

Innovation with 3D Printing

for Design and Production

Ing. Giuseppe De Marco
Additive Manufacturing Engineer

Mail: giuseppe.demarco@kilometrorosso.com



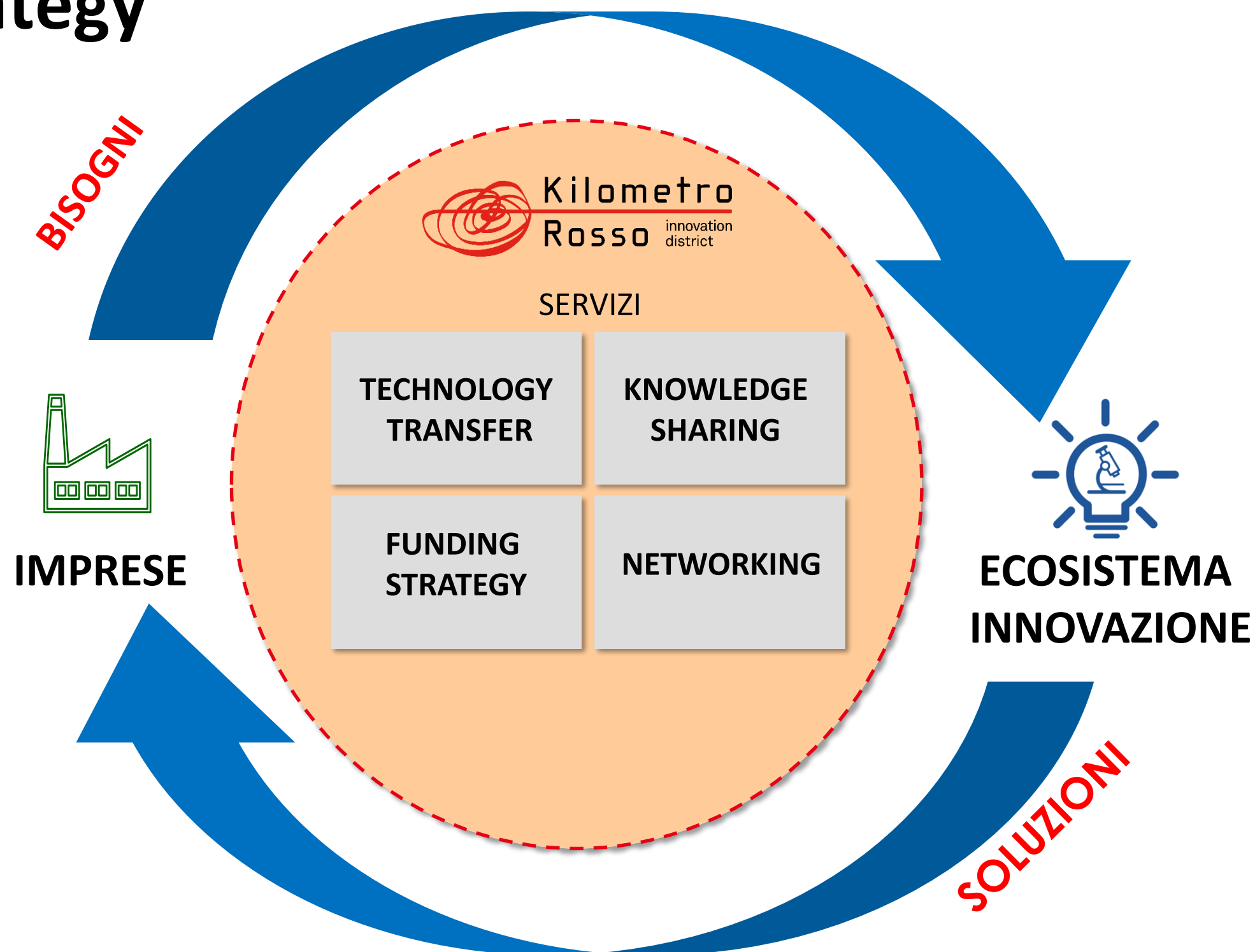
Mission

Kilometro Rosso è il
luogo d'incontro tra ricerca e impresa:
situato nel cuore della Lombardia,
riunisce aziende, università e centri di
ricerca favorendo i processi di
innovazione del sistema produttivo.

Kilometro Rosso riveste il ruolo di
Technology Transfer Agent, attivando
collaborazioni tra i partner della ricerca
scientifica e le imprese insediate.



Innovation Strategy



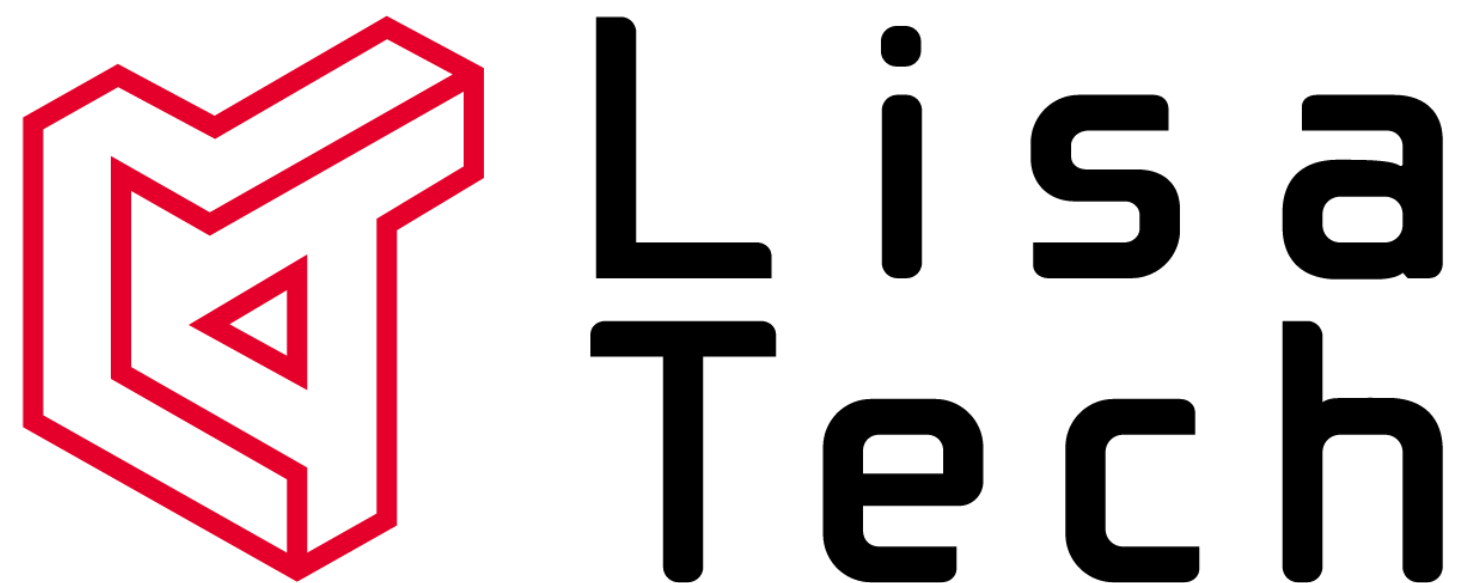
I Partner



Cluster Tecnologici



Training Lab



Living Space for Additive Technologies

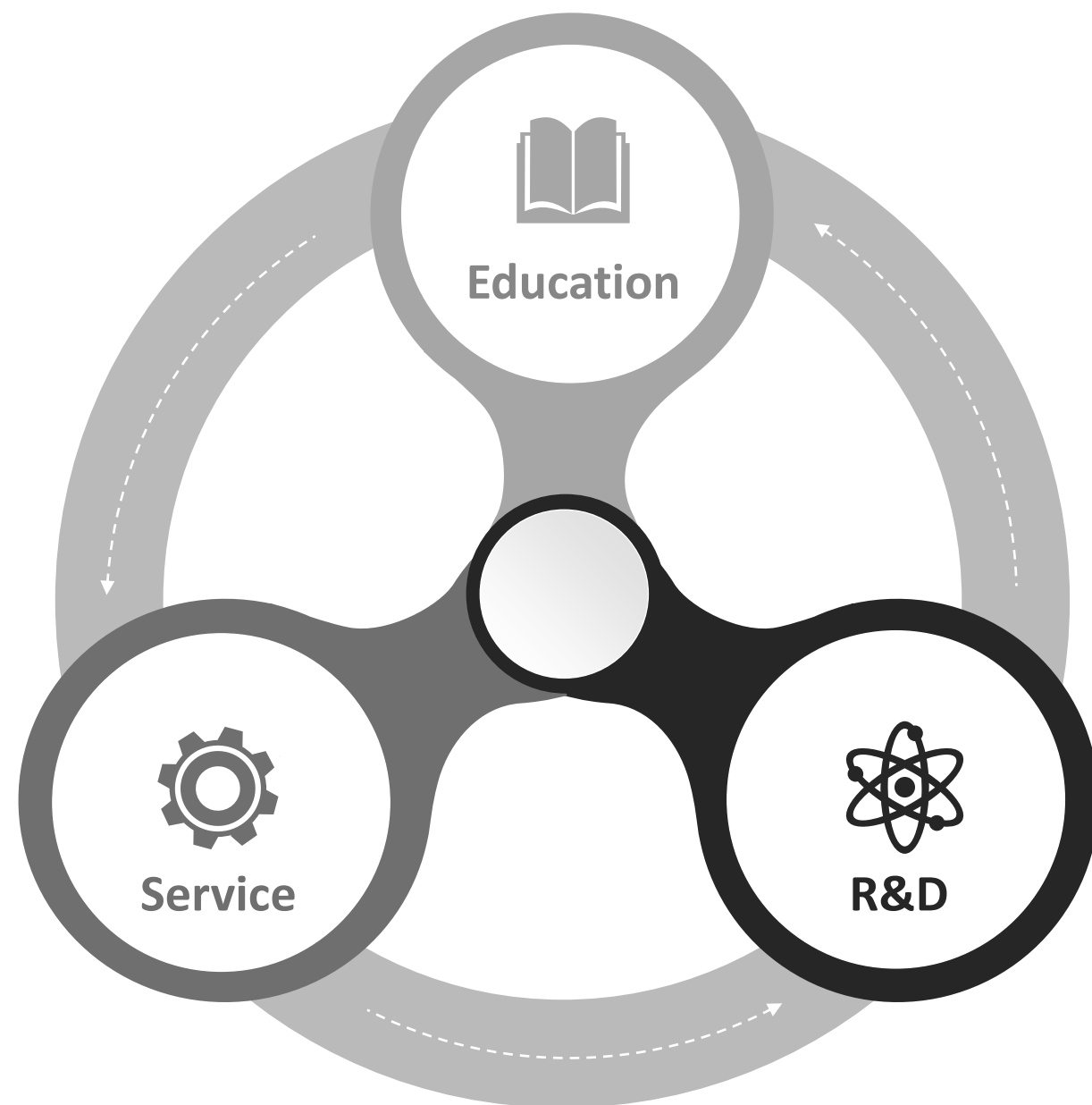
Lisa Tech è il **laboratorio di Additive Manufacturing** del Kilometro Rosso

Uno spazio polifunzionale dove aziende e ricercatori possono ampliare le proprie conoscenze e sperimentare con il design e la produzione di componenti in alluminio e titanio

L'approccio



Lisa Tech è il **laboratorio di Additive Manufacturing** di
Kilometro Rosso per imprese, professionisti e centri di ricerca



1

EDUCATION

SCOPRIRE E IMPARARE A GESTIRE LA TECNOLOGIA

2

SERVICE

REALIZZARE I PROPRI PROGETTI GUIDATI DA UN COACH

3

R&D

CREARE NUOVE SOLUZIONI DI ADDITIVE MANUFACTURING

Education



Personnel AM Certification



Application Engineer

A specialized figure who manages the printing lot. It manages the essential variables of the machine in order to optimize production based on customer needs.



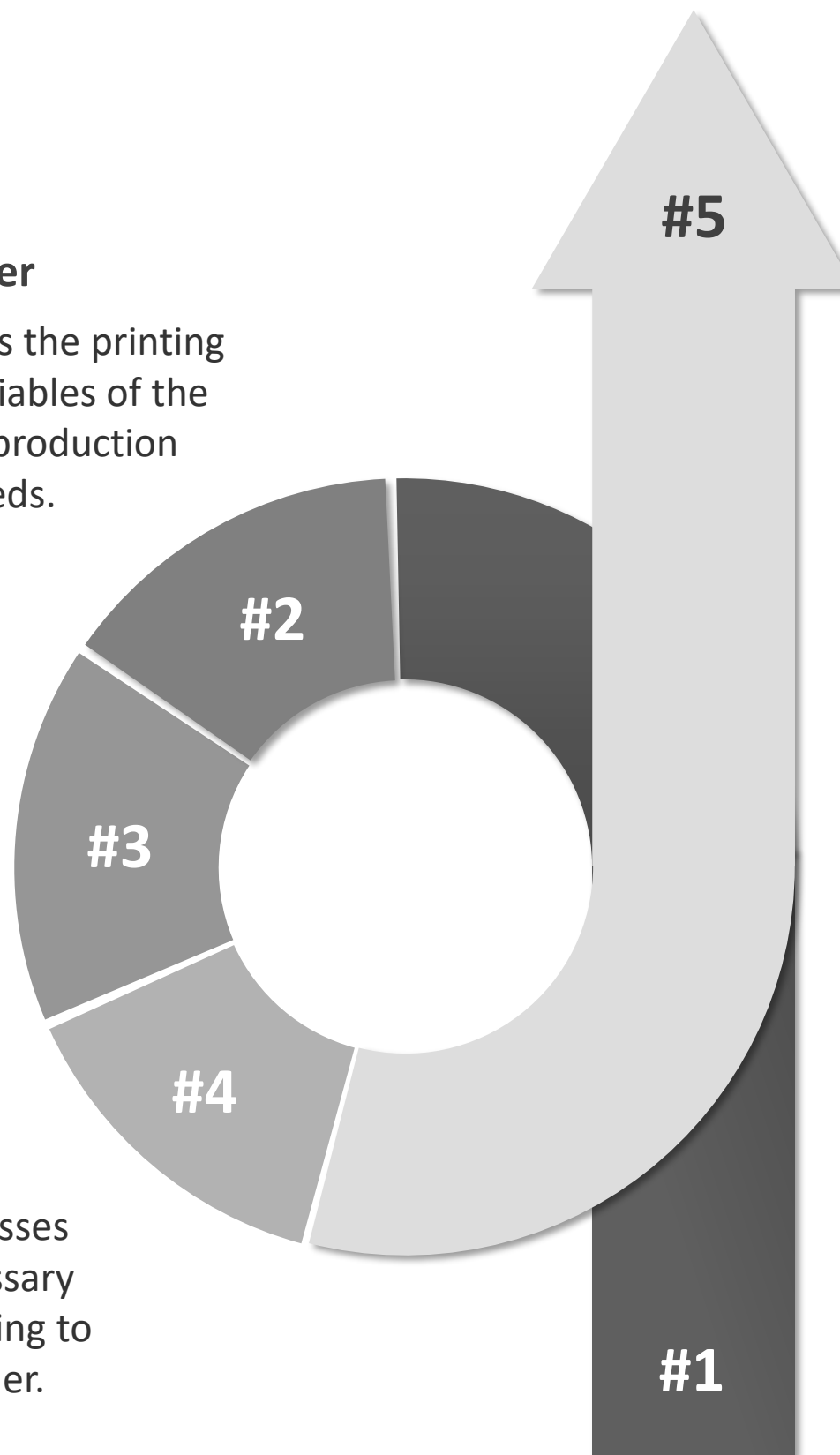
Process Operator

A specialized figure that manages the AM hardware component. The figure knows how to operate in the field of production, with a complete and adequate knowledge of the process.

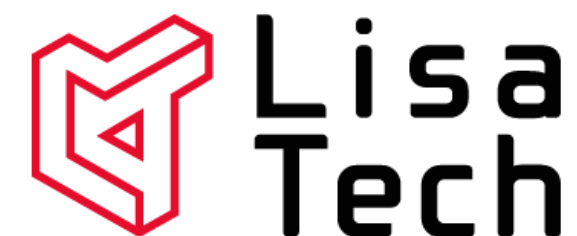


Process Manager

A specialized figure that collects, processes and optimizes all the information necessary for the realization of the product according to the criteria established by the customer.



Bureau Veritas
Certification of
the competence



Living Space for Additive Technologies

Education and training
courses

Service



PROTOTYPING



COACHING



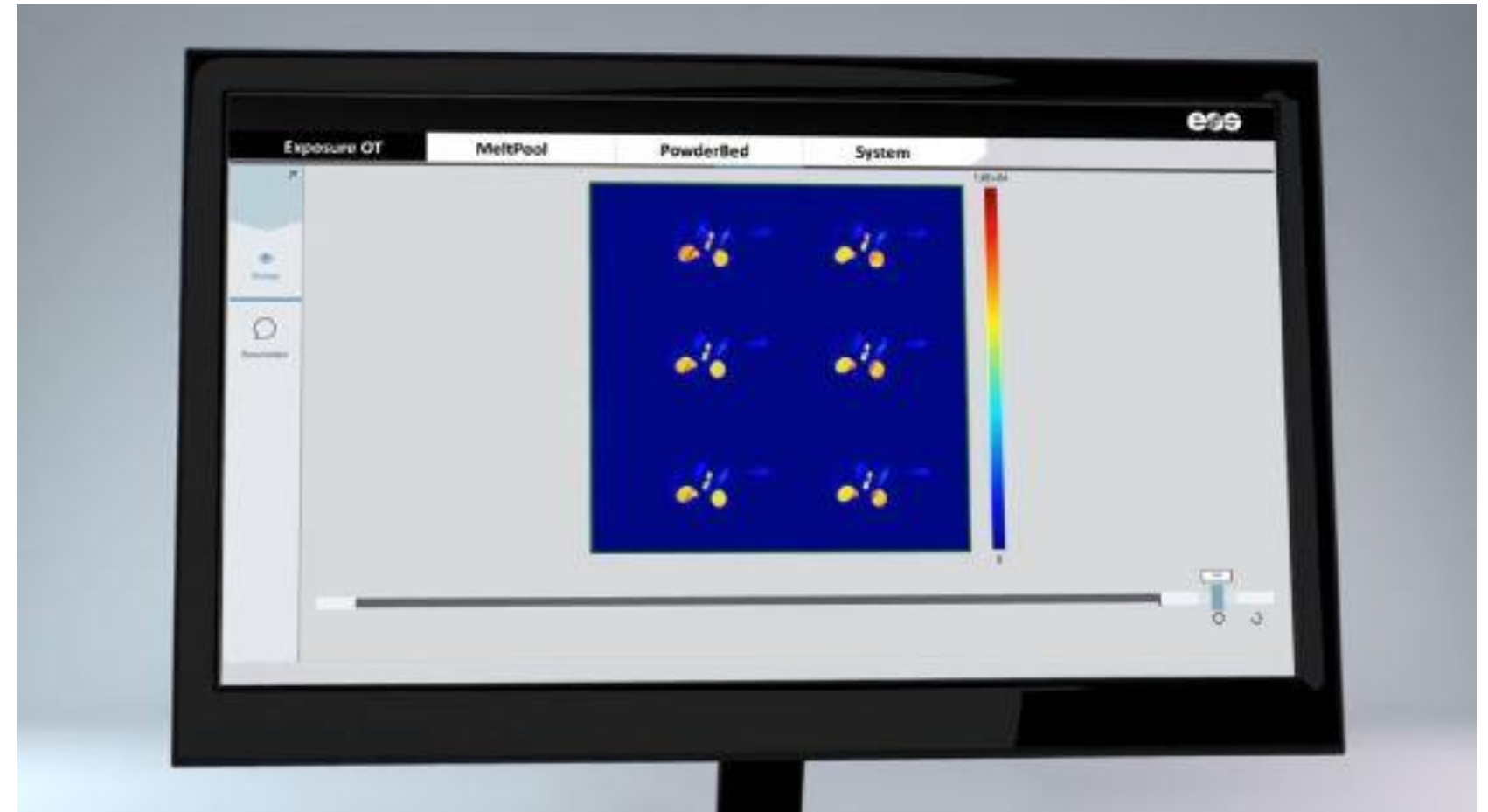
BENCHMARK

Request a quotation or start a feasibility study of your project to find out what are the improvement actions to increase the added value and reduce production costs.

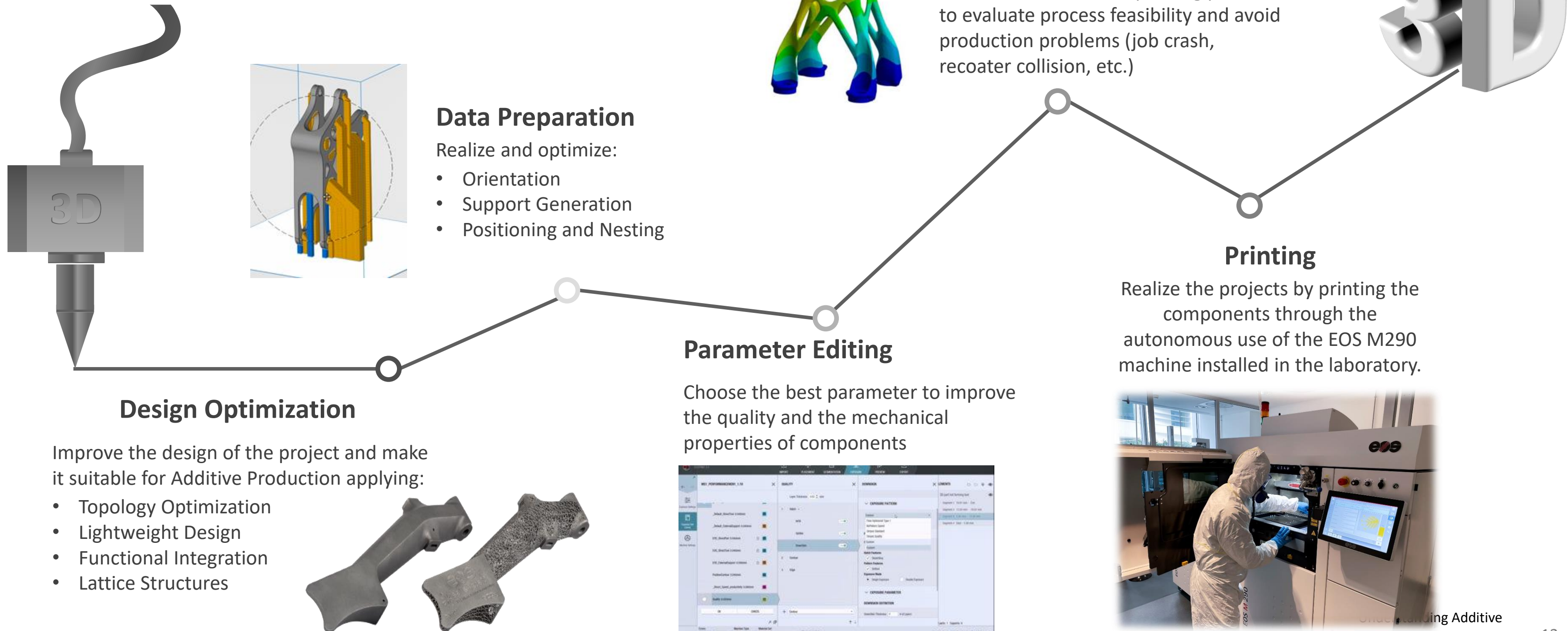
EOS M290



Optical Tomography



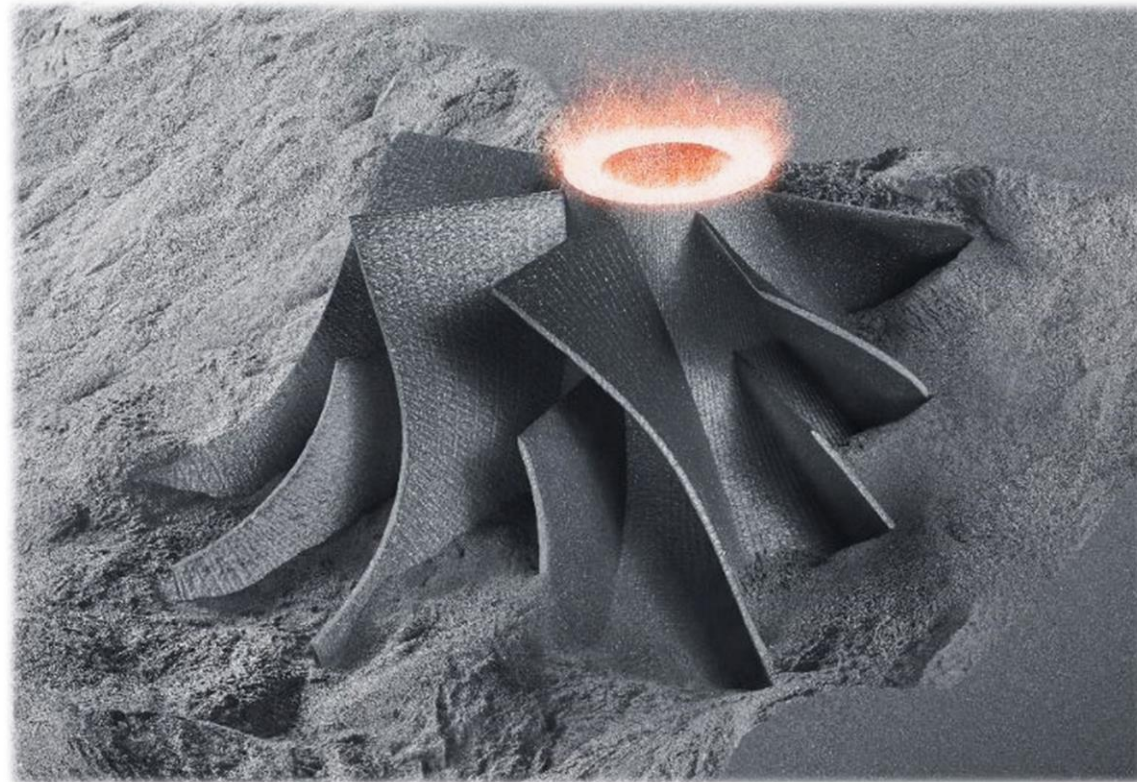
Training on the job



Cos'è l'Additive Manufacturing ?

E' un metodo di fabbricazione in grado di realizzare oggetti aggiungendo materiale uno strato alla volta, a differenza dei tradizionali processi sottrattivi, che rimuovono il materiale in eccesso.

Additive Manufacturing

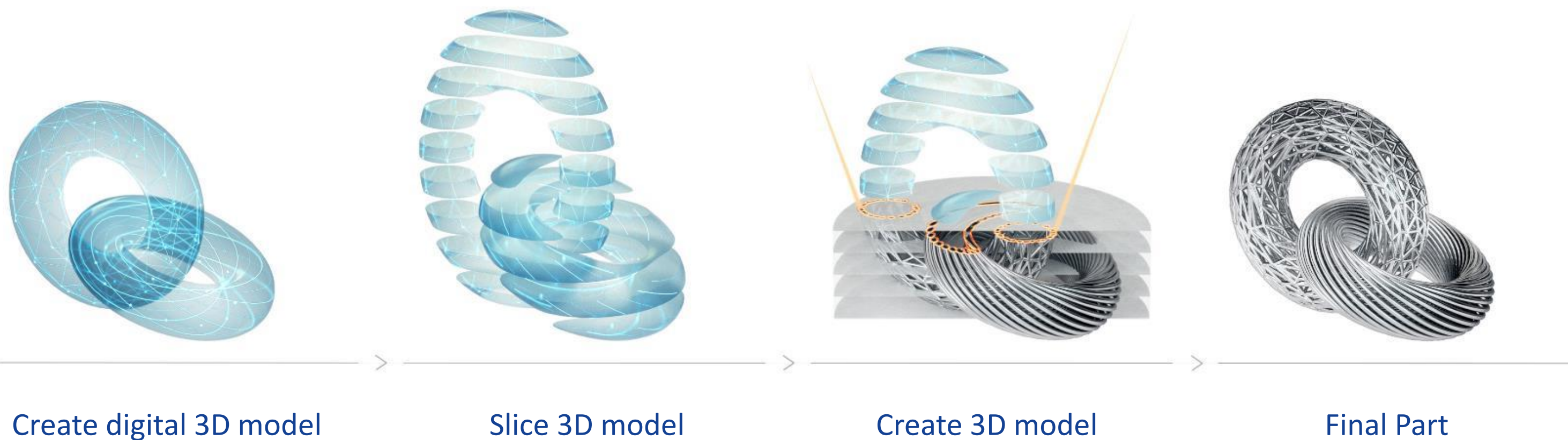


Metodo tradizionale

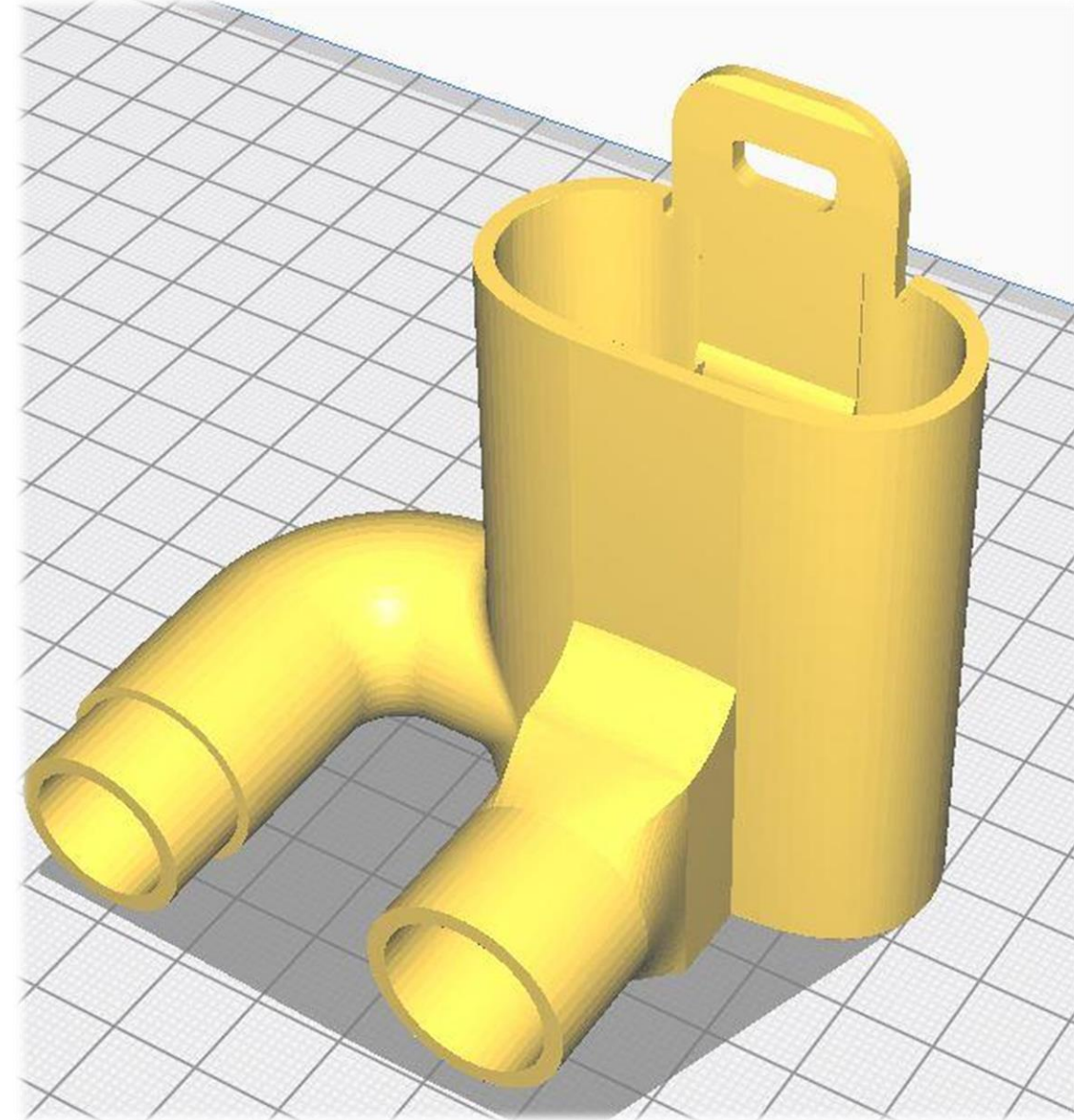


Come funziona

Il metodo di fabbricazione AM sfrutta un modello CAD dell'oggetto, discretizzato a strati e realizzato strato su strato, andando ad aggiungere materiale in maniera selettiva solamente laddove è necessario



Covid-19: l'additive come soluzione



Campi di applicazione



Aerospace



Medicale



Automotive

Campi di applicazione



Dentale



Gioielleria

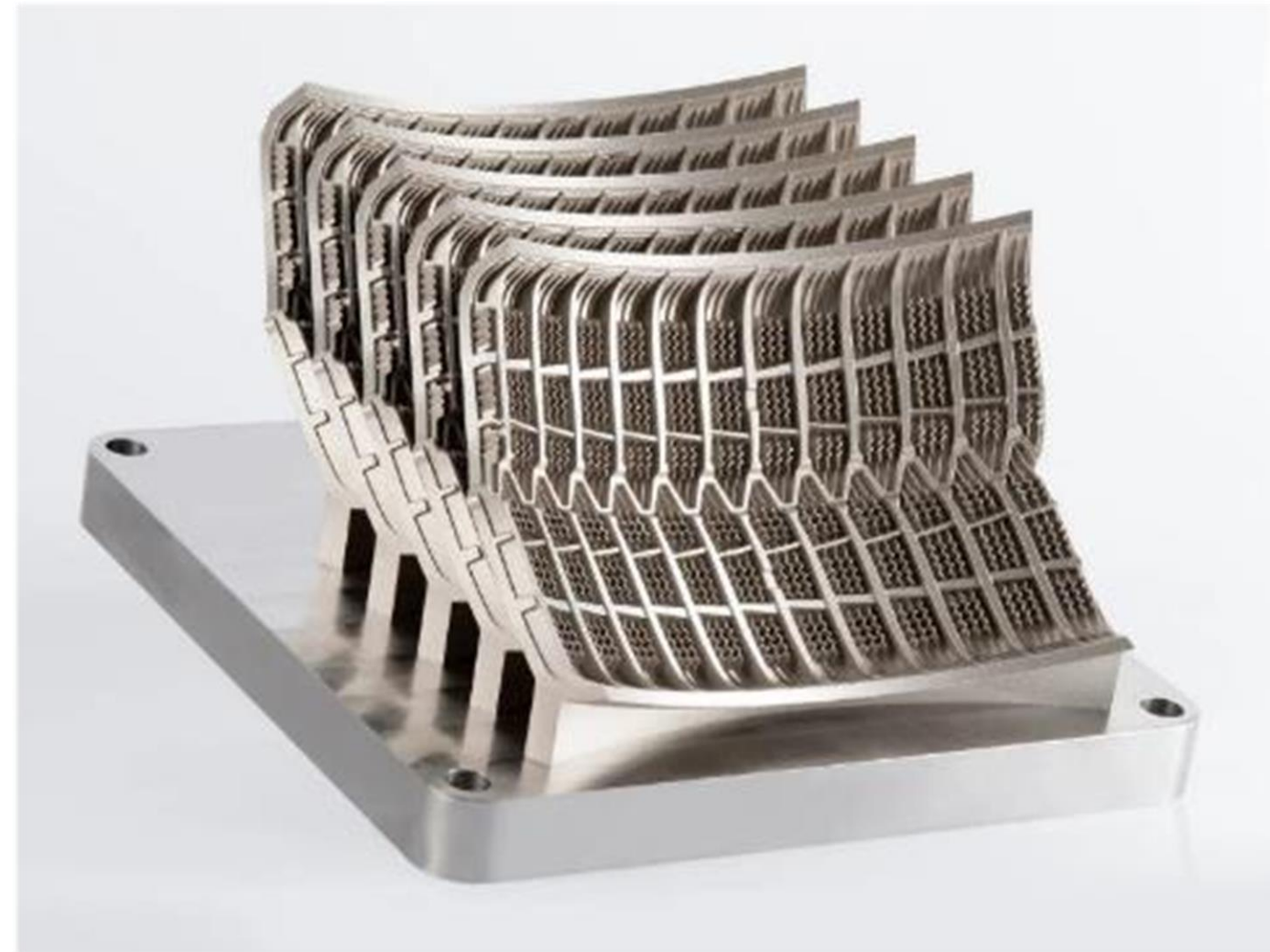


Manifattura

Case study #1

Vantaggi:

- Possibilità di realizzare strutture complesse
- Possibilità di modifica in tempi brevi
- Risparmio di materiale
- Riduzione dei costi



Case study #2



Vantaggi:

- 10 componenti eliminati
- Riduzione del peso pari al 35%
- Riduzione degli ingombri
- Miglioramento delle performance

Case Study #3: Bugatti Chiron Brake Calipers



- SLM in 45 hours, Monoblock, Titanium
- The largest 3D printed item mounted on cars (41 x 21 x 13,6 cm)

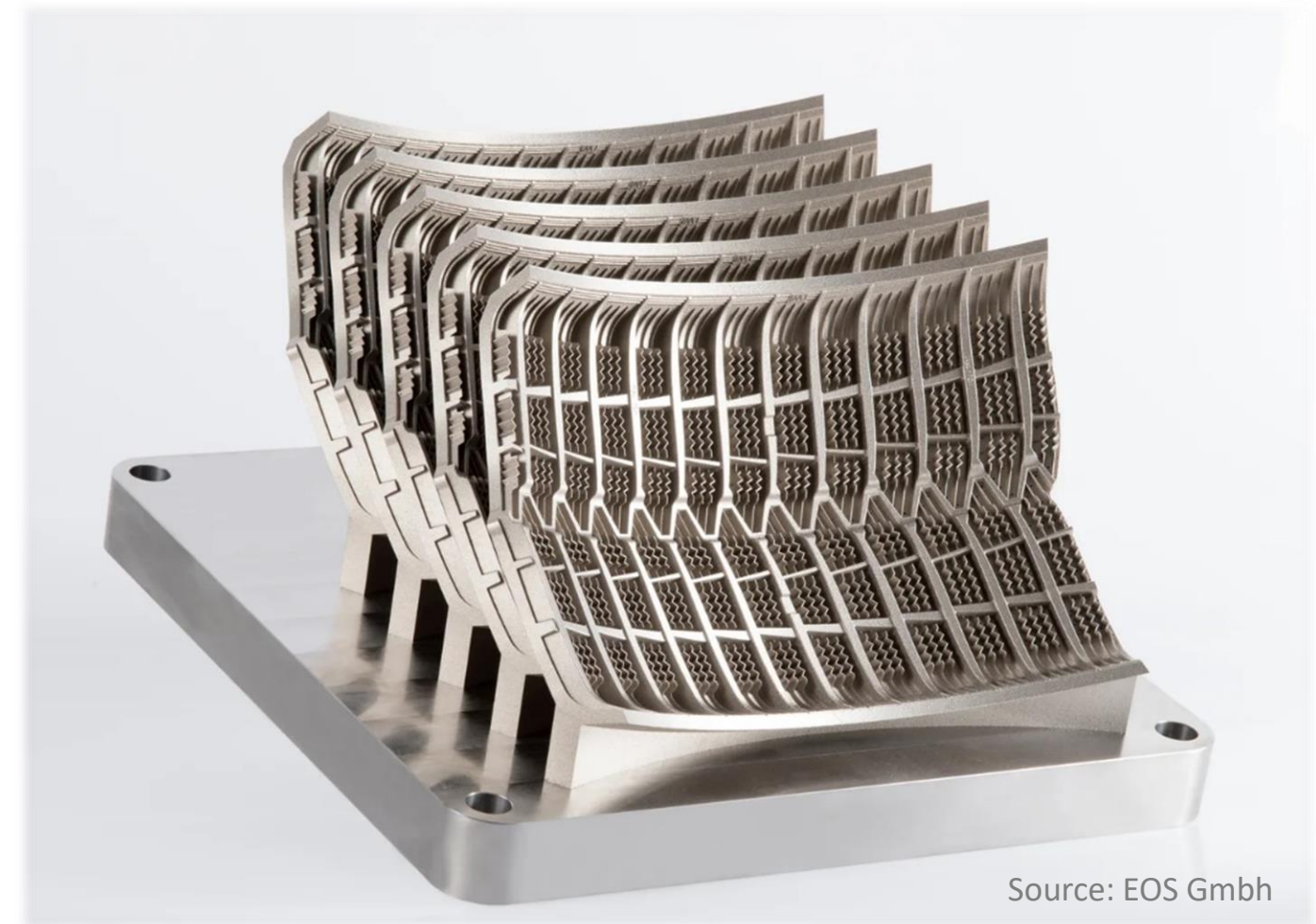


- Weight: 2,9 kg (- 40% !)
- Increased rupture strength: 1250 MPa
- Time to market: 3 months

I vantaggi dell'Additive Manufacturing

PROCESSO

- Una sola macchina, forme illimitate
- Assenza di attrezzatura: utensili, dispositivi di bloccaggio ecc.
- Sottosquadri ammessi
- Macchine autonome e minimo intervento dell'operatore
- Tempi e costi funzione delle dimensioni e non della complessità geometrica



Nuove possibilità



Geometrie complesse



Integrazione di componenti e funzioni



Ottimizzazione topologica



Strutture Lattice

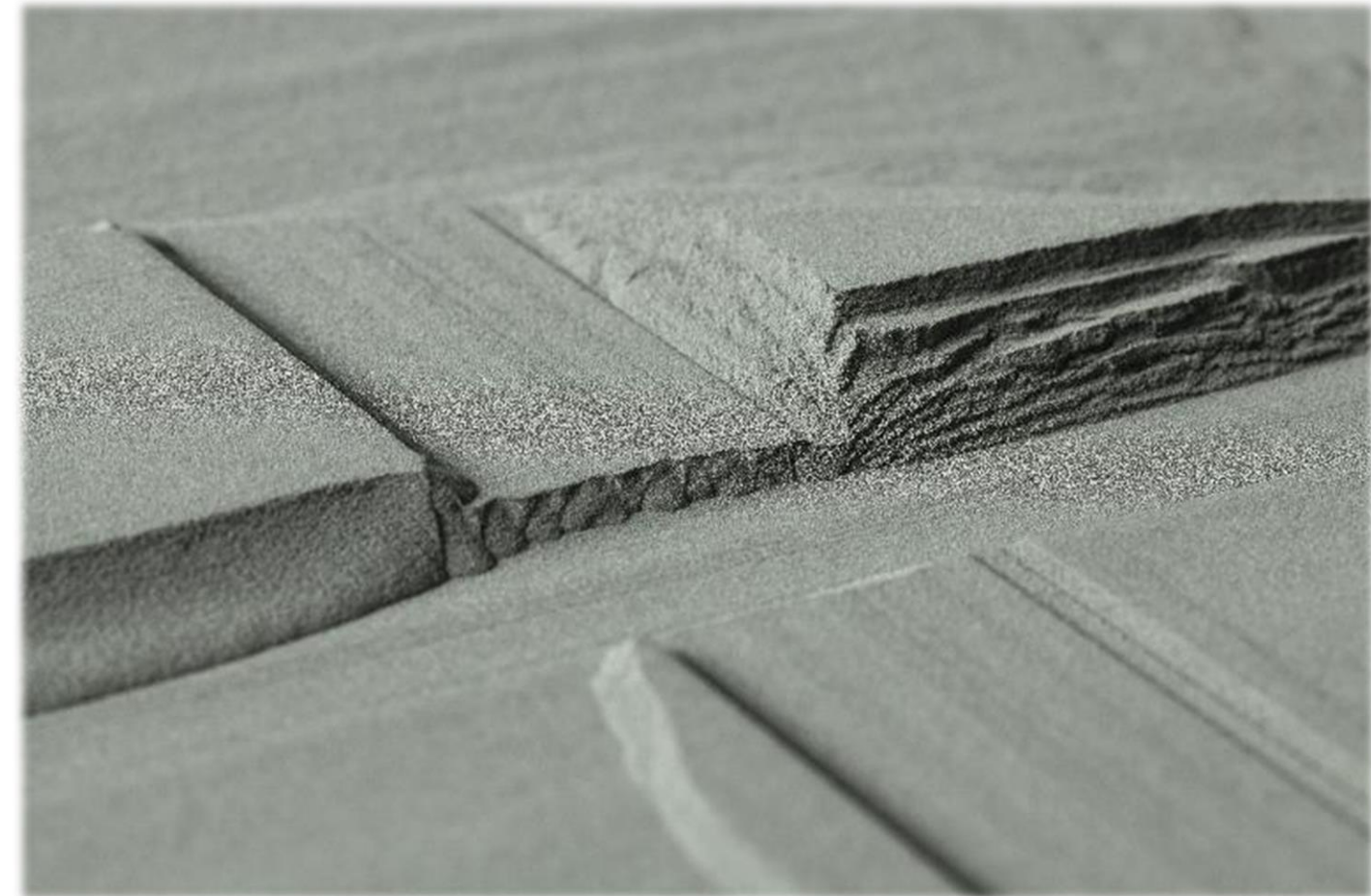
Riduzione del peso



Risparmio di materiale

Economia circolare

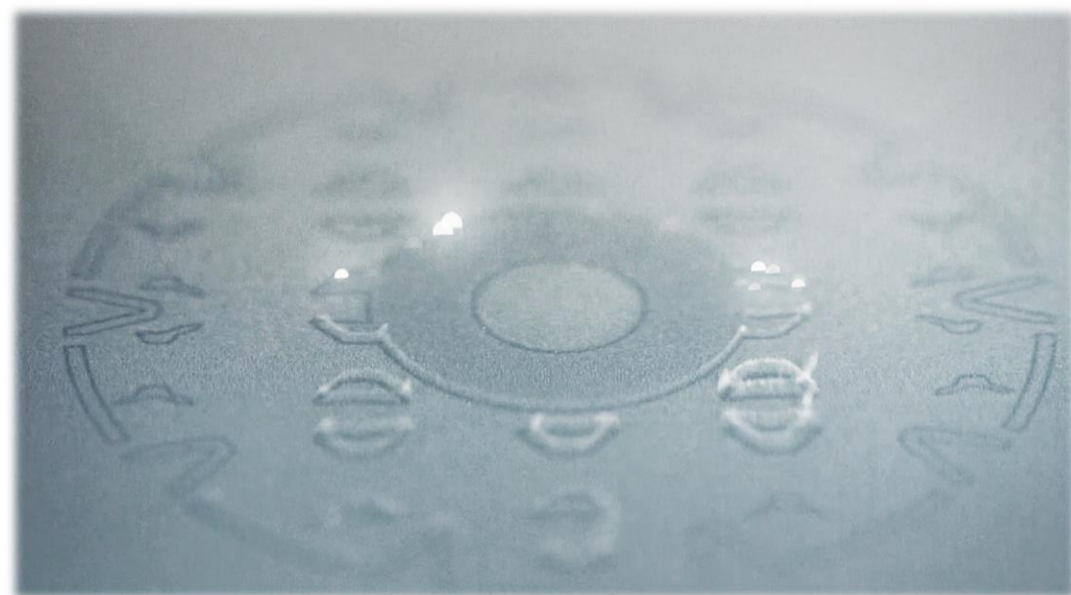
- Maggiore efficienza nell'utilizzo di risorse
- Produzione sostenibile e decentralizzata
- Risparmio dei materiali
- Utilizzo di materiali riciclati



I limiti dell'Additive Manufacturing

PROCESSO

- Volumi di lavoro
- Dimensioni dei componenti
- Velocità di costruzione
- Ogni macchina lavora materiali specifici



PRODOTTO

- Necessità di strutture di supporto
- Finitura superficiale scarsa
- Numero limitato di materiali commerciali
- Costo dei materiali

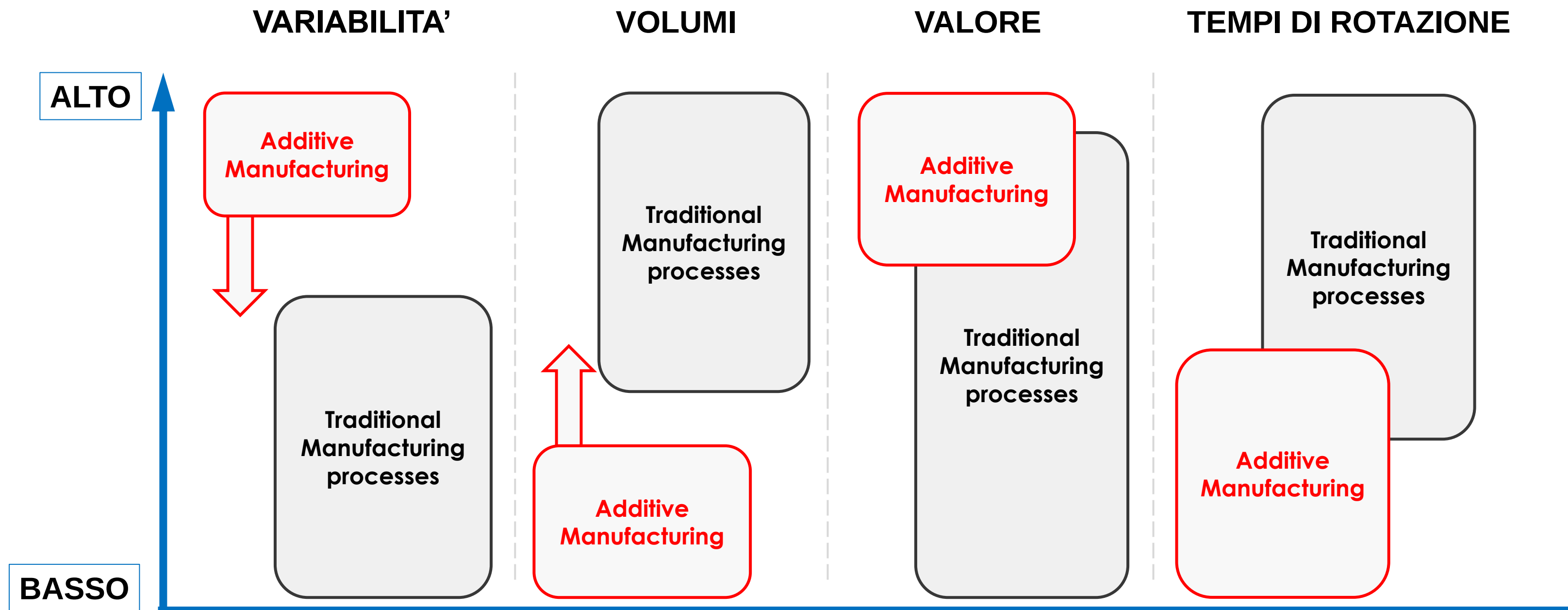
Evoluzione dei sistemi produttivi

- I sistemi produttivi sono costretti a muoversi verso architetture modulari e riconfigurabili
- Questo risultato è raggiunto combinando HW e SW e nuovi modelli organizzativi per servire il mercato con produzioni personalizzate ad elevata variabilità.

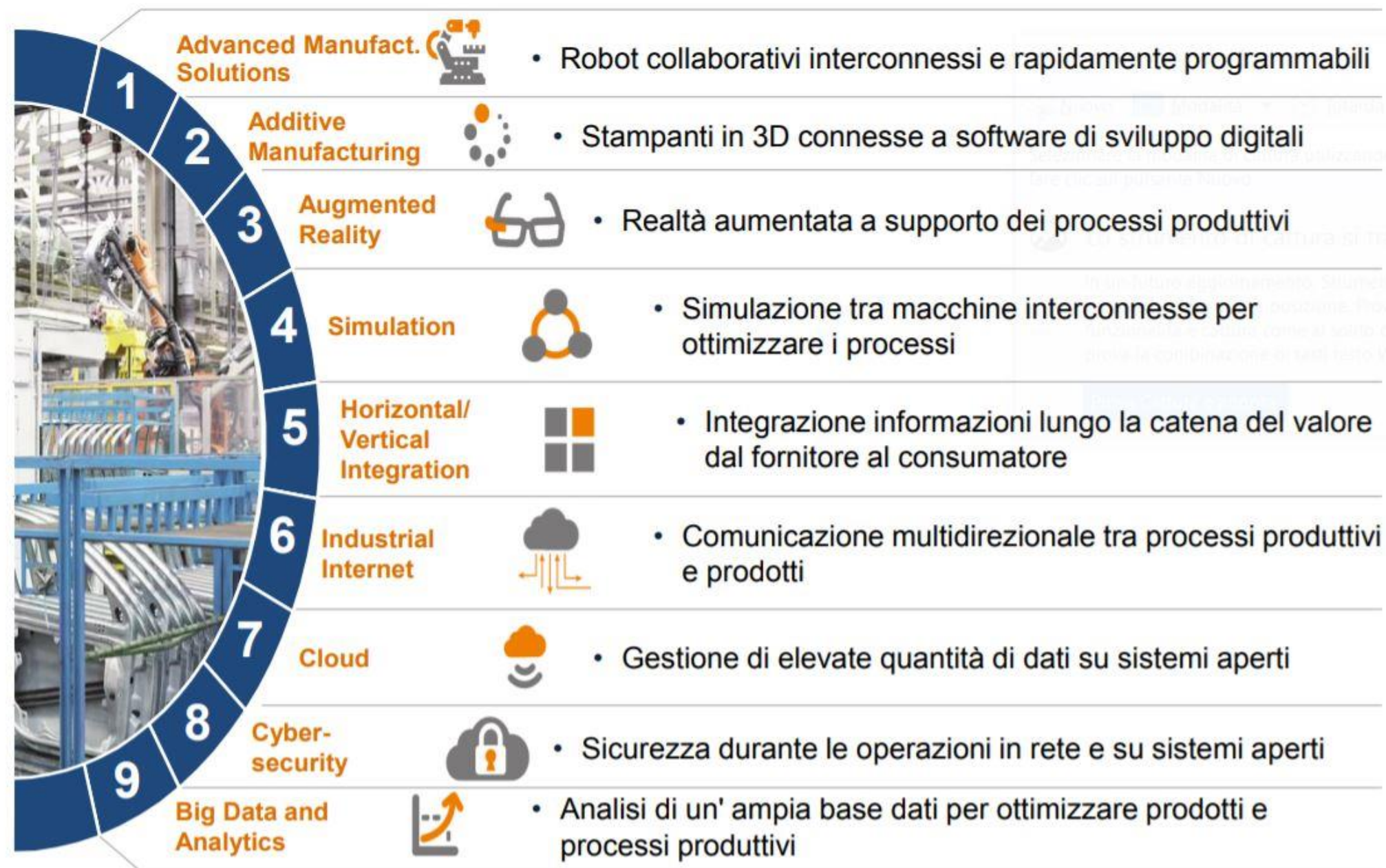


Yoram Koren "The Global Manufacturing Revolution" - John Wiley ISBN: 978-0-470-58377-7

Evoluzione dei sistemi produttivi



Piano Nazionale Industria 4.0

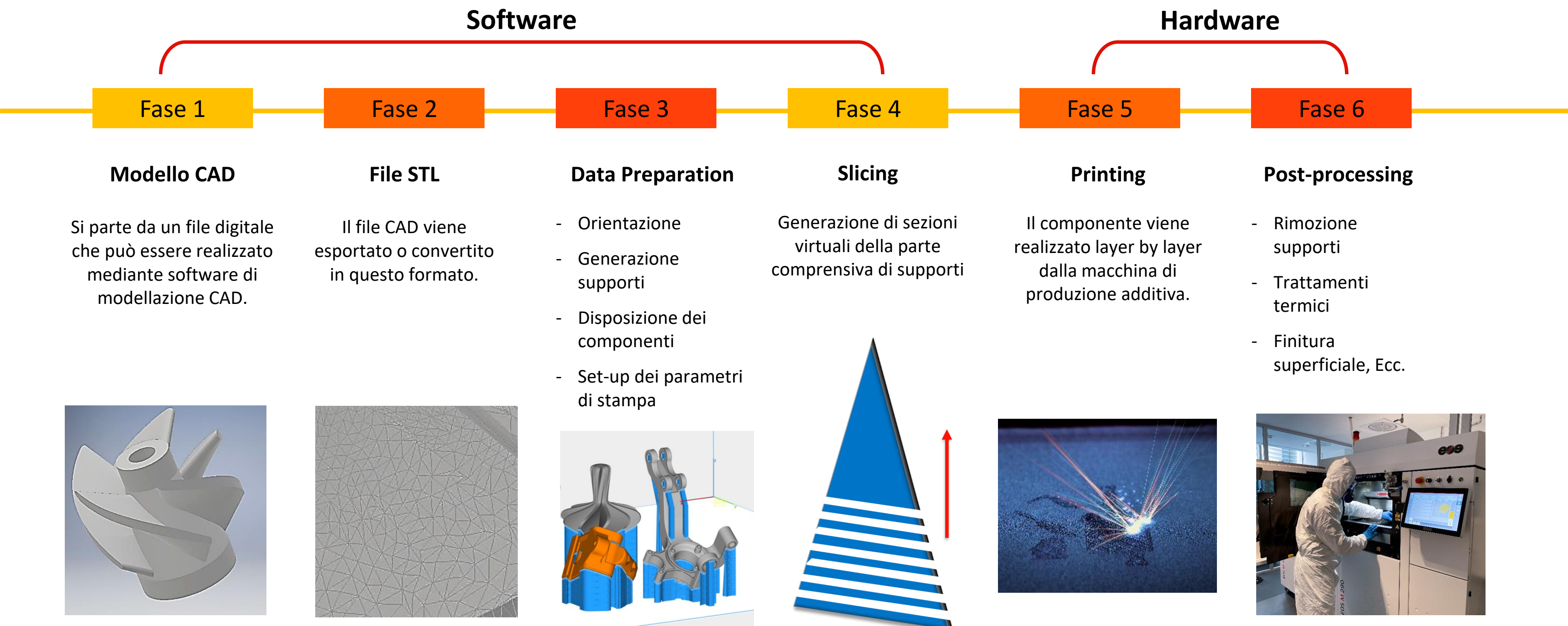


Tecnologia abilitante

Industria 4.0: i benefici attesi

 Flessibilità	Maggiore flessibilità attraverso la produzione di piccoli lotti ai costi della grande scala
 Velocità	Maggiore velocità dal prototipo alla produzione in serie attraverso tecnologie innovative
 Produttività	Maggiore produttività attraverso minori tempi di set-up, riduzione errori e fermi macchina
 Qualità	Migliore qualità e minori scarti mediante sensori che monitorano la produzione in tempo reale
 Competitività Prodotto	Maggiore competitività del prodotto grazie a maggiori funzionalità derivanti dall'Internet delle cose

Fasi del ciclo produttivo

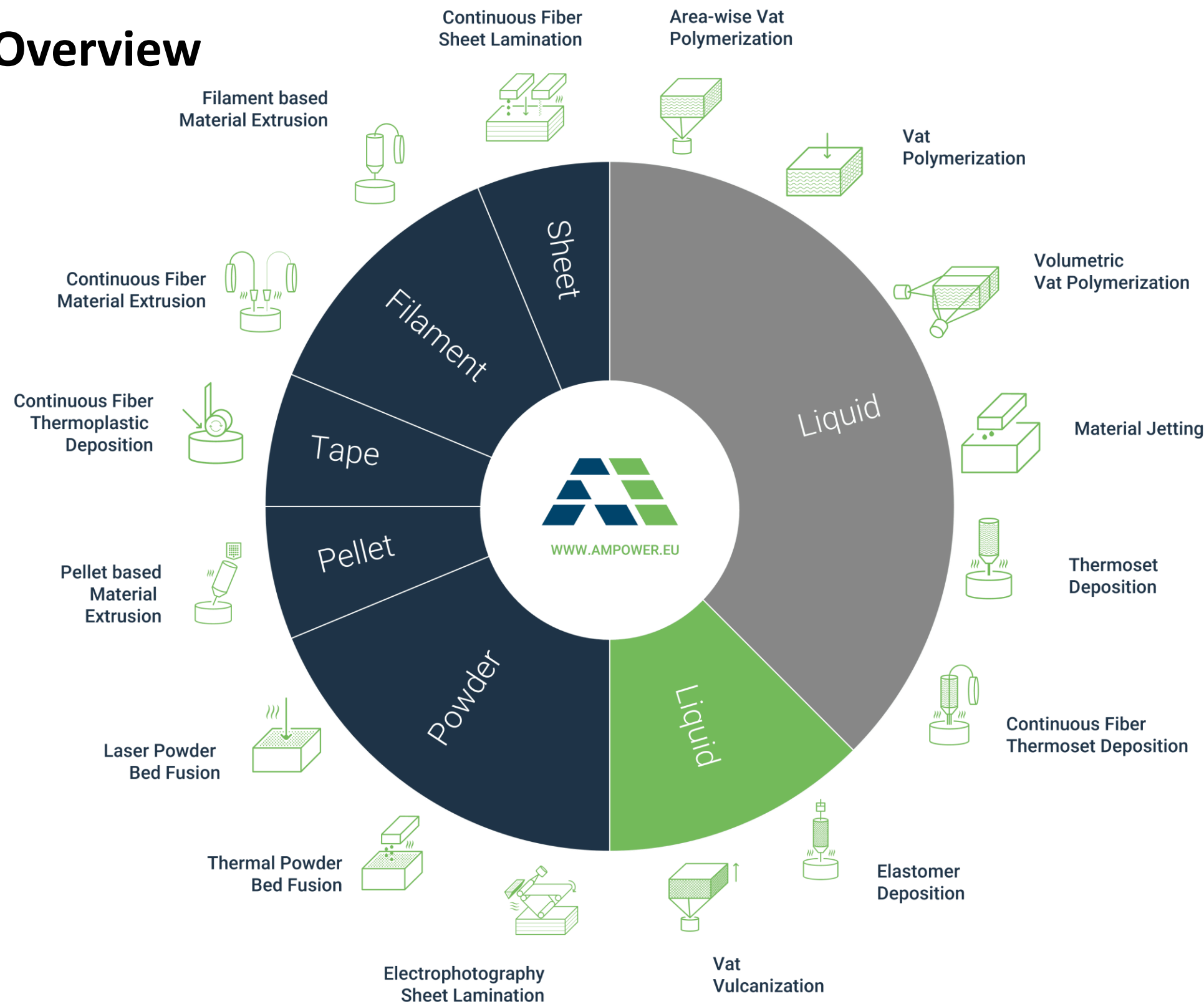


ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGIES

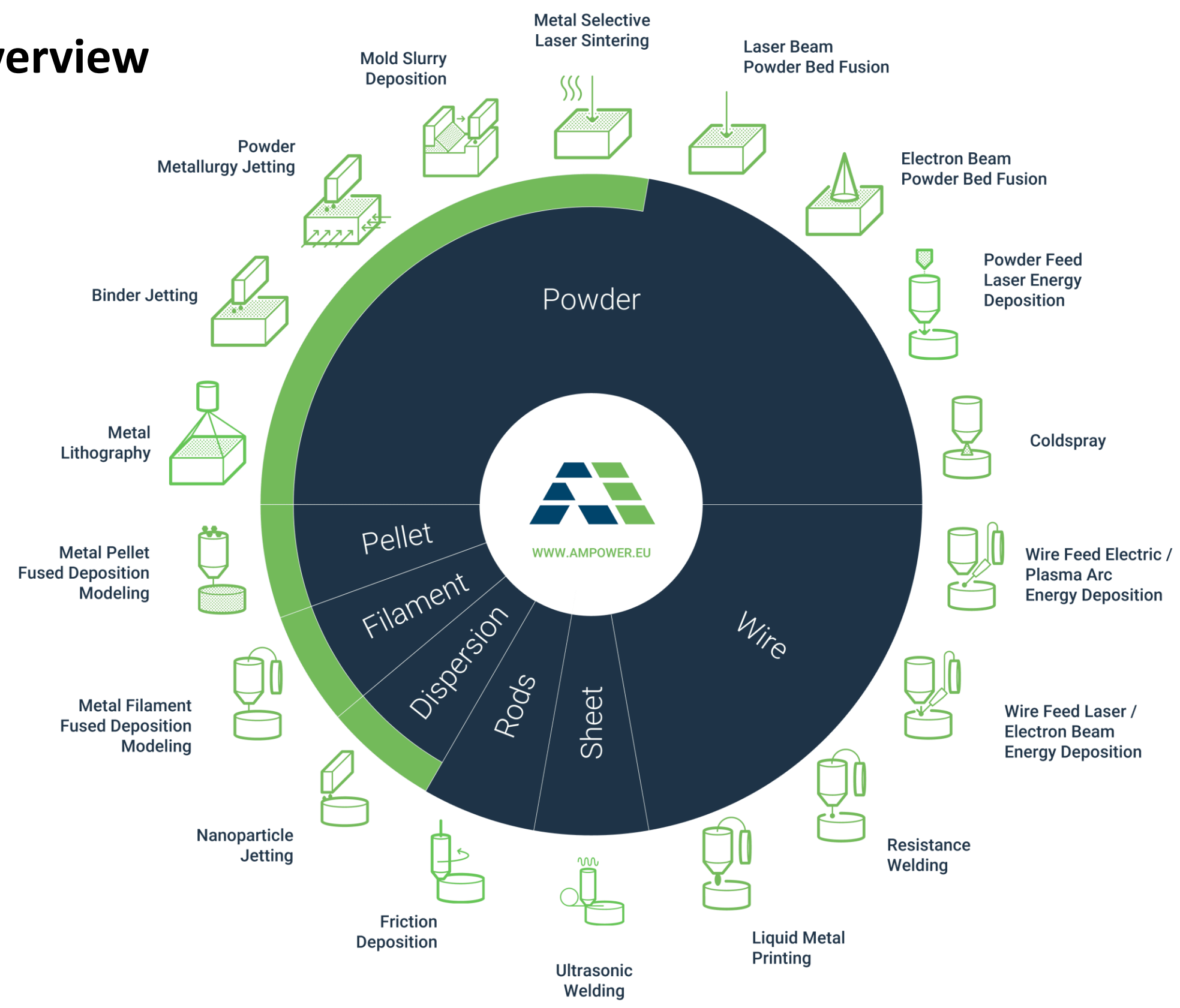


Find out more at www.3dhubs.com/what-is-3d-printing

Polymer Technology Overview



Metal Technology Overview

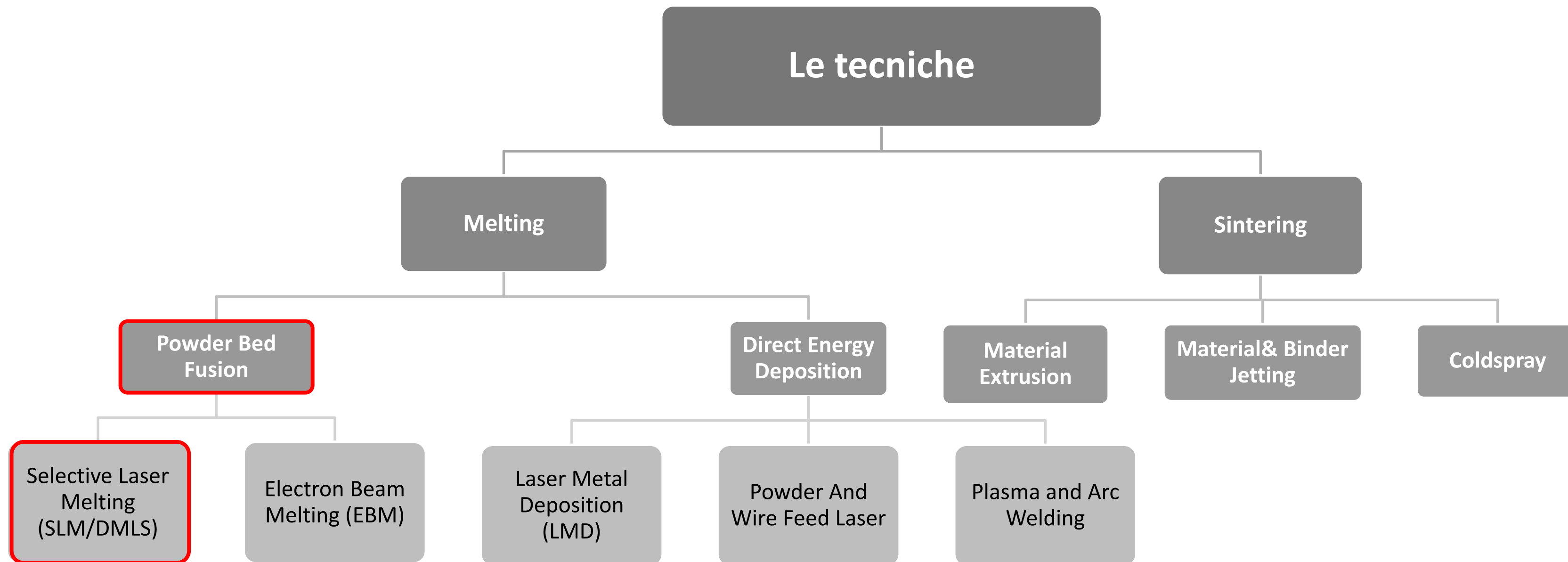


I Materiali

Polimeri	Metalli	Ceramici	Organici
Poliammide (Nylon)	Alluminio (es. AlSi10Mg)	Grafite	Tessuti organici
PEEK	Titanio (es. Ti64)	Silice	Cellule
ABS	Acciaio inossidabile	Ossido di zirconio	Cere
TPU	Acciaio maraging	Gesso	
Policarbonato	Cobalto-Cromo	Alumina	
Carbon PEEK	Inconel (In625)	Piezoceramici	



