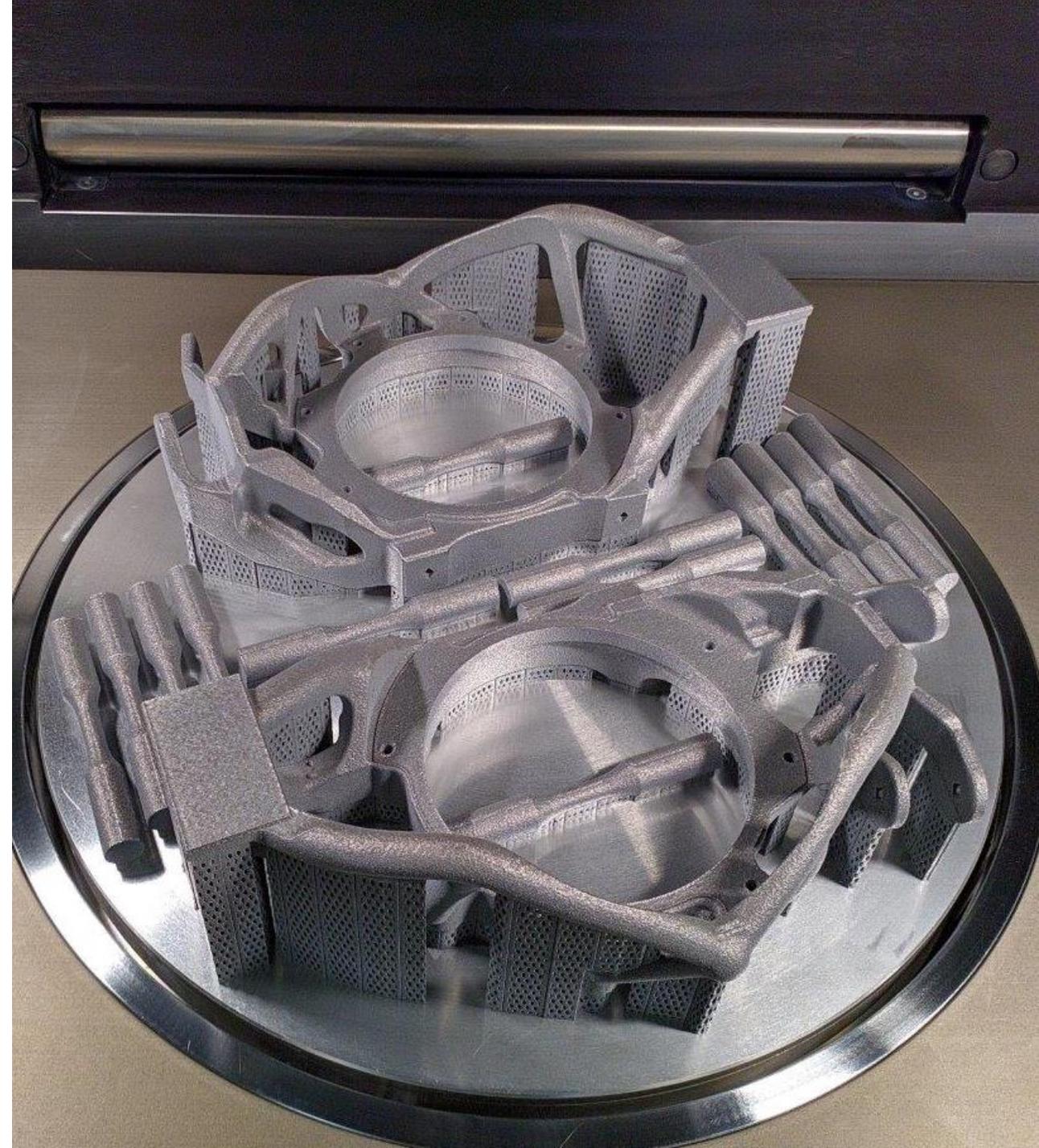




**Manifattura additiva  
dei metalli a  
parametri aperti:  
effetti sulla velocità e  
possibilità di sviluppo  
di nuove applicazioni  
e materiali.**

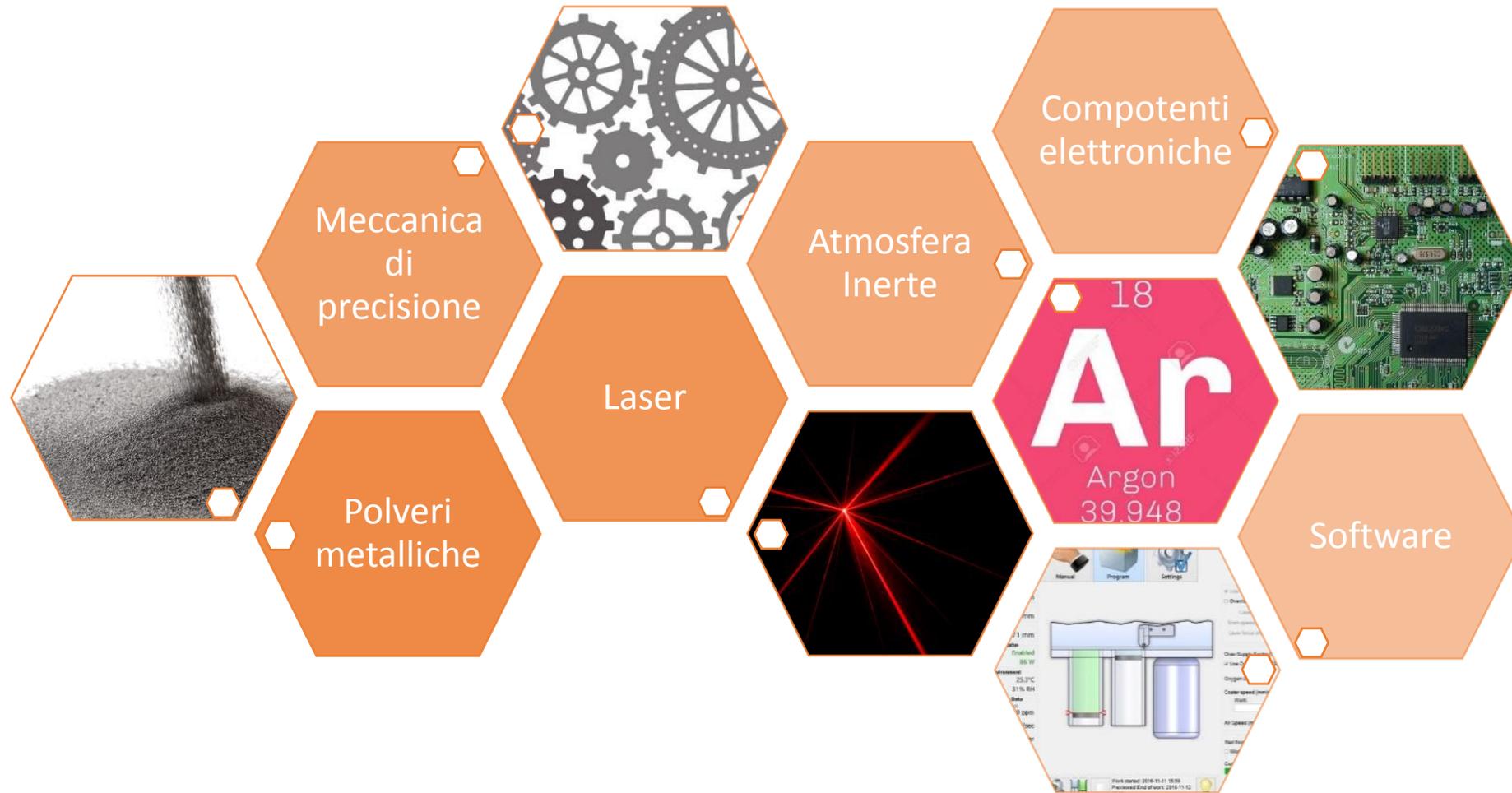
**Master ANIE per Industria 4.0  
Tecnologie 4.0: Stampa 3D – 10 giugno 2020**

**Marco Andreetta – Product Marketing Analyst  
Sisma Spa**



# Manifattura additiva metallo:

Il processo è il risultato di un equilibrio molto delicato di sistemi semplici



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

A large, faded version of the sisma logo is centered on a black rectangular background. The logo consists of a stylized icon on the left, composed of a grey square with a white and yellow curved shape inside, followed by the word "sisma" in a grey, lowercase, sans-serif font.



**Open system:**

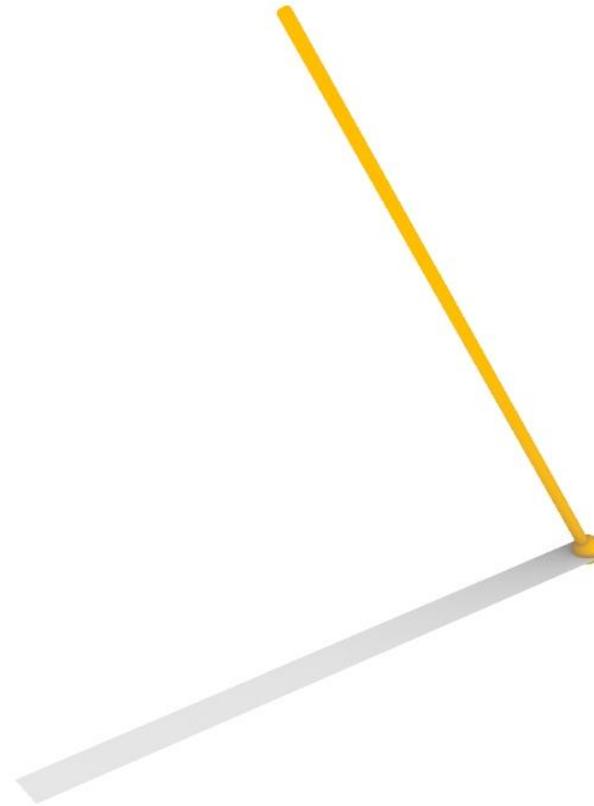
Manifattura additiva dei metalli a  
parametri aperti

