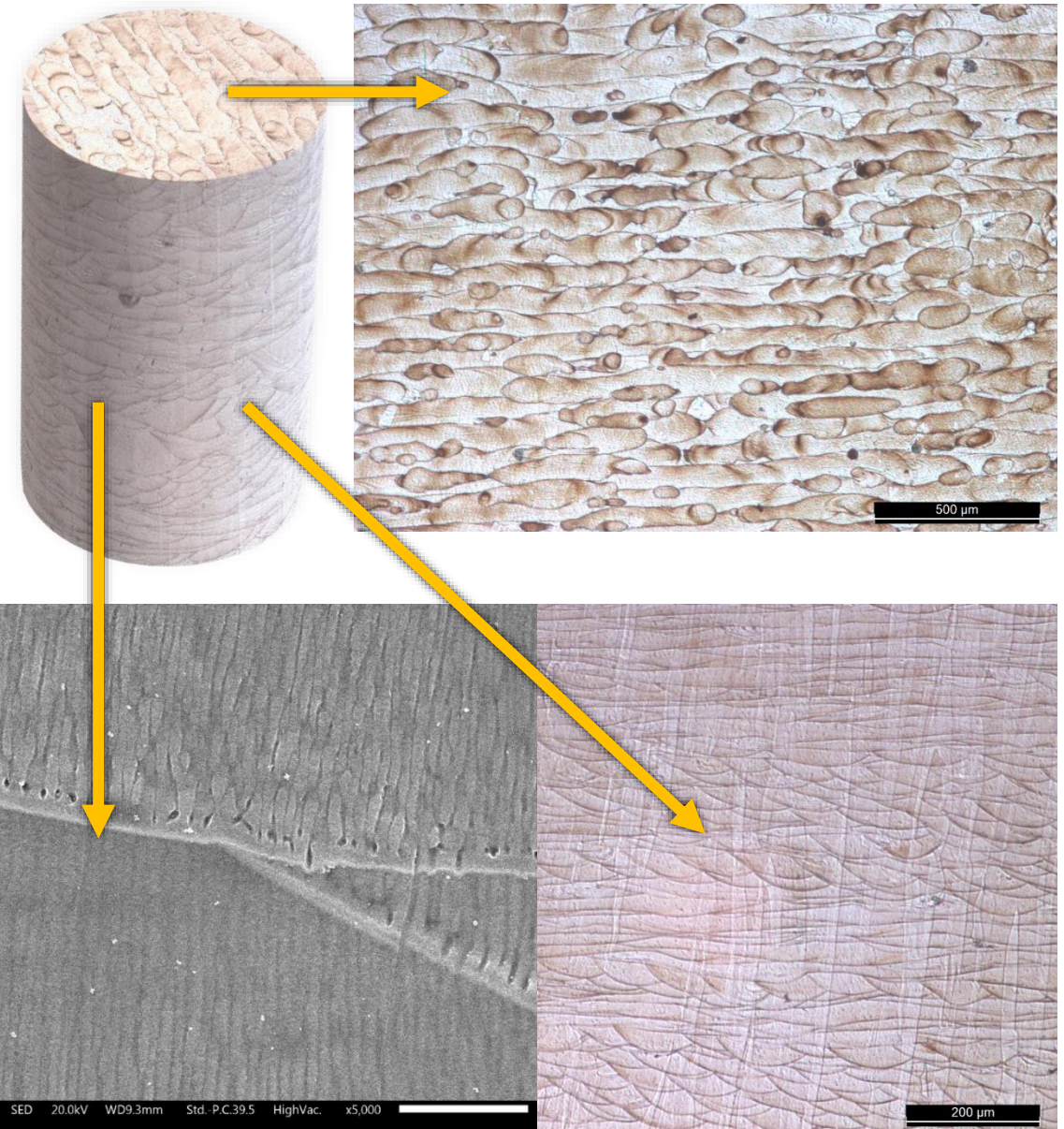
### Conseguenze di processo:

Il basso modulo elastico porta ad una riduzione delle deformazioni durante il processo di stampa.

Aspettativa di poter evitare il trattamento termico o riuscire ad eseguirlo a temperature inferiori (processo meno critico)



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO



Manifattura additiva dei metalli a parametri aperti:  
effetti sulla velocità e possibilità di sviluppo nuove applicazioni e materiali

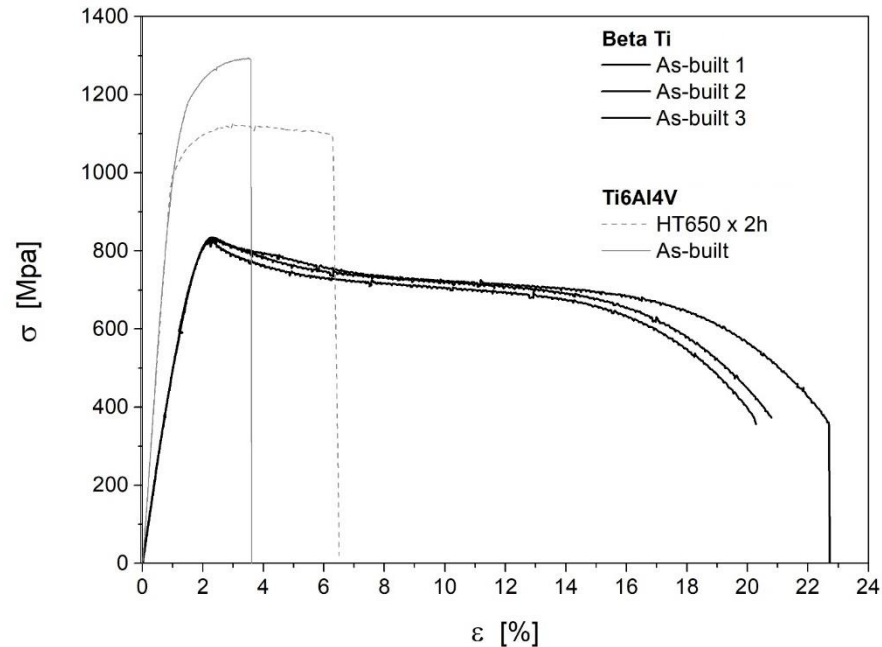


## Titania Beta

Variazione chimica delle polveri per rispondere a requisiti applicativi

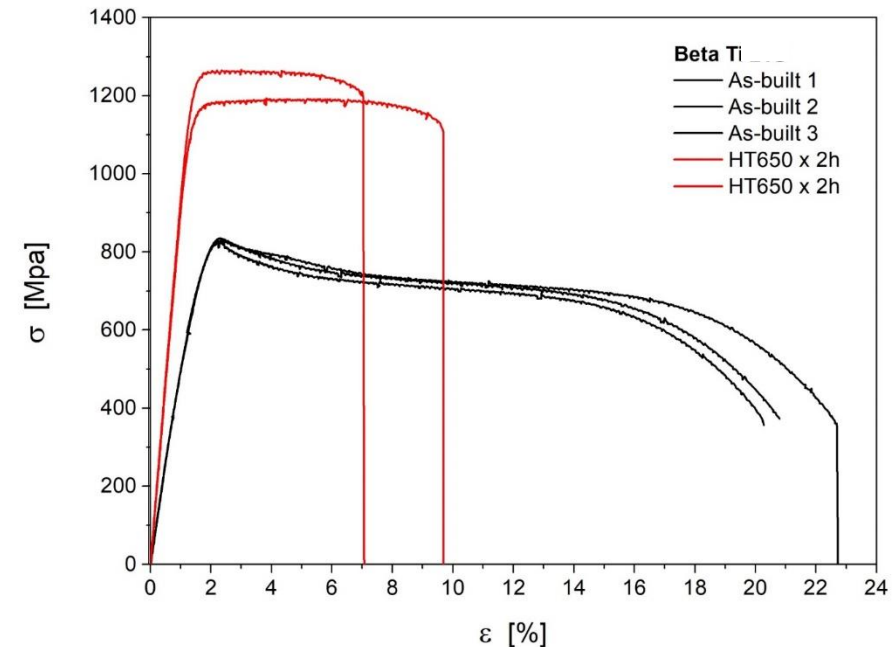


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO



### Senza trattamento termico:

- Buone proprietà meccaniche (UTS=820Mpa, allungamento 21%)
- Riduzione modulo elastico (53GPa)
- «Softening» durante la deformazione plastica



### Trattamento termico 650°C per 2h:

- Aumento della resistenza con il trattamento termico
- Il modulo elastico cresce con l'aumento della frazione di  $\alpha$  phase con TT sopra i 400°C (precipita  $\alpha$  phase)
- Scompare il comportamento di softening

Manifattura additiva dei metalli a parametri aperti:  
effetti sulla velocità e possibilità di sviluppo nuove applicazioni e materiali

