

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

***Relazione per la prova finale
«Identificazione di materiali e tecnologie
additive per la produzione di componenti
automotive ad alte prestazioni»***

Tutor universitario:

Prof. Concheri Gianmaria

Laureando: *Zorzi Francesco*

Padova, 16/09/2022

- **L'obiettivo di questa ricerca è quello di trovare un materiale adatto alla produzione, attraverso le tecnologie di additive manufacturing, di un componente meccanico montato all'interno di un motore automobilistico ad alte prestazioni.**
- Il pezzo in questione è un componente facente parte del sistema di refrigerazione/lubrificazione e si compone di una parte inferiore, denominata "spider" per la forma diramata dei condotti, la quale compete alla distribuzione dei fluidi, acqua ed olio, e di una parte superiore adibita all'alloggiamento del filtro olio.
- Il progetto consiste in una ri-modellazione del componente in un'ottica di produzione attraverso tecnologie di manifattura additiva.
- Il lavoro si è concentrato nella ricerca del materiale adatto alla produzione del pezzo. Il componente è attualmente prodotto in alluminio, perciò sarà fondamentale che il nuovo materiale mantenga le caratteristiche di resistenza termica, meccanica e di leggerezza di questo metallo.

- L'**additive manufacturing** (AM, produzione additiva) è un processo industriale utilizzato per la produzione di oggetti a partire dal modello 3D, solitamente in formato STL, che si realizza attraverso la successiva sovrapposizione di strati di materiale l'uno sopra l'altro.
- Questo sistema consente di ottenere **geometrie molto più complesse** rispetto a quelle ottenibili dai processi convenzionali di asportazione, oltre che una **riduzione dei volumi** (e quindi dei **pesi**) dei componenti da produrre.



Figura 1. Protesi odontoiatrica prodotta con materiali Next-Dent di 3D Systems.

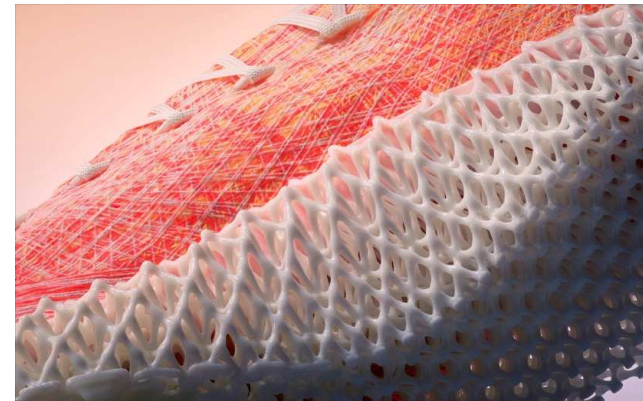


Figura 2. Suola della scarpa Adidas Futurecraft realizzata con il robot per stampa 3D "STRUNG".



Figura 3. Pinza freni installata su Bugatti Chiron prodotta in AISi10Mg con SLM® 280 Twin di SLM® Solutions.



Figura 4. Alloggiamento trasmissione dell'elicottero Chinook CH-47 di Boeing.

- **FFF (Fused Filament Fabrication)**: noto anche come FDM (Fused Deposition Modeling), è un processo in cui il materiale fuso viene selettivamente e depositato attraverso un ugello (estrusore).

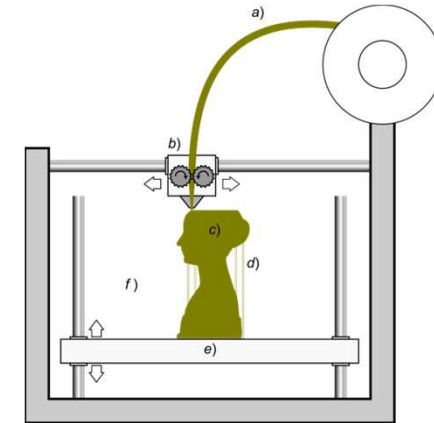


Figura 1. Rappresentazione schematica del processo FFF

- **SLS (Selective Laser Sintering)**: tecnologia di produzione additiva che impiega un raggio Laser per sinterizzare delle particelle di polvere di materiale che può essere a base polimerica o composita. In caso di utilizzo di polveri metalliche ci si riferisce alla tecnologia con l'acronimo **SLM (Selective Laser Melting)**.