## Parametri di base:

Laser

potenza

velocità di scansione



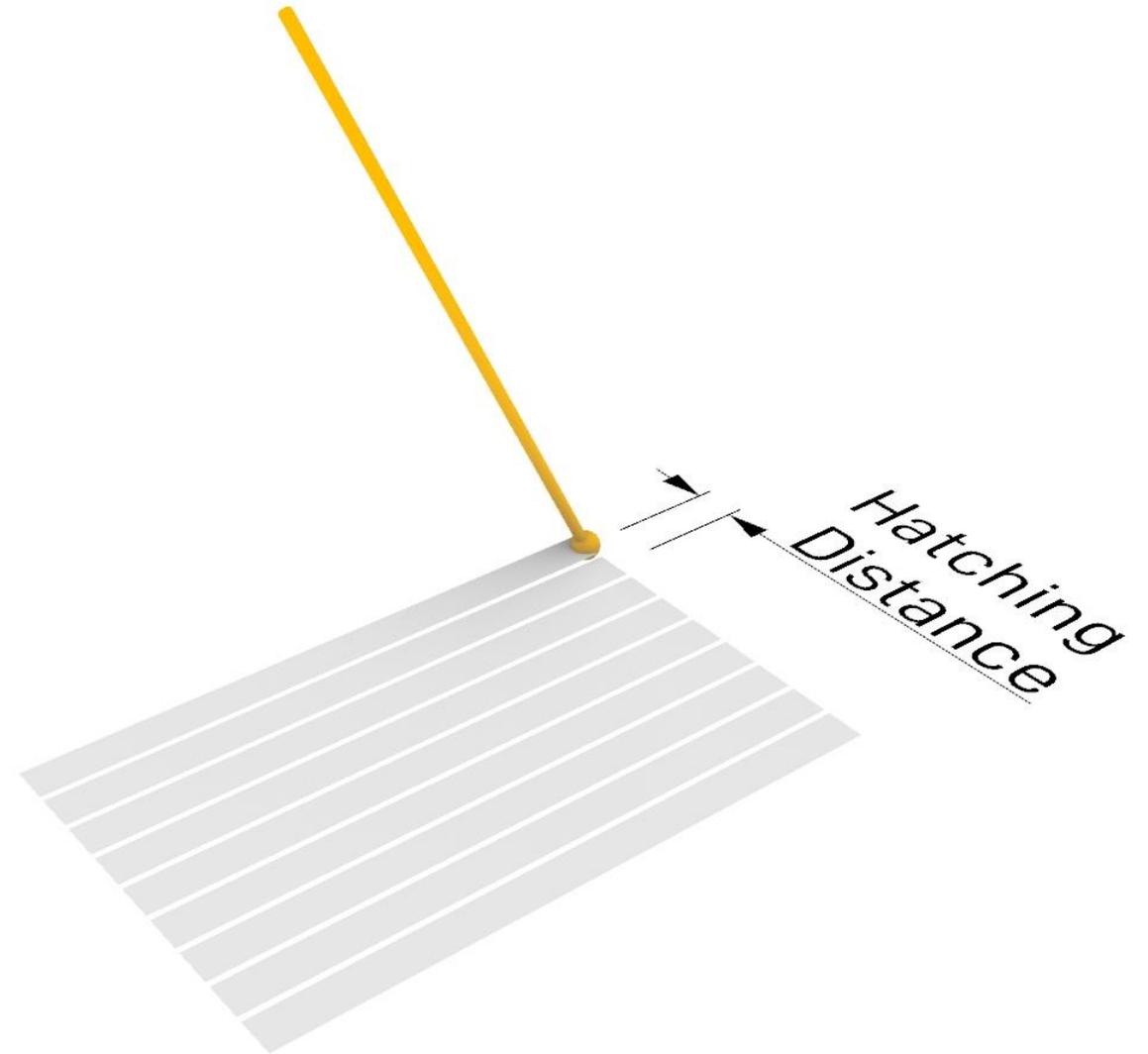
## Parametri di base:

### Laser

potenza

velocità di scansione

distanza di hatching

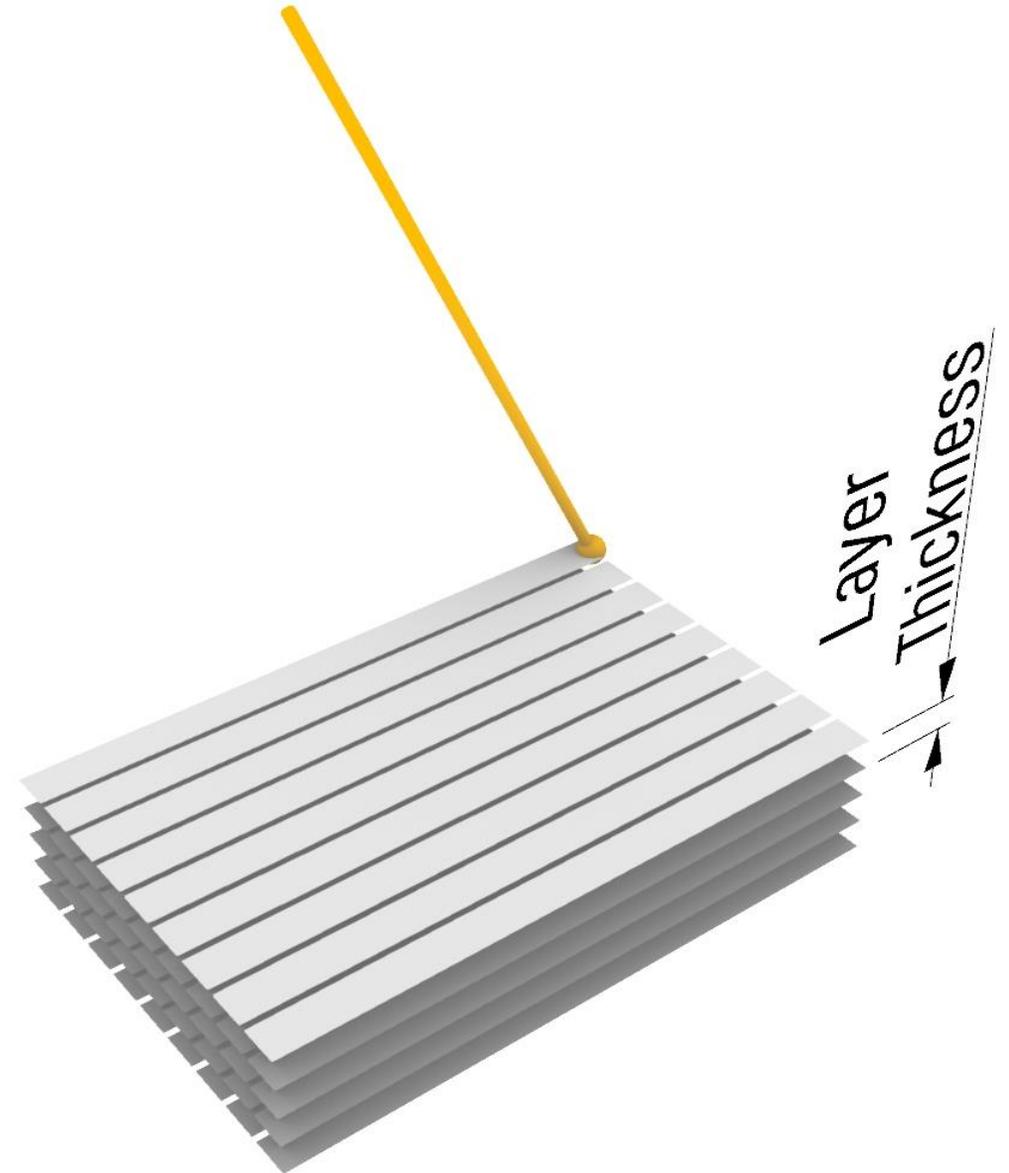


## Parametri di base:

### Laser

potenza  
velocità di scansione  
distanza di hatching

### Spessore layer



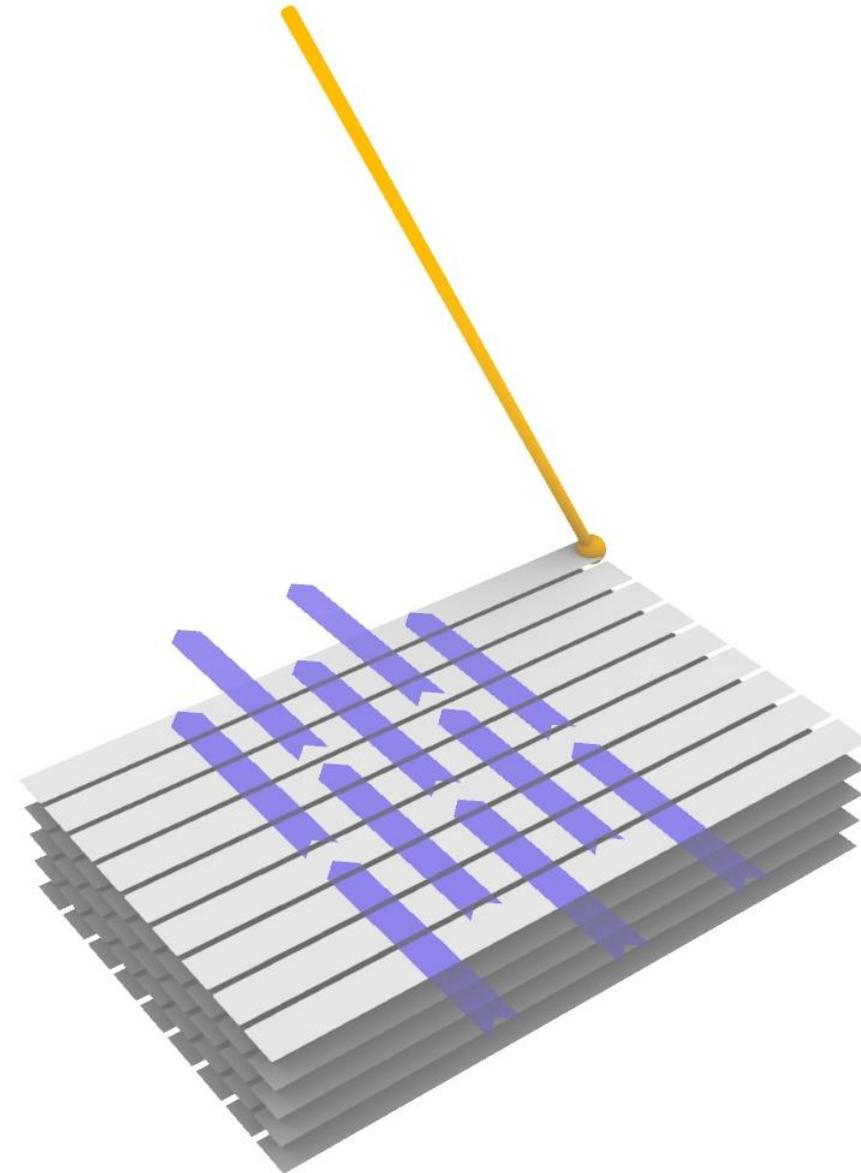
## Parametri di base:

### 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

Spessore layer

Velocità dei flussi

spessori layer diversi, ad esempio multipli

Tipologia di gas scelto

Polveri

granulometria polveri, chimica polveri

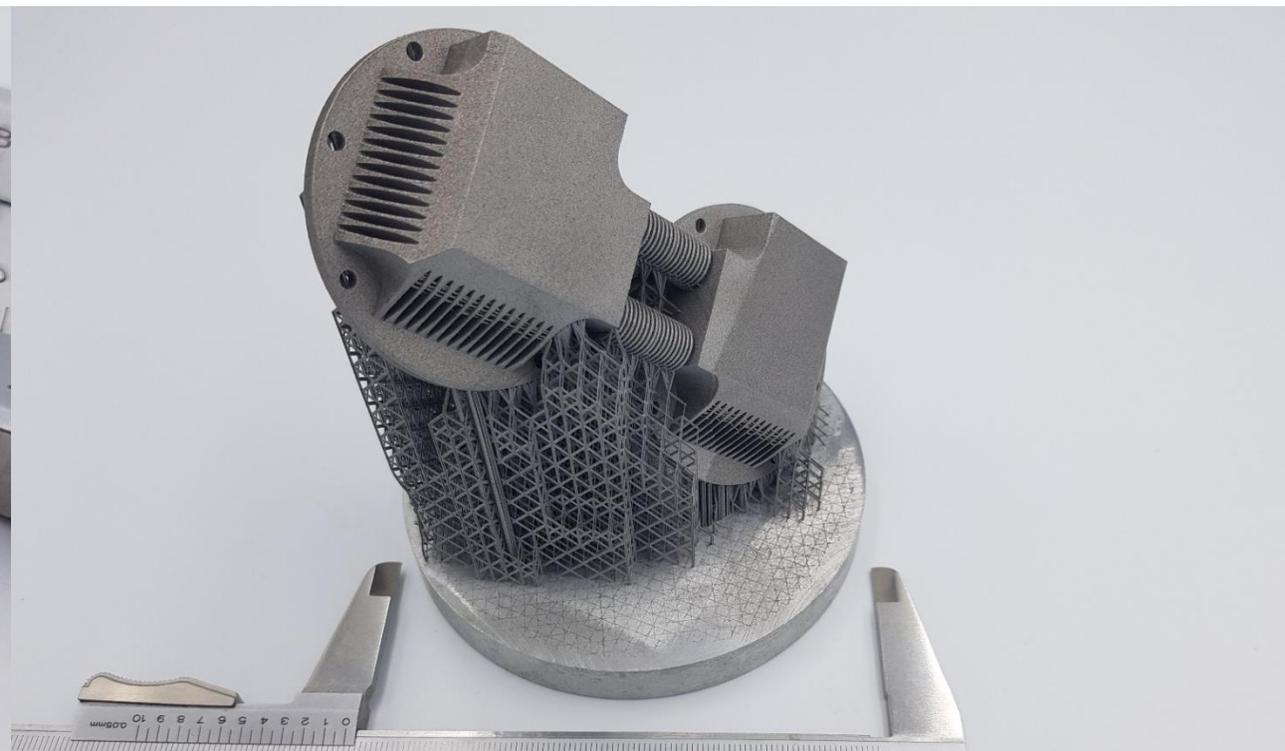


**Geometry driven parameters:**  
selezione di macchina e parametri  
per rispondere alle esigenze di  
settore

## 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

## Particolari di piccole dimensioni in Ti6Al4V gr.23

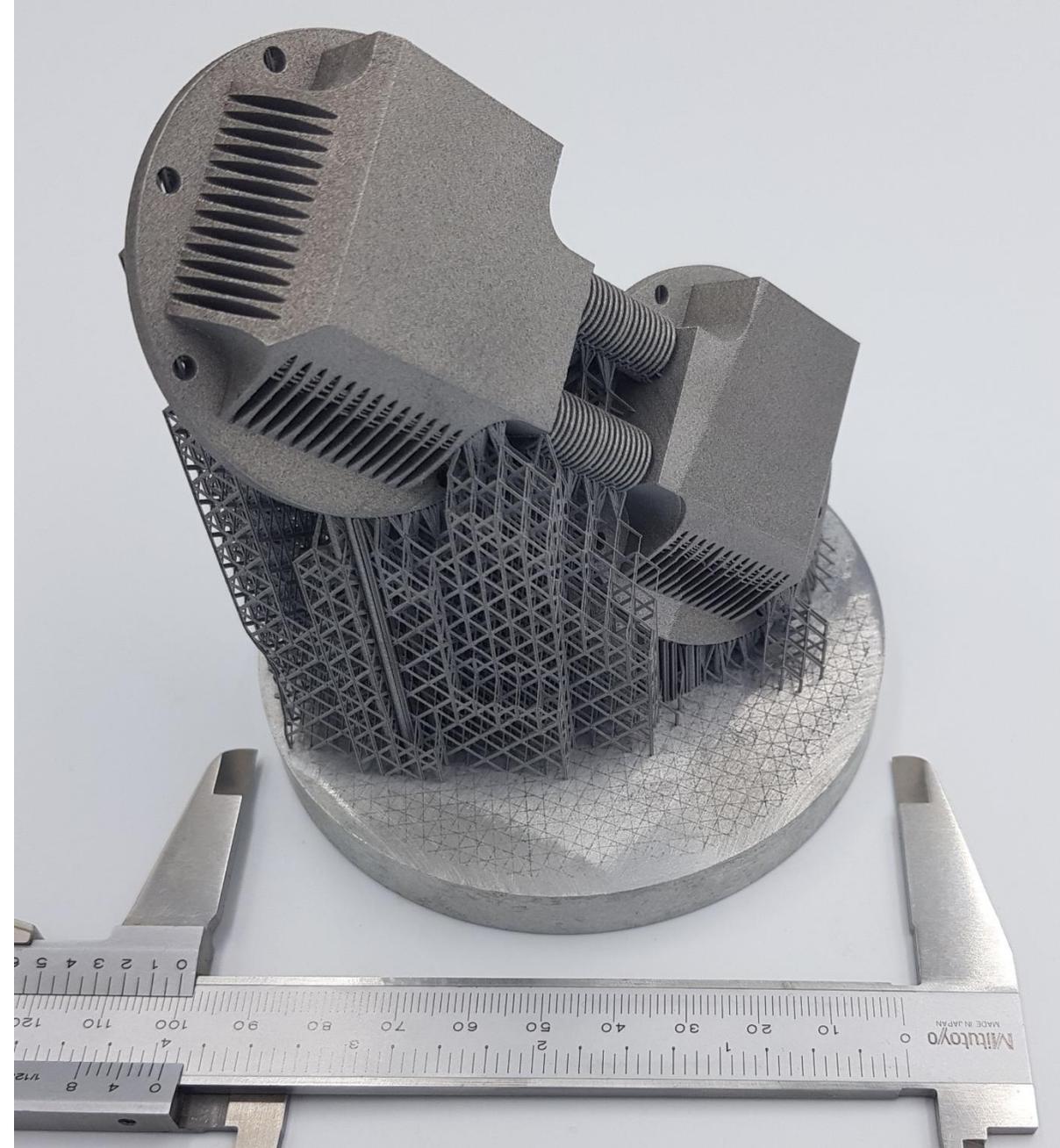
- Produzione su macchina di piccole dimensioni (campo di lavoro diametro 100mm) di oltre 20000 pezzi/anno.
- Processo ottimizzato per stacking verticale e riduzione del tempo di rimozione supporti e fermi macchina



# 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: diametri ridotti per geometrie speciali

Courtesy of  
NuoviGioielli



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

“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

Courtesy of  
NuoviGioielli



Courtesy of  
NuoviGioielli



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

 **sisma**

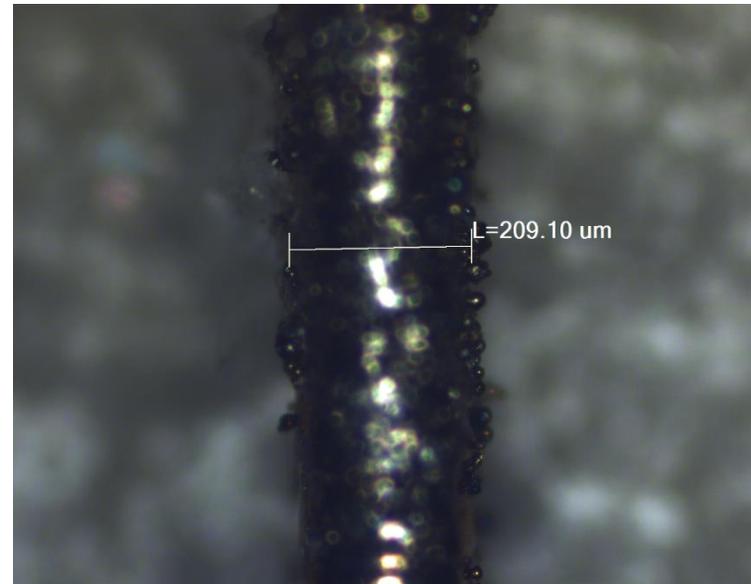
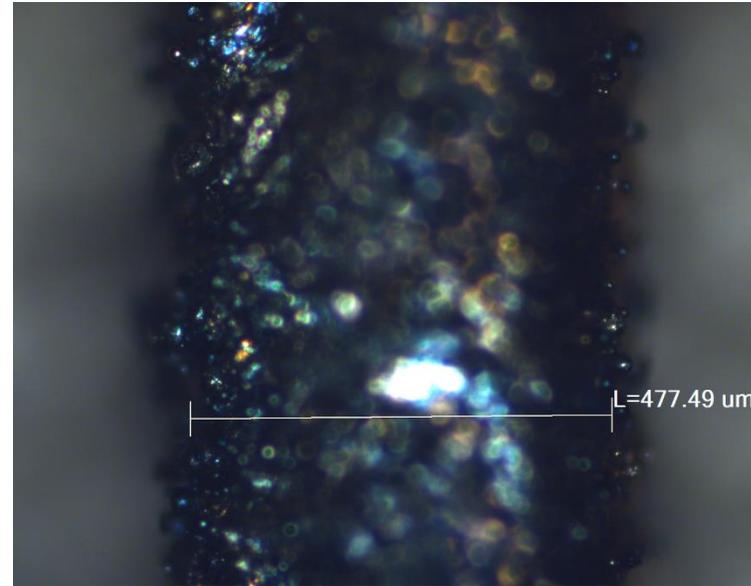
# Beam spot diameter e parametri evoluti nel medicale

**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  
UNIVERSITA DI BOLOGNA

# Beam spot diameter e parametri evoluti nel medicale

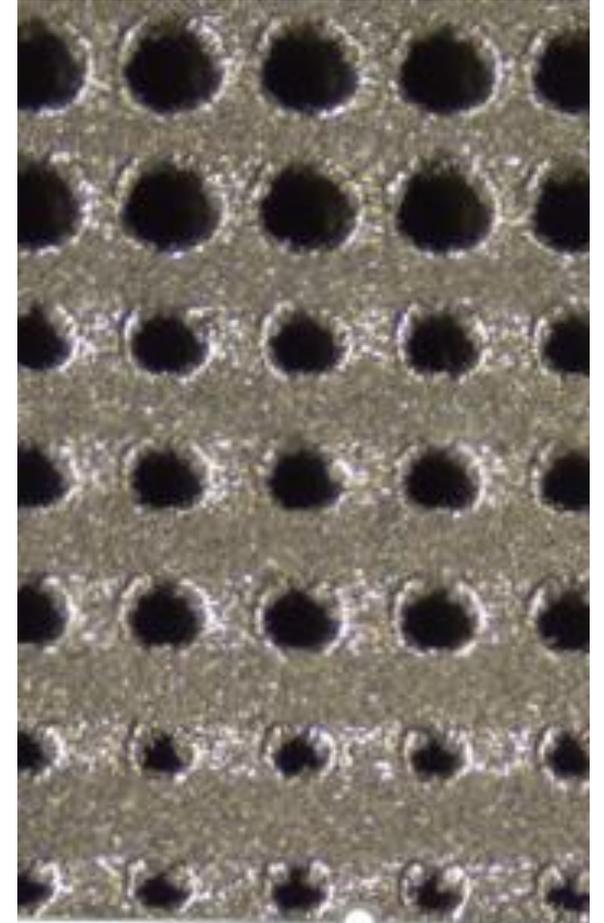
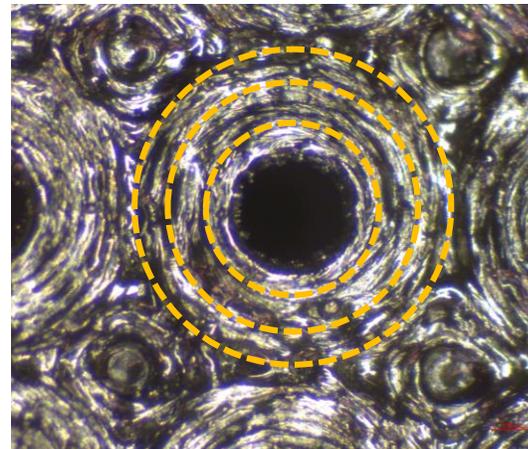
Dottorato di ricerca – Erica Liverani