Le tecnologie per metalli

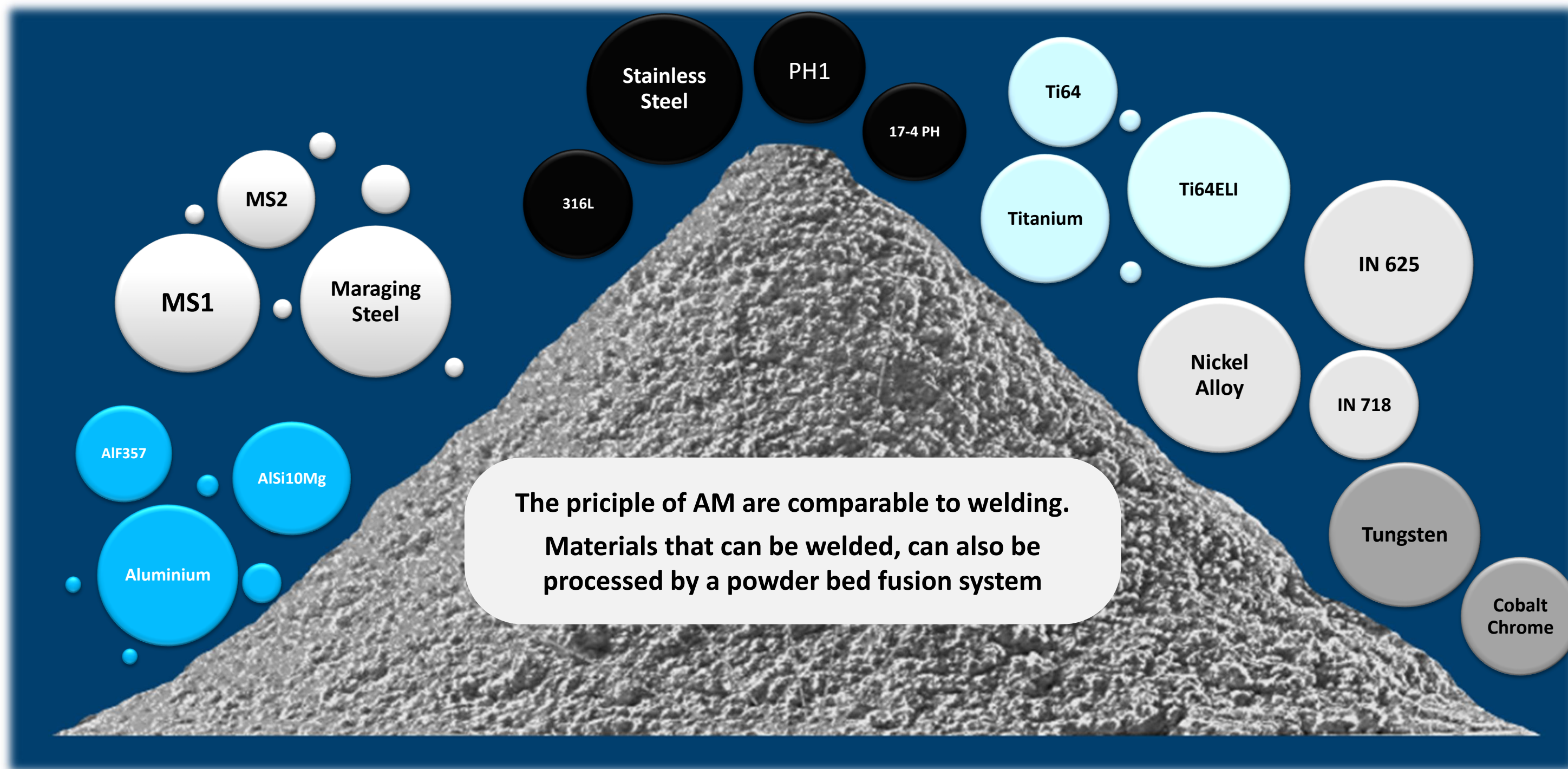


EOS M290



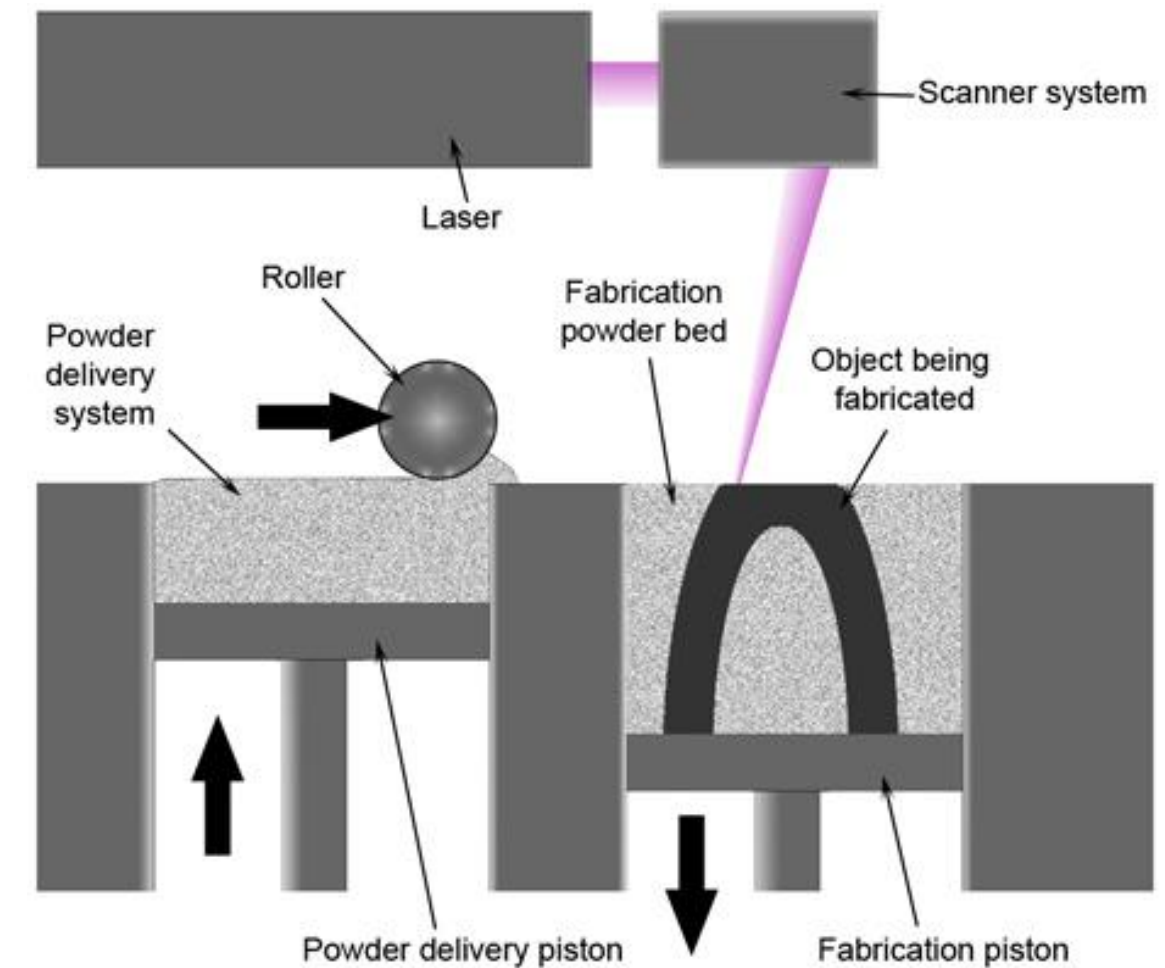
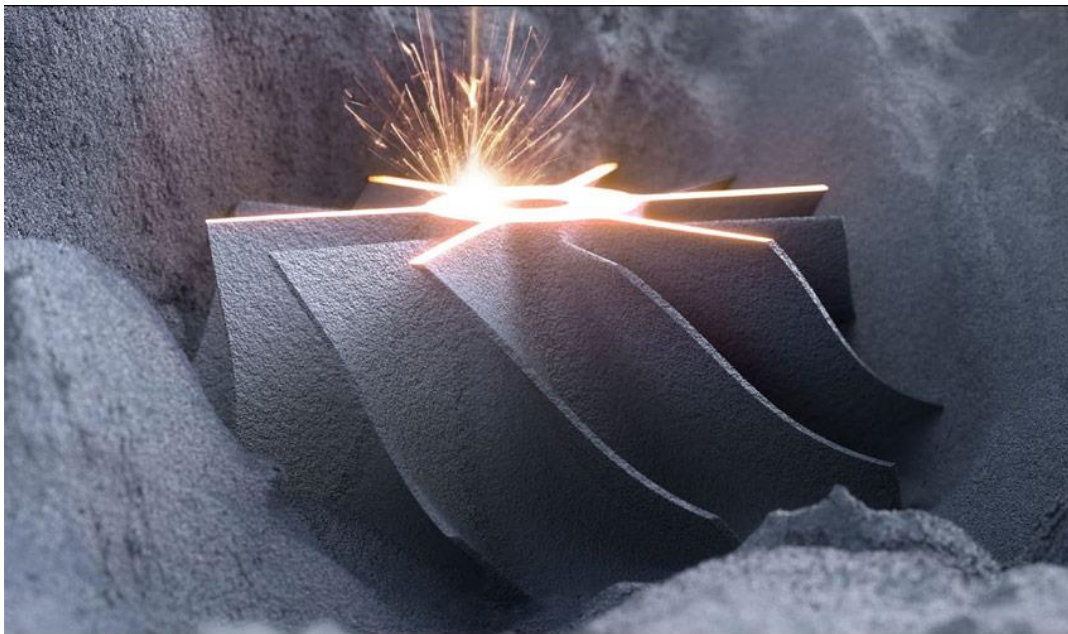
- **Tecnologia:** Direct Metal Laser Sintering (DMLS)
- **Materiali:** AlSi10Mg (Alluminio), Ti64 (Titanio)
- **Volume di lavoro:** 250 x 250 x 325 mm
- **Laser in fibra:** 400 W
- **Risoluzione:** > 50 μm
- **Velocità di scansione:** 7.0 m/s

I materiali



Laser Powder Bed Fusion (L-PBF)

- Realization of the powder bed (polymer and metal);
- Exposure of dust to an energy source (laser or electron beam);
- Dust sinterization and solidification where needed;
- *Prototypes and small series parts.*



Laser Powder Bed Fusion (L-PBF)



Advantages

High mechanical properties

High detail resolution

Powder as integrated support structure

Disadvantages

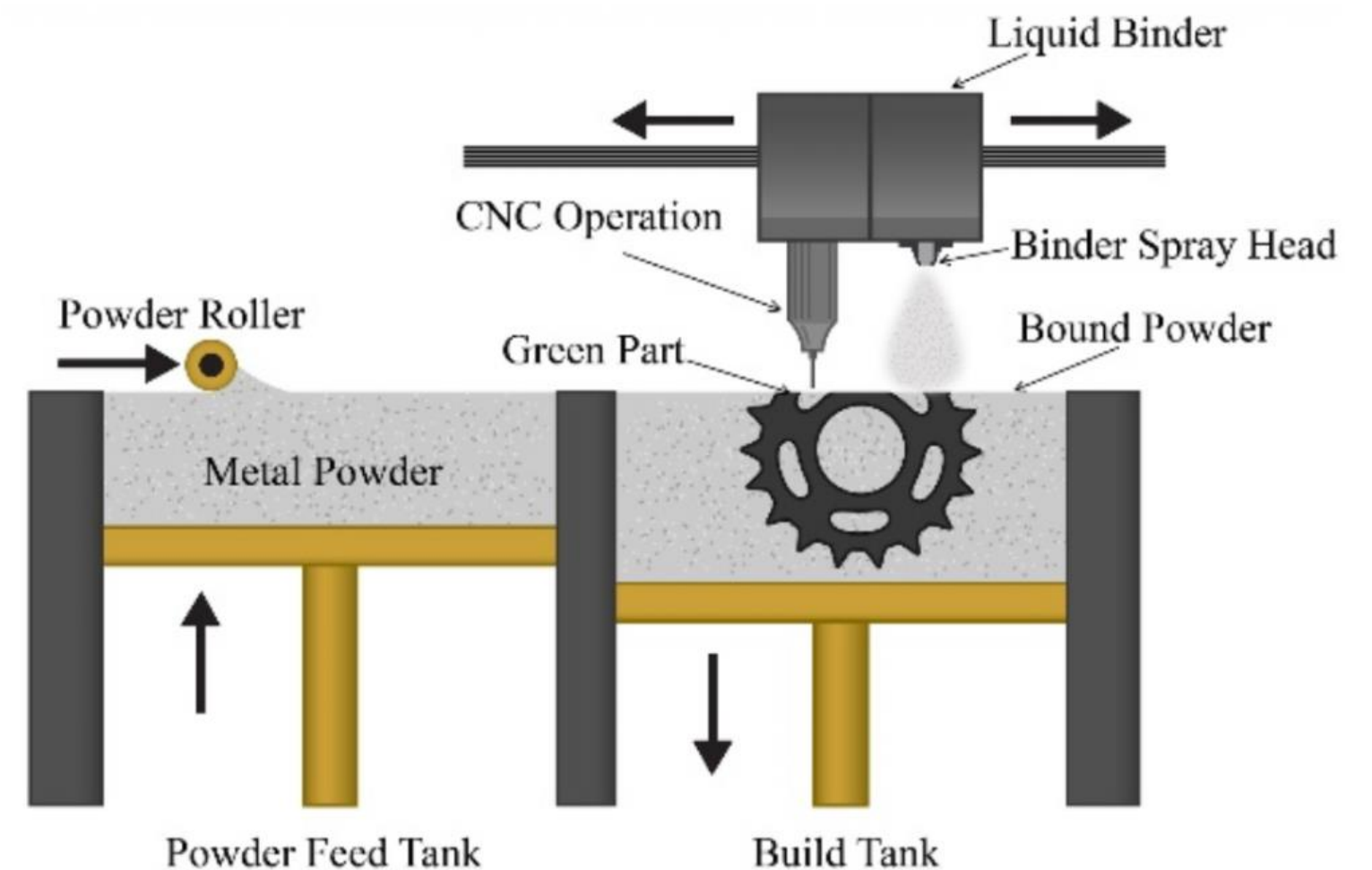
Limited build space

High investment

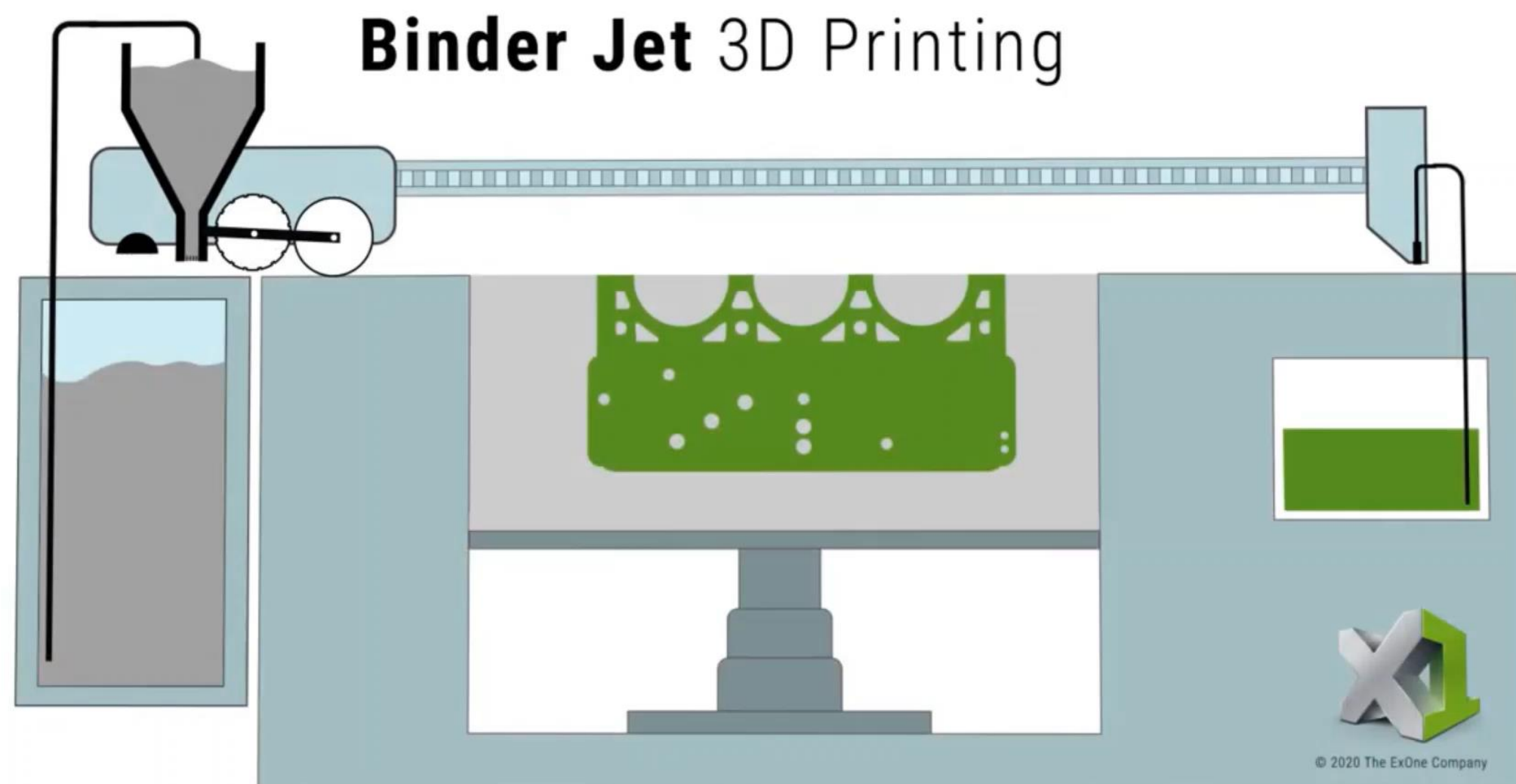
Finish dependent on powder grain size

Binder Jetting

- Realization of the powder bed (silica and metals);
- Deposition of the binder to "glue" the powder in the desired points;
- Curing, to obtain the required mechanical properties;
- *Prototypes (visual and form testing), casting patterns (medical, dental, jewellery).*



Binder Jetting



Advantages

Range of materials and colours

No support material needed

Quick and low-cost

Disadvantages

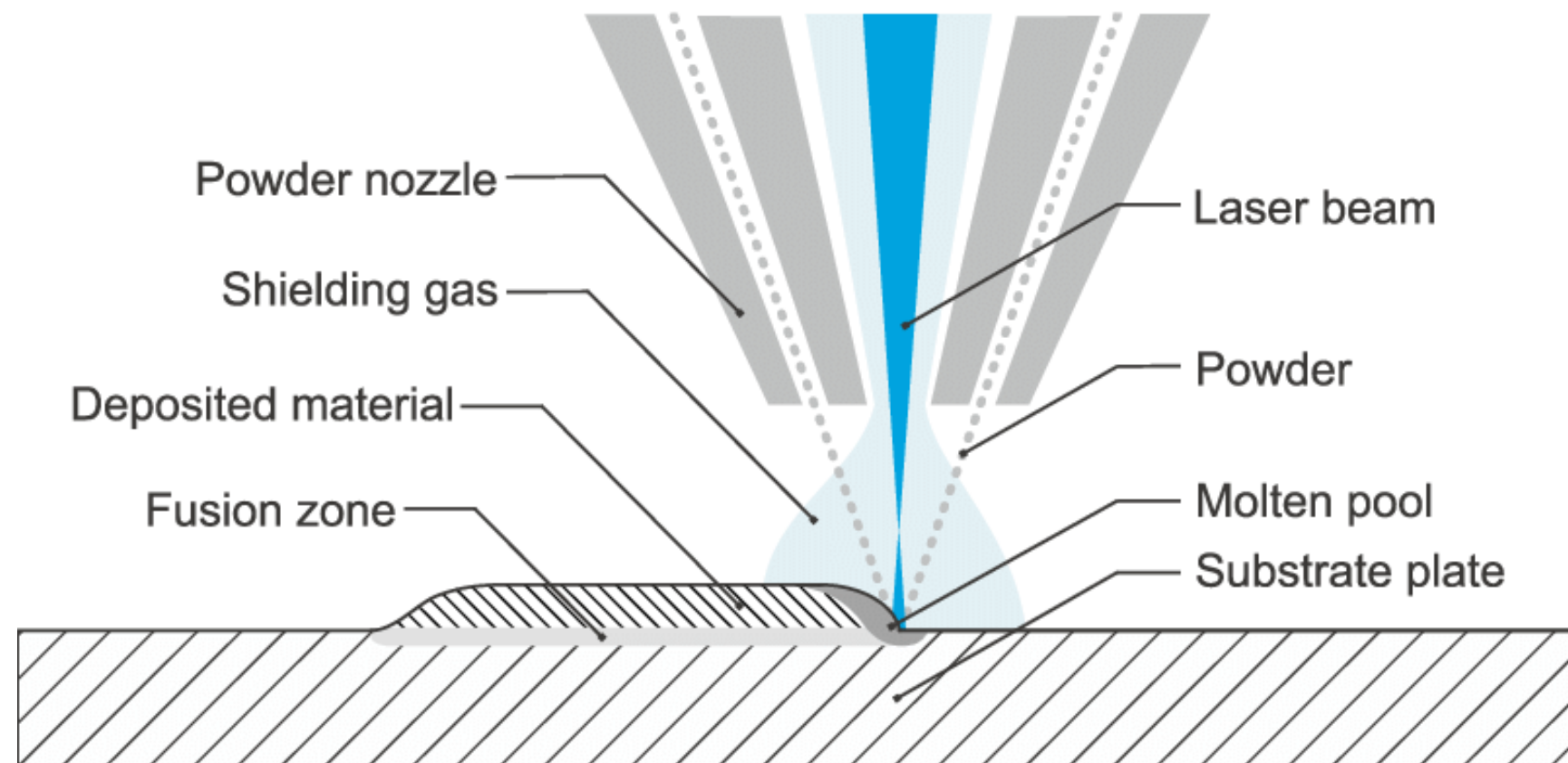
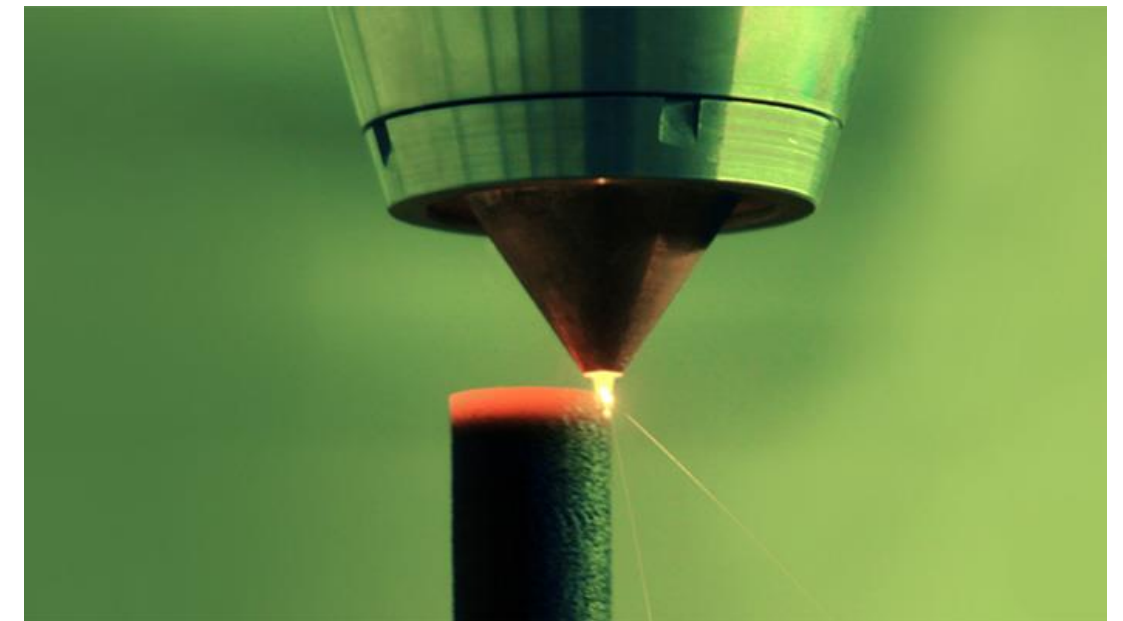
Not always suitable for structural parts

Significant time for post-processing

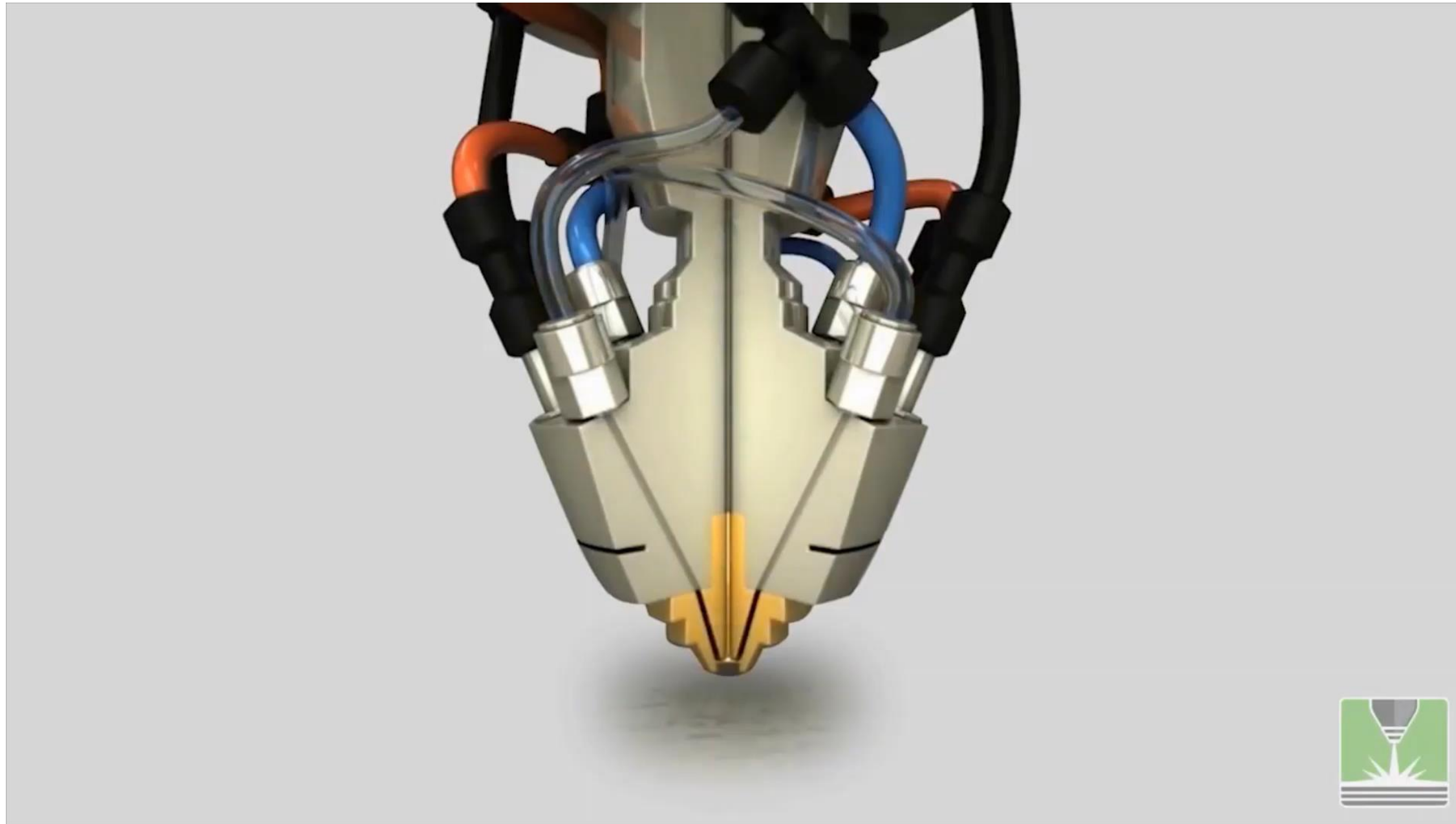
Parameters not adjustable to desired geometries

Direct Energy Deposition

- Metals only;
- The metal powder is pushed where needed through the nozzle;
- The action of the laser or electron beam melts the material;
- *Aerospace, defense, oil&gas, marine.*



Direct Energy Deposition



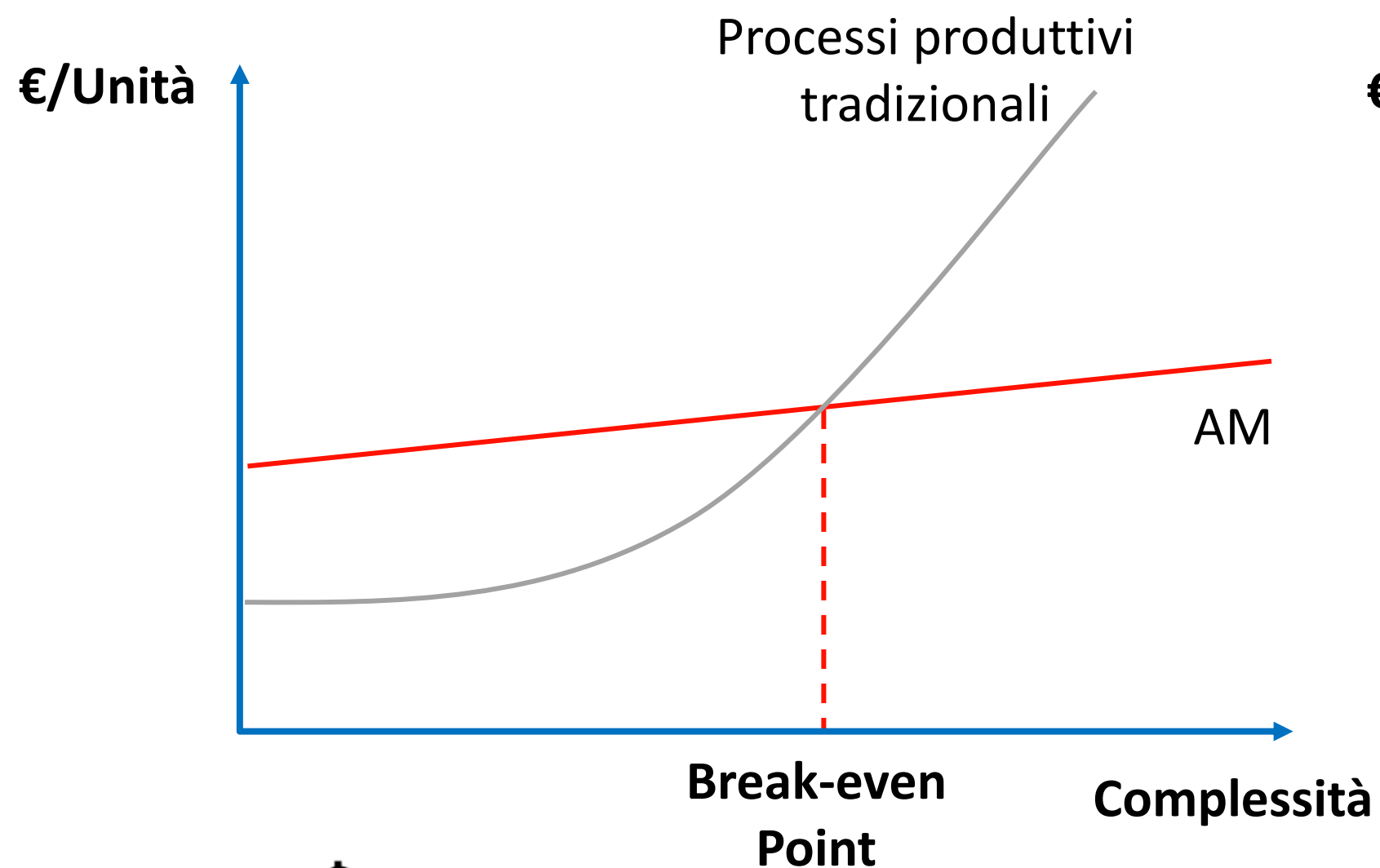
Advantages

- High build rates
- Dense and strong parts
- Multi-material range
- Can be used for repairing

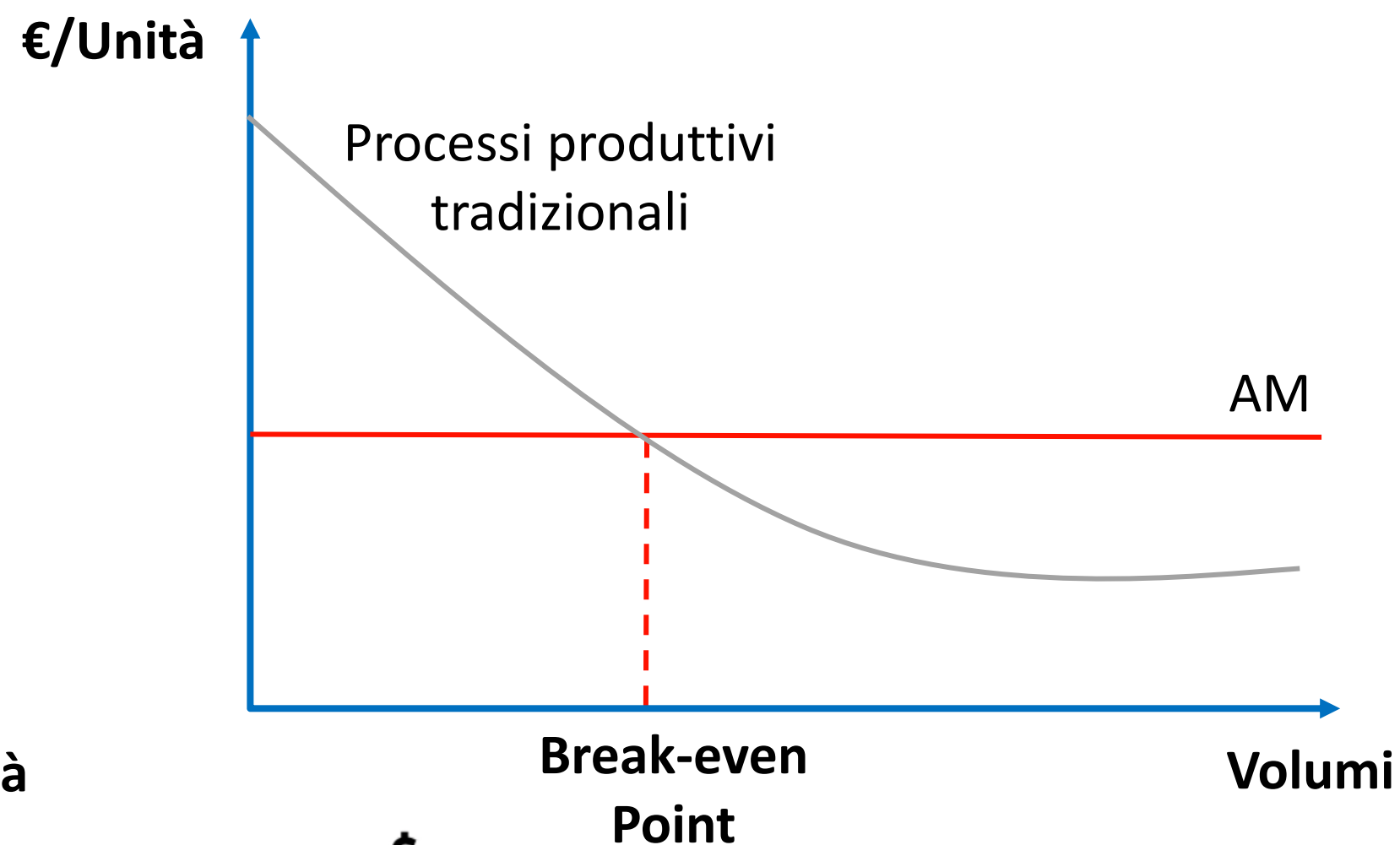
Disadvantages

- High capital cost
- Low build resolution, post-processing required
- No support structures, shape constrains