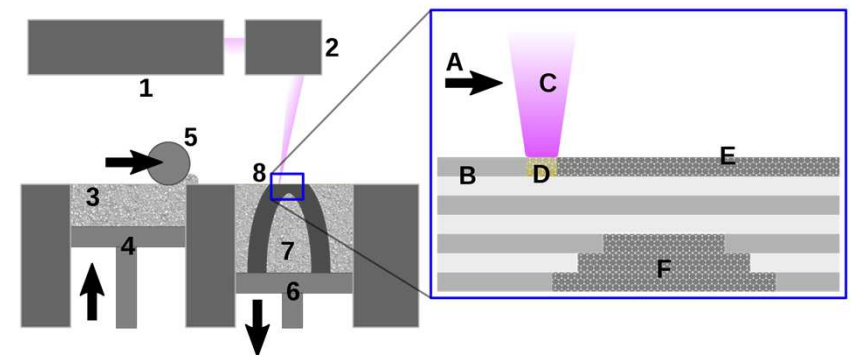
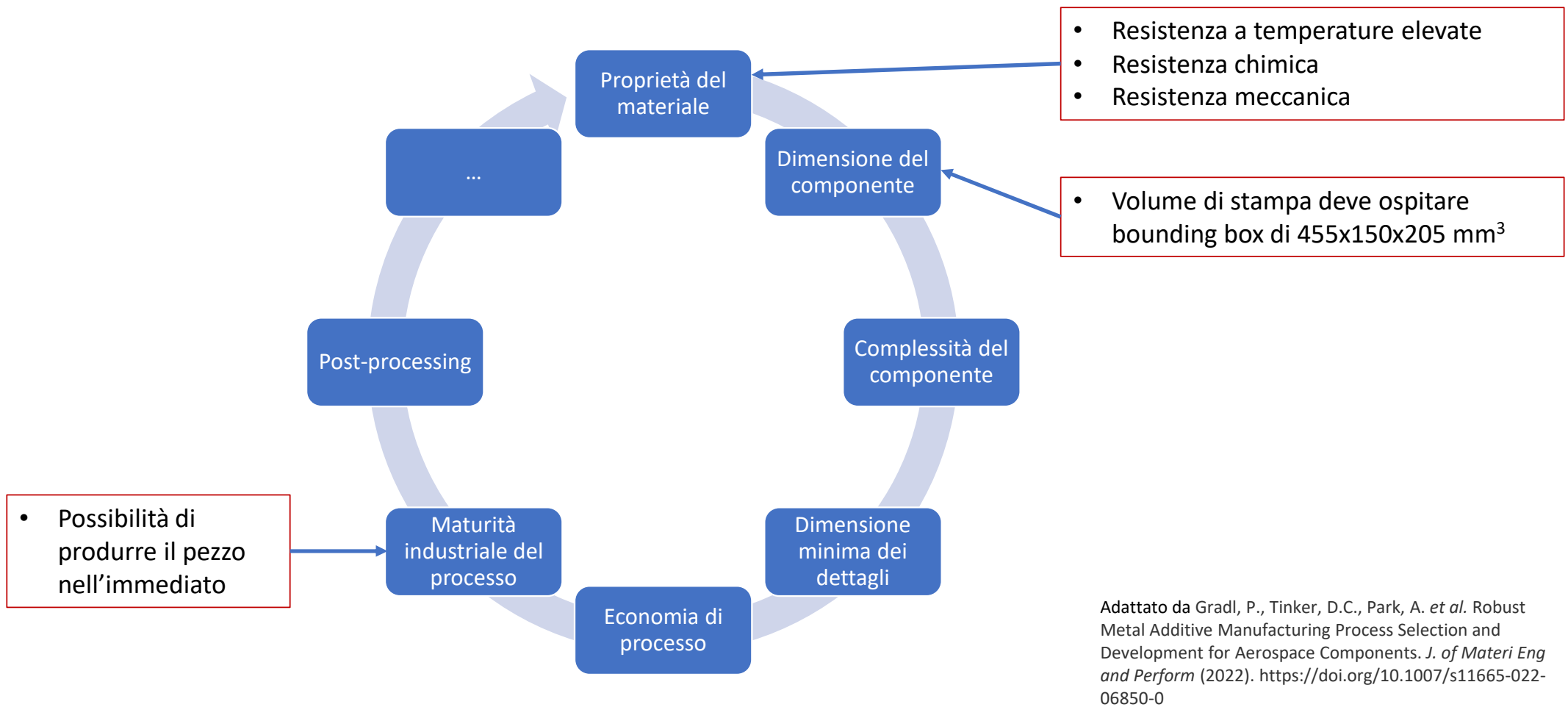