"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

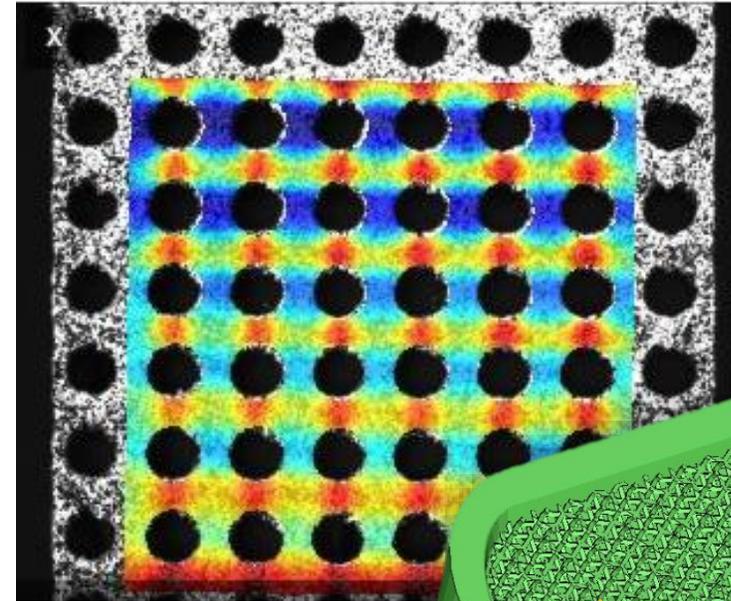
Dottorato di ricerca – Erica Liverani

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

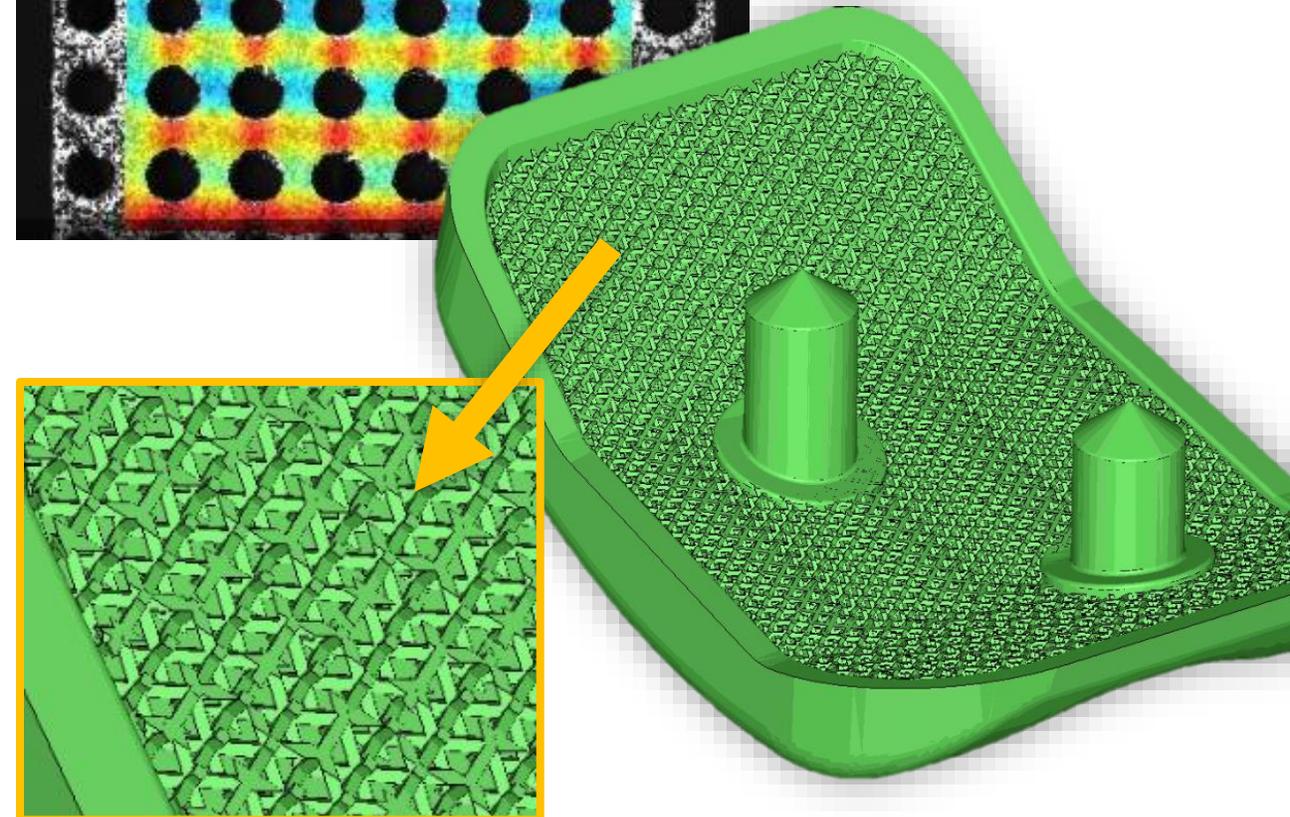
Le protesi prodotte in additive variando i parametri di processo facilitano l'osteointegrazione essendo composte da zone diverse:

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

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



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

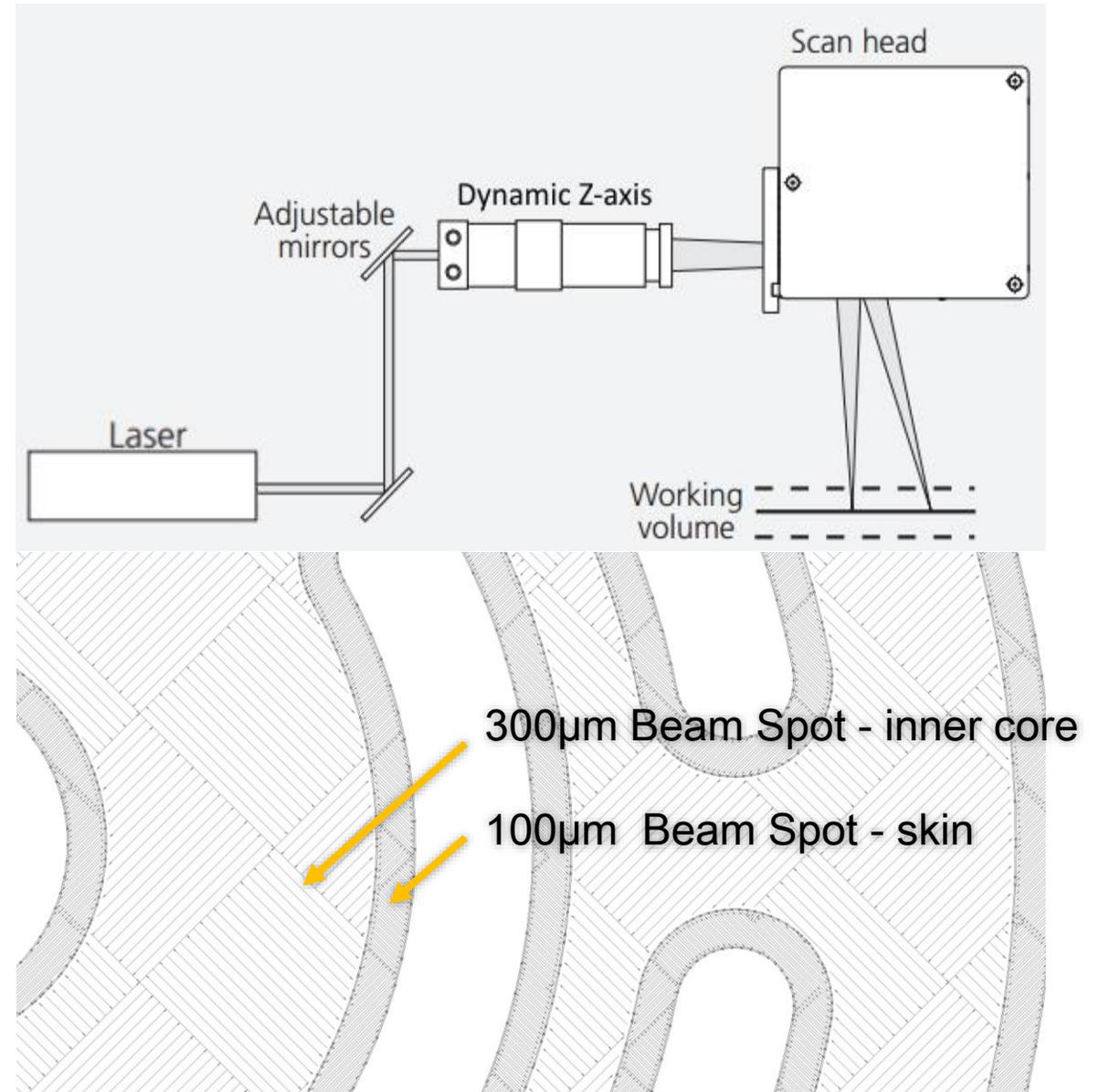


## Beam spot variabile da 100 $\mu\text{m}$ a 500 $\mu\text{m}$

La macchina MYSINT300 non è equipaggiata con una classica lente F-theta ma con un sistema che permette di mantenere una corretta dimensione dello spot laser su tutto il piano di lavoro.

La possibilità di controllare il beam spot permette di variarlo su tutto il campo di lavoro da 100 a 500 $\mu\text{m}$ .

Una possibile applicazione è quella di aumentare la produttività, trattando le parti interne dei particolari diversamente dal guscio esterno.





**Variazione di parametri standard:**  
sviluppo di materiali custom per  
manifattura metallo

Variazione chimica delle polveri e dei parametri avanzati di processo per rispondere a requisiti applicativi

Risposta a requisiti applicativi:

Modulo elastico più basso (utile per la produzione di protesi)

Buona resistenza a fatica

Ottima resistenza alla corrosione

Ottima biocompatibilità (lega senza Vanadio)

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>



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

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



**Variazione chimica delle polveri e dei parametri avanzati di processo per rispondere a requisiti applicativi**

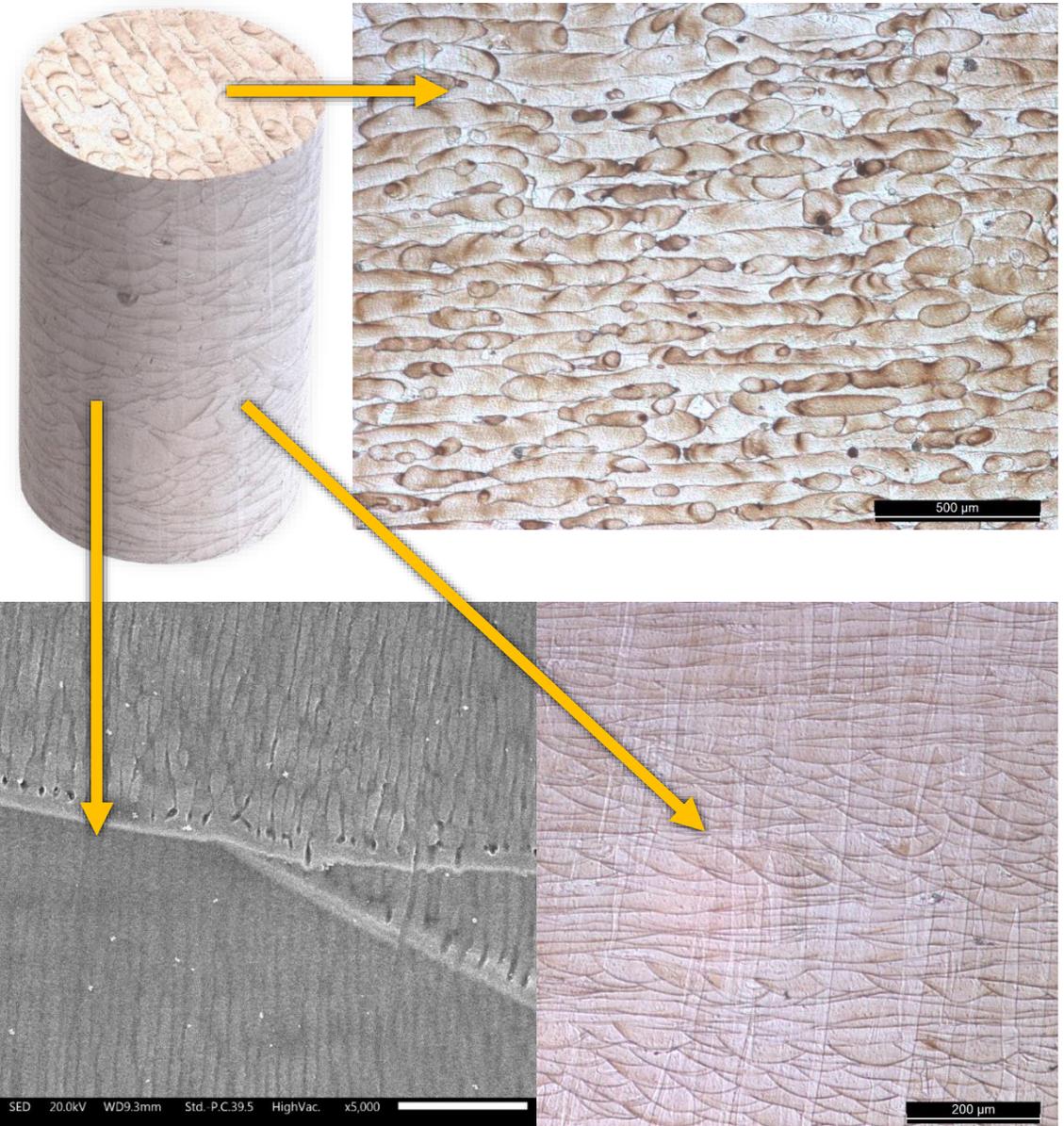
**Conseguenze di processo:**

Il basso modulo elastico basso si è rivelato utile anche per ridurre le deformazioni durante il processo di stampa.