Additive Manufacturing vs Processi Tradizionali

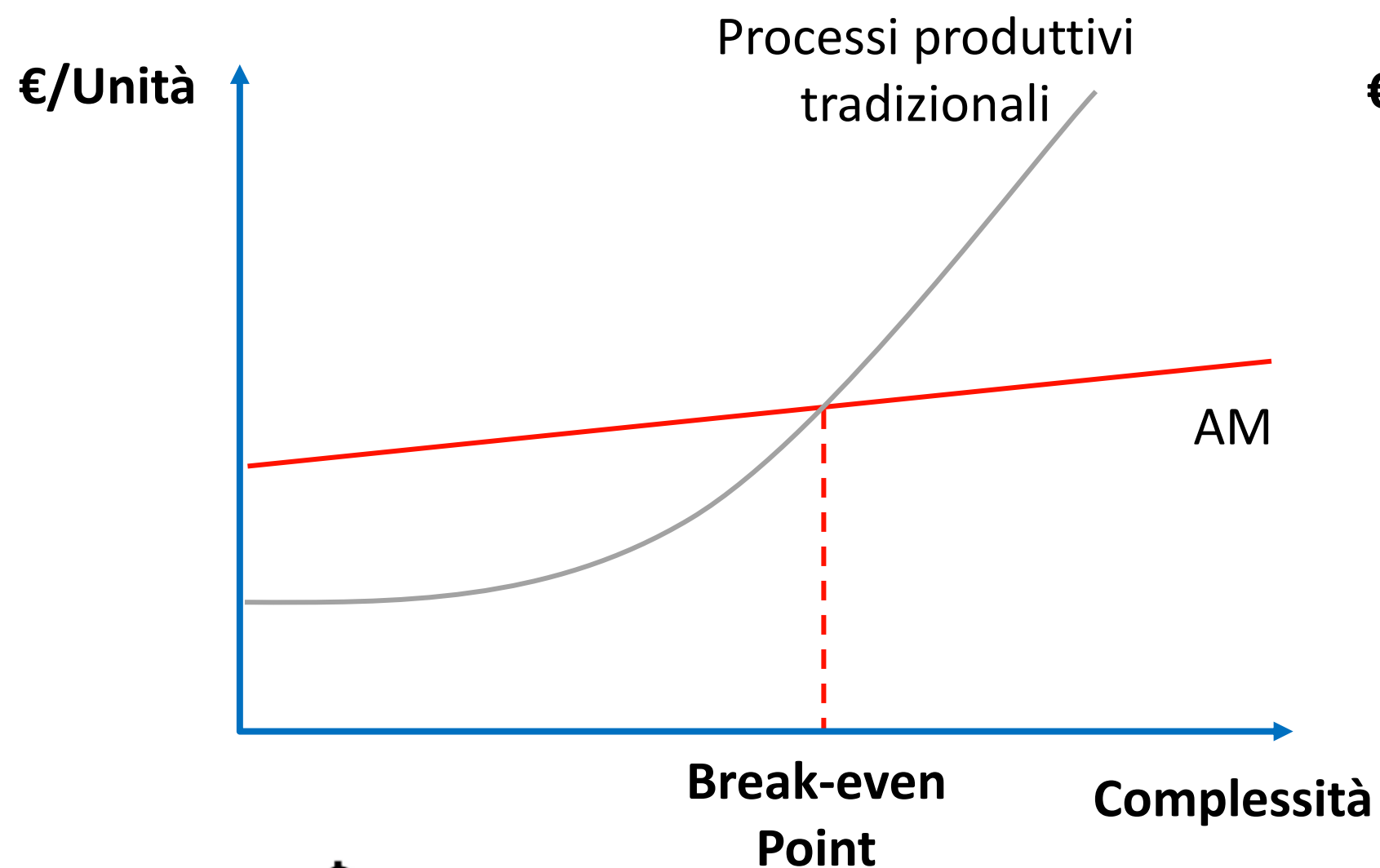


Vantaggi di costo per componenti complessi

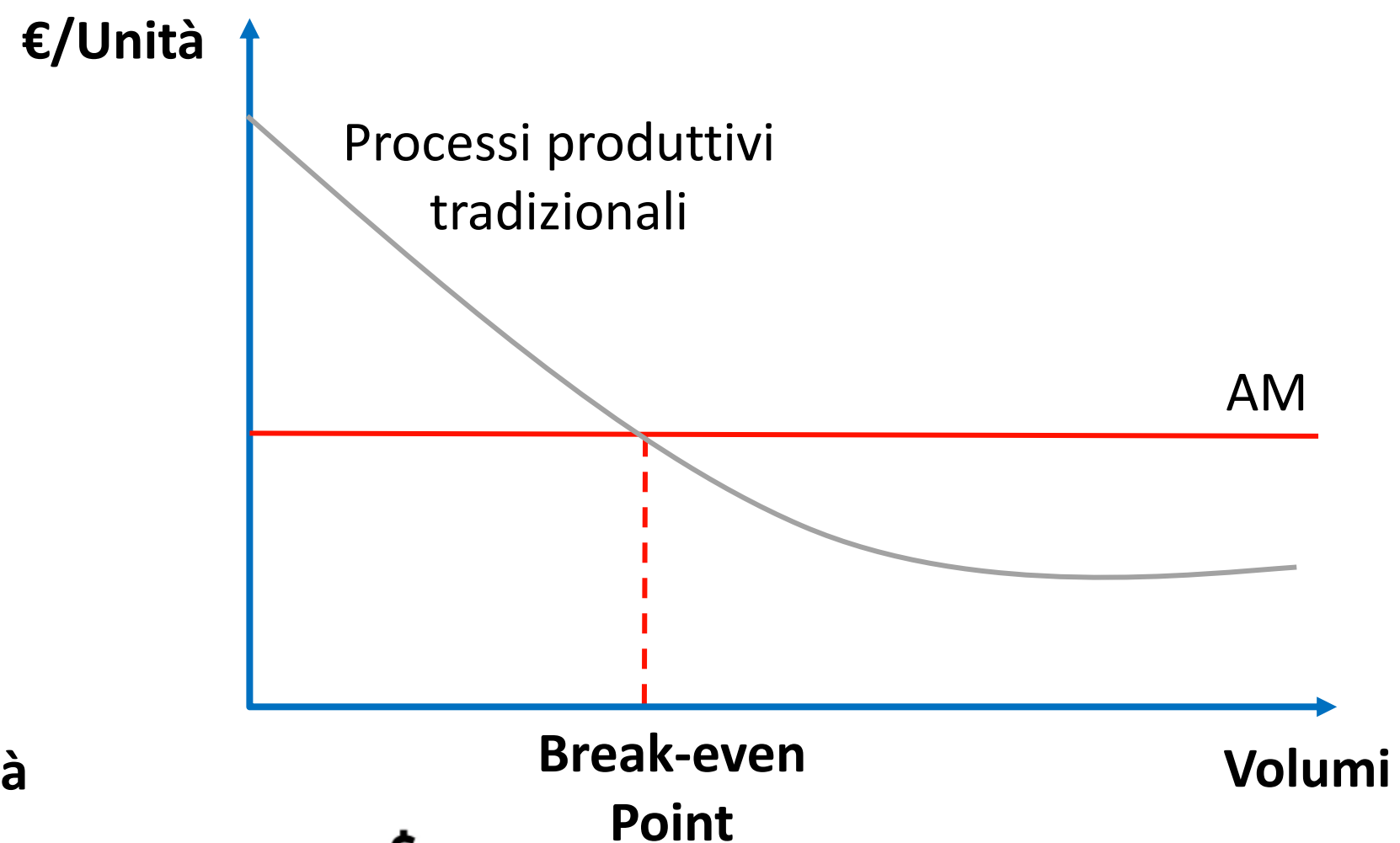


Vantaggi di costo per piccoli volumi di produzione

Additive Manufacturing vs Processi Tradizionali



Vantaggi di costo per componenti complessi



Vantaggi di costo per piccoli volumi di produzione

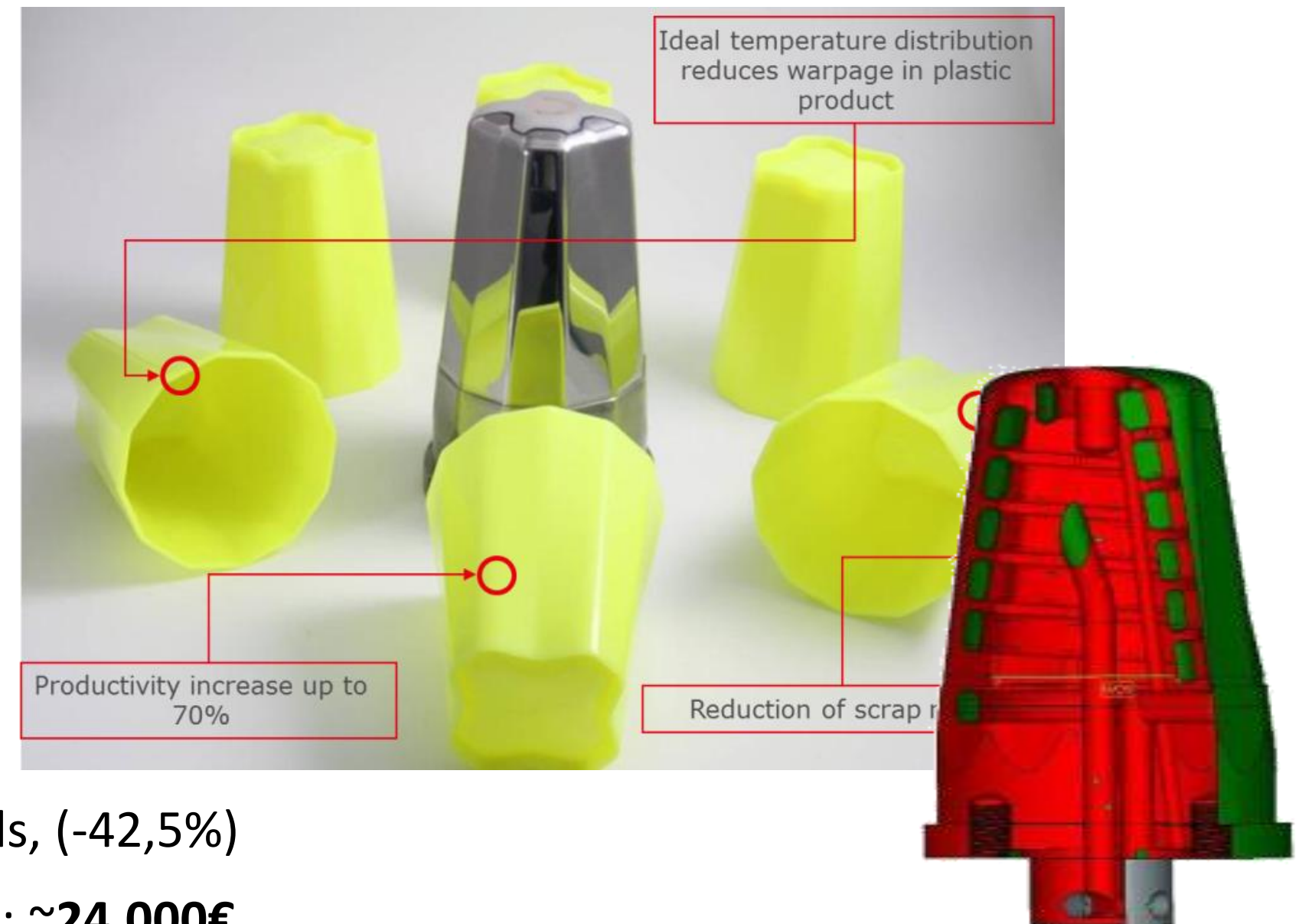
Cost calculation example: Tool insert for child goblet

• Solution

- One cavity tool
- DMLS tool insert with conformal cooling channels
- Hardness: 52-54 HRC
- Surface finish: high gloss polish
- Material: EOS Maraging Steel MS1 (1.2709)

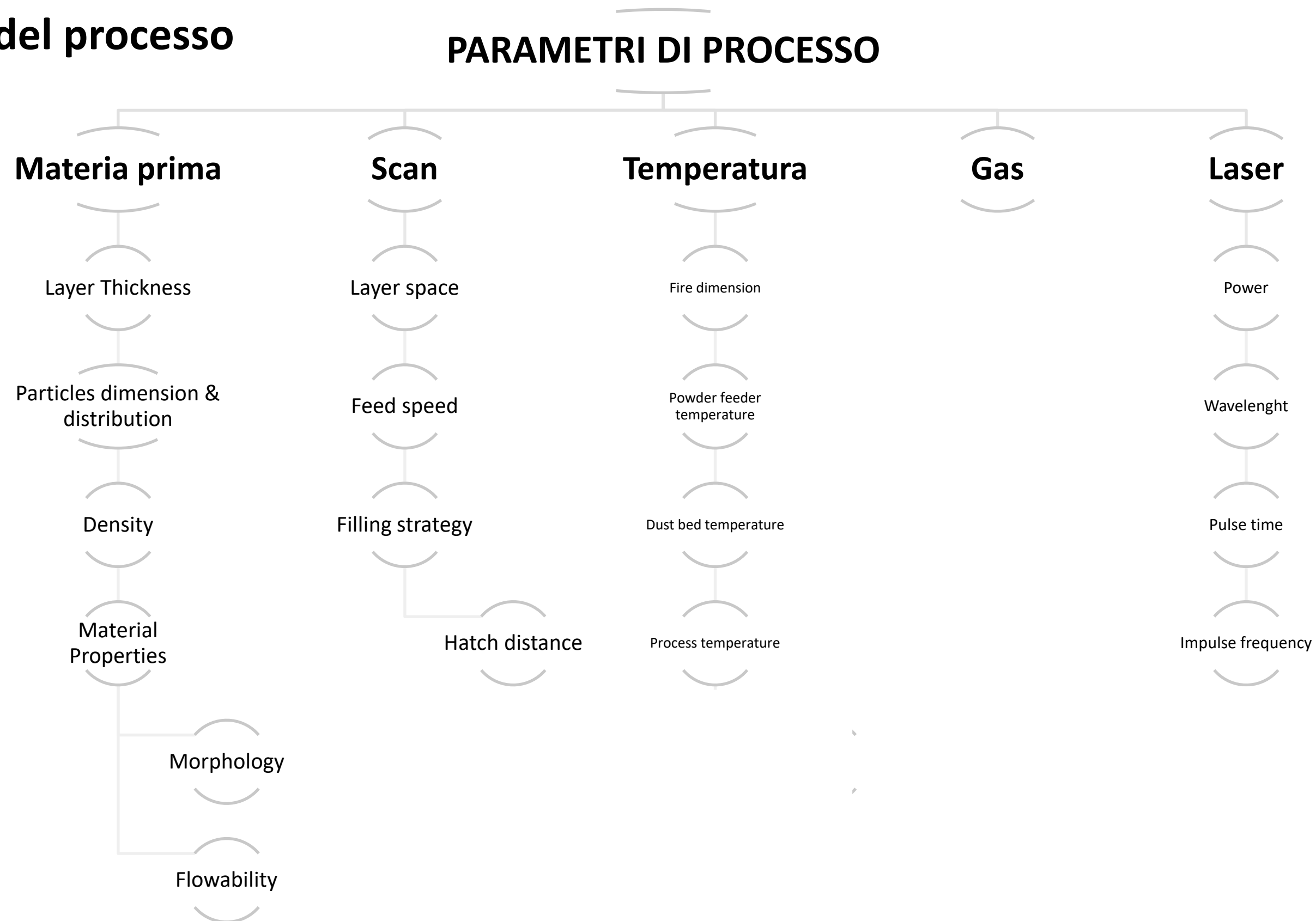
• Results

- Reduction of scrap rate
- Reduction of product warpage*
- Cycle time reduction: from 24 seconds to 13,8 seconds, (-42,5%)
- Cost saving (on a yearly base, 200.000 Products/year): ~**24.000€**



46

Certificazione del processo



Gestione delle Polveri

Le polveri metalliche utilizzate nella produzione additiva sono il carburante che garantisce le prestazioni della macchina e il corretto funzionamento finale del componente che si sta realizzando.

Bisogna dunque conoscere:

- Morfologia
- Granulometria
- Gestione



Processi di Atomizzazione

- Le polveri metalliche per i processi di Metal AM devono essere nella giusta forma, dimensione e qualità.
- Al contrario delle polveri polimeriche, quelle metalliche devono necessariamente avere una forma **più sferoidale possibile**
- E' necessario ottenere strati omogenei in spessore e densità di polvere per centimetro quadrato → **minori difetti e maggiore densità.**
- La qualità della polvere è condizionata dalla tipologia di atomizzazione, dalle condizioni e dai parametri di processo.

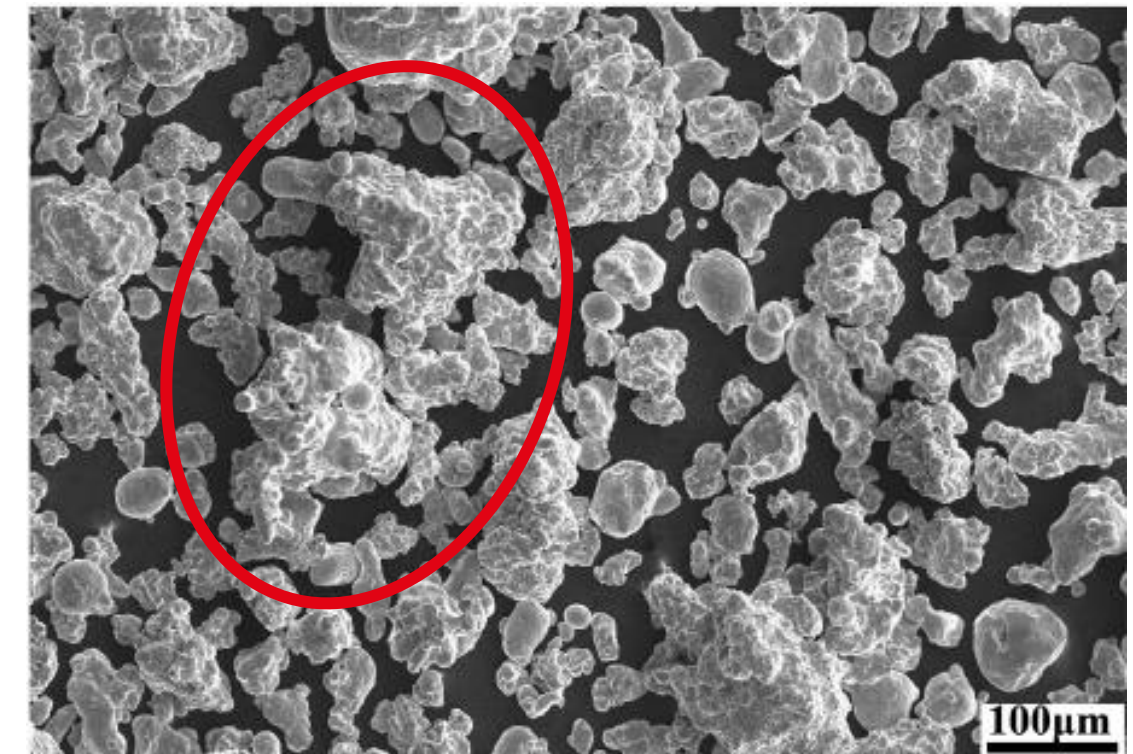
Water Atomization

Principio di funzionamento:

- Bagno fuso contenuto in un crogiolo;
- Ugello posizionato sul fondo: accelera il deflusso del fluido così che il liquido venga spruzzato e raffreddato con getti d'acqua;
- La polvere (più pesante dell'acqua) precipita sul fondo;

Caratteristiche:

- Polveri con geometria non perfettamente sferica
- Possibile ottenere particelle fini controllando il processo (si possono formare grappoli)
- Prima dello stoccaggio le polveri vengono essiccate a 60-100°C
- Adatta per i materiali non suscettibili all'ossigeno (Es. Acciaio sì, Titanio no)



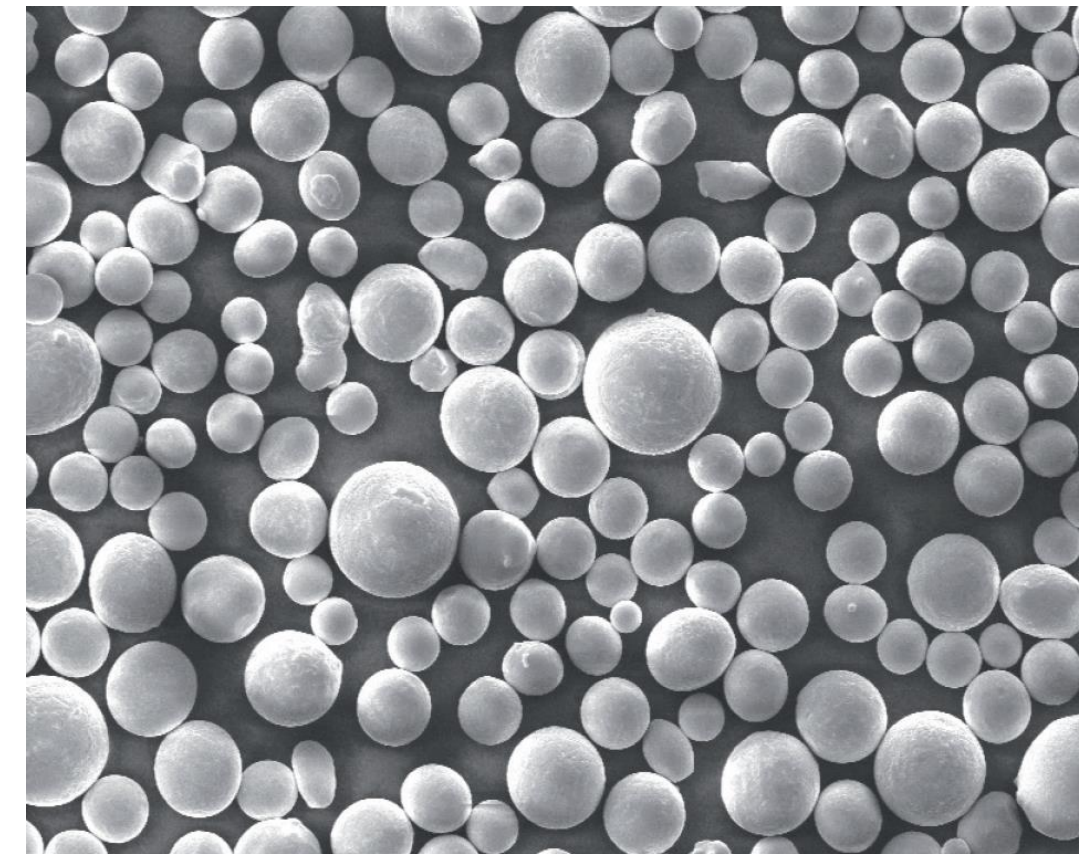
Gas Atomization

Principio di funzionamento:

- Bagno fuso contenuto in un crogiolo;
- Una struttura coassiale all'ugello viene investito da un gas inerte; in questo modo il processo viene gestito con due parametri: pressione ugello e del gas
- Dotato di sistema di ricircolo per recuperare il gas inerte utilizzato
- Il sistema lavora in sovrappressione (evita ingresso Ossigeno)

Caratteristiche:

- Polveri con geometria perfettamente sferica
- Possibile ottenere particelle molto più fini della WA
- La solidificazione ha una durata maggiore rispetto alla WA
- Adatta per i materiali suscettibili all'ossigeno (Es. Titanio, Alluminio)



Approvvigionamento delle polveri

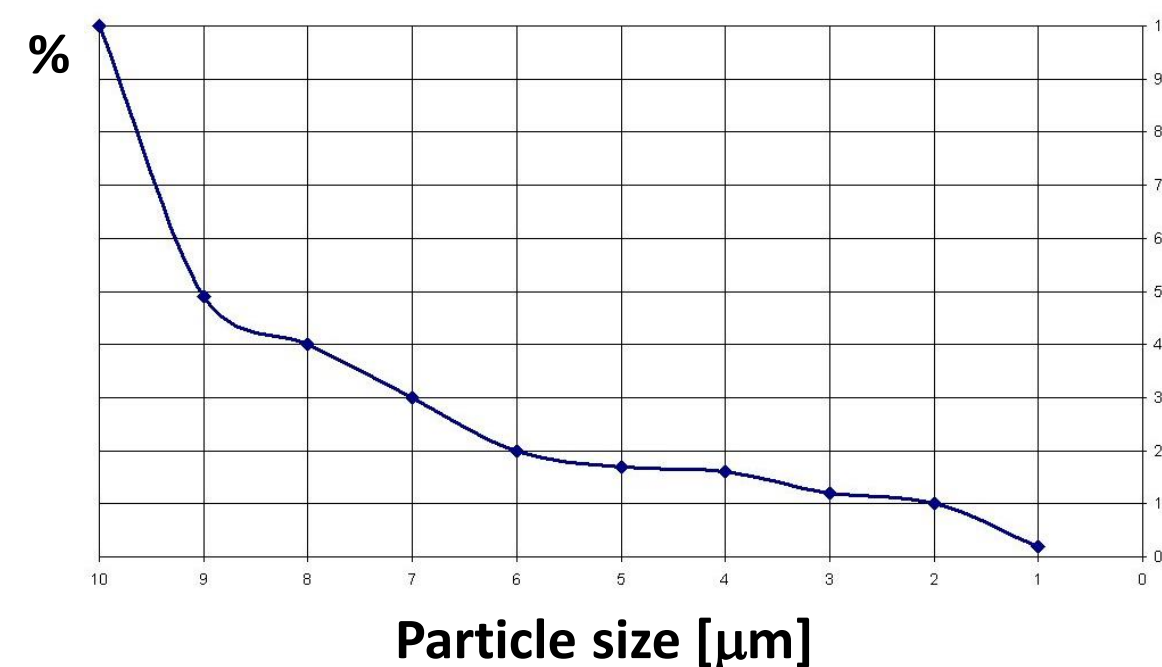
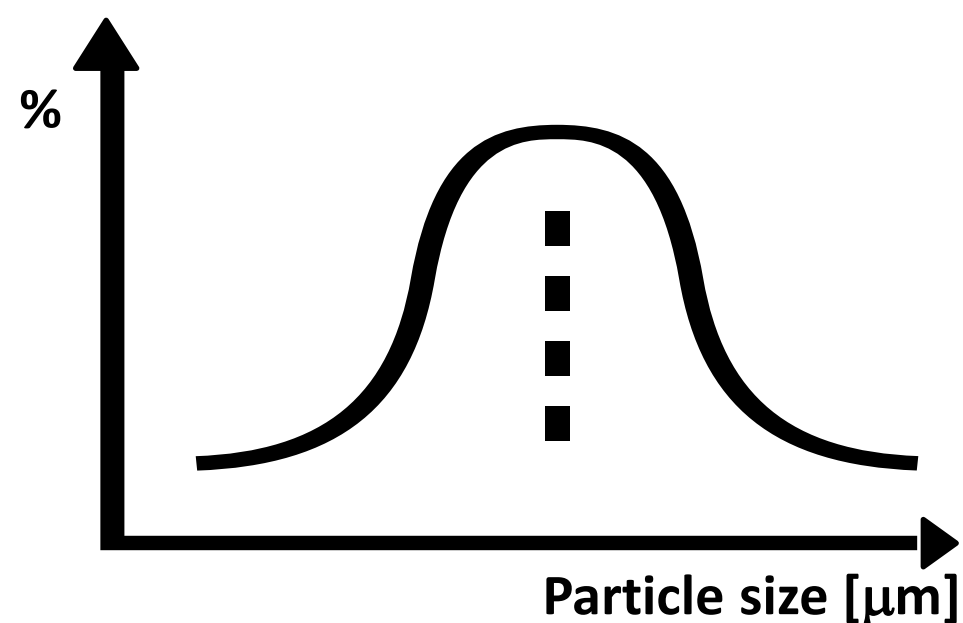
- **Comprare i materiali dai produttori delle macchina:** forniscono materia prima con i relativi parametri di processo correlati ai datasheet contenenti le info relative alla proprietà meccaniche ottenibili.
Forniscono informazioni sui relativi trattamenti termici (Prezzo maggiorato di 1,5-2 volte);
- **Fornitore di materie prime scelto sul mercato:** i costi si abbassano ma bisogna poi gestire e certificare autonomamente il processo. Sono necessarie delle analisi sulle polveri svolte da terzi per le certificazioni;
- **Sistema di produzione proprio:** elevata flessibilità e complessità di gestione;
- **Società che producono polveri certificate per l'AM:** polveri certificate ma per le quali è necessario ottimizzare il processo di produzione.

Granulometria

La polvere deve restare all'interno di un certo range poiché la dimensione massima è in funzione della potenza del fascio laser che deve essere in grado di fondere le particelle.

Il range delle polveri per Additive Manufacturing è compreso tra 10 e 80 μm :

Tecnologia	Dimensione polvere
EBM (Electron Beam Melting)	45-100 μm
LPBF (Laser Powder Bed Fusion)	15-45 μm
LMD (Laser Metal Deposition)	25-45 μm



Più il range è stretto e più la polvere è costosa

Riciclo polveri

Le polveri che sono presenti nella macchina una volta terminato il processo di produzione additiva possono essere recuperate e riciclate. Esse vengono recuperate mediante un sistema apposito (Conveyor Module) e poi setacciate (Sieving module).

La polvere recuperata dalla camera di processo viene setacciata prima di essere miscelata con la polvere vergine.

La vagliatura viene effettuata utilizzando una maglia con grandezza specifica per il materiale processato, il quale viene setacciato con un sistema vibratorio.



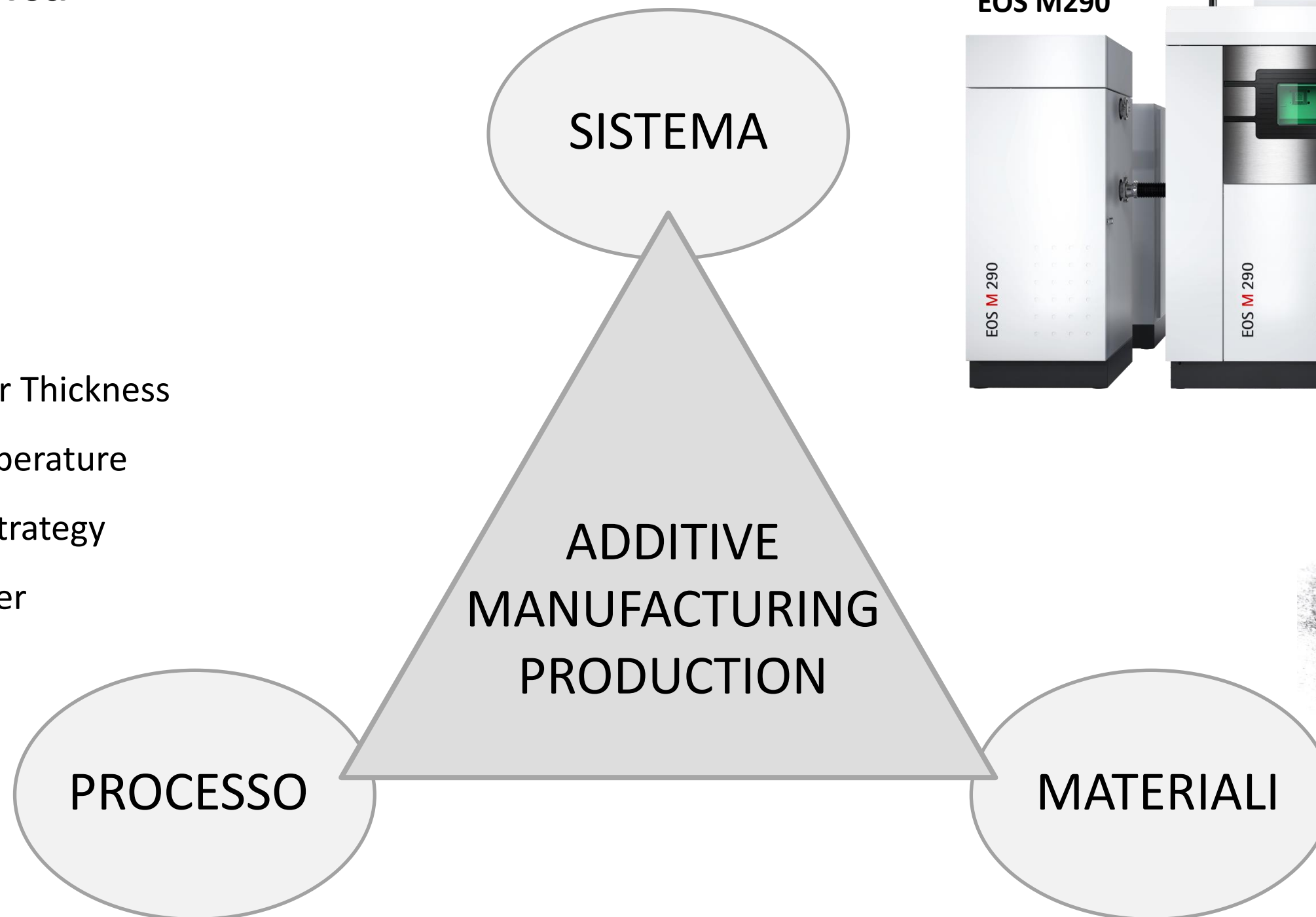
Conveyor module



Sieving module

Normazione e qualifica

- Layer Thickness
- Temperature
- Fill strategy
- Power
- Etc.



Safety: Basic Personal protective equipment



Disposable protective gloves
(in accordance with EN 374)



Safety glasses with side protection
(in accordance with EN 166)



Face mask
(filter category P3)



Closed protective clothing made
of flame-retardant material



Safety shoes with protection against ESD
(EN 61340-4-3 or equivalent)

Sicurezza

Le polveri utilizzate nei sistemi AM raggiungono dimensioni **pm10*** e sono pericolose per l'organismo umano con il quale possono interagire.