**Advanced parameters**  
development for non custom and  
non conventional applications.

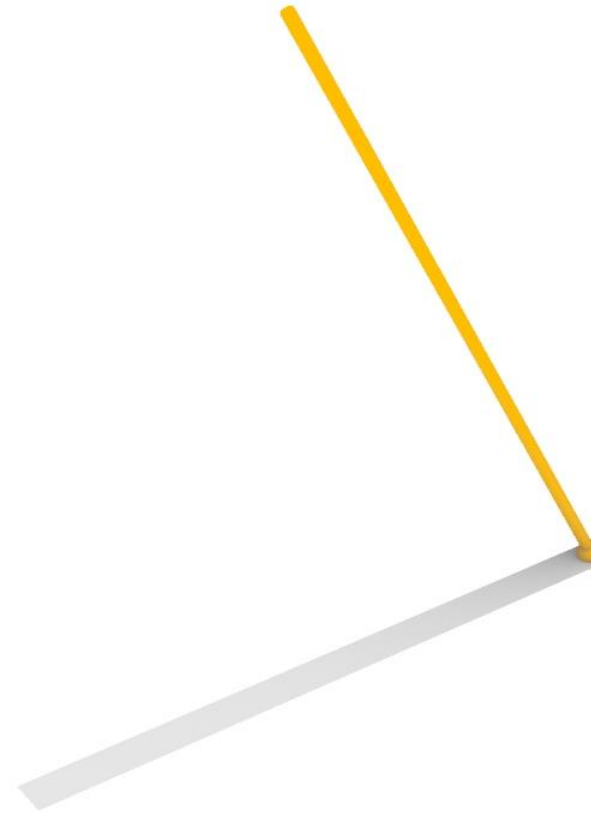


## Parametri di base:

Laser

potenza

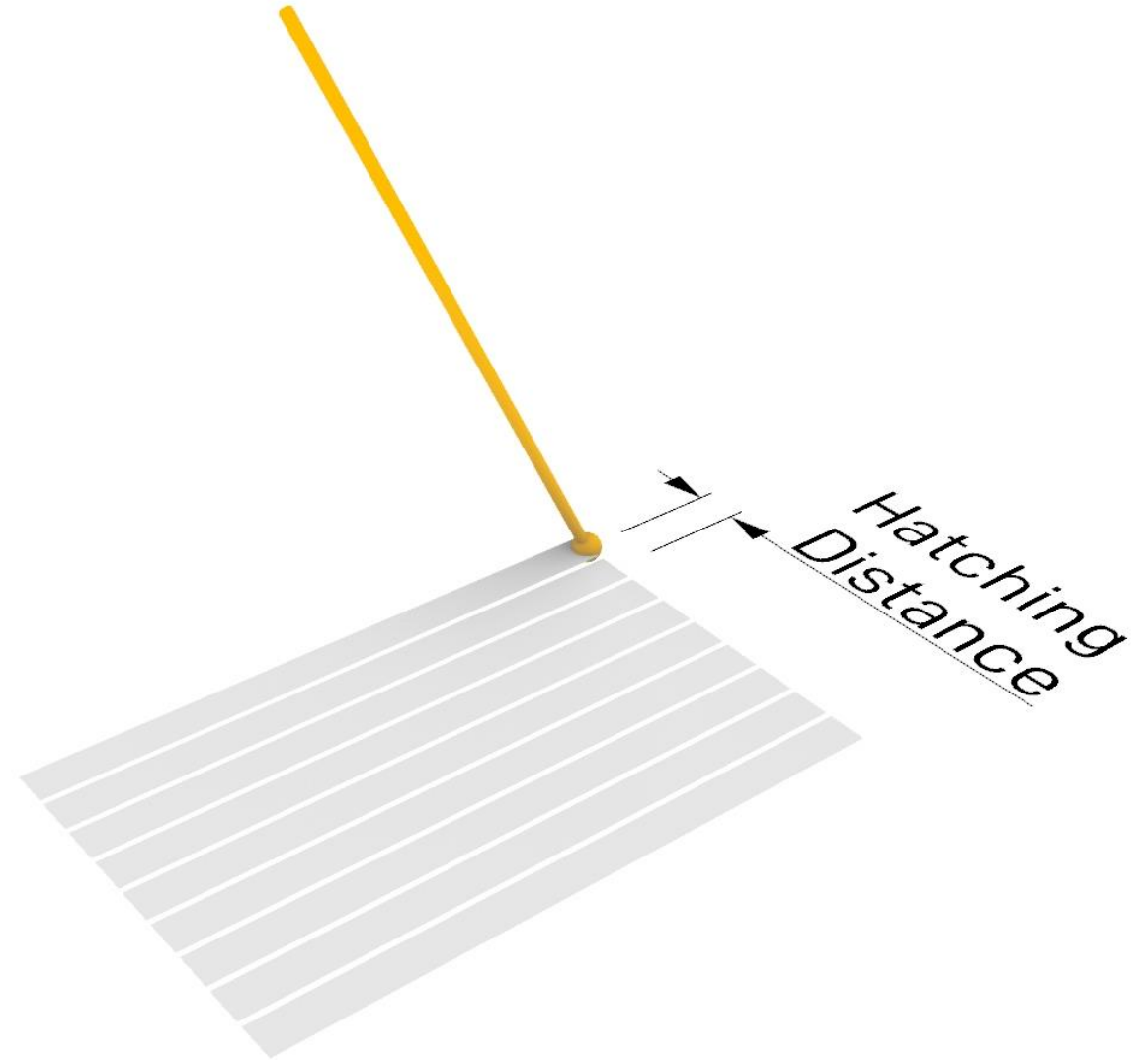
velocità di scansione



## Parametri di base:

### Laser

potenza  
velocità di scansione  
distanza di hatching

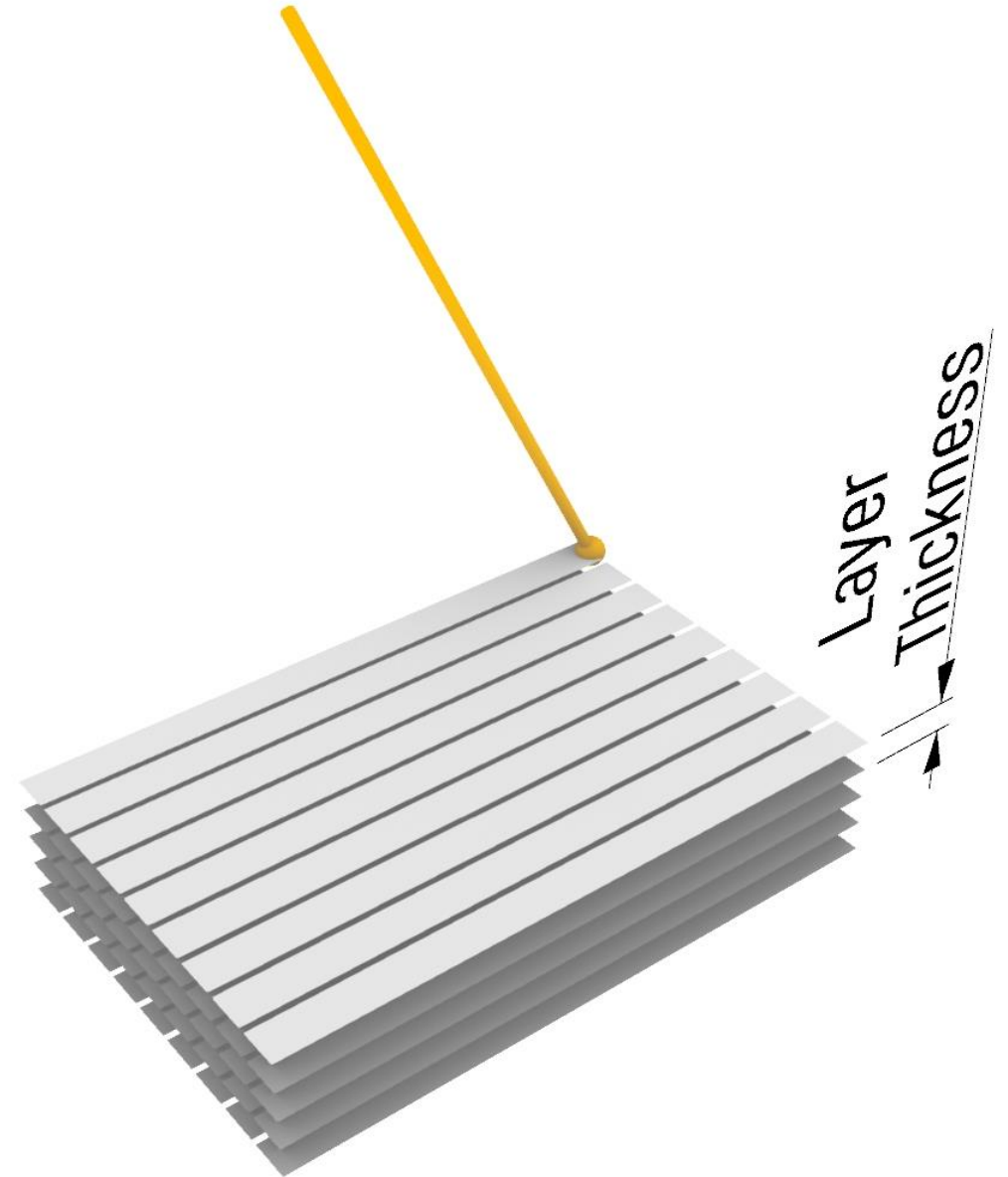


## Parametri di base:

### Laser

- potenza
- velocità di scansione
- distanza di hatching

### Spessore layer





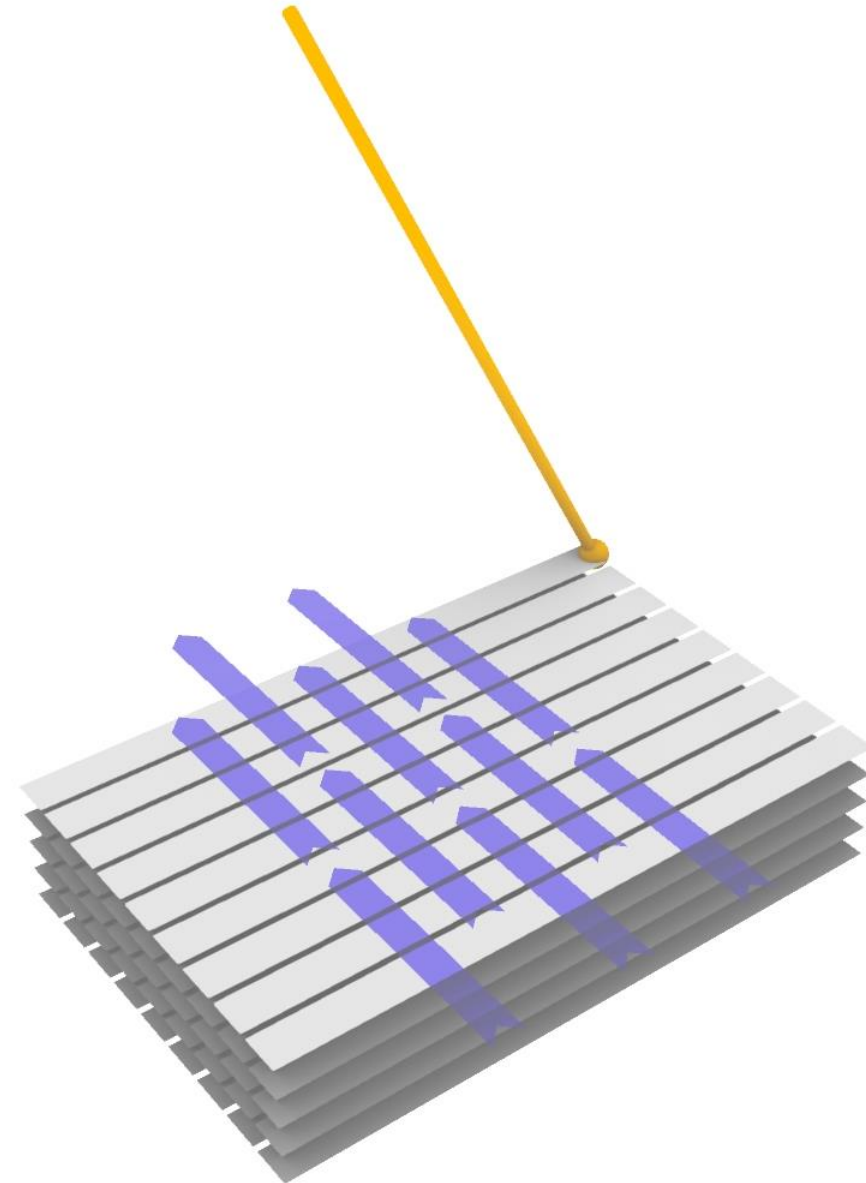
## Parametri di base:

### Laser

potenza  
velocità di scansione  
distanza di hatching

### Spessore layer

### Velocità dei flussi



## Parametri evoluti:

### Laser

potenza

velocità di scansione

distanza di hatching

distanza dei contorni

diametro dello spot laser

beam spot compensation

distanza dei contorni

Spessore layer

spessori layer diversi, ad esempio multipli

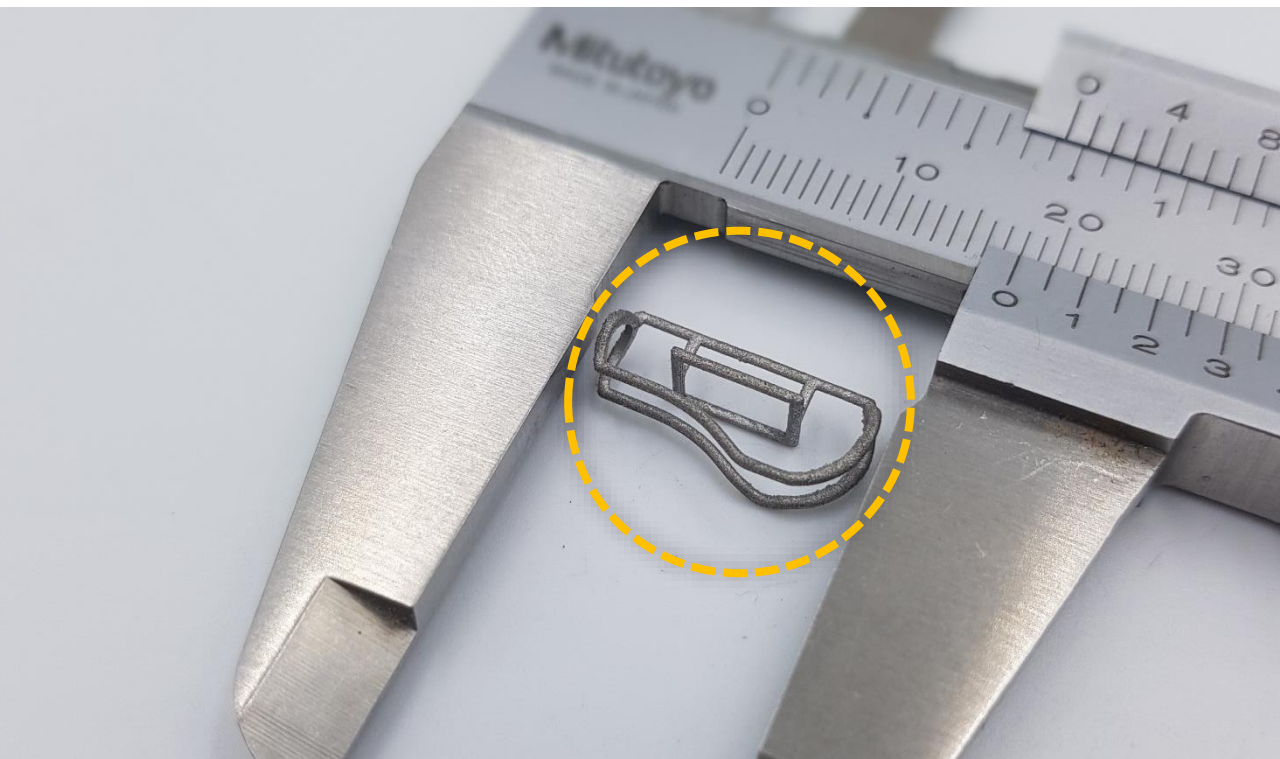
Velocità dei flussi

Tipologia di gas scelto

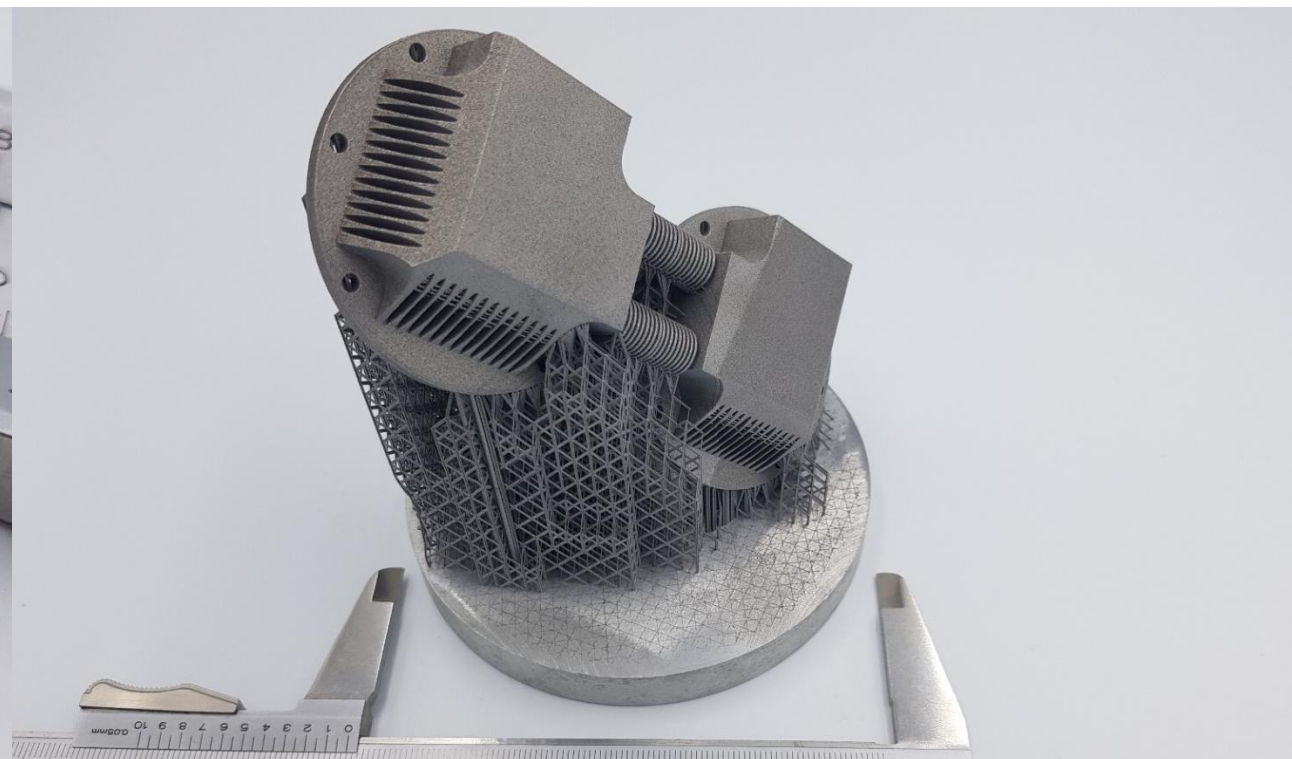
Polveri

granulometria polveri, chimica polveri

**I parametri di processo dipendono  
anche dalle geometrie**



Particolare di piccole dimensioni e sezione 0.7mm



Particolare con sezione e altezza importanti

Manifattura additiva dei metalli a parametri aperti:  
effetti sulla velocità e possibilità di sviluppo nuove applicazioni e materiali

# I parametri di processo dipendono anche dalle geometrie

## Particolare di piccole dimensioni

- **Descrizione pezzo:** Sezioni sottili (0.7mm)
- **Criteri di validazione:** Finitura superficiale, realizzazione geometrie complesse



- Diametro **Beam spot ridotto**
- **Selezione di granulometria** polveri appropriata
- **Supporti:** rimozione facile, funzione di sostegno

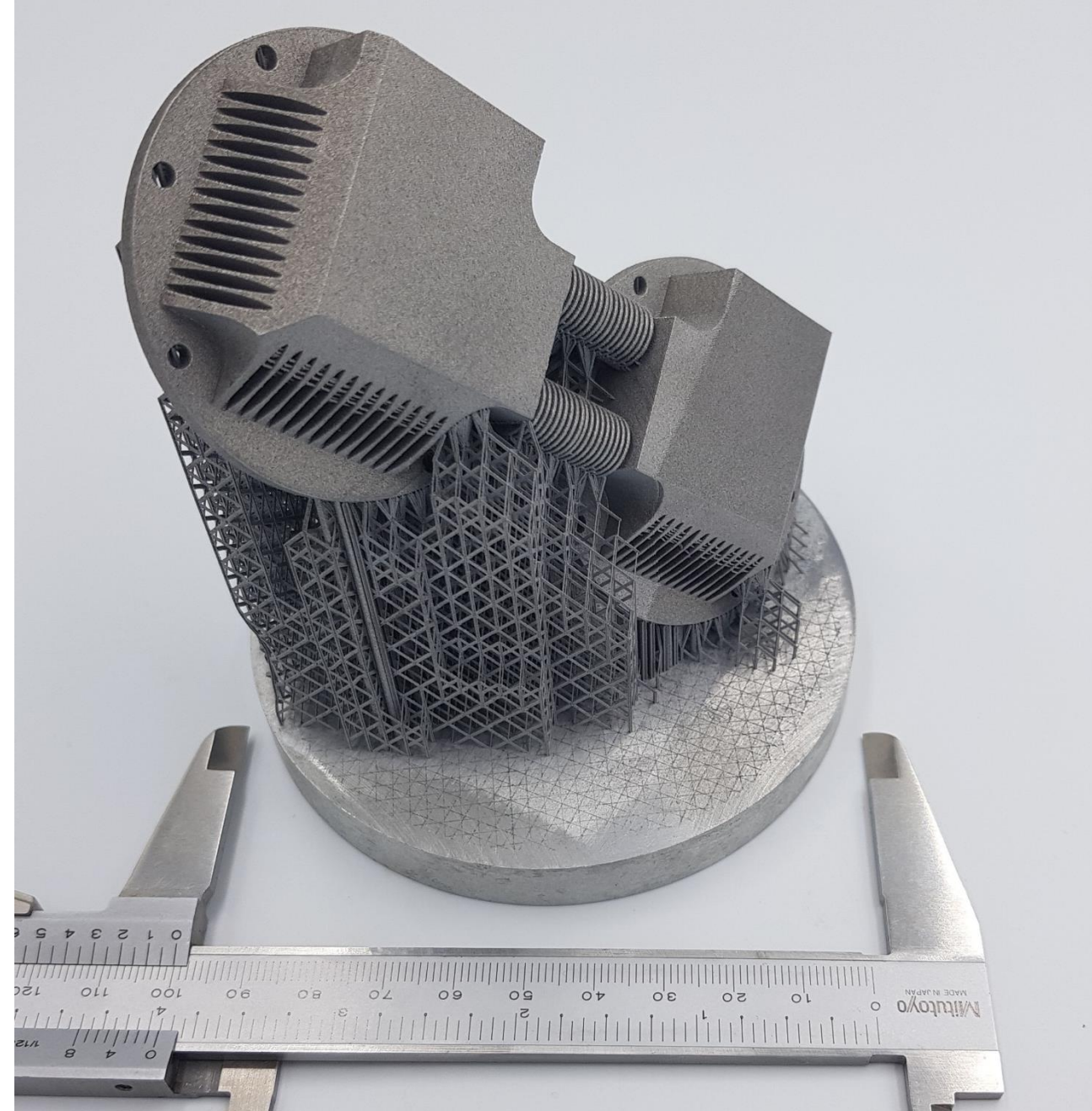