L'aspettativa è anche quella di evitare il trattamento termico o di riuscire ad eseguirlo a temperature inferiori (evitando inoltre attrezzature costose come i forni per trattamenti in vuoto)



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO



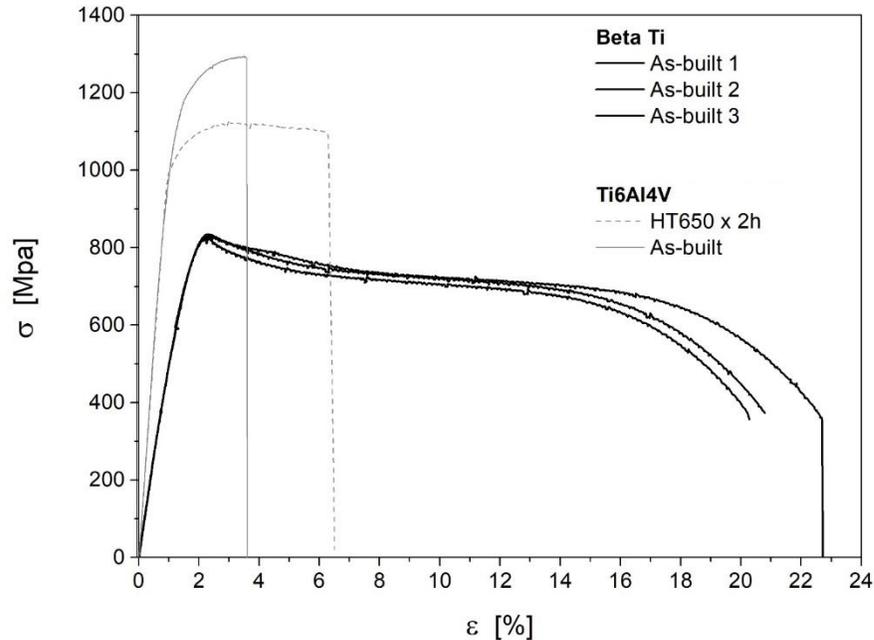
Manifattura additiva dei metalli a parametri aperti:  
effetti sulla velocità e possibilità di sviluppo nuove applicazioni e materiali



# Variazione chimica delle polveri e dei parametri avanzati di processo per rispondere a requisiti applicativi

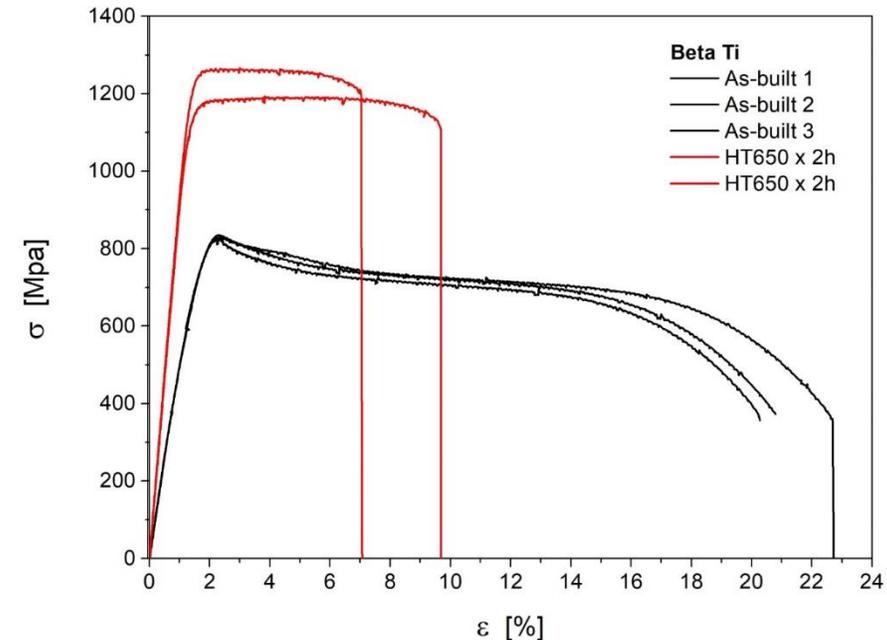


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO



## Senza trattamento termico:

- Buone proprietà meccaniche (UTS=820Mpa, allungamento 21%)
- Riduzione modulo elastico (53 Gpa)
- 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

## Sviluppo di materiali per settore Aerospace

### Haynes 230

Parametri di costruzione sviluppati direttamente dall'utilizzatore finale.

A questo nostro cliente del settore Aerospace sono state fornite, oltre ai parametri di base, le conoscenze necessarie per lo sviluppo di nuovi materiali in autonomia.



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

## Sviluppo di materiali altamente conduttivi

La costruzione di manufatti in rame puro è molto difficile con i laser IR attualmente utilizzati.

L'identificazione assieme al cliente dei requisiti specifici di un'applicazione ha permesso lo sviluppo di materiali alternativi, che possono essere realizzati con ottime densità e proprietà meccaniche o di conducibilità elettrica/termica:

- $\text{CuNi}_2\text{SiCr}$
- $\text{CuCrZr}$
- Ag925



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

## Sviluppo di materiali altamente conduttivi

Sfruttando le singole proprietà di ogni materiale abbiamo potuto sfruttare la tecnologia LMF in diversi settori e applicazioni:

- trattamenti ad induzione (tempra e saldatura)
- Dissipatori per il settore elettronico
- Antenne con volume ridotto, sfruttando la libertà geometrica data dall'additive manufacturing
- Componenti aerospace con requisiti di resistenza meccanica e conducibilità termica



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



**Variazione di parametri avanzati:  
sviluppo di materiali non  
convenzionali per l'additive  
manufacturing**



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



# Studio di fattibilità per utensile abrasivo

Sviluppo di applicazione svolta in Sisma.

**Materiale:** matrice metallica e diamante sintetico

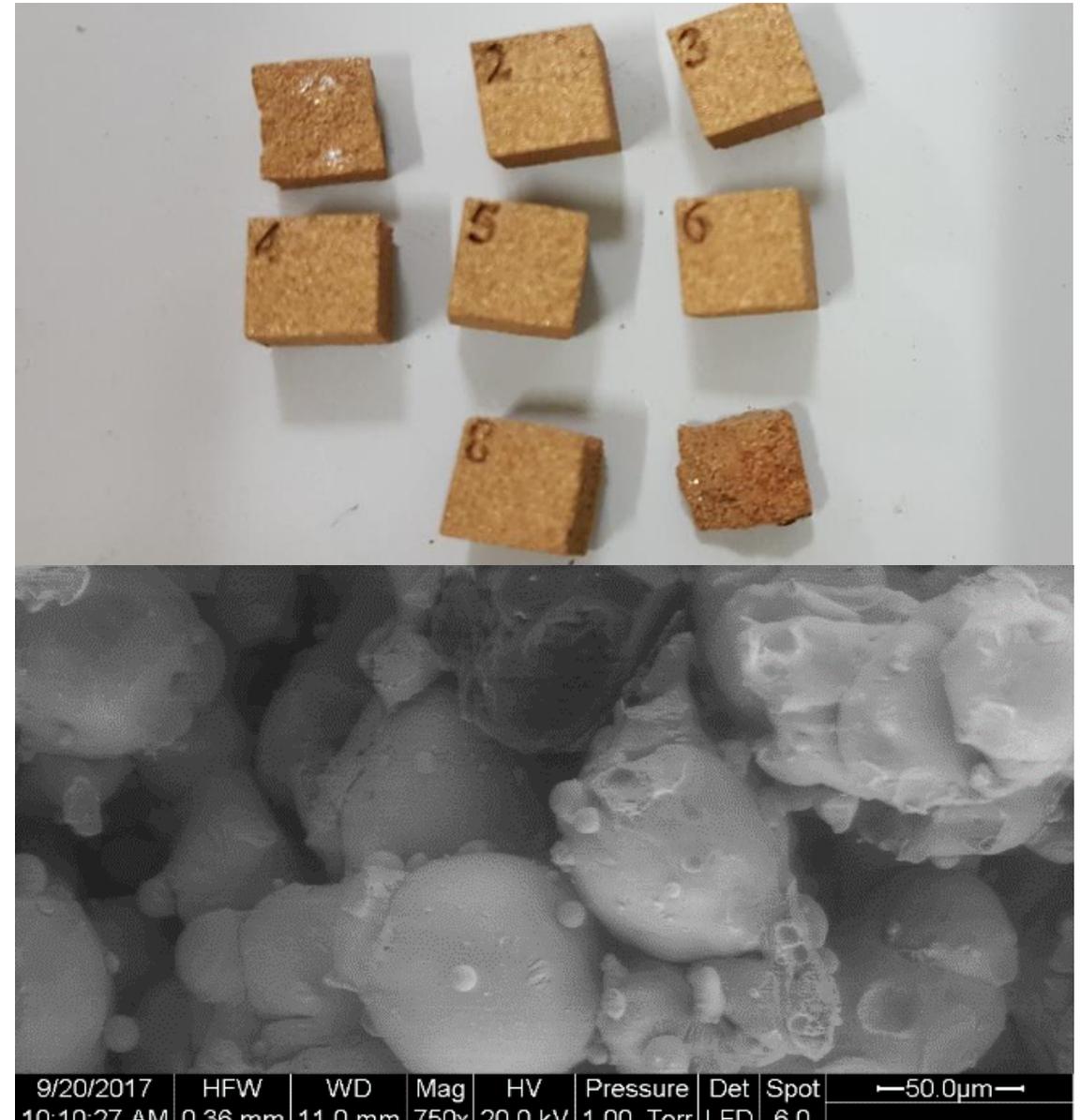
## Obiettivi:

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

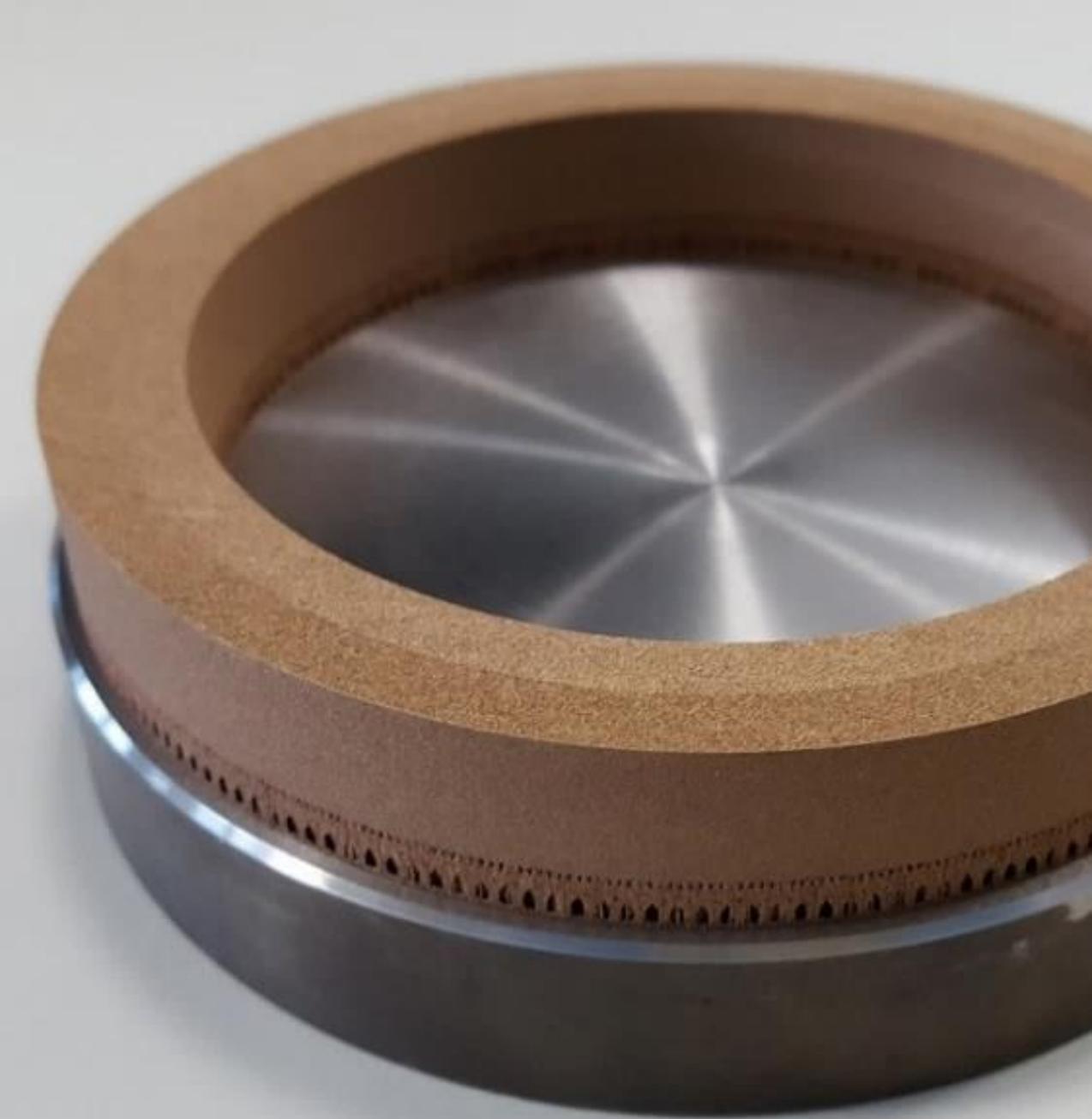


Manifattura additiva dei metalli a parametri aperti:  
effetti sulla velocità e possibilità di sviluppo nuove applicazioni e materiali

## 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 cementati da una fase metallica a base Cobalto.

Le difficoltà sono simili a quelle incontrate nelle mole diamantate.

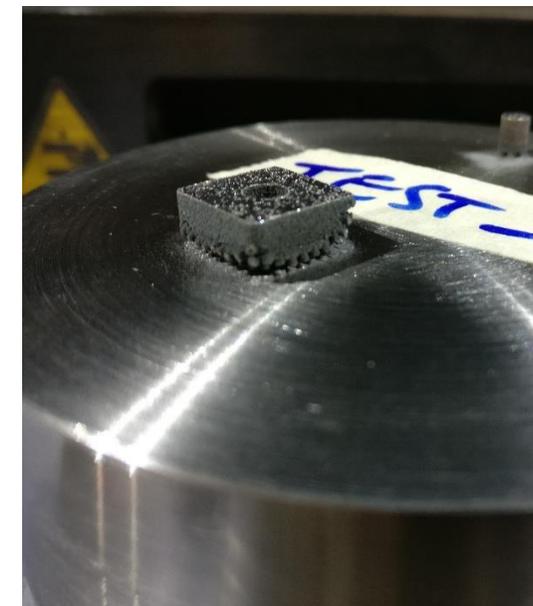
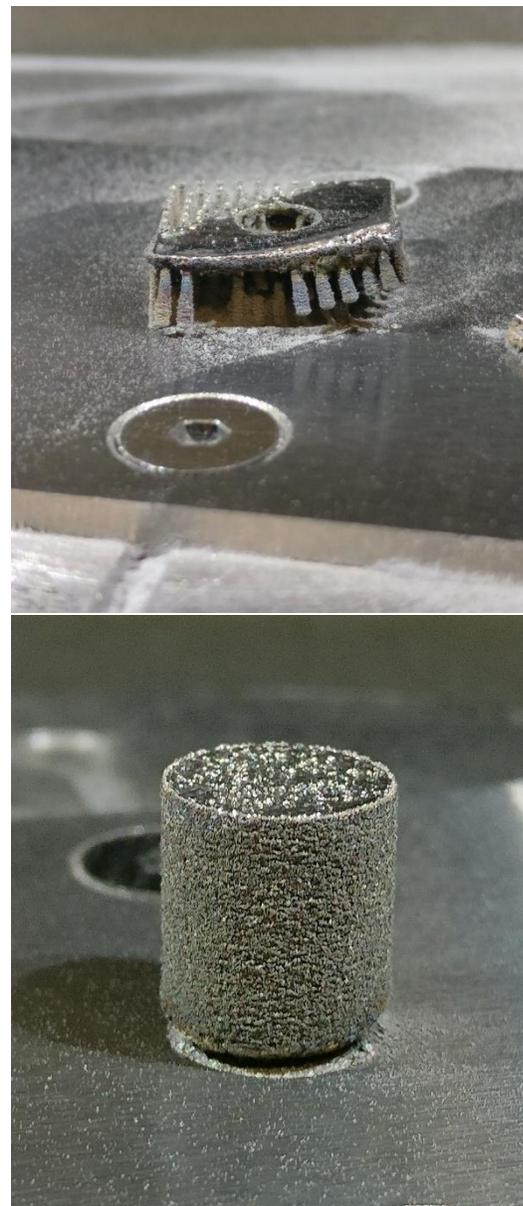


Foto dei primi provini prodotti per l'identificazione di parametri di processo.



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

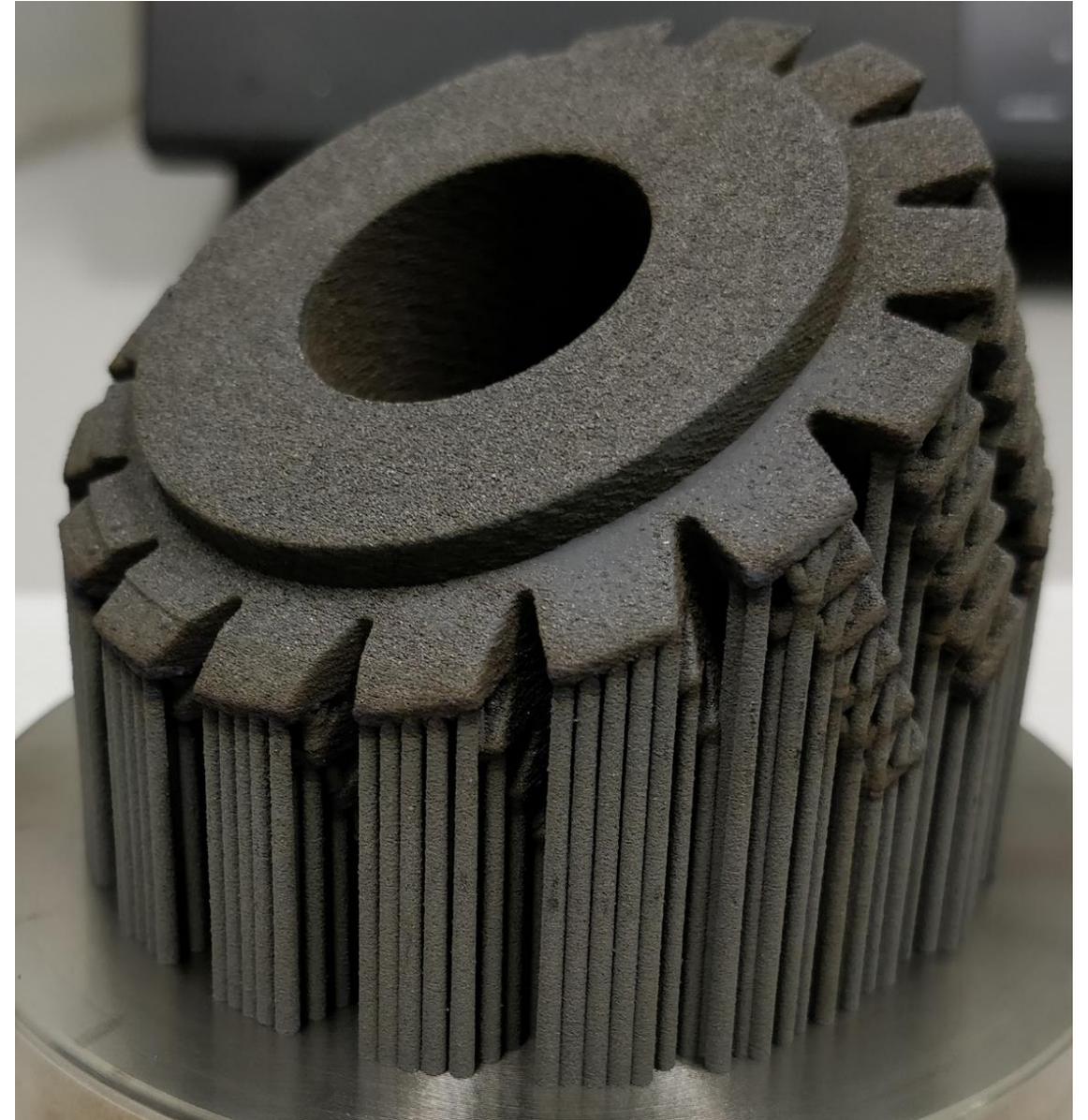
# Studio di processabilità del metallo duro