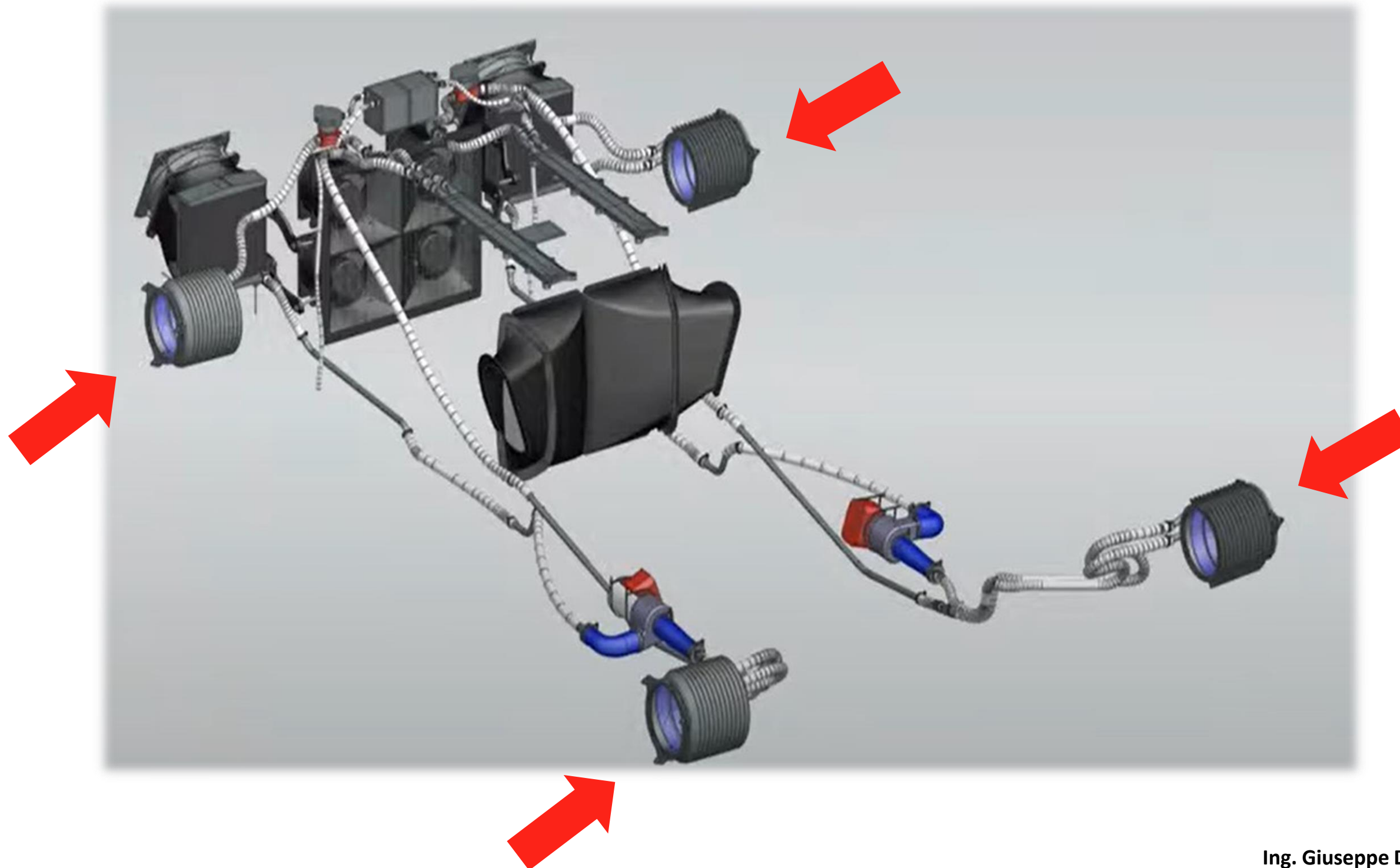


Ogni materiale va gestito seguendo le linee guida indicate dal fornitore, che devono essere specificate nei datasheet del materiale.

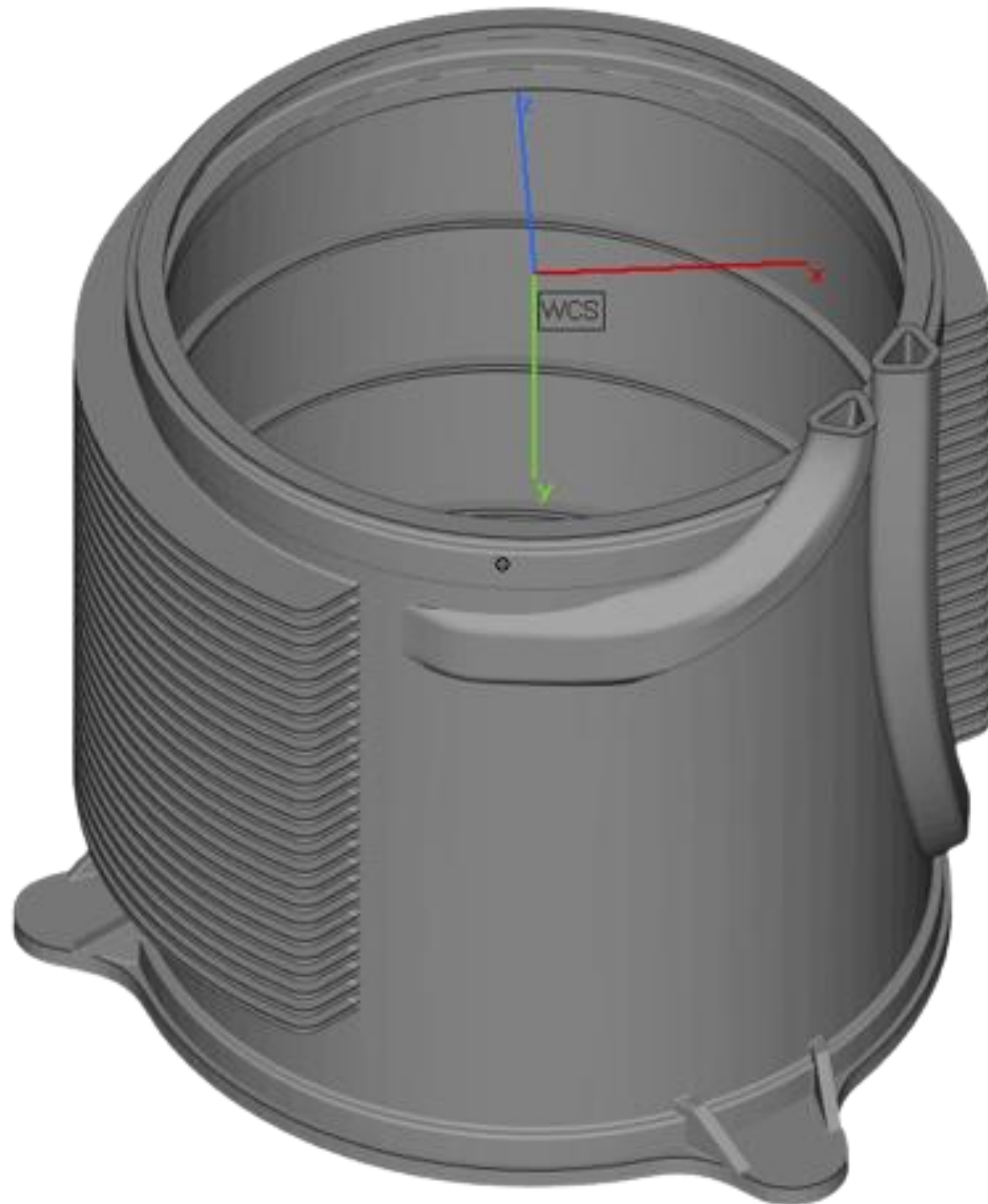
*PM₁₀ – particolato formato da particelle con dimensioni minori di 10 µm



Cooling Jacket – Assembly of cooling system



Cooling Jacket



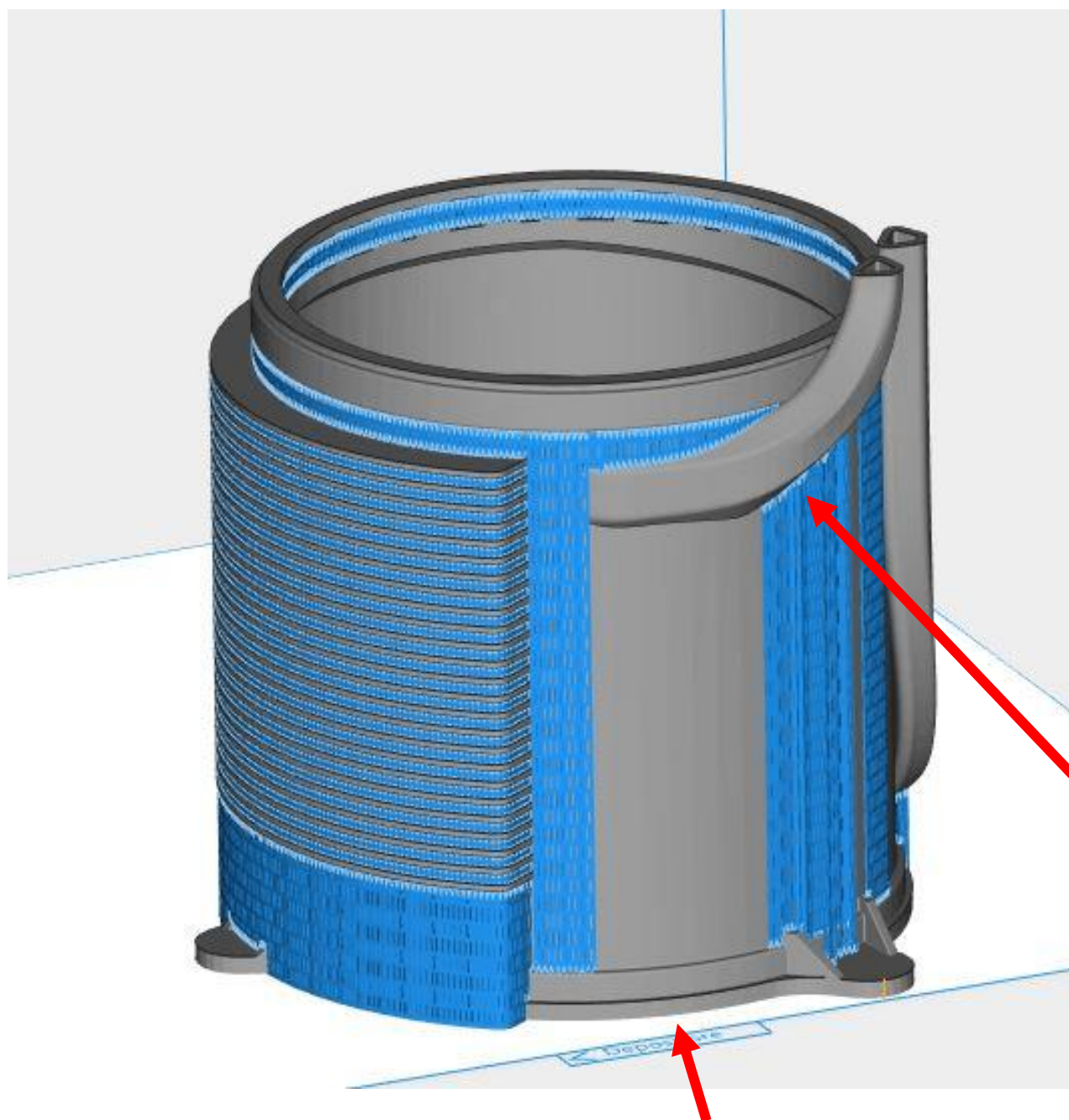
Technical

1. Il componente deve garantire la tenuta del fluido refrigerante
2. Le alette devono massimizzare lo scambio termico con l'aria
3. Il componente non è sollecitato da carichi esterni
4. I canali devono garantire la portata desiderata di fluido

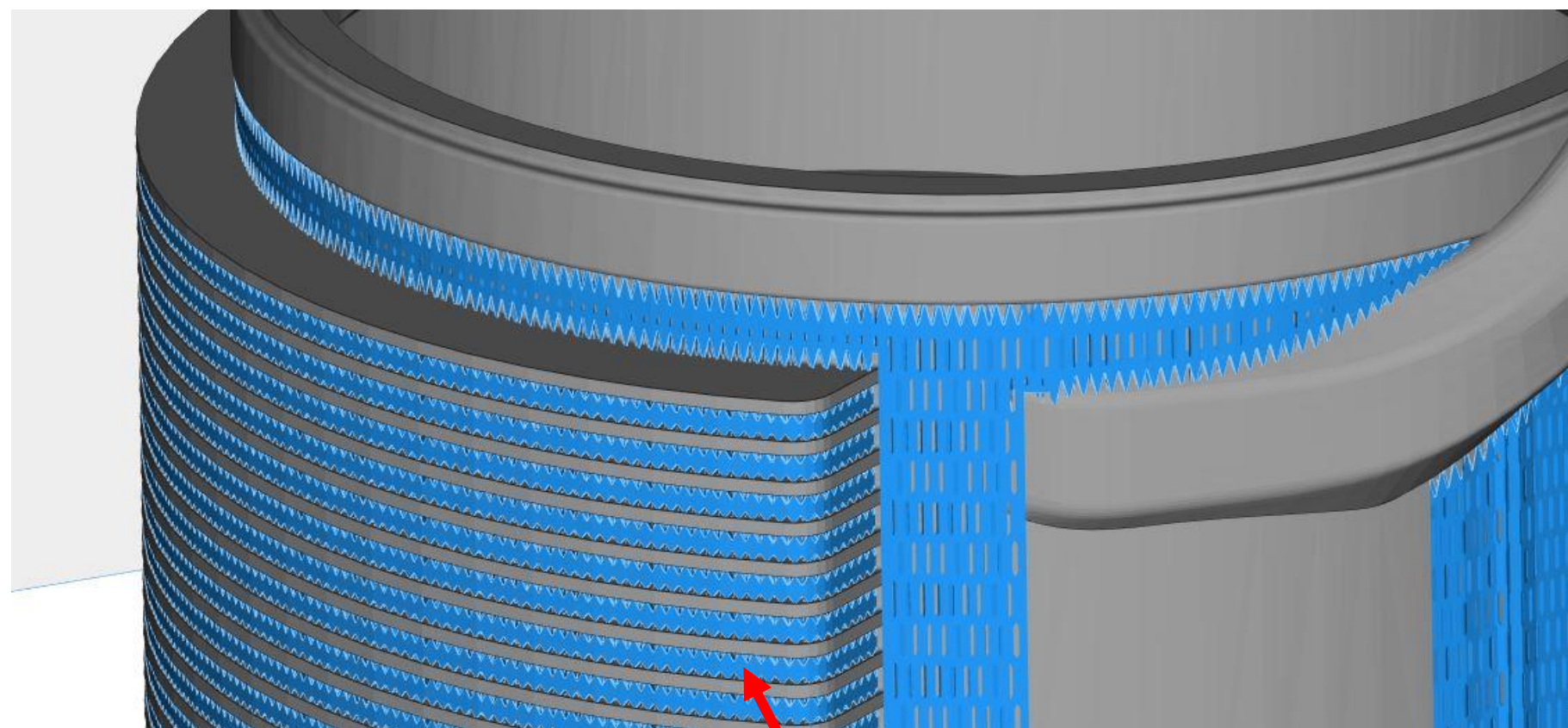
Cooling Jacket – Support Generation



Cooling Jacket



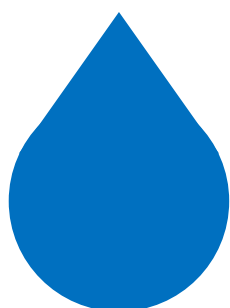
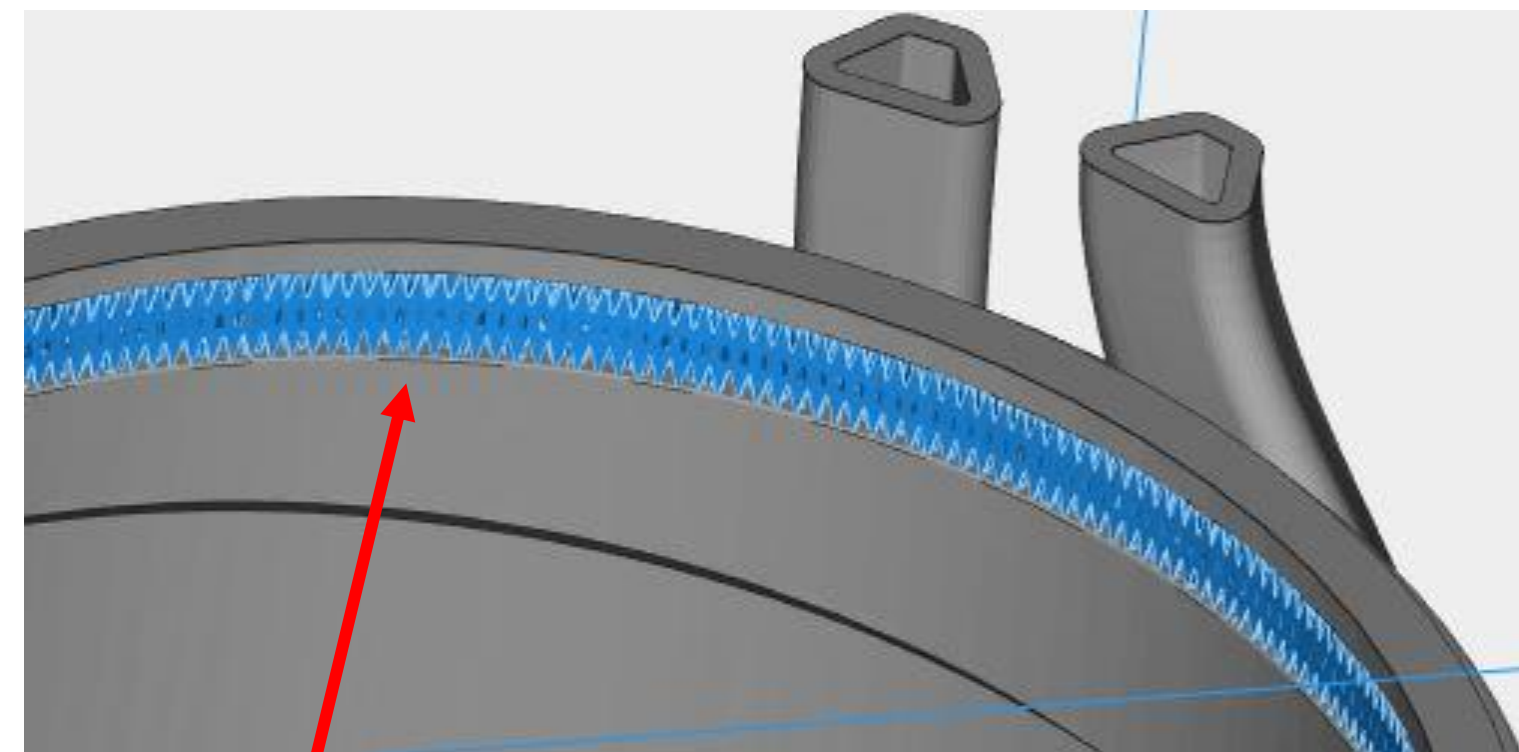
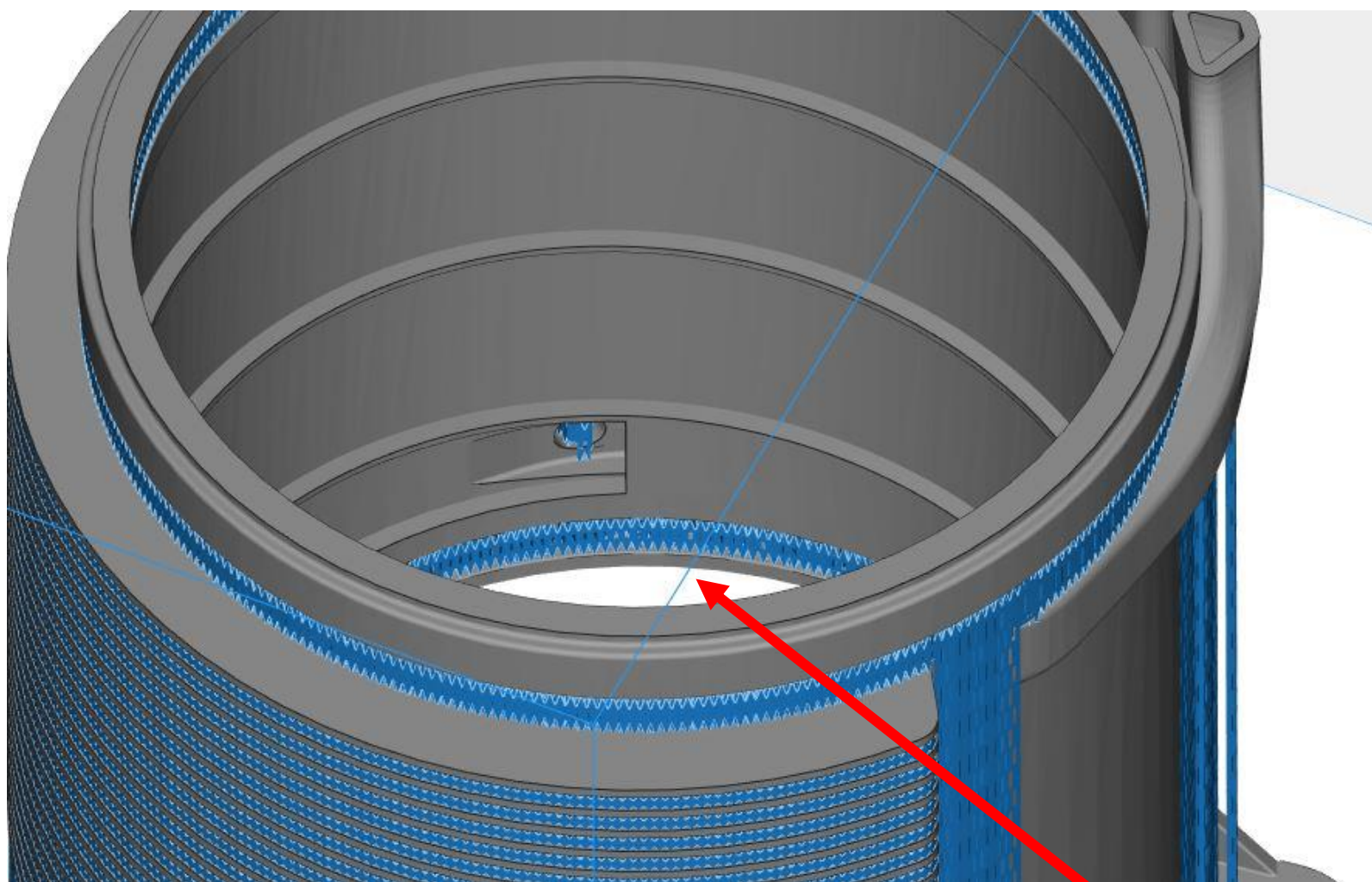
Prevedere sovrametallo per taglio a filo per elettroerosione dalla base (consigliato +1mm)



Modificare geometria dei canali per eliminare supporti

Modificare geometria alette per eliminare supporti

Cooling Jacket



Modificare la geometria dei canali utilizzando ad esempio dei canali a goccia



Modificare geometria canali interni per eliminare supporti

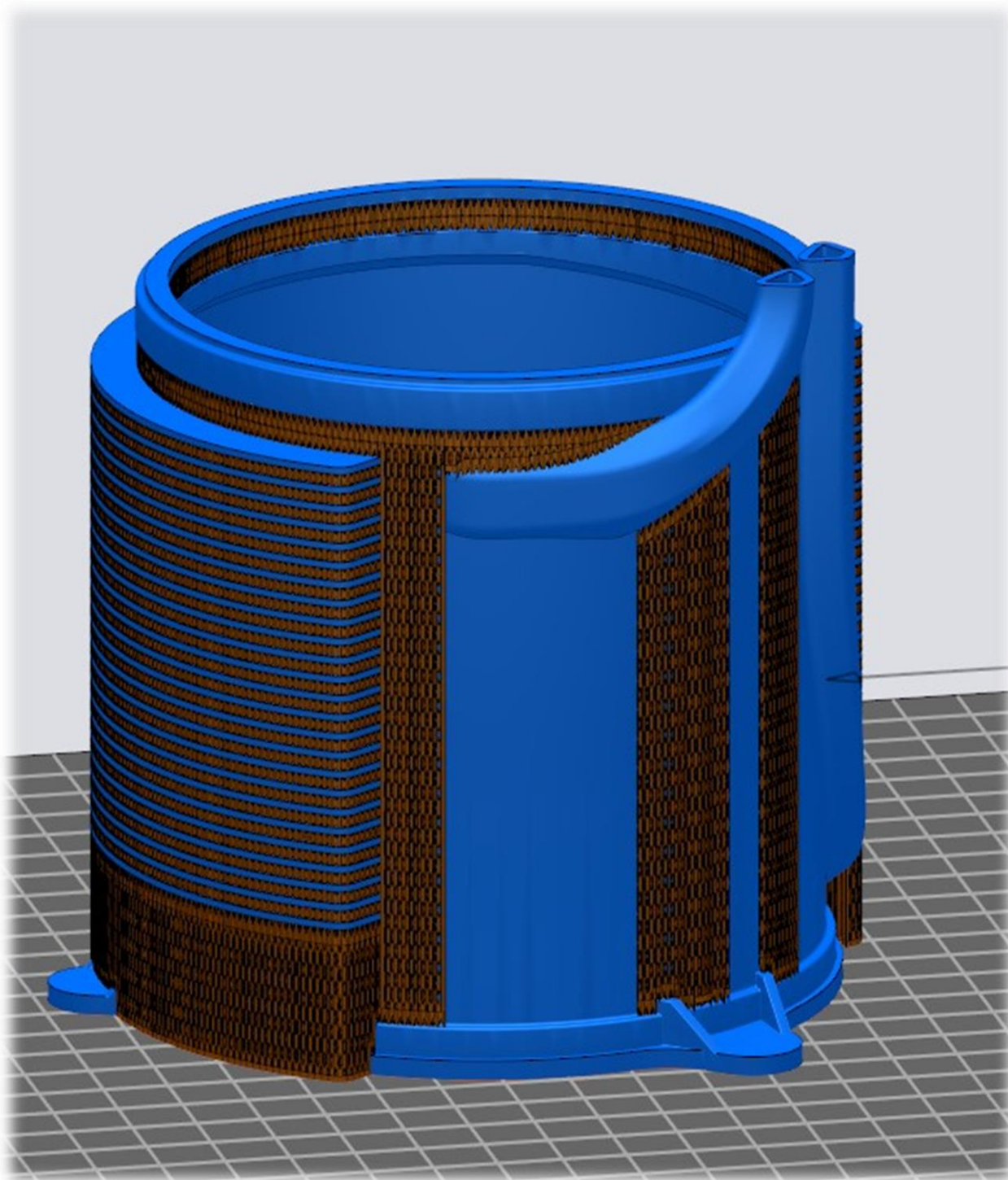


Utilizzare superfici con inclinazione $>45^\circ$.
Successiva lavorazione

Understanding Additive

Ing. Giuseppe De Marco, Kilometro Rosso

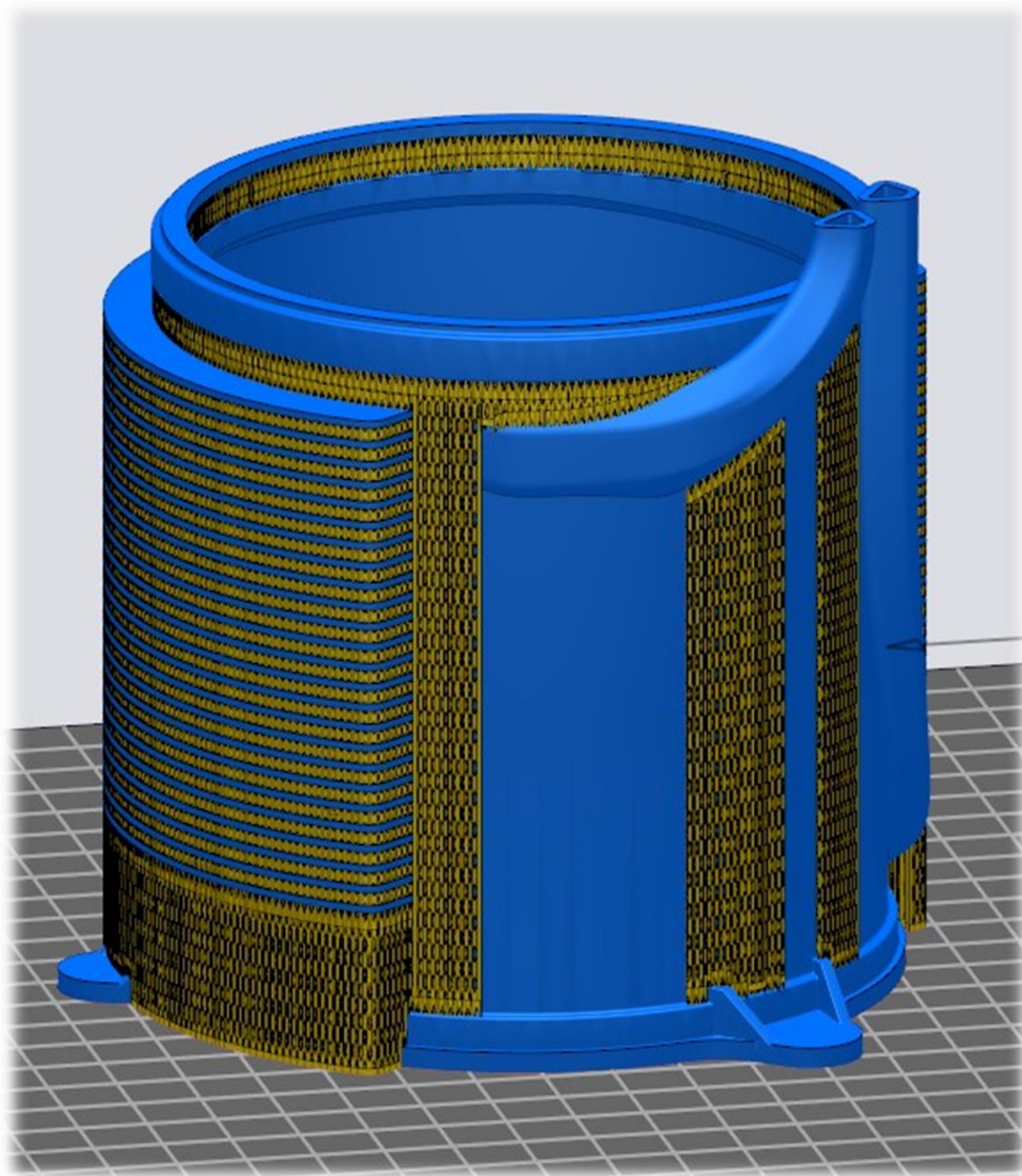
Cooling Jacket



Cost per part calculation:

- **Material:** AlSi10Mg
- **Process:** 30 micr.
- **Job Time:** 22,49h
- **Hour cost:** 130€/h
- **Job Cost:** 2924€

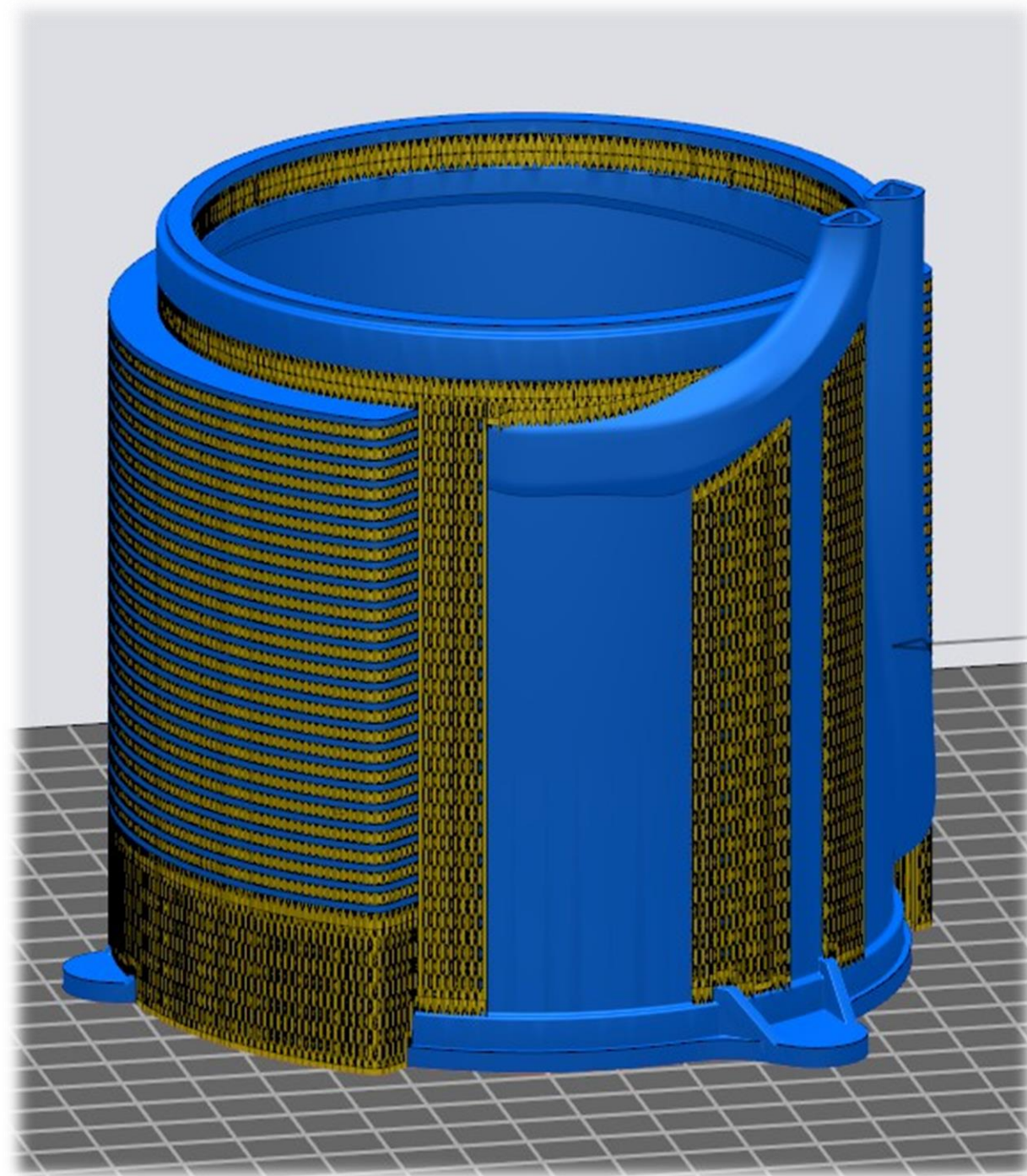
Cooling Jacket



Cost per part calculation:

- Material: AlSi10Mg
- Process: **60 micr.**
- Job Time: 11,53h **(-11,36h)**
- Hour cost: 130€/h
- Job Cost: 1499€ **(-1425€)**

Cooling Jacket



Cost per part calculation:

- Material: AlSi10Mg
- Process: 60 micr. + **Parameter Optimization**
- Job Time: 10,57h **(-1,36h)**
- Hour cost: 130€/h
- Job Cost: 1369€ **(-130€)**