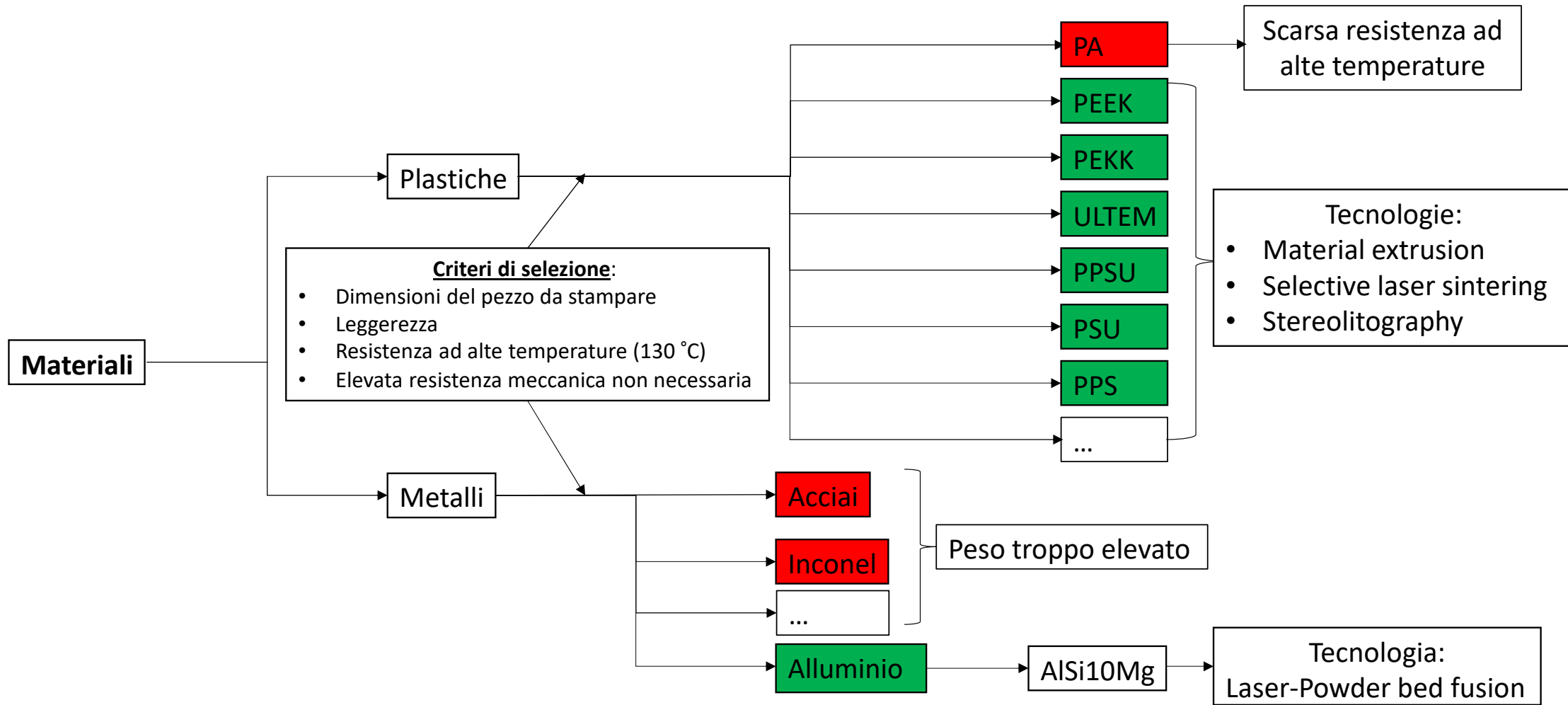