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



# 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

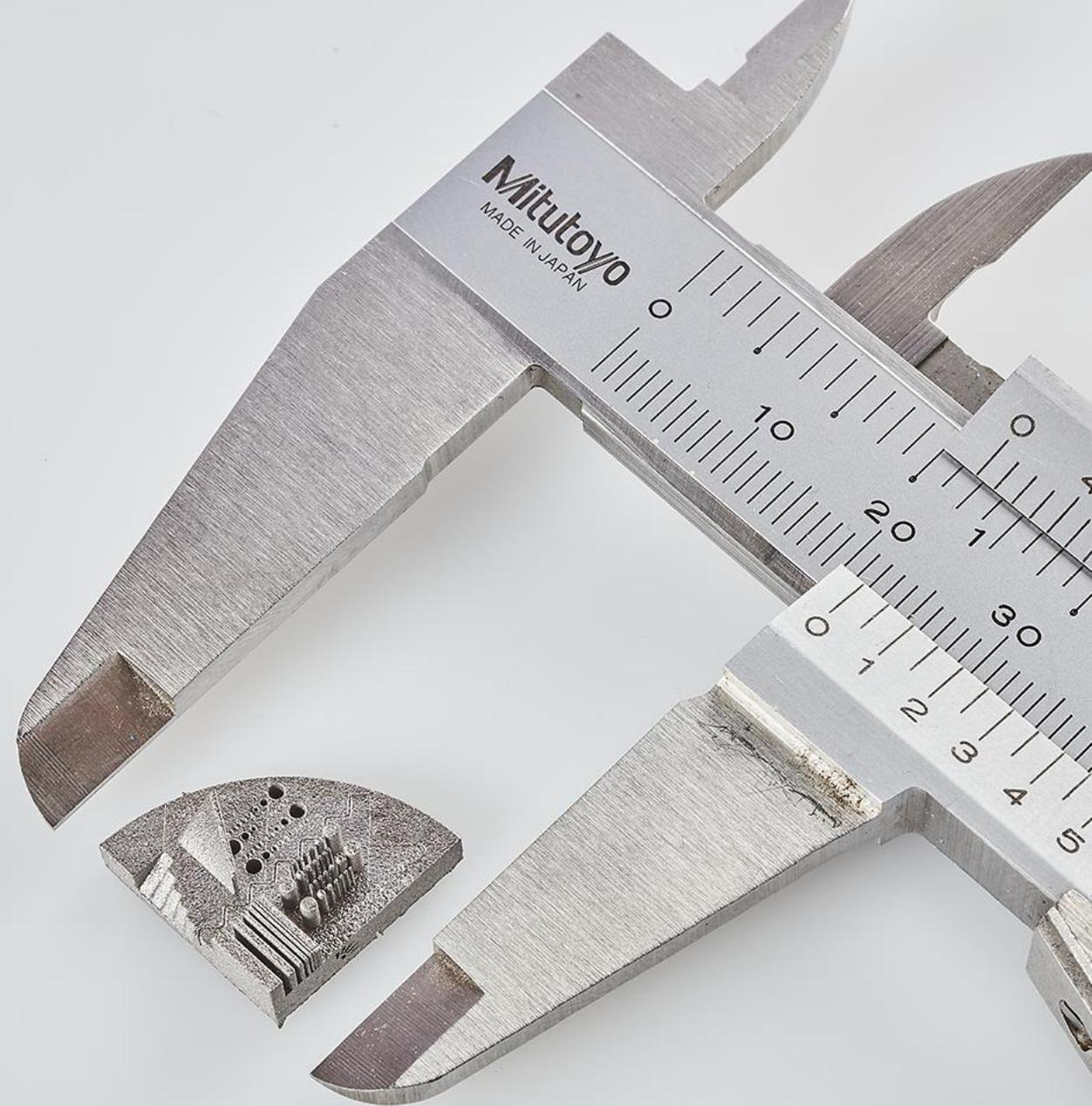
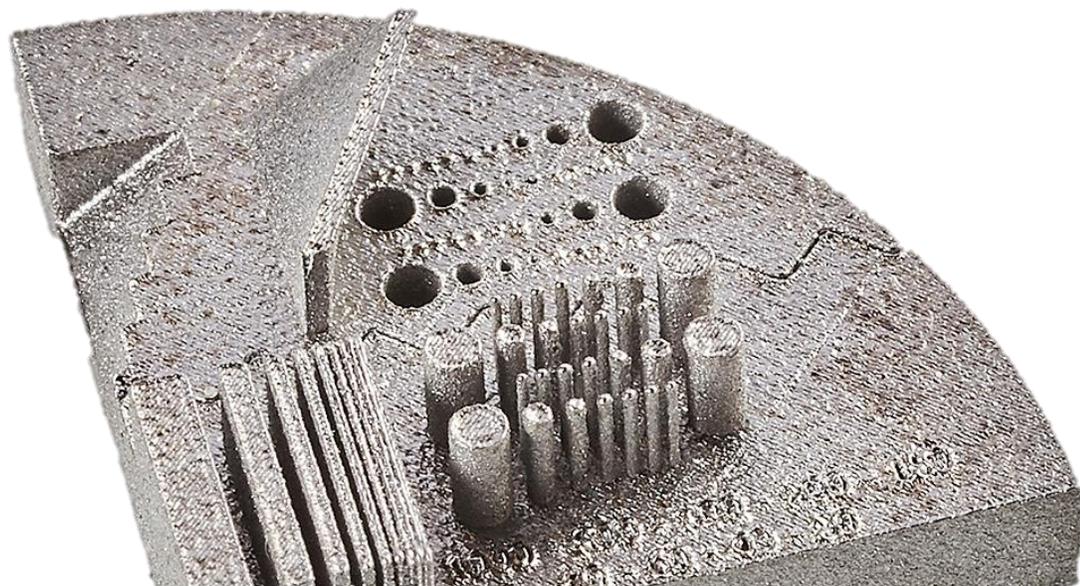




**Riduzione della rugosità  
superficiale e delle minime  
geometrie ottenibili**

## Sviluppo parametri e speciale granulometria polvere produrre oggetti di piccole dimensioni

Materiale	Ti6Al4V gr.23
Minimo spessore di parete	0,08 mm
Minima distanza fra pareti	0,085 mm
Cilindro minimo	ø0,16 mm
Foro minimo	ø0,2 mm
Overhang	< 35°



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

## Sviluppo parametri e speciale granulometria polvere produrre oggetti di piccole dimensioni

Il parametro dimostra la capacità di sviluppare processo (inteso come scelta della macchina, materiale, granulometria non convenzionale e parametri) per realizzare oggetti con dimensione non comune nell'AM metallo.

- Geometrie molto piccole
- Riduzione della rugosità superficiale «as built»
- Riduzione dei tempi di finitura



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



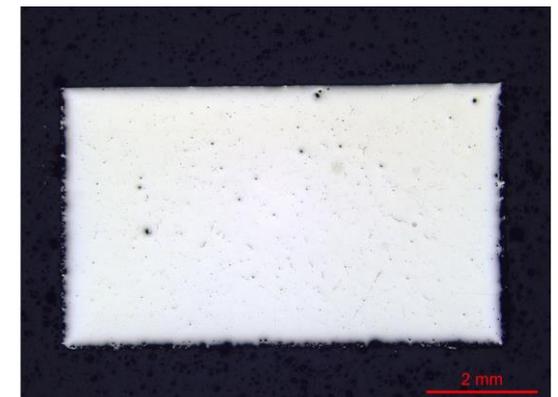
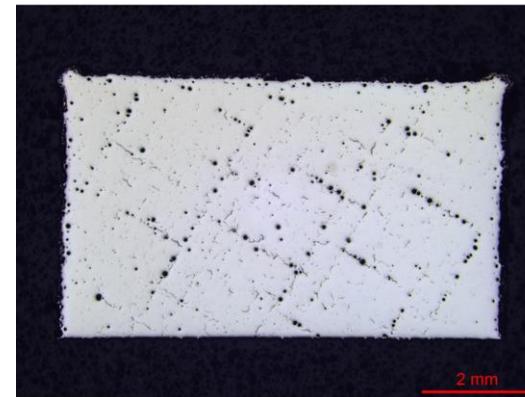
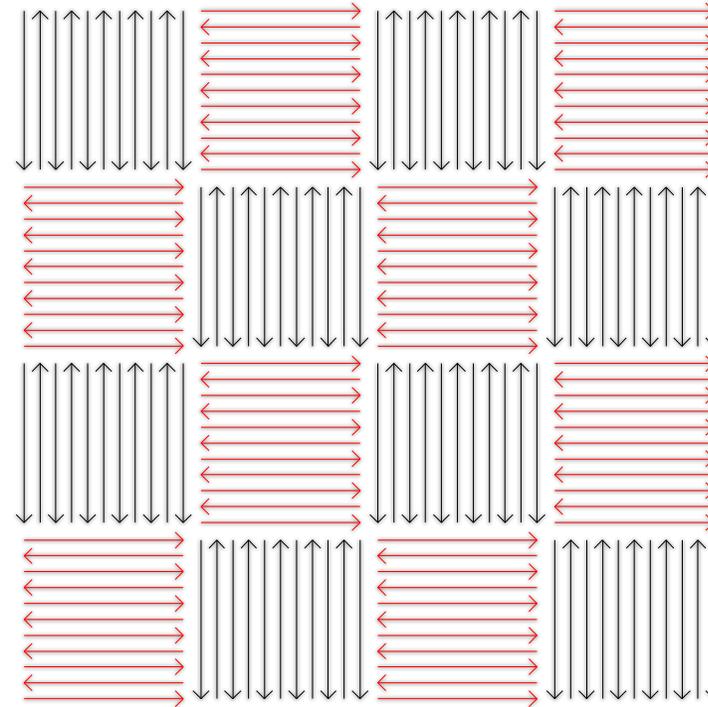
Risoluzione di difettosità variando  
le strategie di scansione

# Strategie di scansione e difettosità

Requisiti tecnici: riduzione delle difettosità

Alcuni dei settori meno tecnologici (fashion, jewellery) richiedono **difettosità inferiori a 20µm** per migliorare la lucidabilità dei particolari.

Lo sviluppo del processo in questo caso combina parametri di processo base con parametri evoluti (strategie di scansione).

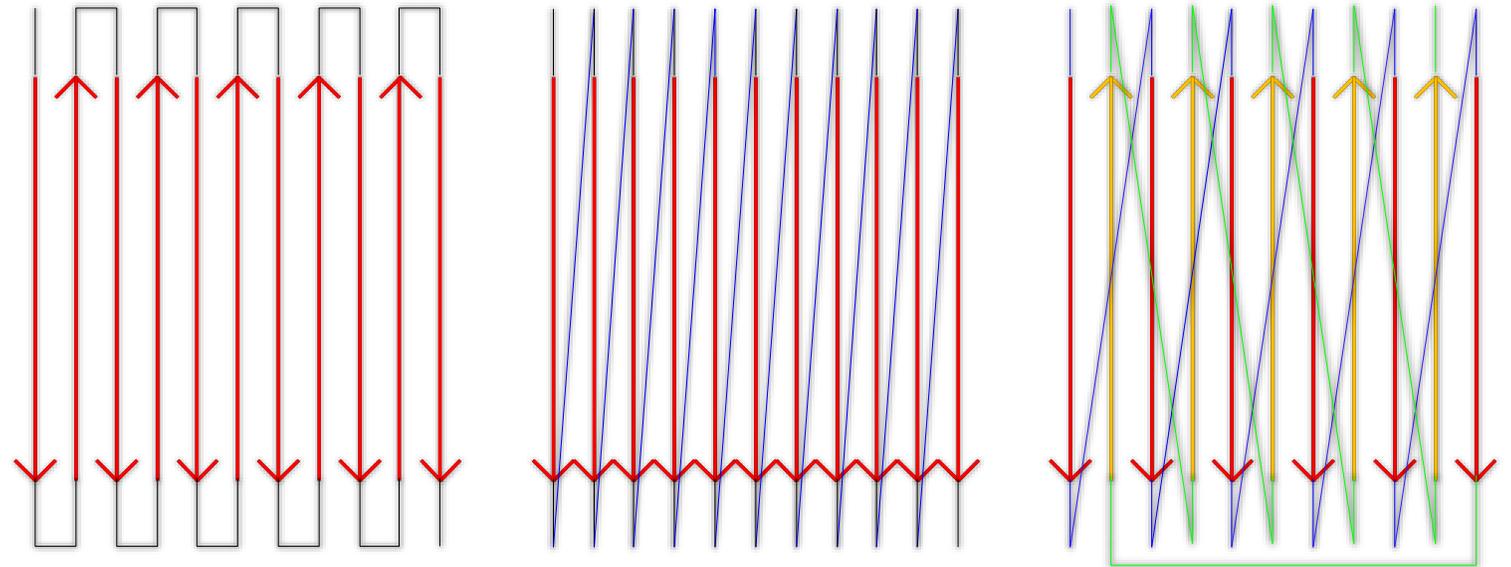


Manifattura additiva dei metalli a parametri aperti:  
effetti sulla velocità e possibilità di sviluppo nuove applicazioni e materiali

# Strategie di scansione e difettosità

Requisiti tecnici: riduzione delle difettosità

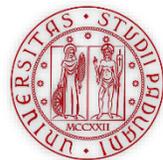
Potrebbero esserci difetti non distribuiti (dovuti a parametri laser di base) ma anche con posizione apparentemente casuale che possono essere correlati ai percorsi di scansione.