Cooling Jacket - Redesign

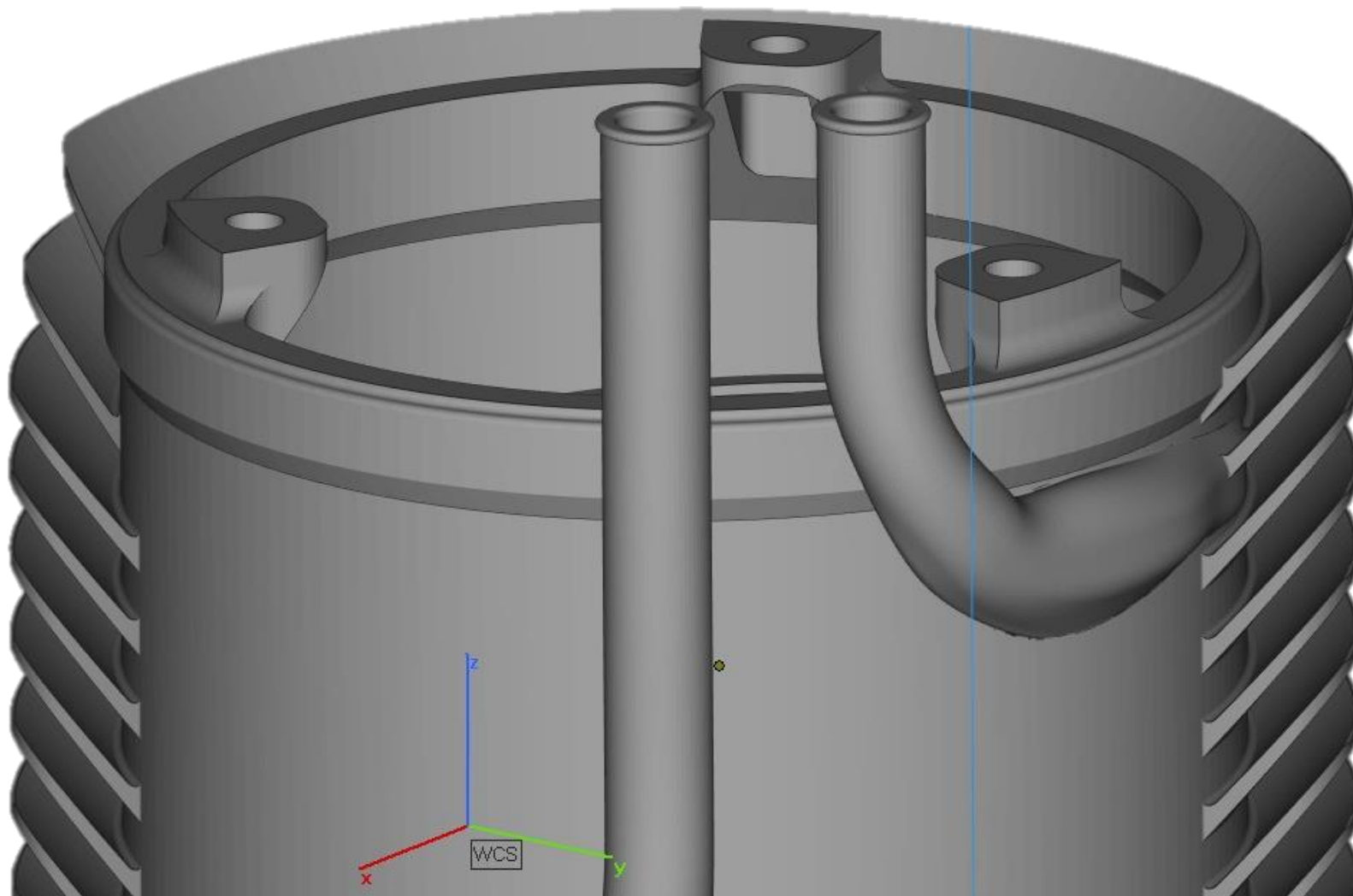


Old



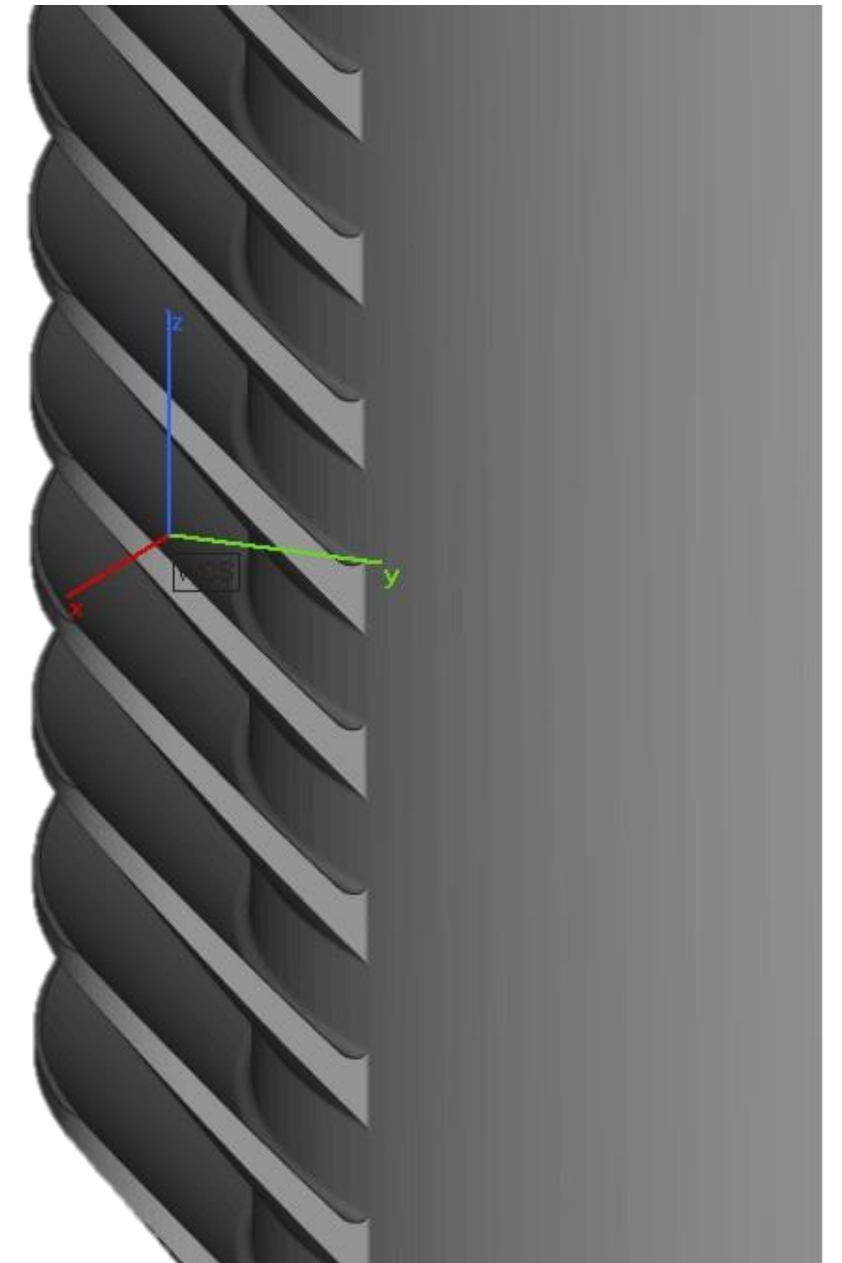
New

Cooling Jacket - Redesign



Alette:

1. Inclinazione $>45^\circ$
2. Rastrematura
3. Spessori:
 - $< 2\text{mm}$ alla base
 - $< 1\text{mm}$ all'estremità

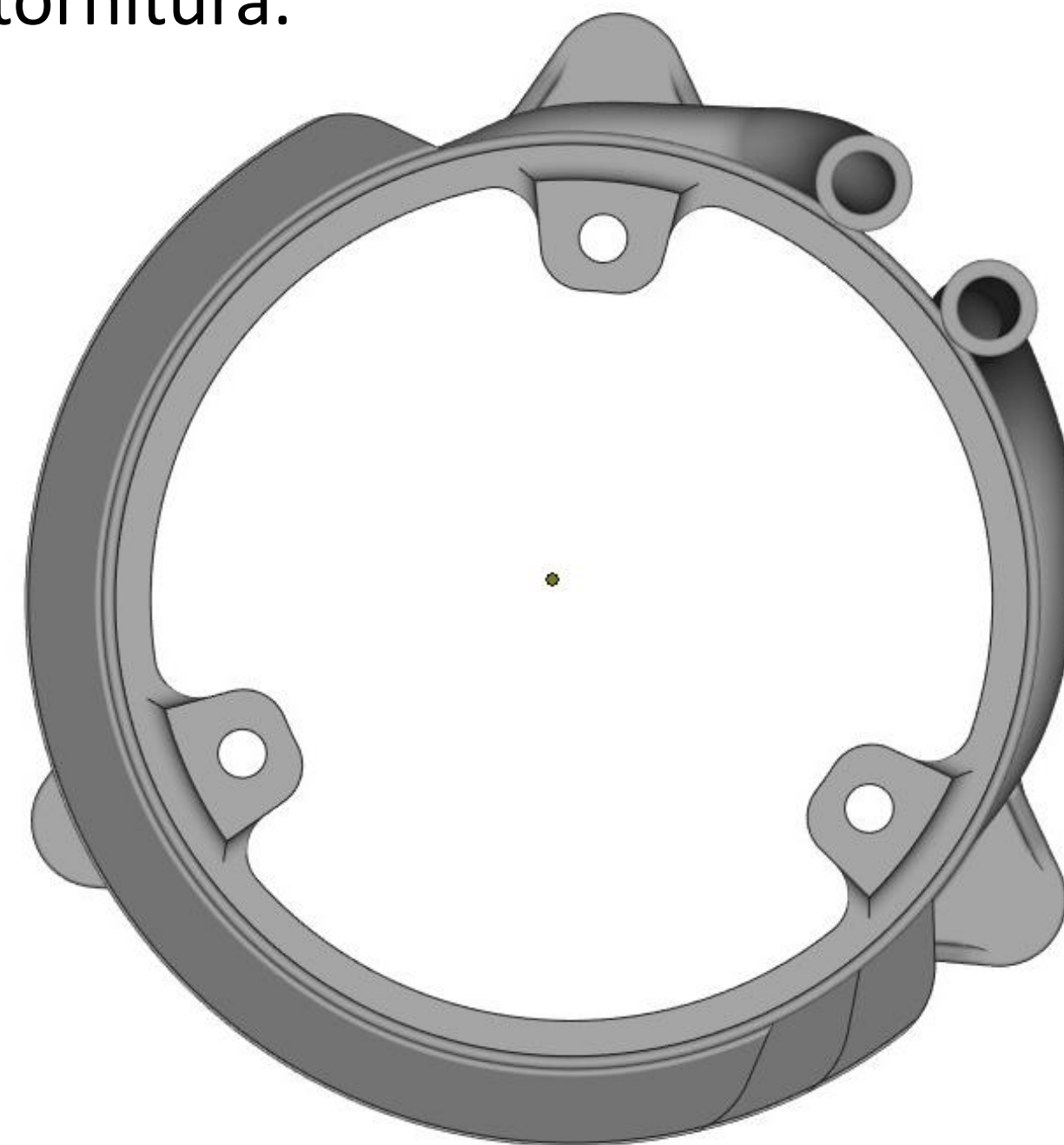


Cooling Jacket - Redesign

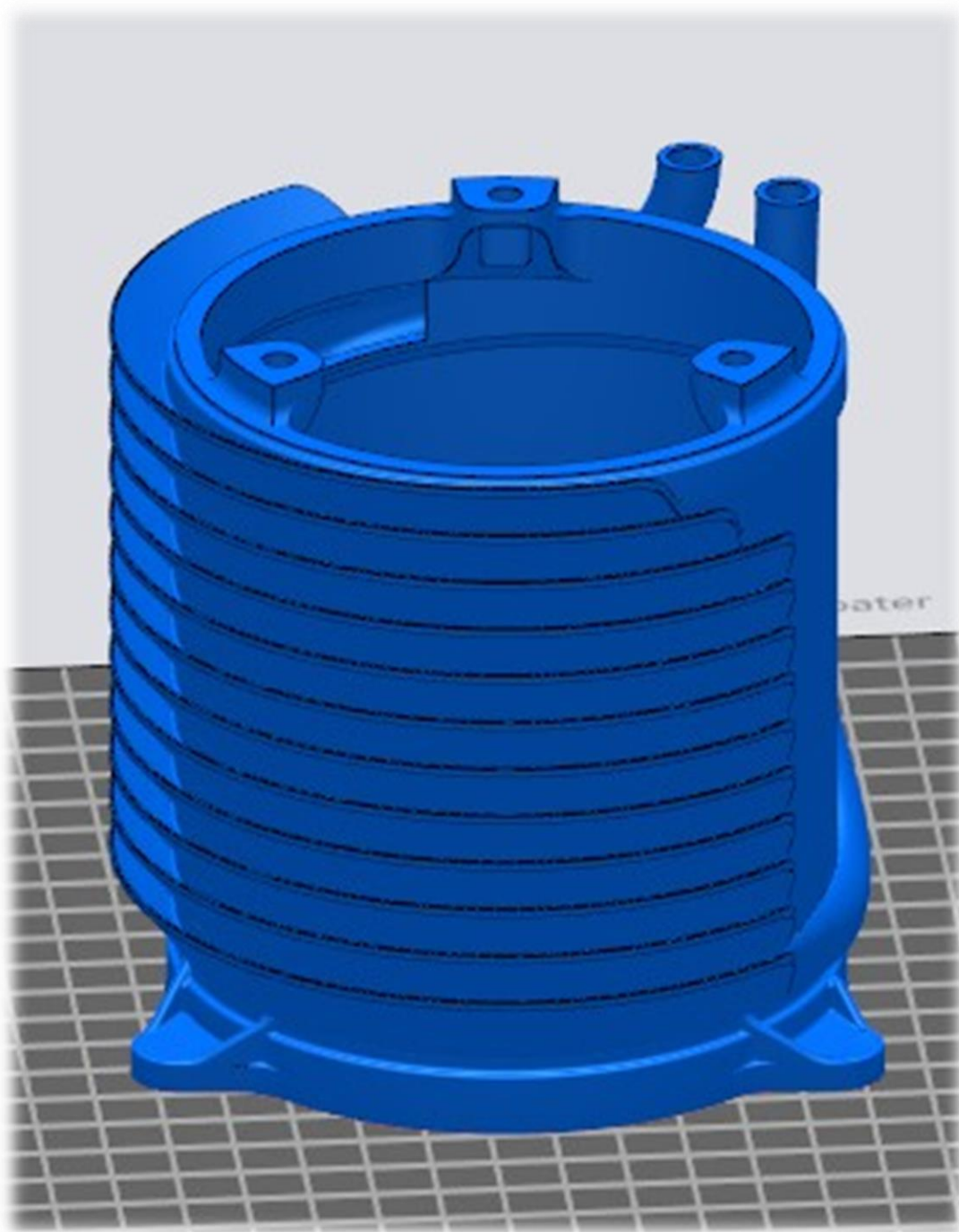
Punti di afferraggio: sono stati aggiunti per la successiva tornitura.



1. Struttura auto-supportata
2. Superficie piatta realizzata nel modello finale senza supporti grazie ad una calibrazione del laser e dei parametri di processo



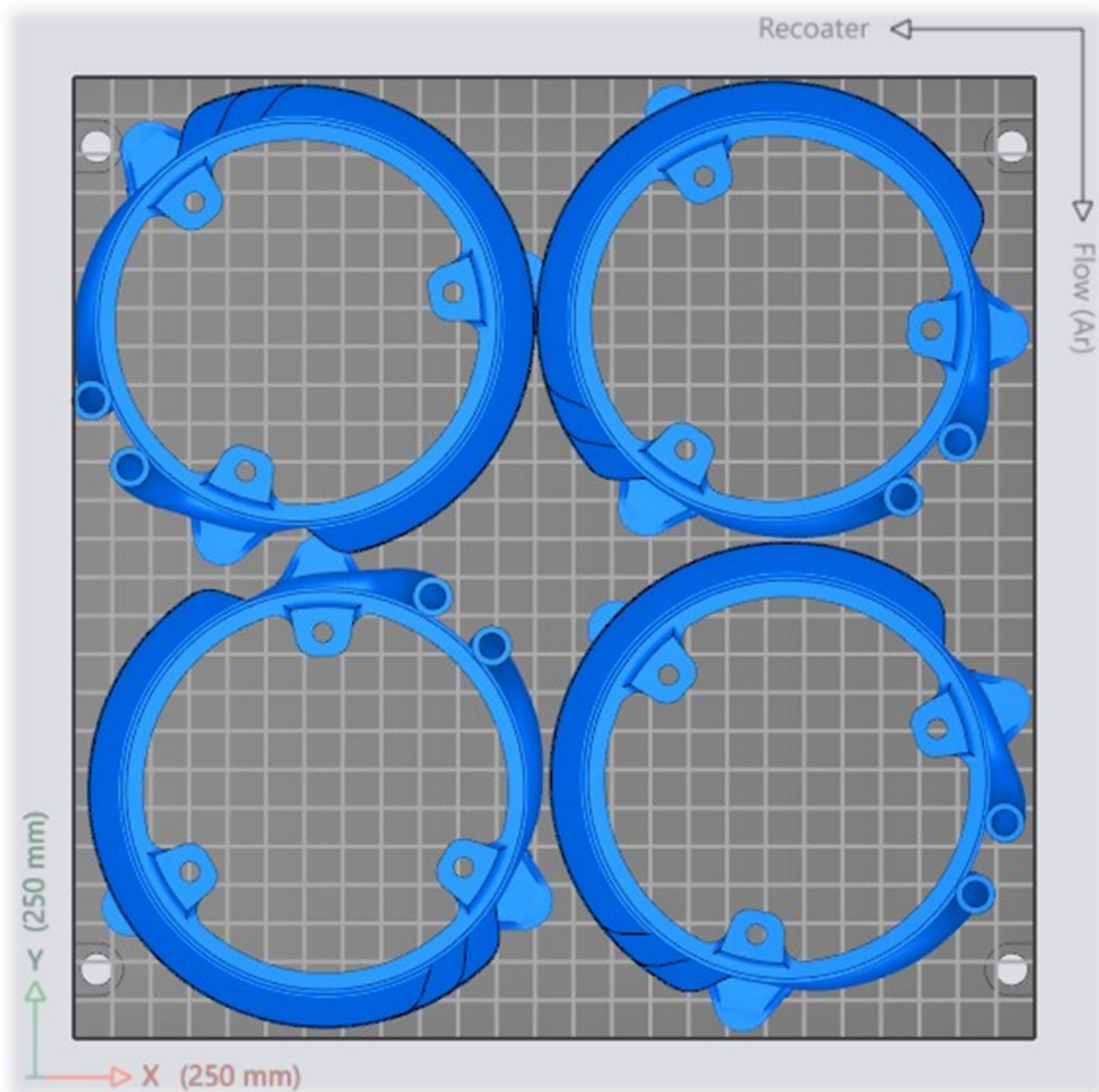
Cooling Jacket - Redesign



Cost per part calculation:

- **Material:** AlSi10Mg
- **Process:** 60 micr.
- **Job Time:** 11,35h
- **Hour cost:** 130€/h
- **Job Cost:** 1475€

Cooling Jacket - Redesign



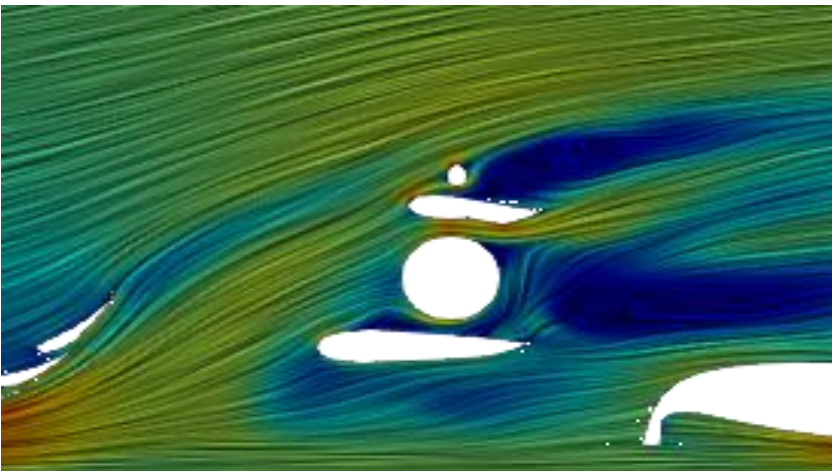
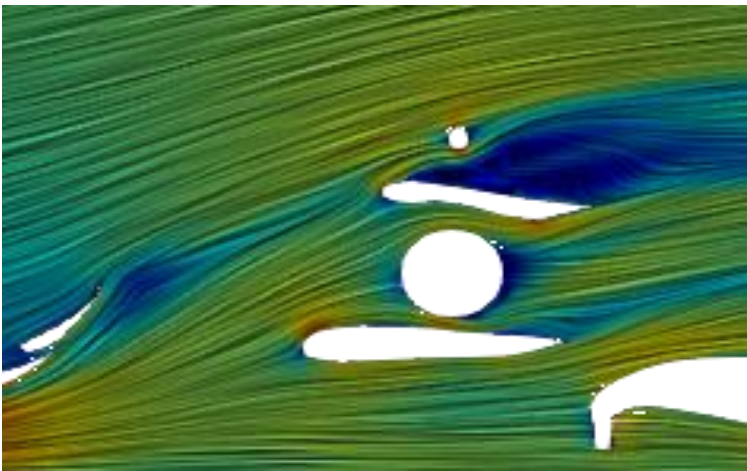
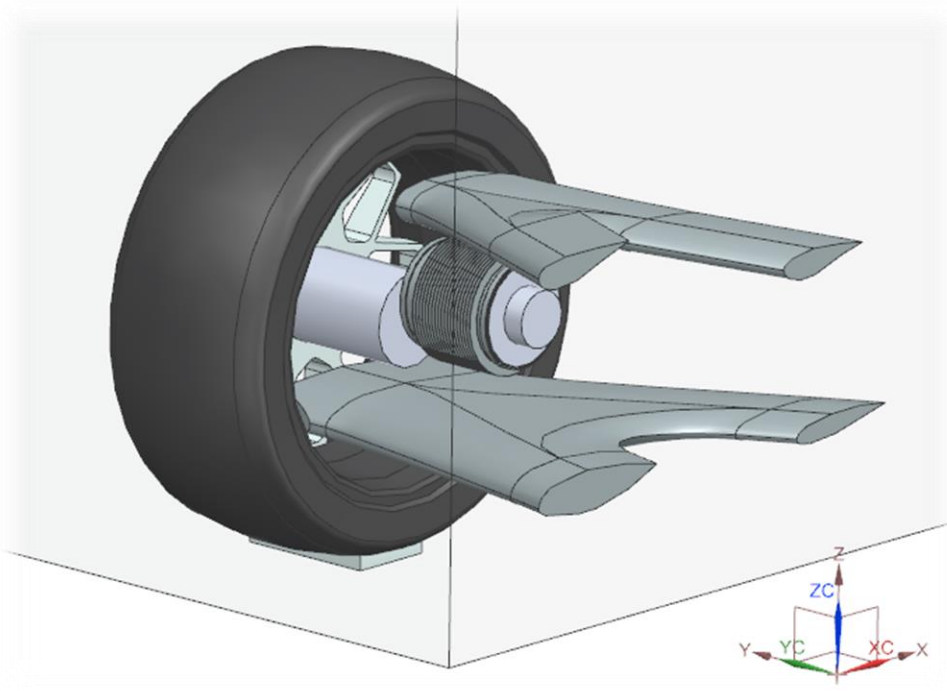
Cost per part calculation:

- **Material:** AlSi10Mg
- **Process:** 60 micr.
- **Job Time:** 31,27h
- **Hour cost:** 130€/h
- **Job Cost:** 4065€
- **Cost per part:** 1016€ **(-459€ per part)**

Cooling Jacket - Results

Nelle seguente tabella sono riassunti i risultati delle simulazioni per le tre configurazioni:

	Potenza dissipata [W]	Potenza dissipata nelle alette [W]	Coefficiente h [W/m²K]	Rapporto potenza dissipata su massa alette [W/g]
No alette	67,4	-	86,05	-
Radiali	189,8	122,4	55,15	1,898
Inclinate	160,4	93,1	79,46	1,215

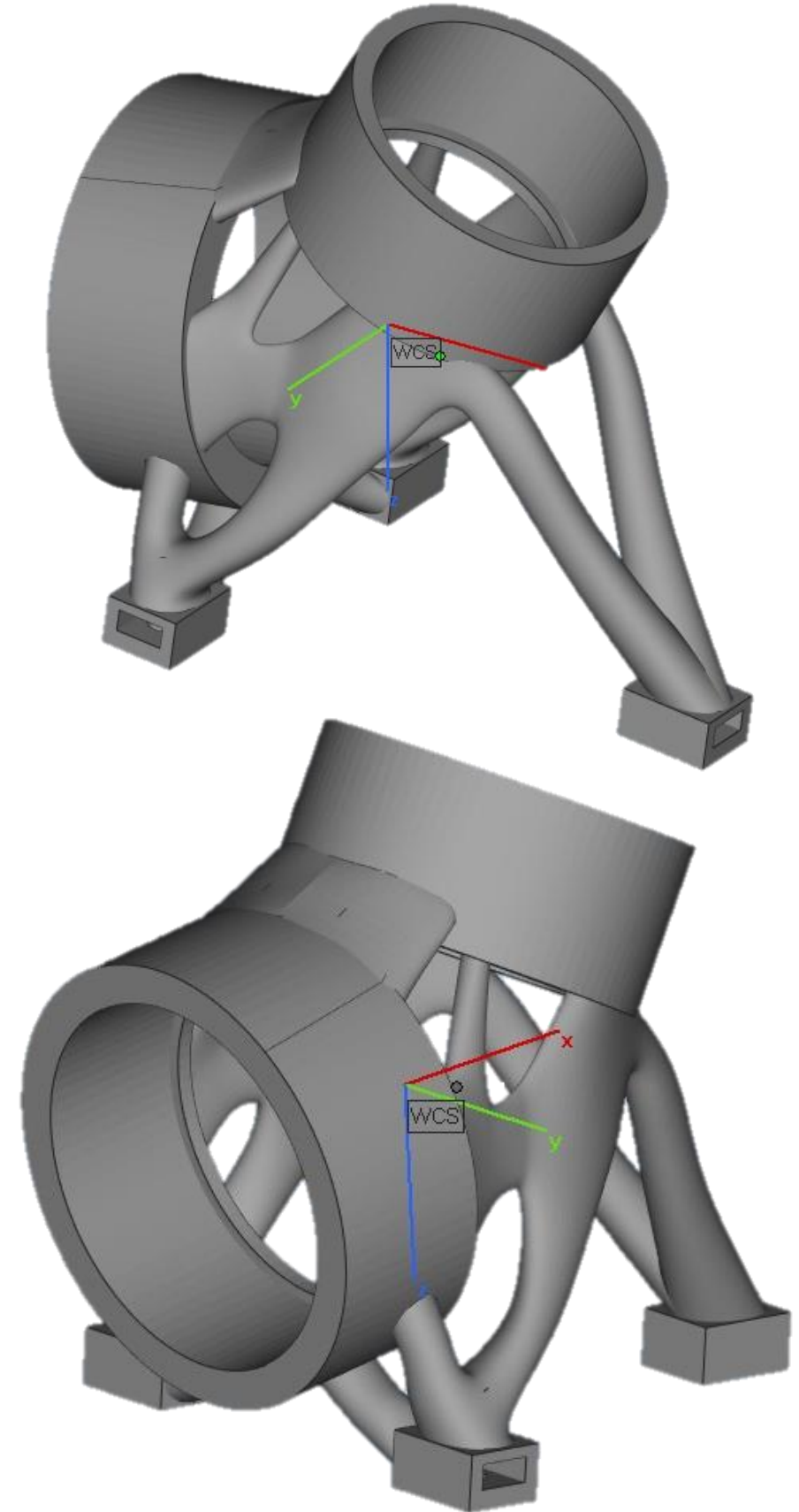
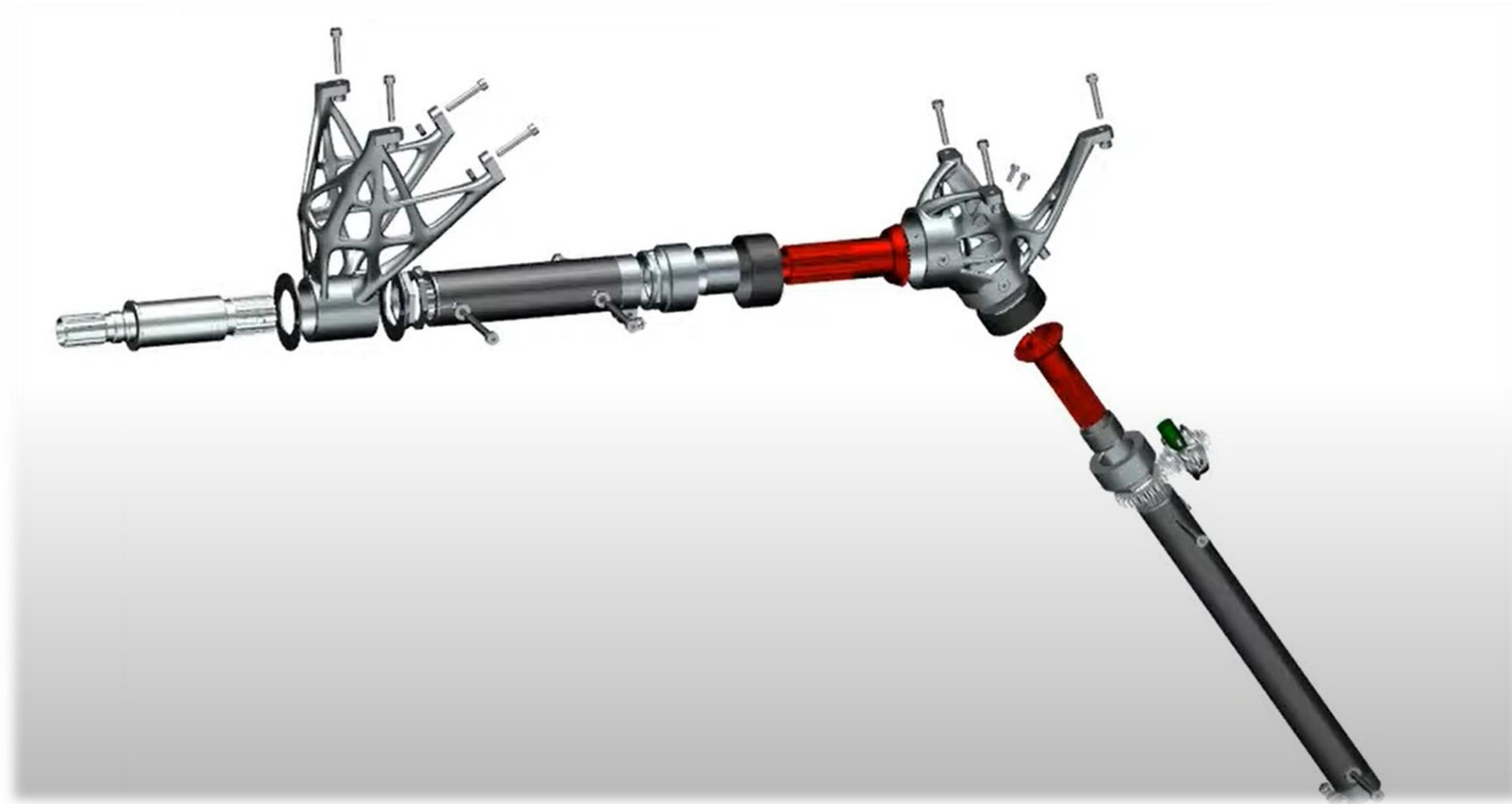


Nella terza colonna abbiamo un indicatore dell’efficienza delle alette, di fatto indica quanta potenza più viene dissipata aggiungendo alla macchina 1g di alette.