# I parametri di processo dipendono anche dalle geometrie

## Pezzo massivo

- **Descrizione pezzo:** spessori importanti e variazioni di spessore
  - **Criteri di validazione:** caratteristiche meccaniche, densità e realizzazione geometria, velocità di produzione
- 
- **Beam spot medio** o variabile da medio a grande
  - **Supporti:** trasferimento di calore, funzioni di sostegno e ancoraggio alla platform
  - Un pezzo particolarmente grande e con forme allungate potrebbe beneficiare di diverse strategie di **preheating**
  - Parametri di processo con grosso spessore layer o strategie diverse per core e skin



Manifattura additiva dei metalli a parametri aperti:  
effetti sulla velocità e possibilità di sviluppo nuove applicazioni e materiali



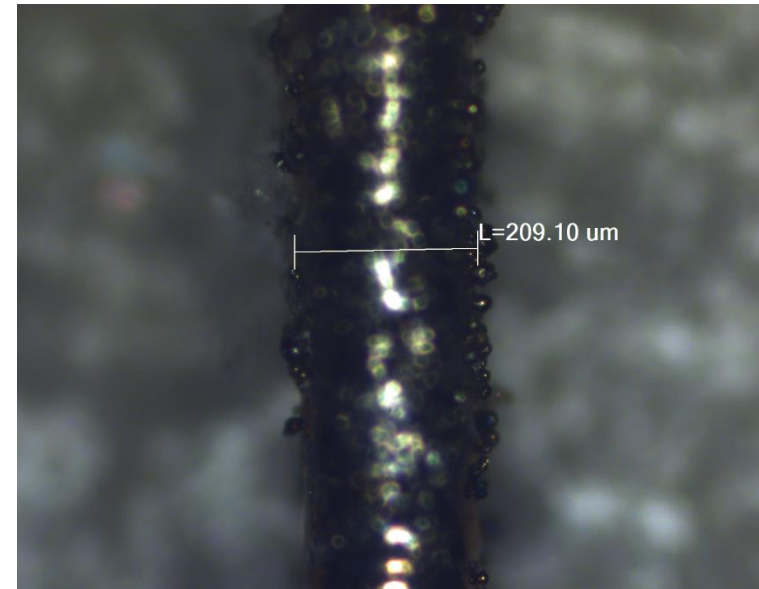
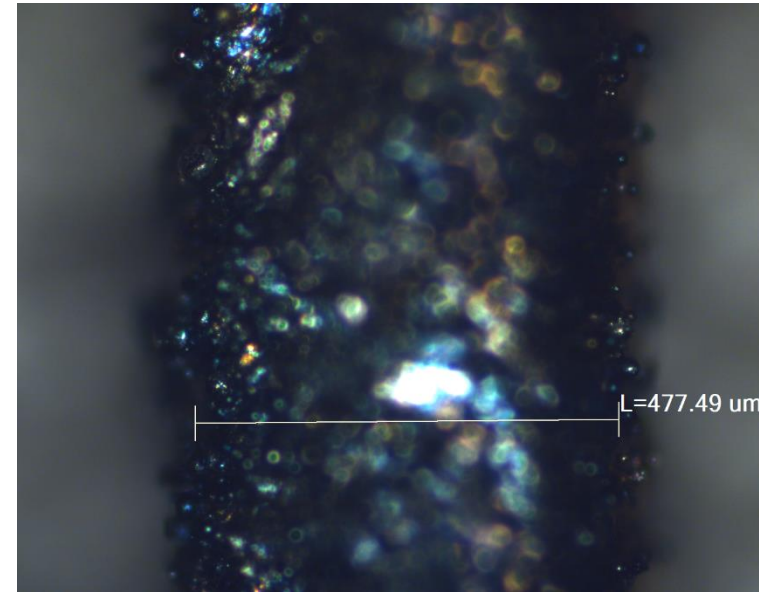
# Beam spot diameter e parametri evoluti nel medicale

## Dottorato di ricerca – Erica Liverani

"Studio e ottimizzazione del processo di fabbricazione additiva (slm) per applicazioni in ambito biomedicale: produzione di protesi e strutture reticolari"

La scelta di un beam spot da  $55\mu\text{m}$  si è rivelata nel tempo uno standard per la manifattura additiva di strutture trabecolari.