# Strategie di scansione e difettosità

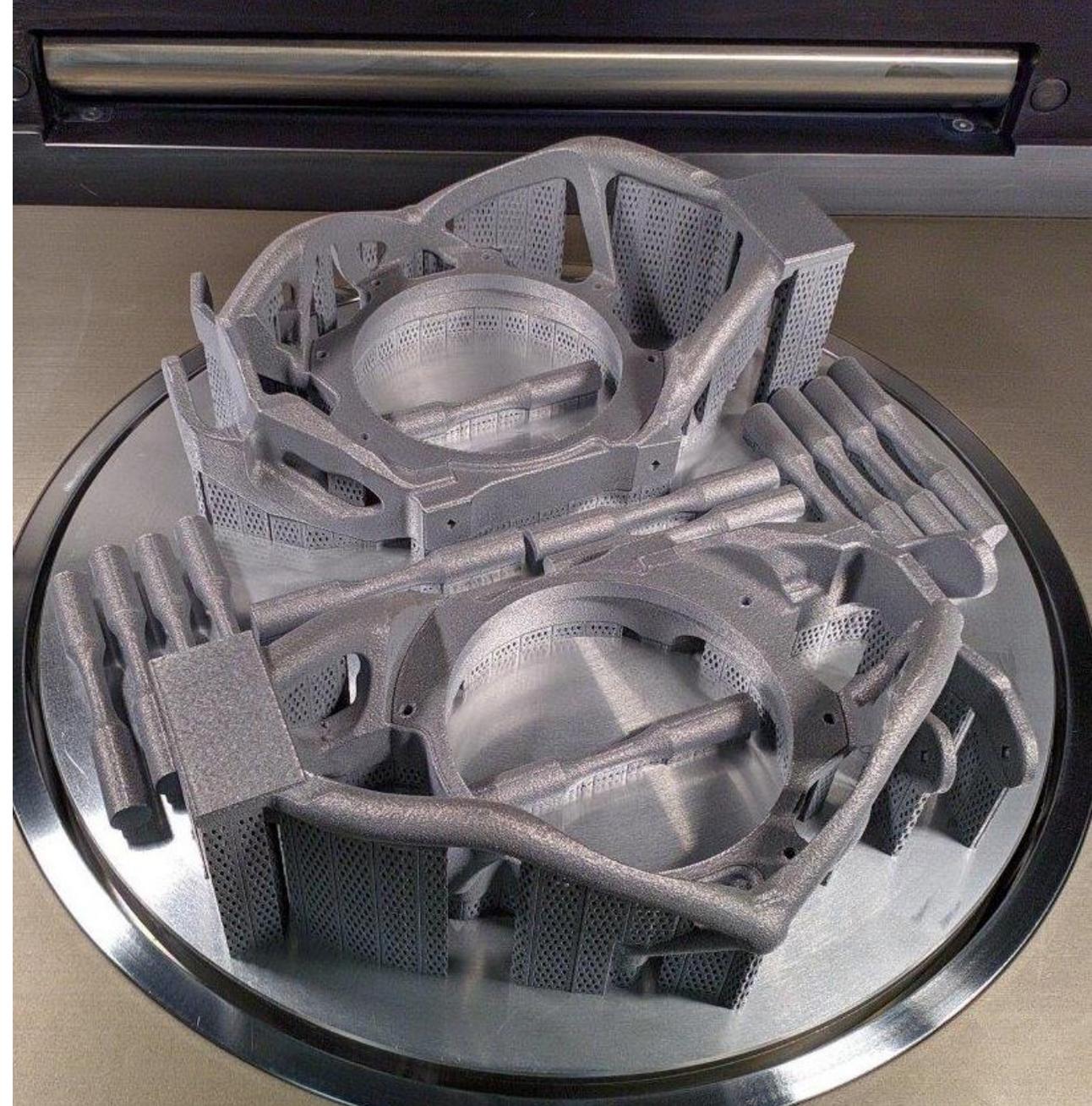
Requisiti tecnici: riduzione delle difettosità

Evitare difettosità è una delle problematiche maggiori nell'additive manufacturing metallo. La presenza di difetti pregiudica le caratteristiche meccaniche di un particolare (in particolare nel comportamento a fatica) non permettendo di progettare per additive con criteri tradizionali. **E' necessario caratterizzare il materiale a fatica identificando i parametri che concorrono alla creazione di difetti.**



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Progetto Strutturale, ottimizzazione topologica e stampa 3D di portamozzo in lega leggera per vettura FSAE elettrica.  
Ing. Marco Baraldi – Relatore Prof. Giovanni Meneghetti



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

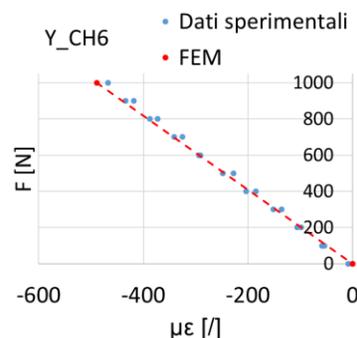


# Strategie di scansione e difettosità

## Validazione del modello FEM:

Riproduzione a banco della storia di carico utilizzando 3 attuatori pneumatici, celle di carico da 5000N e 10000N.

La misurazione data dagli 8 estensimetri disposti sul particolare hanno permesso di validare il particolare.

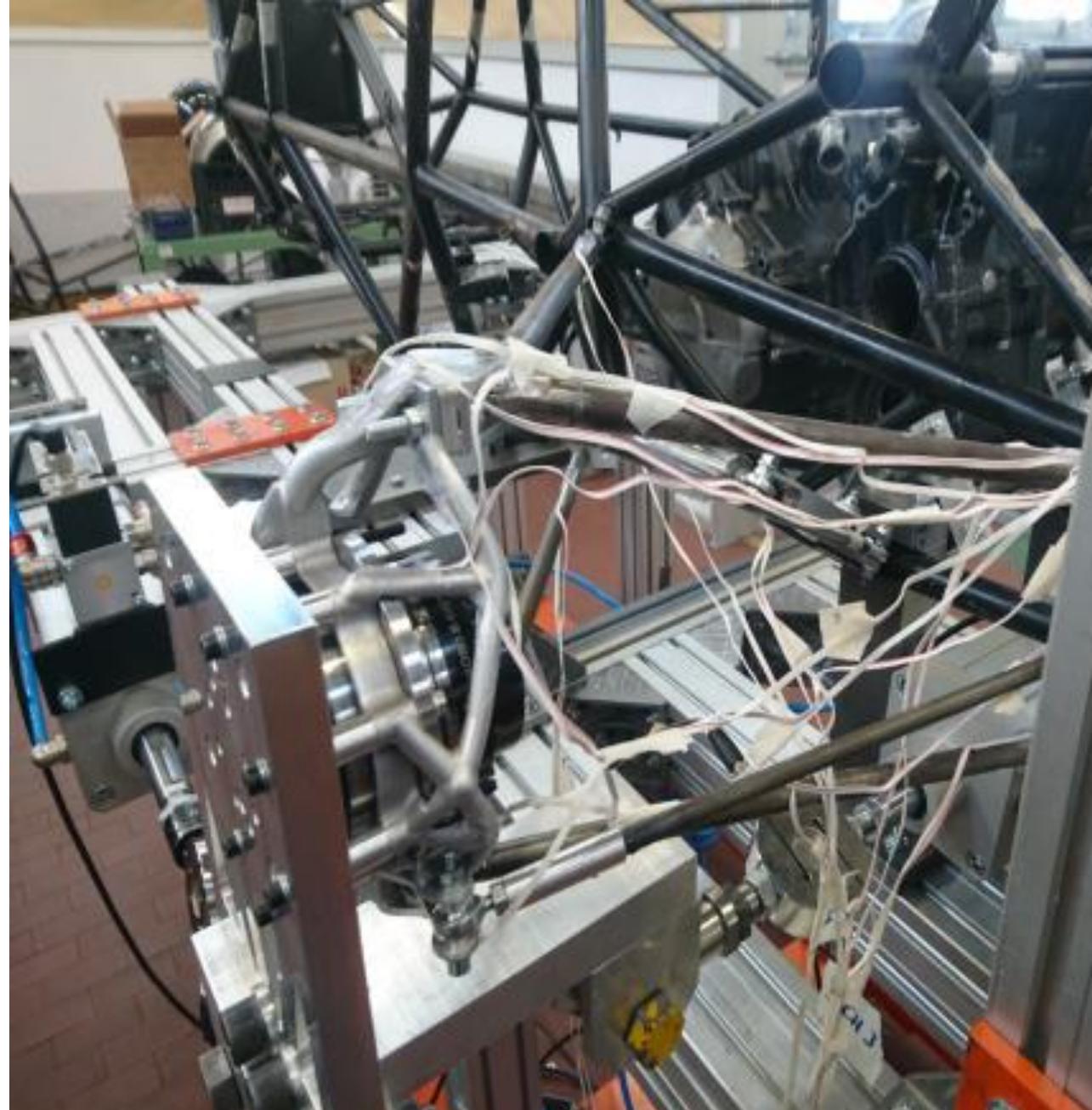


Nel caso ci fosse stata una discrepanza rispetto al modello, sarebbe stato possibile ritornare alla modifica dei parametri di costruzione



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Progetto Strutturale, ottimizzazione topologica e stampa 3D di portamozzo in lega leggera per vettura FSAE elettrica.  
Ing. Marco Baraldi – Relatore Prof. Giovanni Meneghetti



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

# Strategie di scansione e difettosità

Il processo di caratterizzazione è passato per:

- Test a fatica dei provini
- Validazione del modello FEM
- Grazie ai parametri aperti, è possibile ripercorre il percorso a ritroso aggiustando eventuali difetti a spot correlati con un pezzo specifico

→ Per questo è importante utilizzare strategie diverse per diversi componenti e geometrie.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Progetto Strutturale, ottimizzazione topologica e stampa 3D di portamozzo in lega leggera per vettura FSAE elettrica.  
Ing. Marco Baraldi – Relatore Prof. Giovanni Meneghetti



## Materiale

Tradizionale fresato in Ergal  
Additive in AlSi10Mg



## Risultati

Rigididezza laterale	+79%
Peso	-30%

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

# Gamma macchine Sisma – MYSIN100 e MYSINT300

**Progettate e costruite  
in Italia** presso gli  
stabilimenti di Schio  
(VI)

Service e Supporto  
per applicazioni dallo  
stabilimento di  
Piovene Rocchette  
(VI)

## MYSINT100

- Ø100x100mm
- Beam spot 30 o 55µm
- Potenza laser 200W (dual laser opzionale)



## MYSINT300

- Ø300x400mm
- Beam spot variabile da 100 a 500µm
- Potenza laser 500W



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

# Gamma macchine Sisma – EVEMET200

## Una rivoluzione per l'AM metallo in Sisma

Presentata a Formnext 2019, la nuova macchina Sisma punta al massimo della qualità costruttiva (nuova gestione dei flussi di gas in camera di lavoro, percorso ottico completamente ridisegnato, gestione polvere in atmosfera inerte anche in aspirazione e setacciatura) per rispondere ai stringenti requisiti dei settori medicale, meccanico e aerospaziale.

## EVEMET200

- Ø200x200mm
- Beam spot 55µm
- Potenza laser 2x300W (single laser opzionale)
- Gestione della polvere in atmosfera inerte (costruzione, aspirazione e setacciatura)
- Melt Pool monitoring opzionale
- Filtri della durata di 3000h



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

## 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)