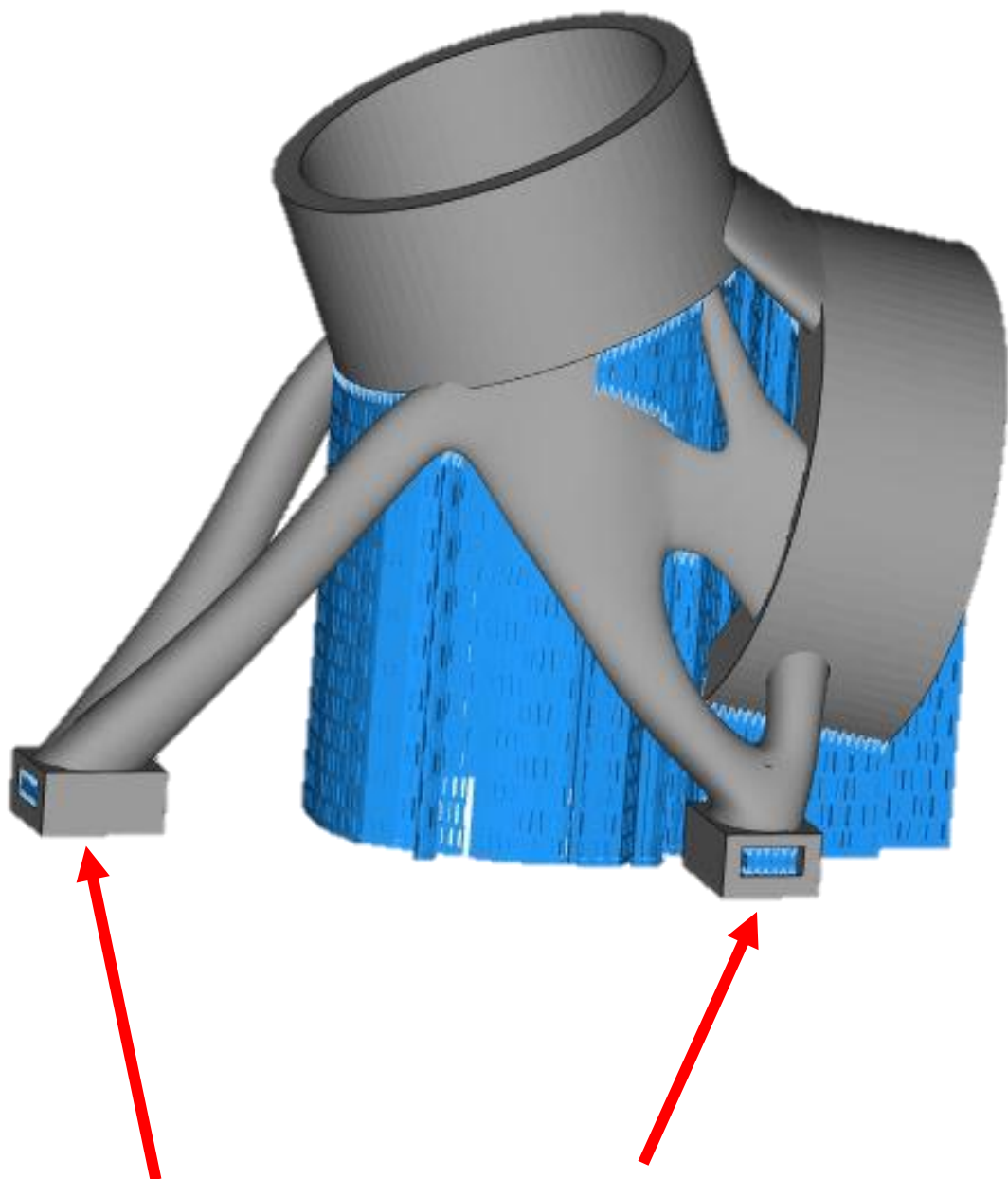
Cooling Jacket – Final Results



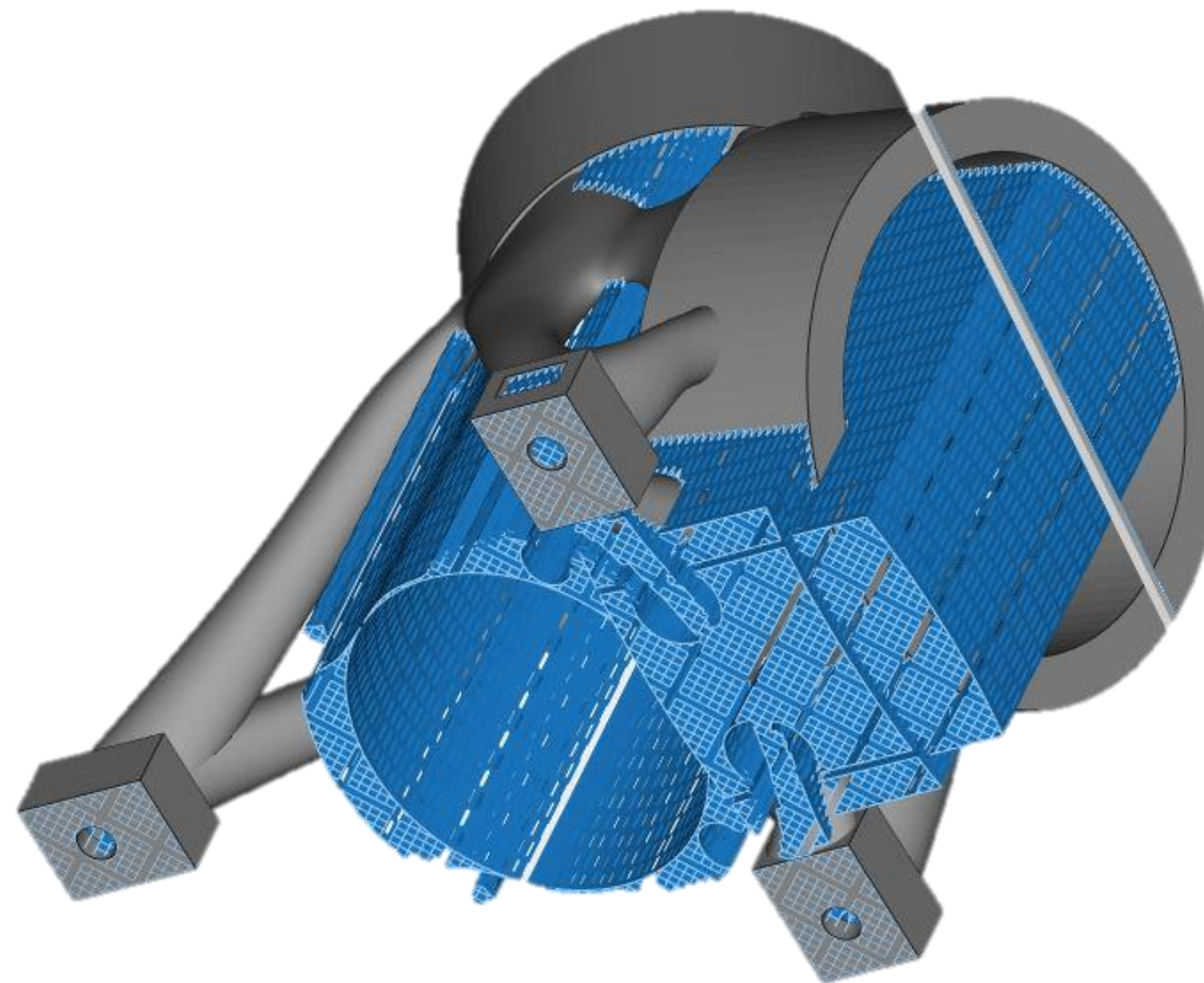
Gear Housing



Gear Housing - Design



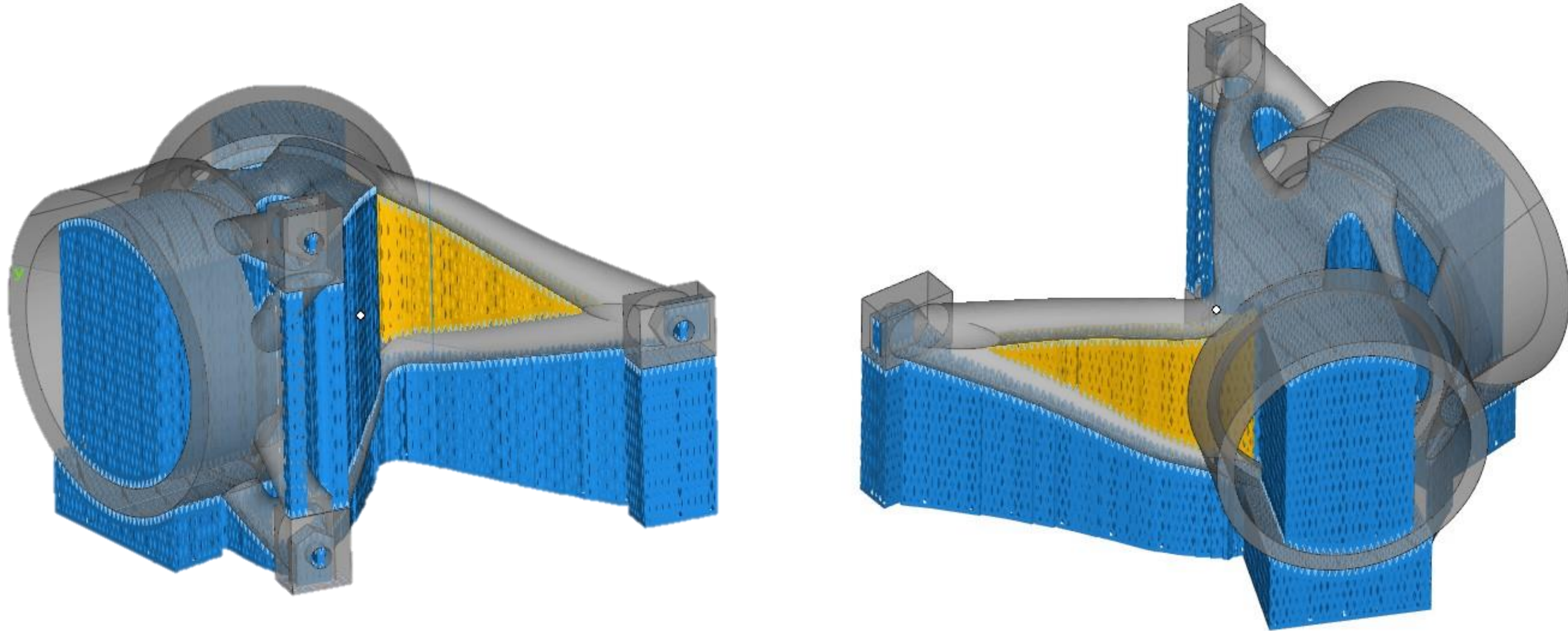
Modificare geometria per evitare supporti nella sede per il dado



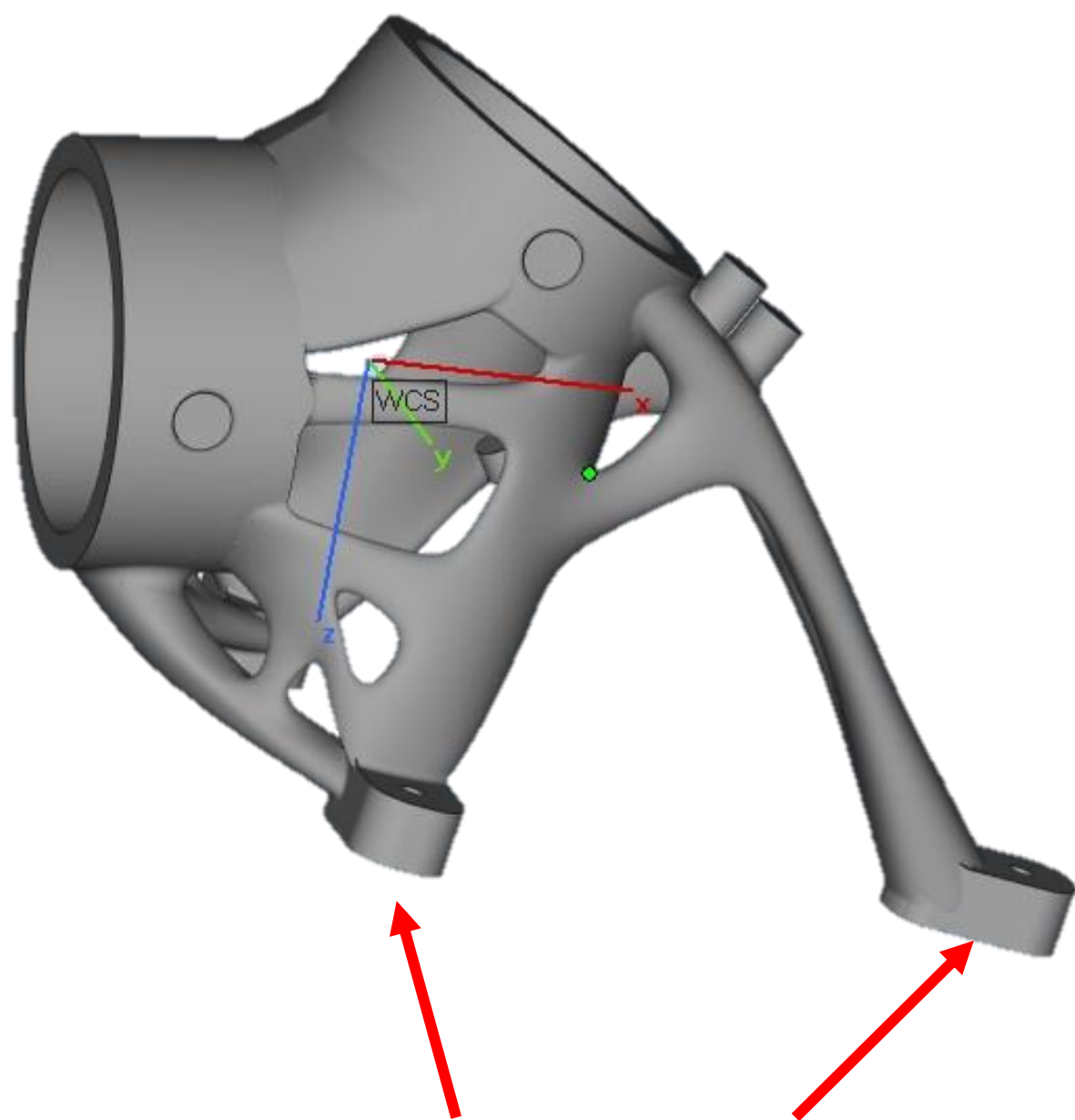
Sedi di accoppiamento da ripassare manualmente

Gear Housing - Orientation

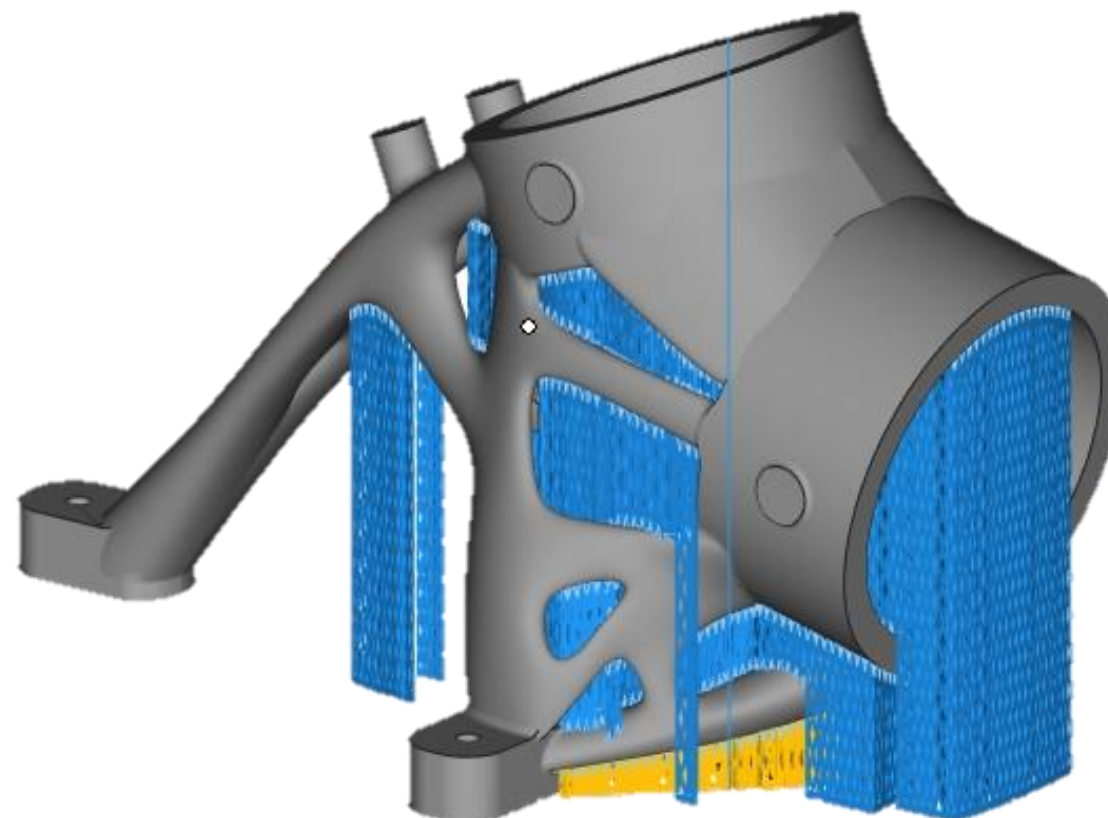
Orientazione funzionale alla minimizzazione dell'altezza del job di stampa



Gear Housing - New



Sedi di accoppiamento modificate

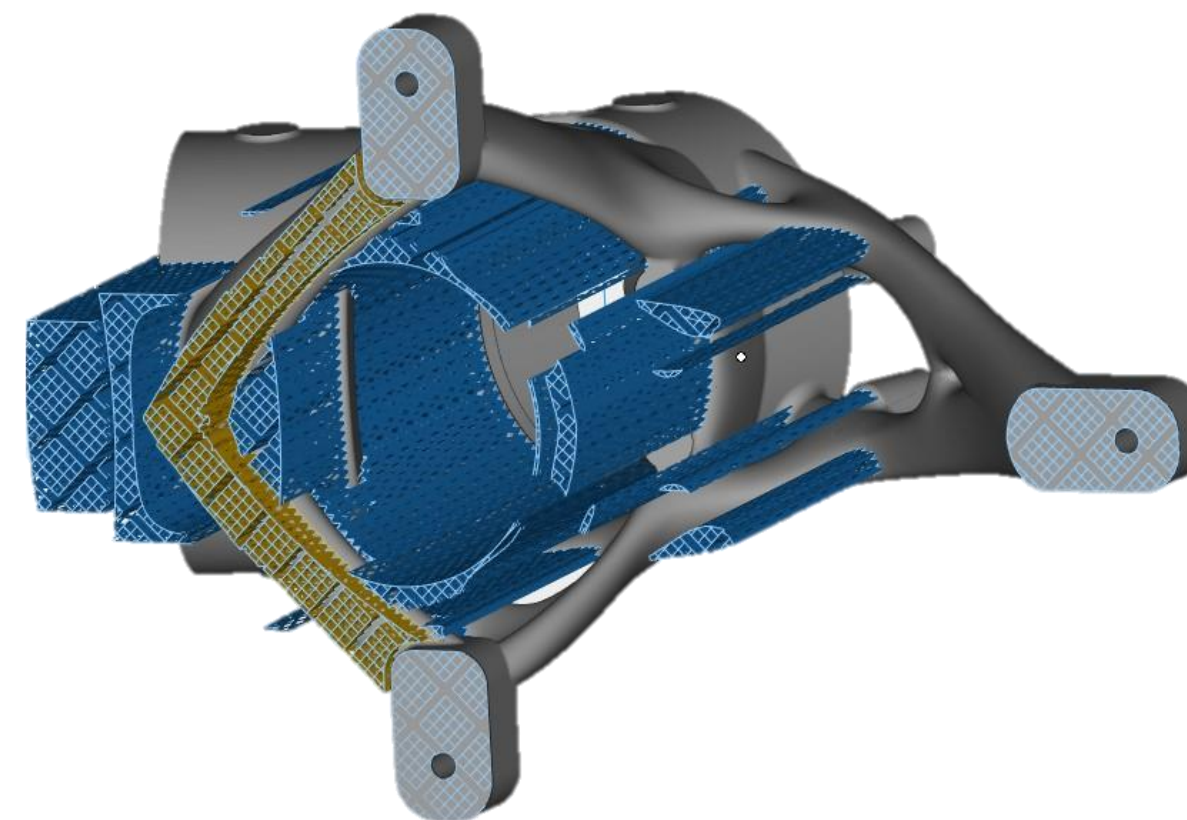


L'orientamento mostrato:

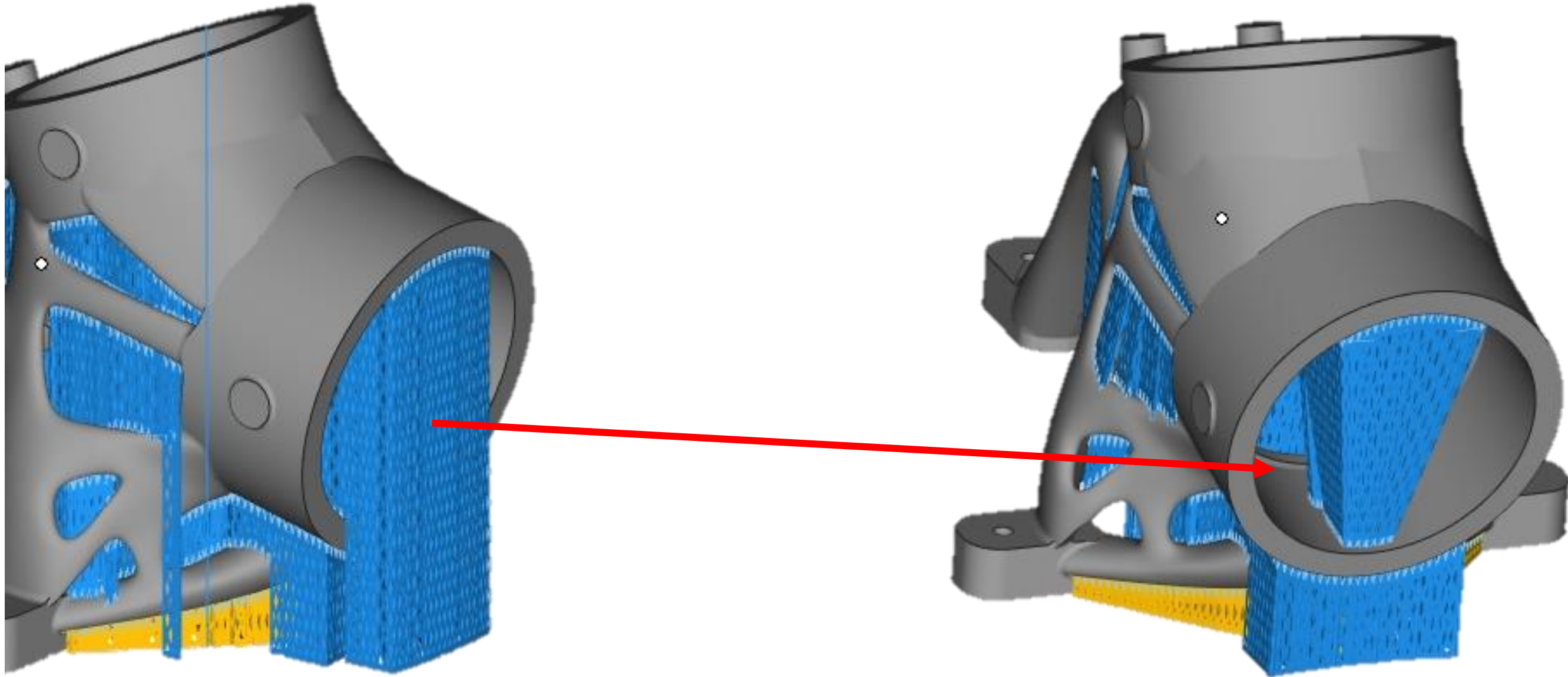
- 1) Minimizza la quantità di supporti
- 2) Massimizza la stabilità del componente durante la costruzione
- 3) Minimizza la zona di frontiera

I supporti mostrati:

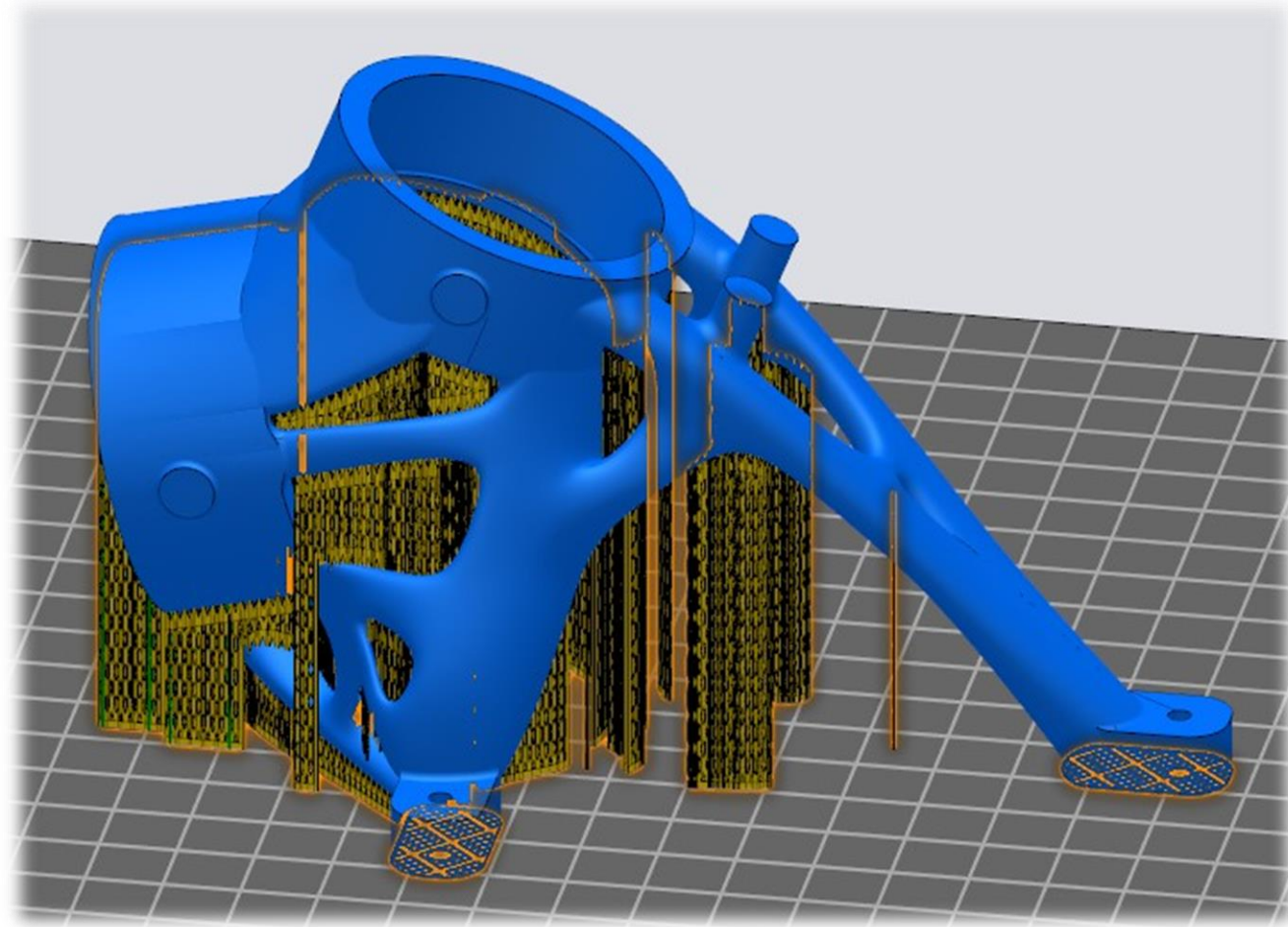
- 1) Sono generati automaticamente
- 2) Supportano le superfici aggettanti
- 3) Intersecano il componente
- 4) Sono di difficile rimozione



Gear Housing – Support Optimization

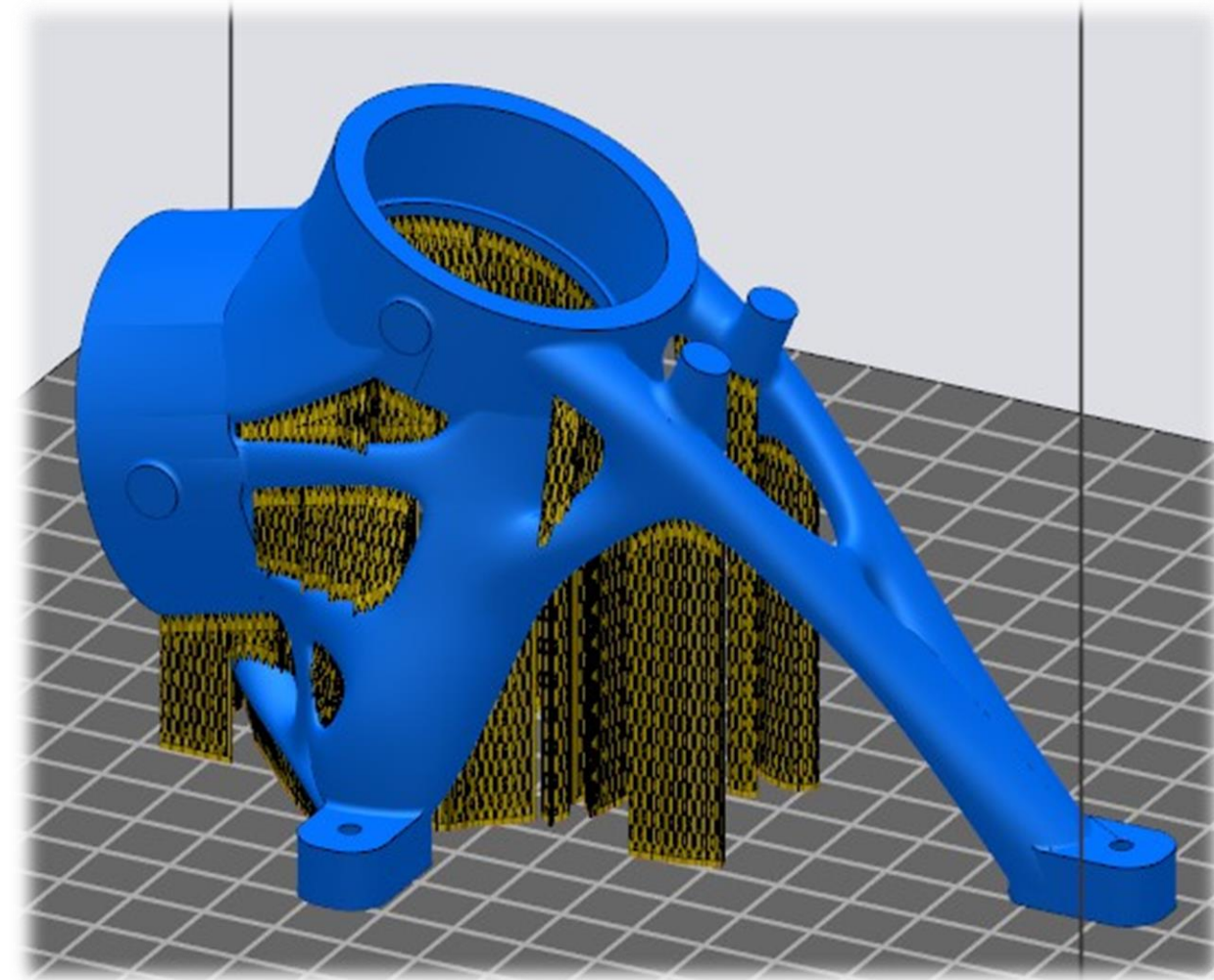


Gear Housing



Job Time: 6,29h

More time to remove supports



Job Time: 6,08h (-21 min)

Less time to remove supports

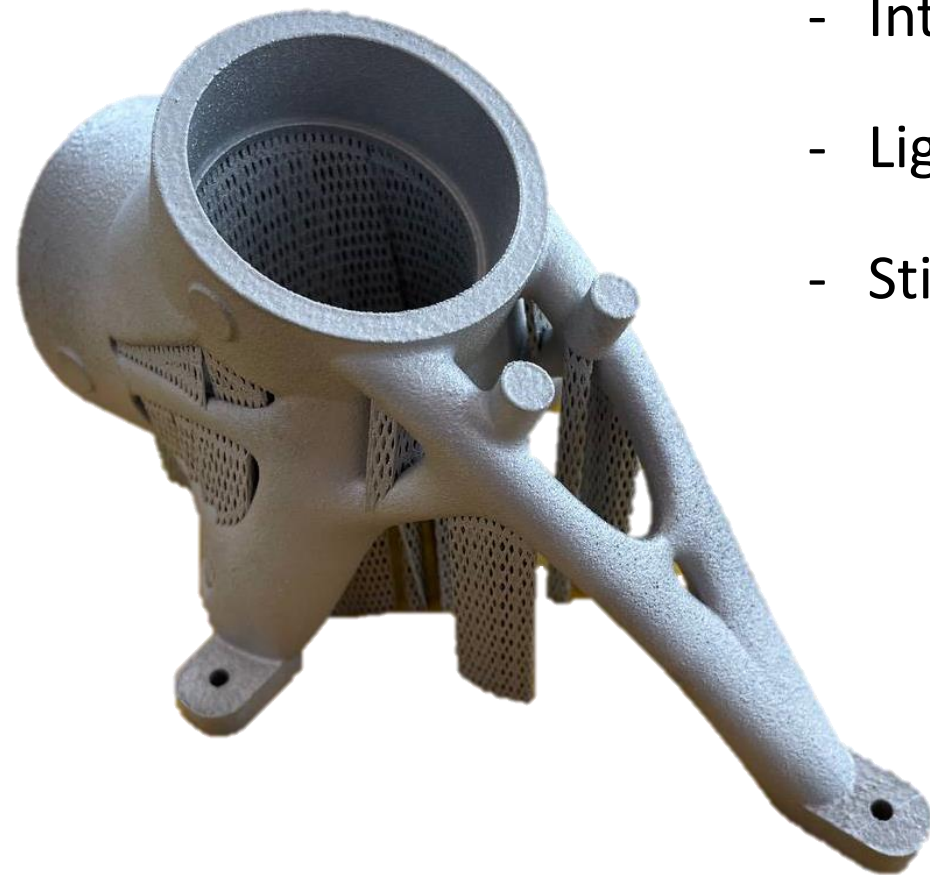
Saving Material

Less Bad Surfaces

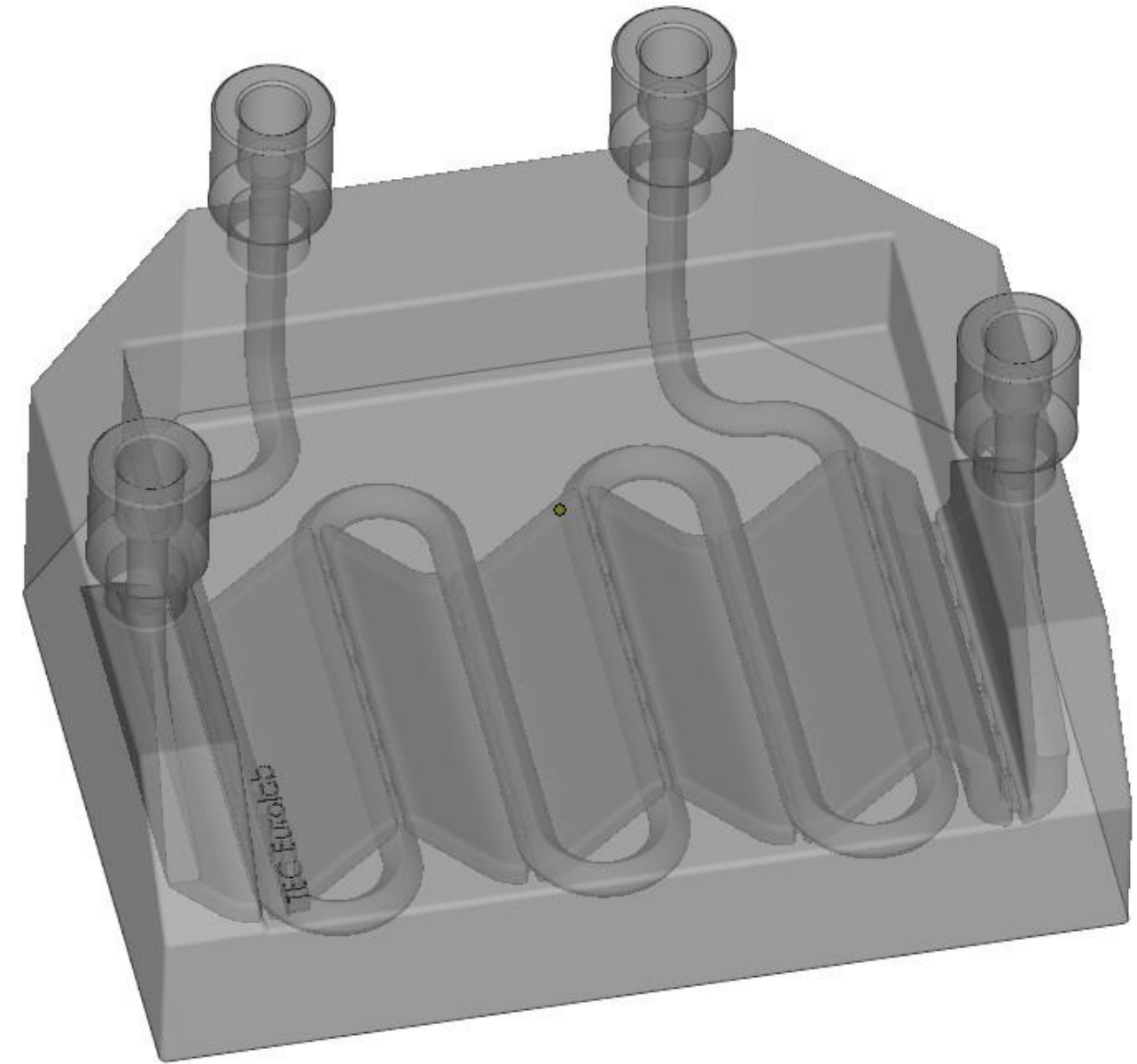
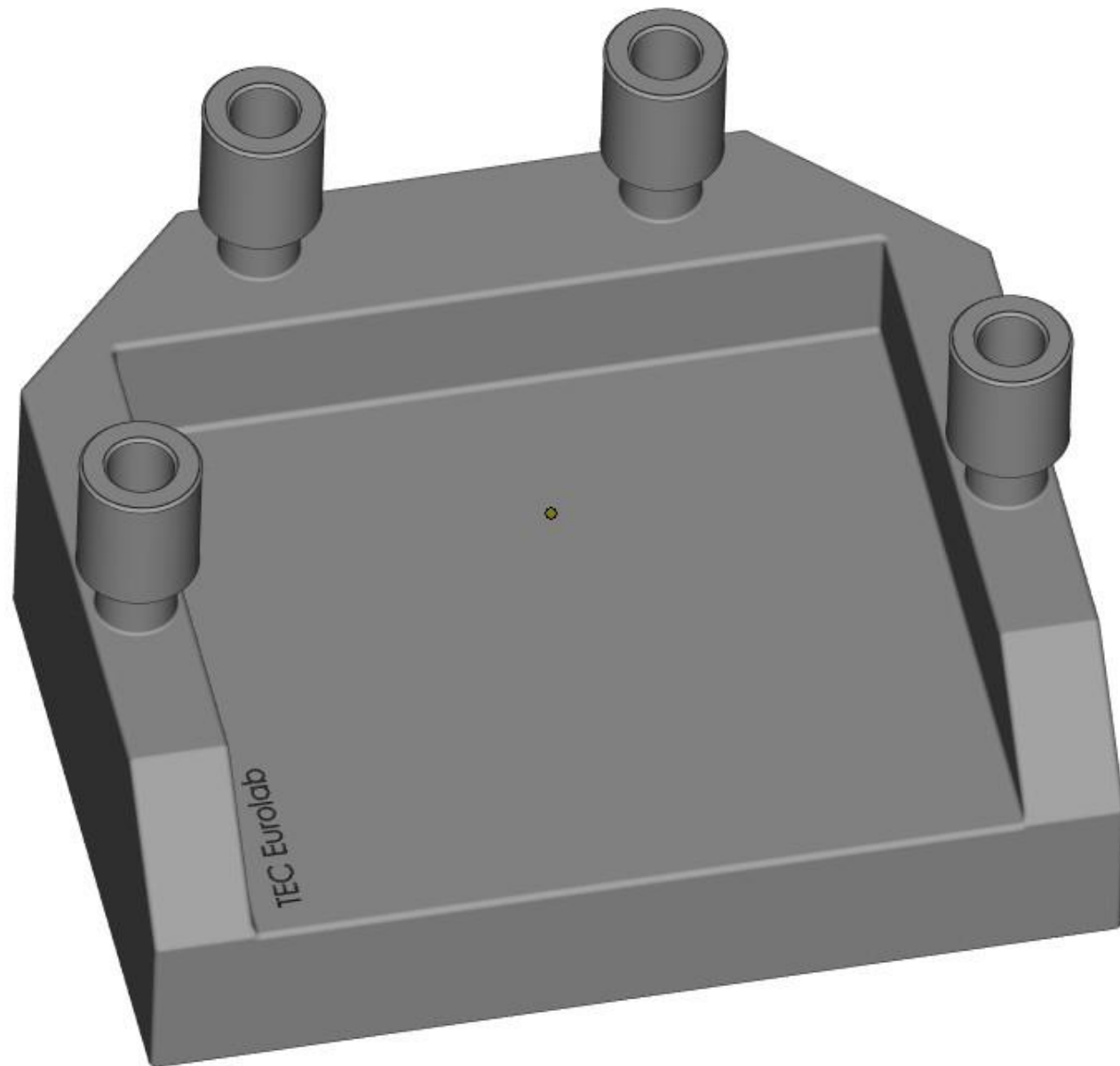
Gear Housing