- Variando i parametri di processo è possibile ottenere geometrie più dettagliate (da 0,48 a 0,21mm)



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

# Beam spot diameter e parametri evoluti nel medicale

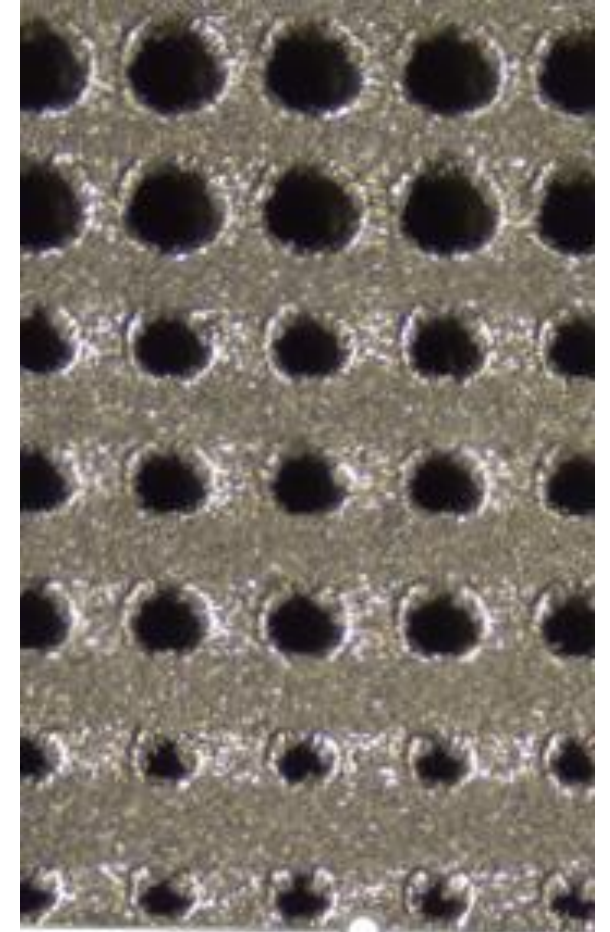
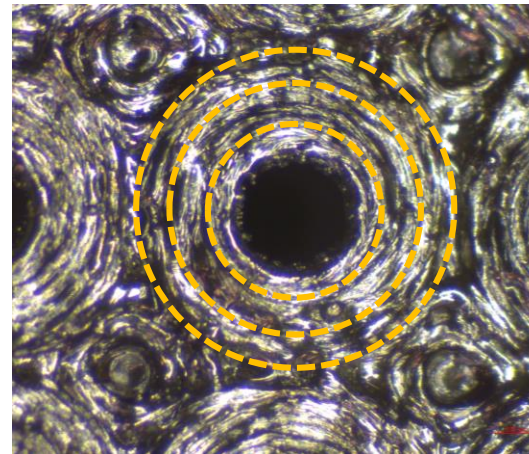
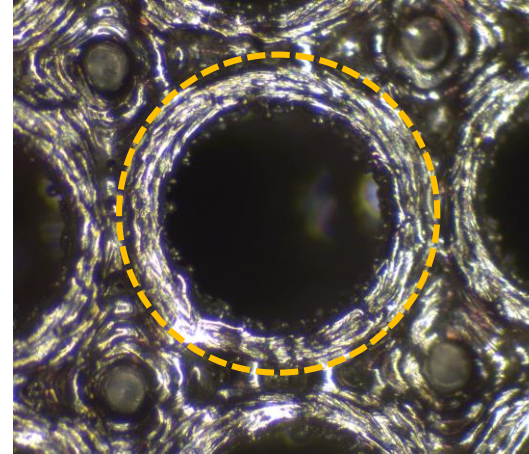
## Dottorato di ricerca – Erica Liverani

"Studio e ottimizzazione del processo di fabbricazione additiva (slm) per applicazioni in ambito biomedicale: produzione di protesi e strutture reticolari"

La variazione di parametri di processo (**numeri di contorni, potenza e velocità della scansione laser**) permette la realizzazione di strutture con rigidità variabile, facilitando l'osteointegrazione.



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



Manifattura additiva dei metalli a parametri aperti:  
effetti sulla velocità e possibilità di sviluppo nuove applicazioni e materiali



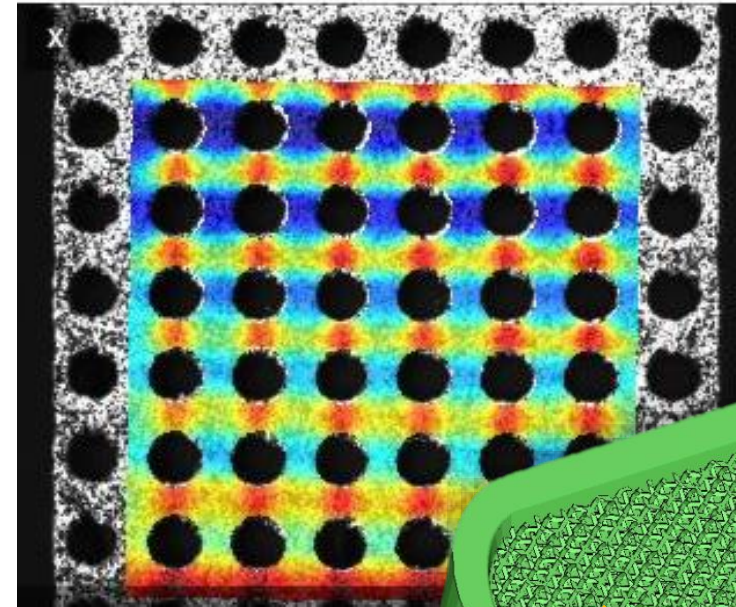
# Beam spot diameter e parametri evoluti nel medicale

## Dottorato di ricerca – Erica Liverani

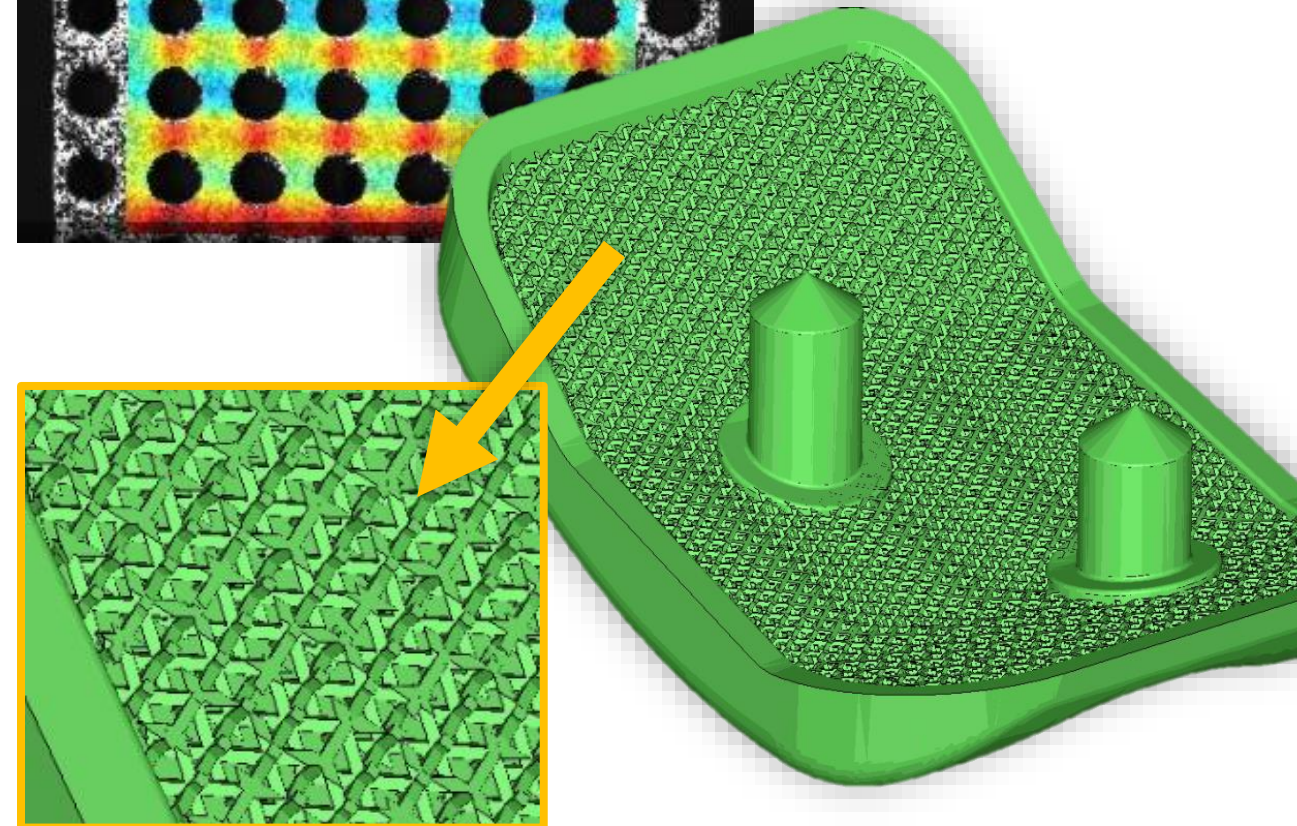
"Studio e ottimizzazione del processo di fabbricazione additiva (slm) per applicazioni in ambito biomedicale: produzione di protesi e strutture reticolari"