Figura 2. Rappresentazione schematica del processo SLS





<u>Materiali</u>	<u>Tecnologie</u>
- Materiali plastici —————> Tecnopolimeri • PEEK • PEKK • ULTEM • ...	- Estrusione di materiale (Fused Filament Fabrication) - Tecnologie a letto di polvere (Selective Laser Sintering)
- Materiali metallici —————> Alluminio • AlSi10Mg	Tecnologie a letto di polvere (Metal Laser Powder Bed Fusion)

ULTEM AM9085F (Roboze):

L'Ultem garantisce:

- Isolamento termico ed elettrico
- Stabilità dimensionale ad alte e basse temperature
- Buone proprietà meccaniche e tribologiche



Tipologia	Termoplastica alto-prestazionale
Tecnologia di stampa	FFF (fused filament fabrication)
Stampante (volume di stampa)	Roboze ARGO 500 (500 x 500 x 500 mm)
Resistenza alla trazione [Mpa]	98
Modulo di Young [Mpa]	2900
Temperatura di fusione [°C]	/
Temperatura di transizione vetrosa [°C]	177
Temperatura di deflessione al calore [°C]	175
Assorbimento di umidità [%]	/
Densità [g/cm ³]	1,27
Prezzo [€/kg]	270,00
Note	Materiale testato chimicamente dal produttore: buona resistenza a contatto con oli e carburanti, ottima resistenza all'acqua.

Dimensioni minime del volume
di stampa rispettate

Elevata HDT (>130 °C)

Bassa densità --> pezzo leggero

Chimicamente testato

Helios PEEK 2005 (Roboze):

L'Helios PEEK 2005 garantisce:

- Resistenza termica
- FST rate eccellente (flame, smoke and toxicity)
- Stabilità dimensionale ad alte temperature



Tipologia	Termoplastica alto-prestazionale con fibre ceramiche
Tecnologia di stampa	FFF (fused filament fabrication)
Stampante (volume di stampa)	Roboze Argo 500 (500 x 500 x 500 mm)
Resistenza alla trazione [Mpa]	107
Modulo di Young [Mpa]	8800
Temperatura di fusione [°C]	343
Temperatura di transizione vetrosa [°C]	143
Temperatura di deflessione al calore [°C]	171
Assorbimento di umidità [%]	/
Densità [g/cm³]	1,45
Prezzo [€/kg]	900,00
Note	Materiale testato chimicamente dal produttore: resistente a temperatura di 100°C a contatto con oli, carburanti, acqua.

Dimensioni minime del volume
di stampa rispettate

Elevata HDT (>130 °C)

Bassa densità --> pezzo leggero

Chimicamente testato

HT 23 PEKK (Advanced Laser Materials)

- L'HT 23 PEKK garantisce:
- Isotropia
 - Elevata resistenza termica
 - Resistenza chimica
 - Intrinsecamente ignifugo

Tipologia	Termoplastica alto-prestazionale con 23% di fibre di carbonio
Tecnologia di stampa	SLS (Selective laser sintering)
Stampante (volume di stampa)	EOS P 810 (700 x 380 x 380 mm)
Resistenza alla trazione [Mpa]	59
Modulo di Young [Mpa]	5800
Temperatura di fusione [°C]	302
Temperatura di transizione vetrosa [°C]	/
Temperatura di deflessione al calore [°C]	212
Assorbimento di umidità [%]	/
Densità [g/cm ³]	1,39
Prezzo [€/kg]	245
Note	//



Dimensioni minime del volume di stampa rispettate

Elevata HDT (>130 °C)

Bassa densità --> pezzo leggero

TECAFIL PPSU natural - Filament (Ensinger):