Topology Optimization:

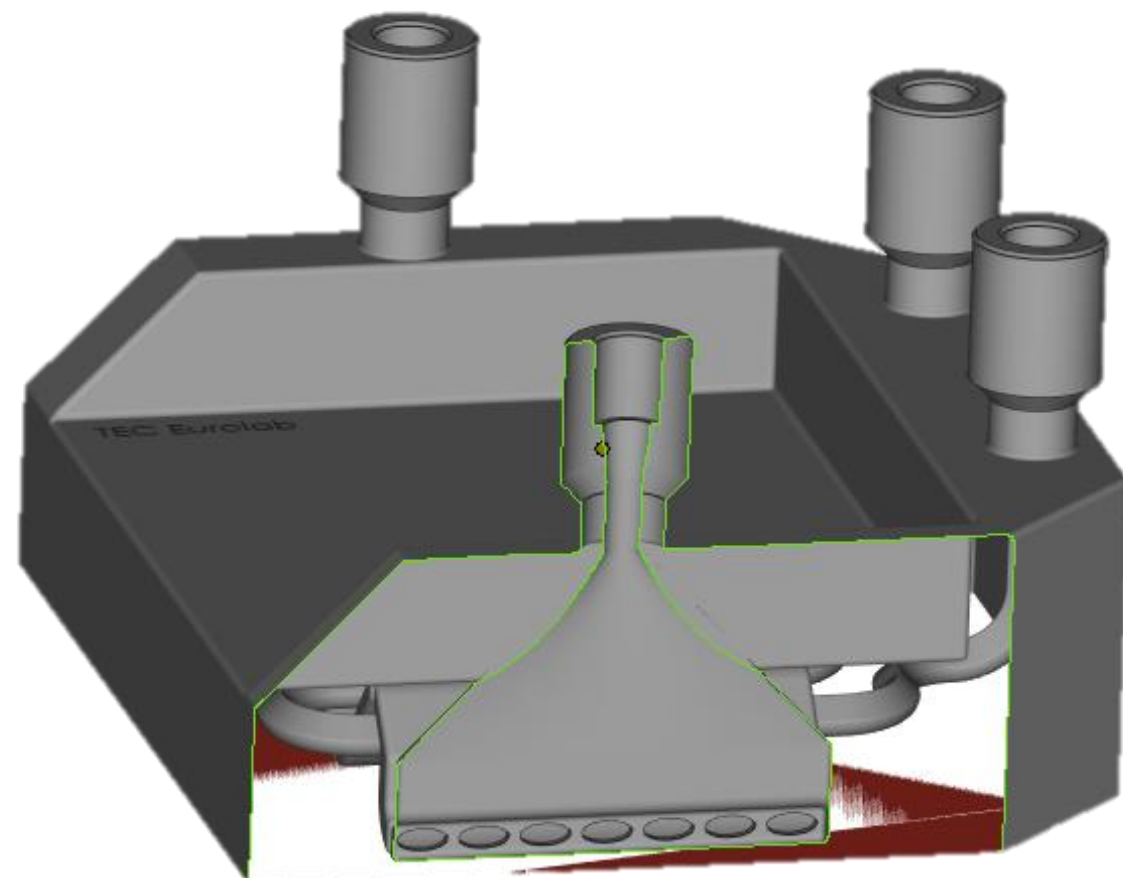
- Organic structure
- Saving Material
- Integration of parts: from 5 → 1
- Lightening → - 50%
- Stiffness → + 38%



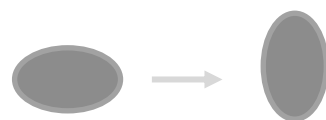
Heat Exchanger



Heat Exchanger

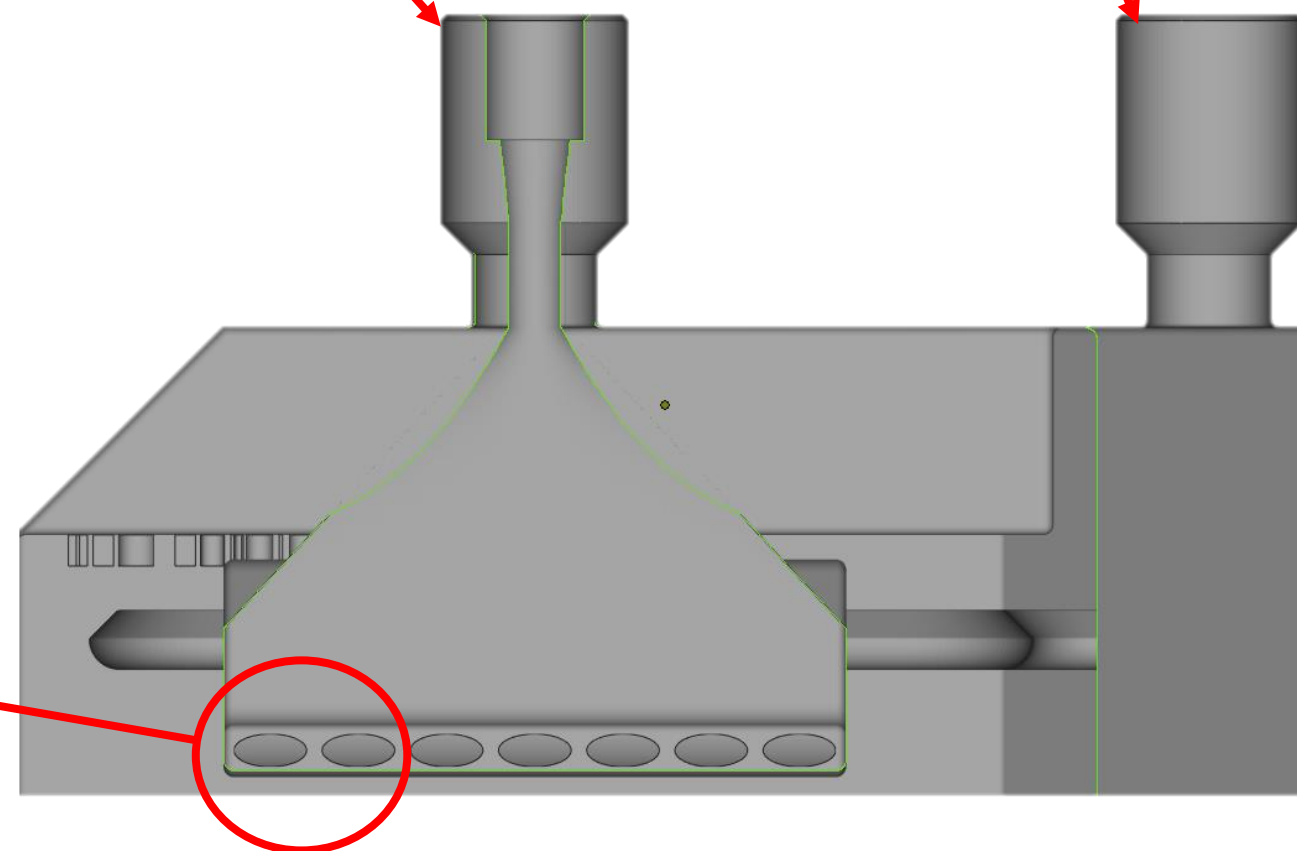


Modificare i fori ovali ruotandoli di 90°

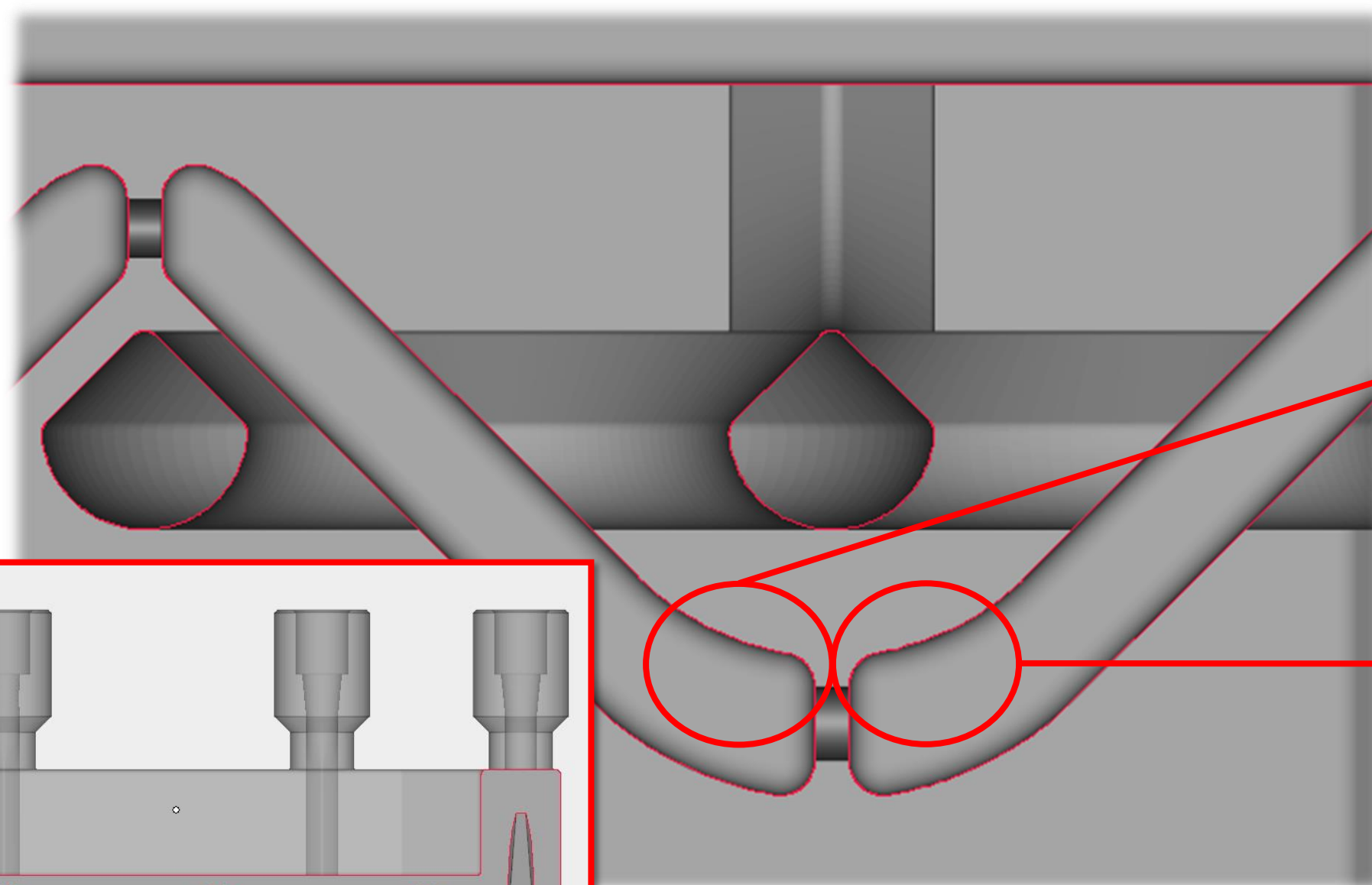


In questo modo possiamo evitare di inserire strutture di supporto rispetto la direzione di costruzione

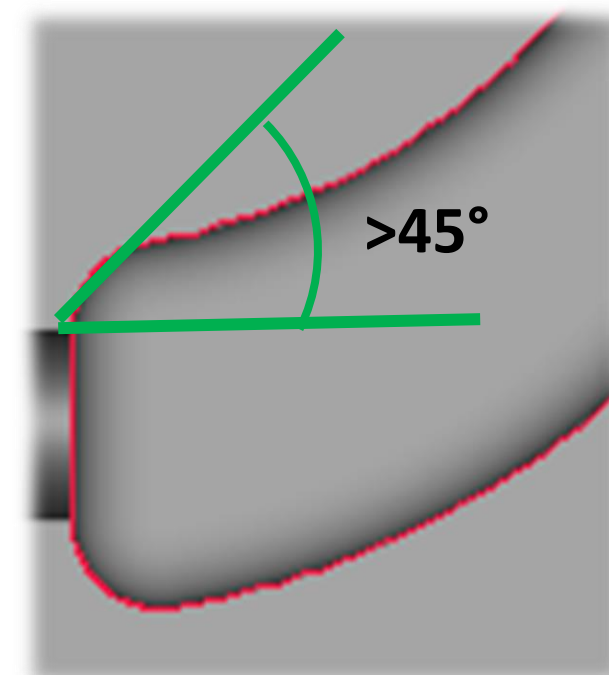
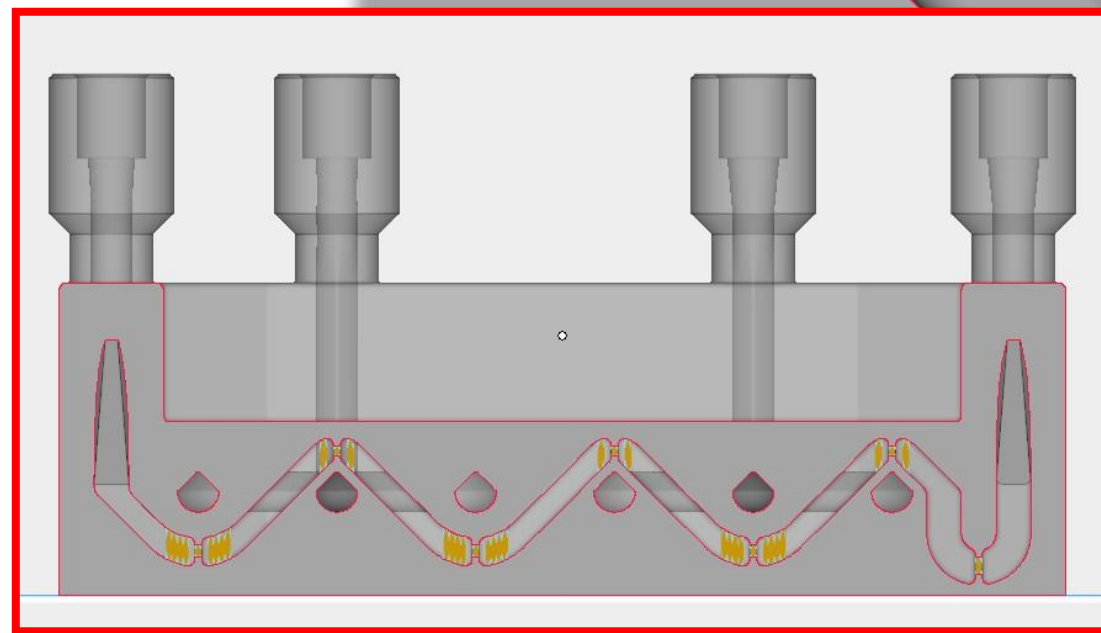
I punti di collegamento possono restare delle stesse dimensioni



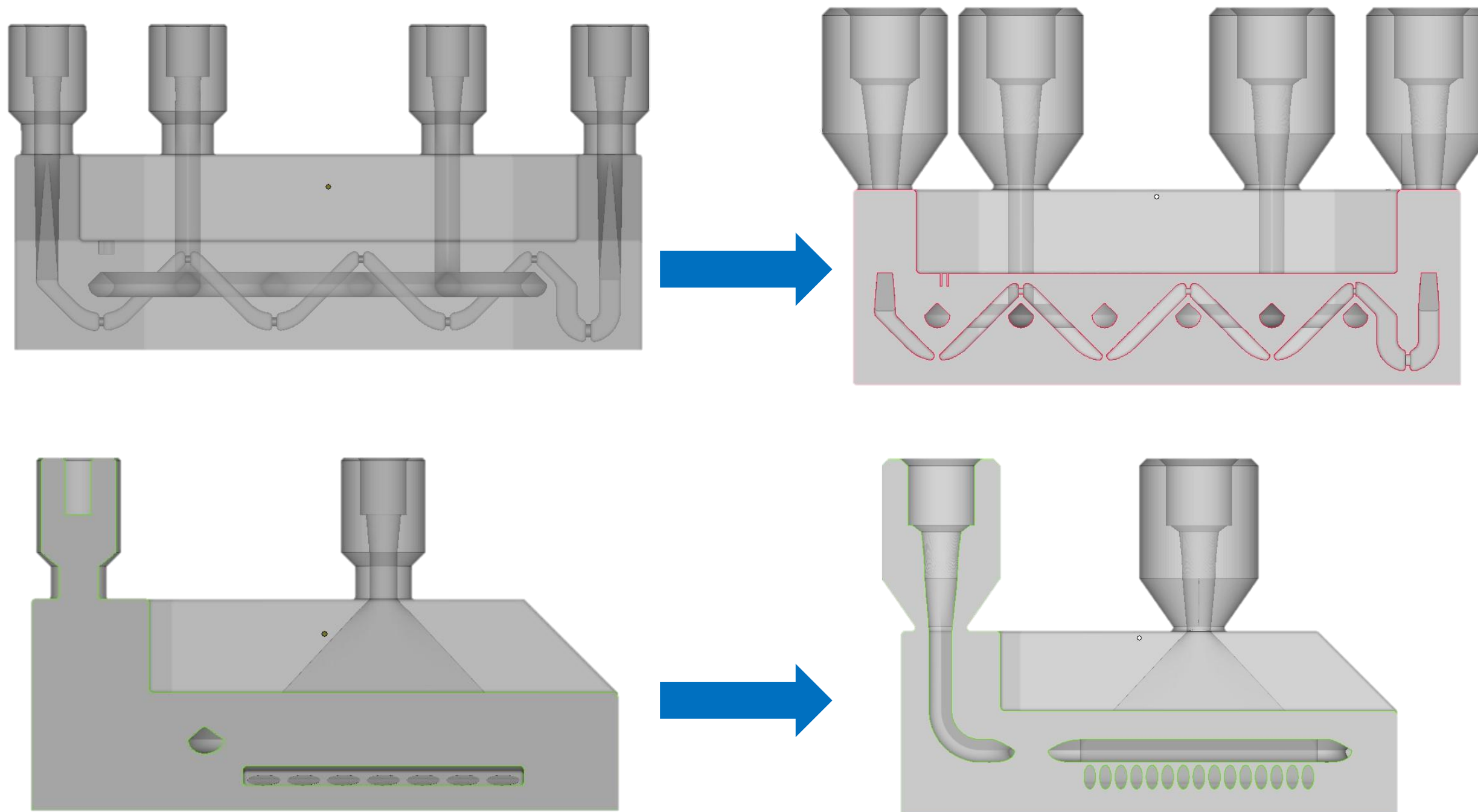
Heat Exchanger – Design Analysis



L'inclinazione è minore di 45° e richiede supporti praticamente impossibili da eliminare.
E' possibile modificare l'orientamento nel modo seguente ($>45^\circ$)?



Heat Exchanger





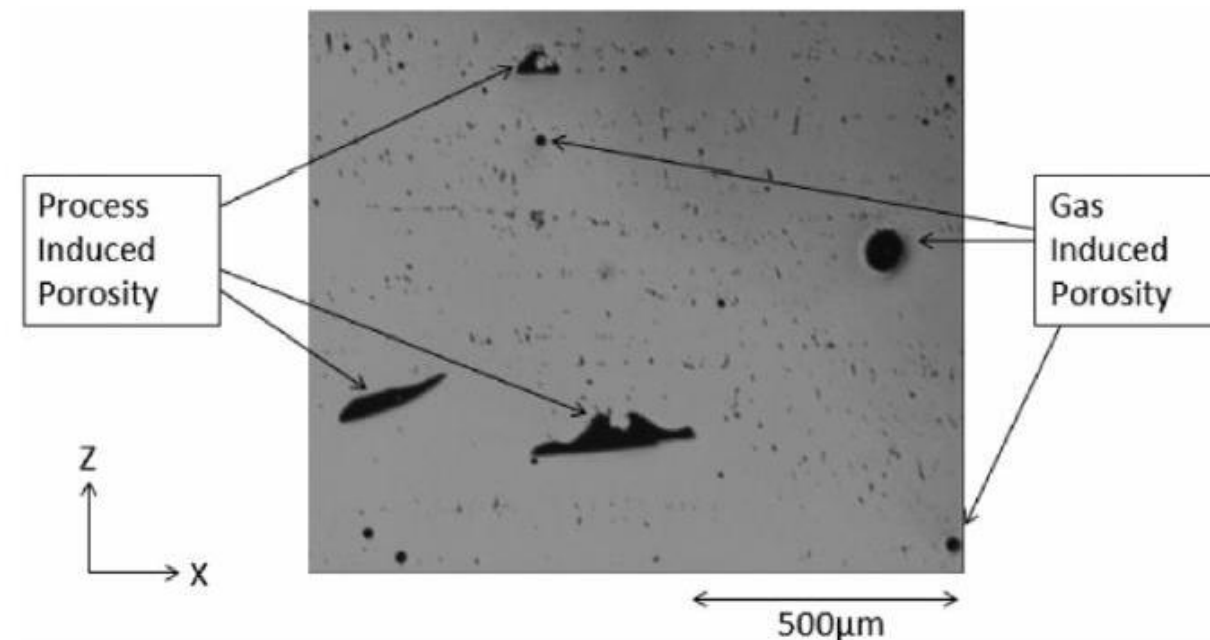
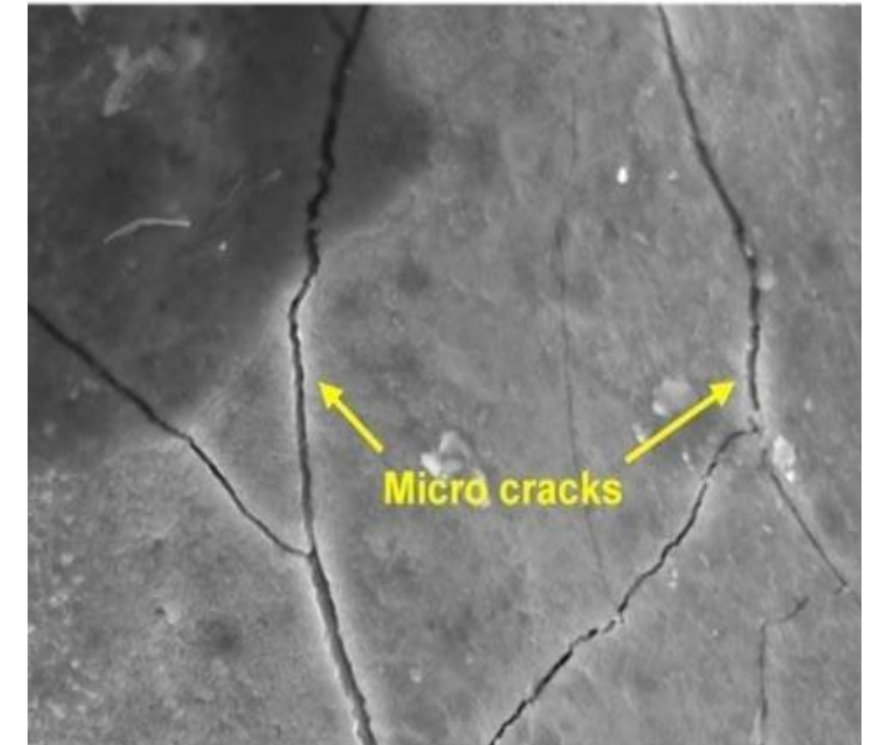
Additive Manufacturing for Quality and Monitoring Control System



Defects

The metal additive construction process is very complex; this increases the possibility of defects in the component.

- There is a large variety of defects: porosity, cracks, distortions..
- Quality control is required by 100% of the production
- Large capital equipment investment



Quality Control

- CTScan
- Tomography
- Metallography Cut –Up



Note that AM service providers with in-house CTScan capabilities may spend up to 4 days to check the quality of a component

The need is to have AM online quality monitoring mechanisms so to boost the AM Industry

AMQ Tools Solution for quality decision support framework

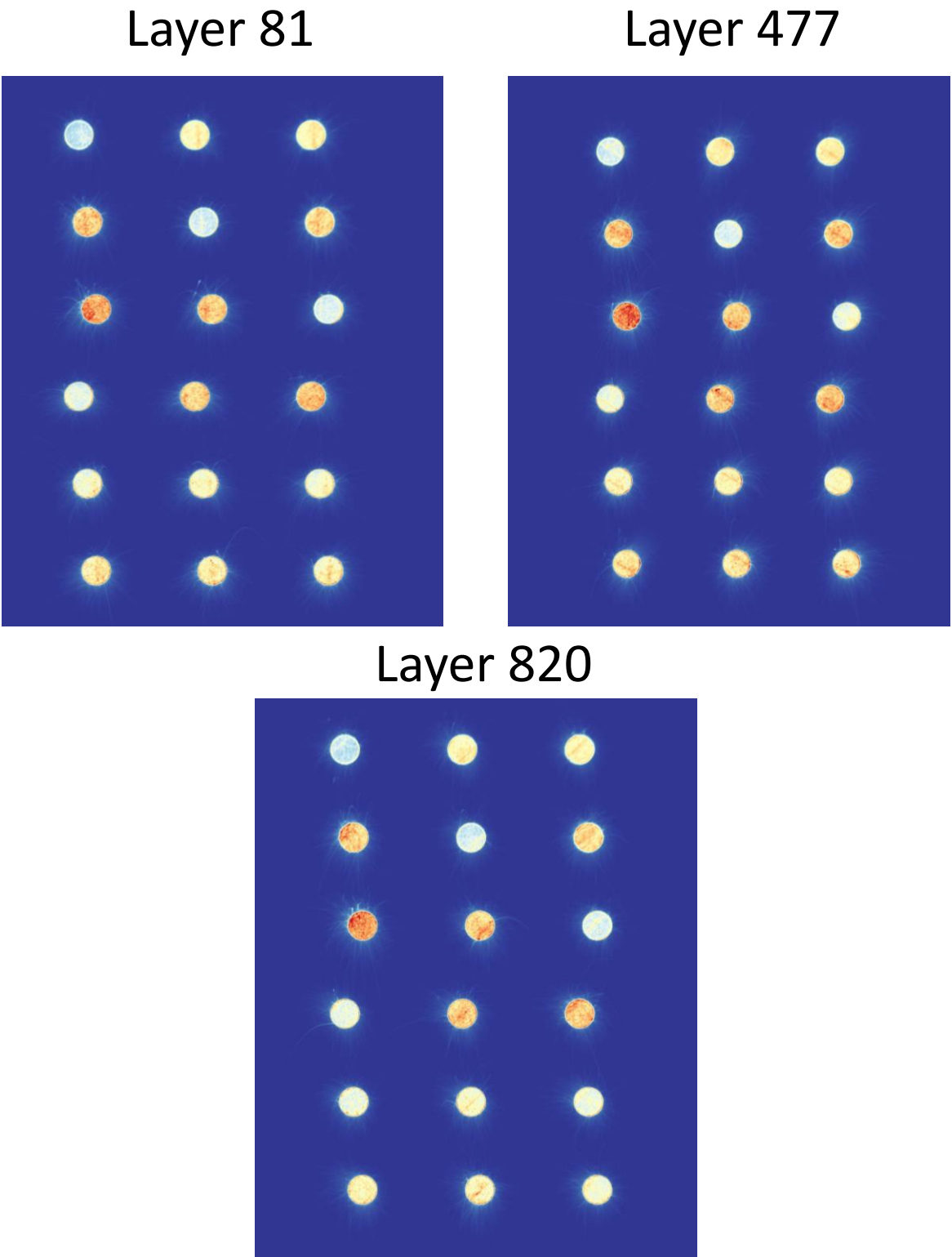
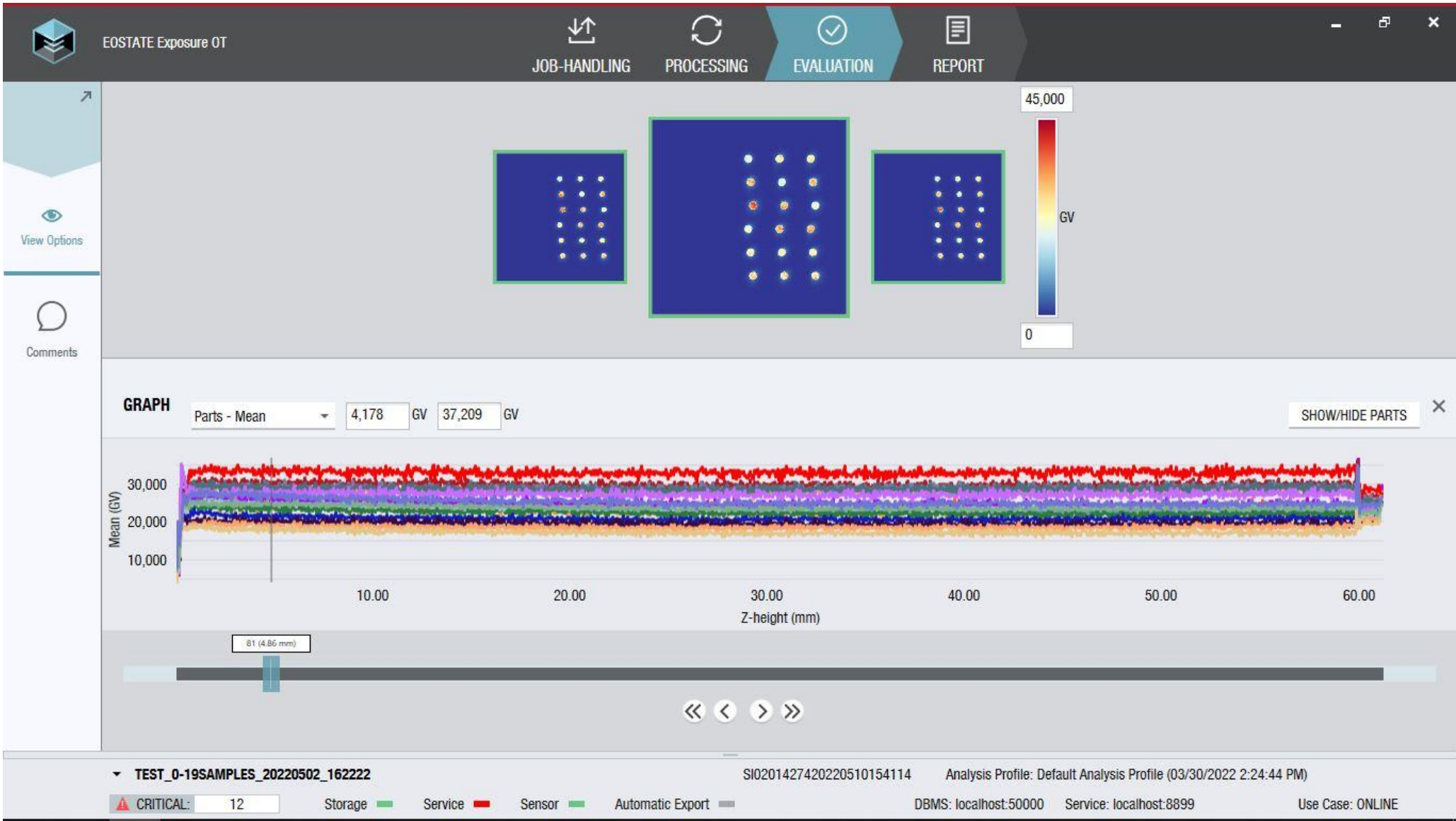


Ansys Additive Suite

EOS M290



Optical Tomography (OT) – Monitoring of Powder Bed



AMQ Tools Solution – Monitoring of process conditions



Grazie per l'attenzione!



Ing. Giuseppe De Marco
Additive Manufacturing Engineer

Mail: giuseppe.demarco@kilometrorosso.com

www.kilometrorosso.com
lisatech@kilometrorosso.com