Le protesi prodotte in additive variando i parametri di processo facilitano l'osteointegrazione essendo composte da zone diverse:

- alta densità e caratteristiche meccaniche
- densità e caratteristiche meccaniche variabili secondo un gradiente per evitare fenomeni di "stress shielding".



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



Manifattura additiva dei metalli a parametri aperti:  
effetti sulla velocità e possibilità di sviluppo nuove applicazioni e materiali

# Studio di fattibilità per utensile abrasivo

**Sviluppo di applicazione svolta in Sisma.**

**Materiale:** matrice metallica e diamante sintetico

## **Obiettivi:**

Il parametro laser deve consentire

- . la realizzazione di una matrice consolidata
- . evitare la grafitizzazione del diamante

## **Procedimento:**

- . Produzione di provini cubici
- . Variazione parametri in macchina
- . analisi SEM (Scanning Electron Microscopy)
- . Spettroscopia EDS



Manifattura additiva dei metalli a parametri aperti:  
effetti sulla velocità e possibilità di sviluppo nuove applicazioni e materiali



## Studio di fattibilità per utensile abrasivo svolta in Sisma

Identificazione parametri di base e produzione di un **oggetto dimostratore**.

La fase successiva di Ricerca e Sviluppo è stata continuata dal cliente.



Manifattura additiva dei metalli a parametri aperti:  
effetti sulla velocità e possibilità di sviluppo nuove applicazioni e materiali



# Studio di processabilità del metallo duro

**Studio di fattibilità sul sistema «WC-Co» condotto da Giuseppe Valli** durante il dottorato di ricerca all'università di Bologna.

La ricerca è volta alla realizzazione di componenti costituiti da Carburo di Tungsteno legati da una fase metallica a base Cobalto.

Le difficoltà sono simili a quelle incontrate nelle mole diamantate.

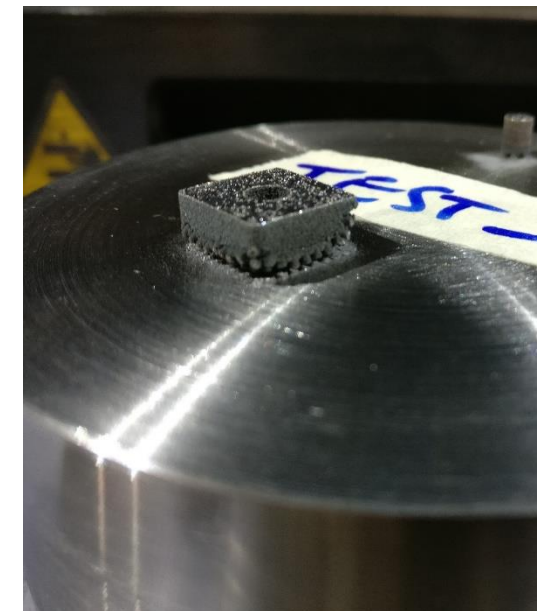
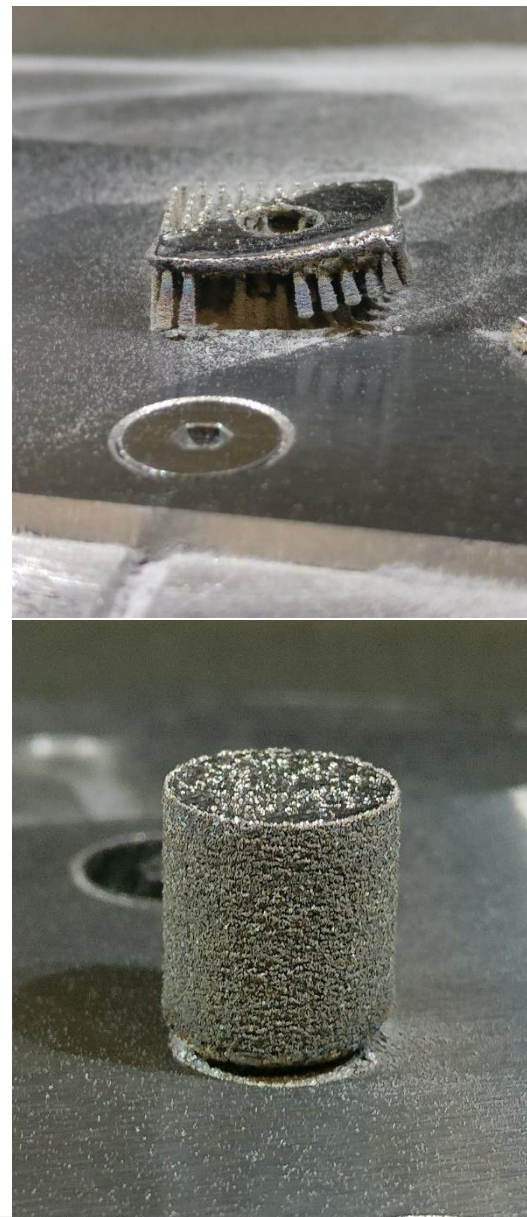


Foto dei primi provini prodotti per l'identificazione di parametri di processo.



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Manifattura additiva dei metalli a parametri aperti:  
effetti sulla velocità e possibilità di sviluppo nuove applicazioni e materiali

# Studio di processabilità del metallo duro



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Studio di fattibilità sul sistema «WC-Co» condotto da Giuseppe Valli

Produzione di **Coltello Stozzatore** e relative prove di lavorazione.



Manifattura additiva dei metalli a parametri aperti:  
effetti sulla velocità e possibilità di sviluppo nuove applicazioni e materiali

# Studio di processabilità del metallo duro

Studio di fattibilità sul sistema «WC-Co» condotto da **Giuseppe Valli** durante il dottorato di ricerca all'università di Bologna.

Produzione di **Creatore** per la lavorazione di ingranaggi.



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



Manifattura additiva dei metalli a parametri aperti:  
effetti sulla velocità e possibilità di sviluppo nuove applicazioni e materiali





## Beam spot diameter: diametri ridotti per geometrie speciali

Courtesy of  
Nuovi Gioielli



# Beam spot diameter: diametri ridotti per geometrie speciali

"Pixel" technical sample - Bronze 90-10

- Nessuna correlazione con tecnologie convenzionali
- La struttura è prodotta con tasselli interconnessi di forma quadrata
- La trama è prodotta in una singola lavorazione su piattaforma di diametro Ø100mm
- Combinazione di finitura e meccanica e placcatura oro



- Lavoro di fine tuning di parametri di scansione e beam compensation



Courtesy of  
NuoviGioielli



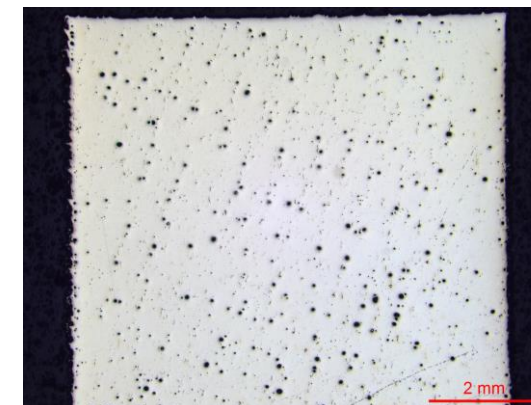
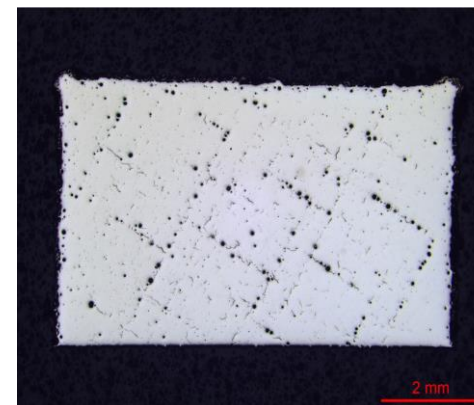
# Jewelry: richieste di qualità TOP