Il PPSU garantisce:

- Elevata temperatura di esercizio (180°C)
- Ottima resistenza all'idrolisi (adatto per ripetute sterilizzazioni a vapore)
- Rigidità elevata in un ampio range di temperature
- Resistenza agli urti molto elevata
- Ottima stabilità dimensionale
- Basso assorbimento di umidità



Tipologia	Termoplastica alto-prestazionale
Tecnologia di stampa	FFF (fused filament fabrication)
Stampante (volume di stampa)	Roboze Argo 500 (500 x 500 x 500 mm)
Resistenza alla trazione [Mpa]	74
Modulo di Young [Mpa]	2250
Temperatura di fusione [°C]	/
Temperatura di transizione vetrosa [°C]	220
Temperatura di deflessione al calore [°C]	198
Assorbimento di umidità [%]	0,6
Densità [g/cm³]	1,29
Prezzo [€/kg]	340,00
Note	//

Dimensioni minime del volume
di stampa rispettate

Elevata HDT (>130 °C)

Bassa densità --> pezzo leggero

AlSi10Mg (SLM® Solutions):

Tipologia	Lega di alluminio al silicio (9.0÷11.0%) e magnesio (0.20÷0.45%)
Resistenza alla trazione [Mpa]	454
Modulo di Young [Mpa]	73000
Temperatura di fusione [°C]	557-596
Densità [g/cm³]	2,67
Stampante	SLM® 500 (500 x 280 x 365 mm) – SLM 800 (500 x 280 x 850 mm)
Tecnologia	SLM® (Selective laser melting)
Prezzo [euro/kg]	45,00 *

* prezzo indicato per una q.tà di polveri tra 250-400kg



AlSi10Mg garantisce:

- Elevata resistenza alla corrosione
- Buona conducibilità elettrica
- Elevata tenacità
- Eccellente conducibilità termica

- La ricerca ha portato all'individuazione di 32 possibili materiali (28 plastiche e 4 metalli) per la stampa del componente, che rispettano le caratteristiche di resistenza termica e leggerezza riportate nell'introduzione.
- Confronto delle specifiche di resistenza termica, meccanica e di densità presenti sulle schede dei diversi materiali con i "vincoli" da rispettare: dimensioni effettive del pezzo, resistenza a corrosione dovuta al contatto con i liquidi (acqua ed olio motore) ad alta temperatura, test chimici effettuati dai produttori.
- Tra i diversi materiali proposti sono stati scartati quelli che presentano temperature di deflessione al calore (HTD) troppo vicine (minori di circa 160 °C) a quella limite di 130 °C che raggiunge l'olio all'interno dei condotti del componente, per garantire un maggior margine di sicurezza in vista di eventuali guasti che potrebbero portare ad un anomalo innalzamento delle temperature di olio/acqua.

Lista dei materiali plastici maggiormente adatti all'applicazione, secondo i criteri utilizzati:

- TECAFIL PES natural - Filament (Ensinger)
- TECAFIL PPSU natural - Filament (Ensinger)
- TECAFIL PSU natural - Filament (Ensinger)
- PPSU/PPSF (Stratasys)
- ULTEM 1010 Resin (Stratasys)
- SOMOS PerForm (Stratasys)
- SOMOS PerForm Reflect (Covestro)
- Helios PEEK 2005 (Roboze)
- Carbon PEEK (Roboze)
- ULTEM AM9085F (Roboze)
- DuraForm ProX HST (3Dsystems)
- INTAMSYS® PEEK-CF
- INTAMSYS® PEEK-GF
- ULTEM 1010 (Intamsys)
- INTAMSYS® PPSU
- INTAMSYS® PPS

Per quello che riguarda la produzione del componente in metallo, essendo la lega di alluminio proposta (AlSi10Mg) comune a tutti i diversi produttori, le proprietà meccaniche e termiche sono di conseguenza molto simili. Non vi è per questo un apparente motivo per preferirne una sulla base di queste caratteristiche, la scelta sarà da demandare ad una successiva fase di valutazione dei costi della polvere e delle diverse tecnologie adottate.