**Requisiti tecnici:** Lucidabilità

Densità: 99,97%

Difetto massimo: 20um

1. Interpretazione metallografica dei difetti
2. Percorsi laser
3. Sky-writing
4. Funzionalità laser avanzate



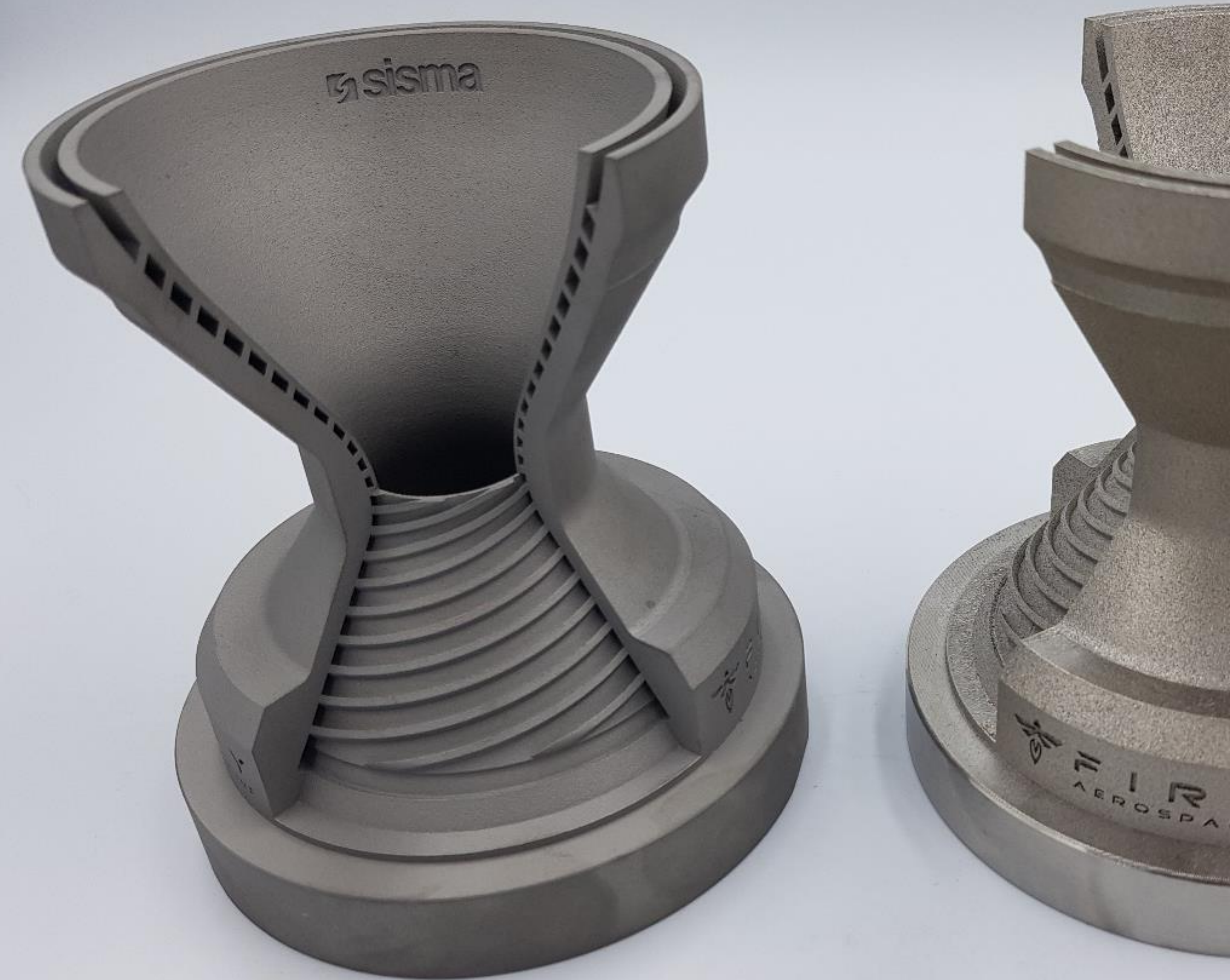
Manifattura additiva dei metalli a parametri aperti:  
effetti sulla velocità e possibilità di sviluppo nuove applicazioni e materiali

Latest MYSINT user:  
**Firefly Aerospace Ukraine**

The Ukraine based and american owned company acquired a MYSINT100 PMRM and a MYSINT300.

The company is an early adopters of metal additive manufacturing and chose Sisma as a new supplier.

Firefly, prior to acquire new machines, started a collaboration with Sisma: our application development engineers developed fine tuned building parameters for new materials on the small MYSINT 100 PMRM.



Inconel 718 Rocket nozzle with integrated cooling,  
courtesy of Firefly Aerospace.

## Racing Components

**Material:**  
**Ti6Al4V**

- Complex geometries
- Economic advantage on low quantity and high complexity
- Part consolidation
- Reduction of technologies used to produce a part



## Racing Components

**Material:**  
**AlSi10Mg**

- Weight reduction (35%) and rigidity increase (70%) over a traditional milled Ergal component (7075)
- Topological optimization by using new generative design softwares that take advantage of the manufacturing freedom of 3D printing



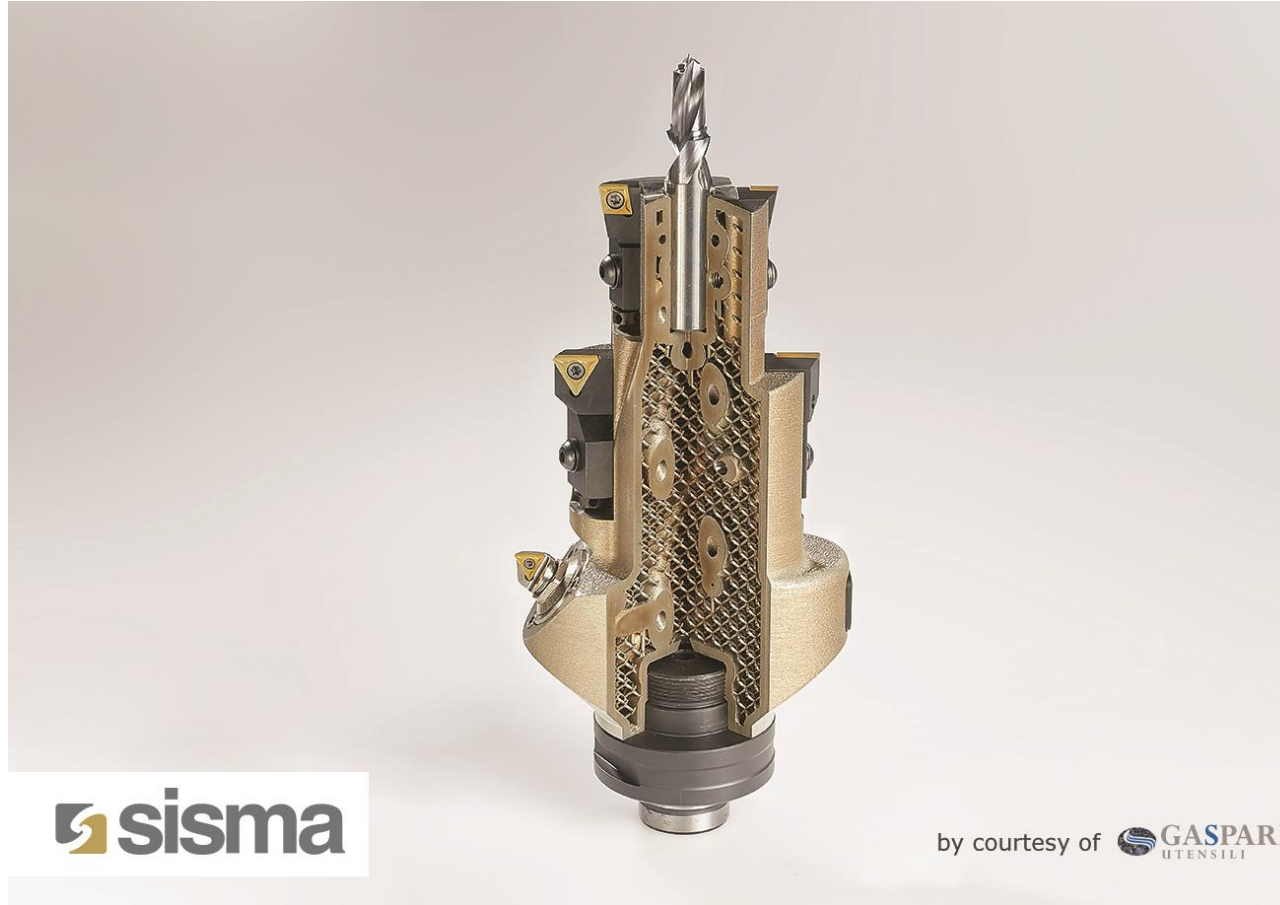


## Cutting tool industry

### Material:

**AISI 316L – 1.4404**

- Weight reduction by hollowing and using trabecular structures
- Internal cooling channels to increase the performance of the part



## Fashion business

**Material:**  
**Ti6Al4V**

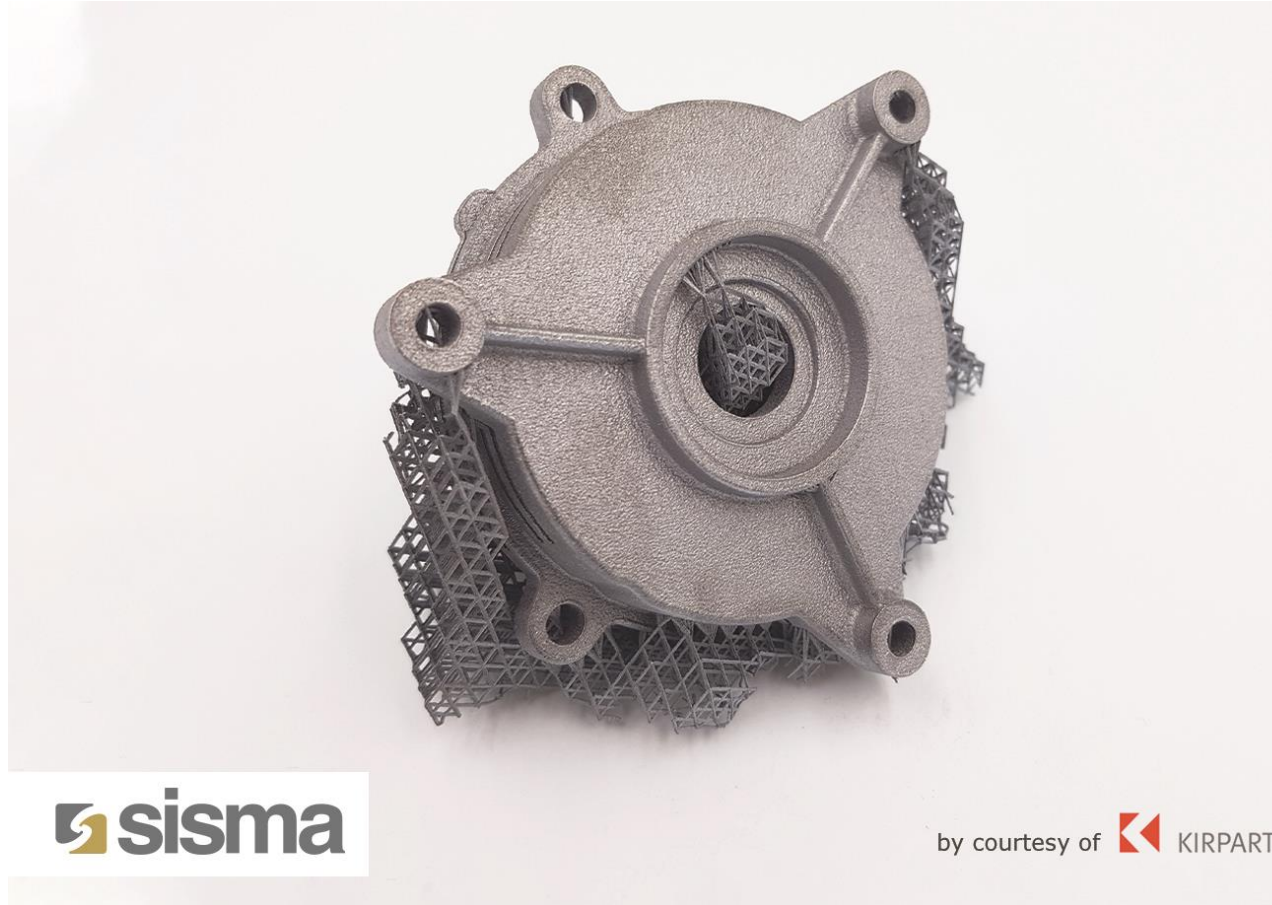
- Weight reduction by hollowing the part (0,6mm wall thickness)
- Total weight of the frame 25gr
- Low cost for prototyping of complex geometries



## Industrial components

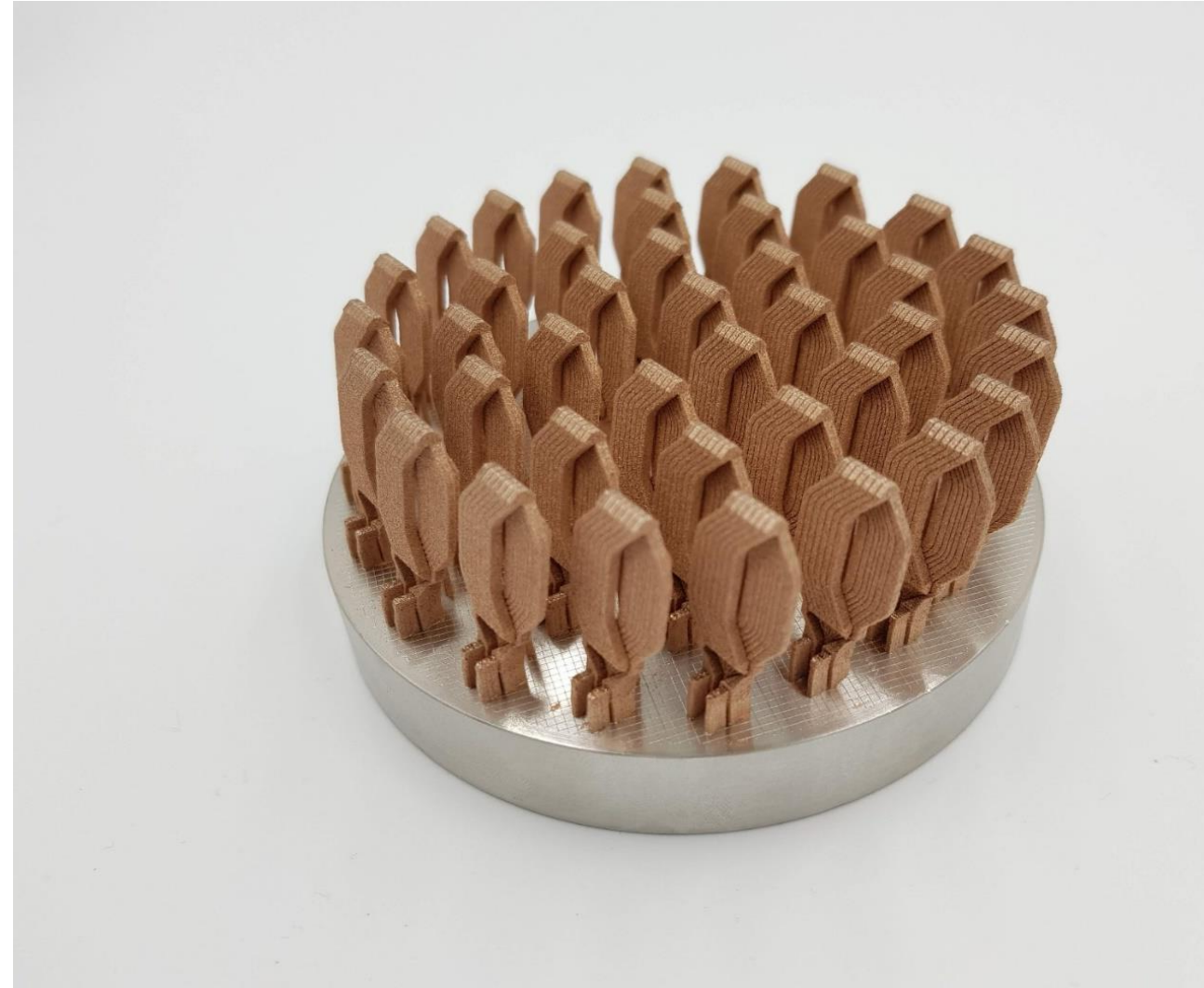
**Material:**  
**AlSi10Mg**

- Easy production of spare parts or new geometries
- The new Materialise E-Stage optional plugin does completely automated support generation without any intervention from the user



## Huge range of available materials

- High mechanical properties
- High electrical and heat conduction





## Ongoing research and Sisma capabilities:

- **Development of New Alloys**
- **Optimization of existing alloys for the LMF Process**
- **Optimization of the whole process (powder, LMF, Heat Treatment) to match the requirements of a specific application**

# Ricerche in corso e competenze disponibili in Sisma:

- Sviluppo di nuove leghe
- Ottimizzazione di leghe esistenti per il processo LMF
- Ottimizzazione dell'intero processo (polveri, LMF, trattamento termico, gas inerte) per soddisfare i requisiti di una specifica applicazione industriale.



Manifattura additiva dei metalli a parametri aperti:  
effetti sulla velocità e possibilità di sviluppo nuove applicazioni e materiali

high precision manufacturing solutions  
**machinery & laser systems**



**[info@sisma.com](mailto:info@sisma.com) | [www.sisma.com](http://www.sisma.com)**