

Additive Manufacturing

Eleonora Atzeni

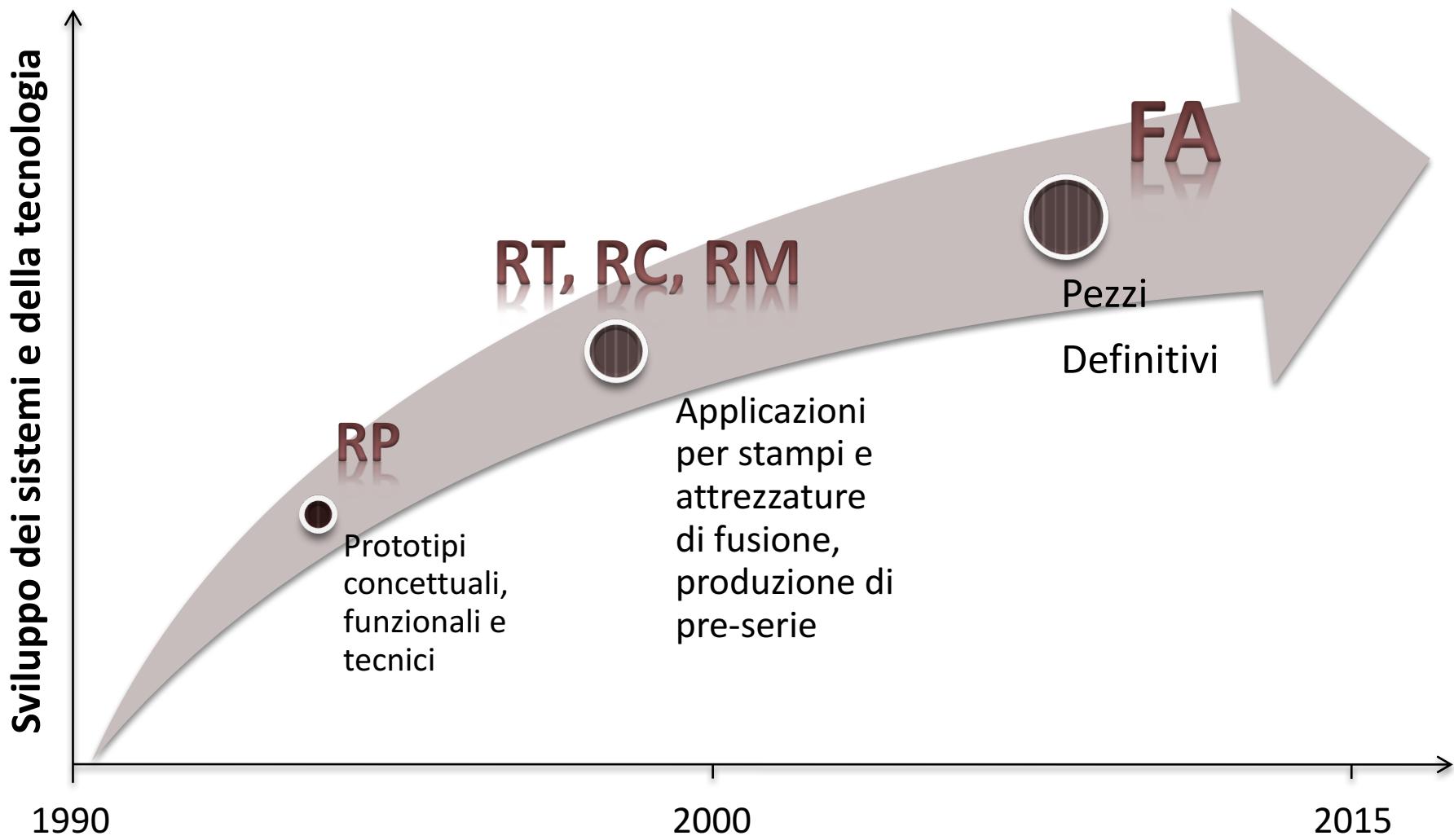
Politecnico di Torino

Department of Management and Production Engineering
Dipartimento di Ingegneria Gestionale e della Produzione (DIGEP)

eleonora.atzeni@polito.it

Applicazioni

Dalla prototipazione rapida alla fabbricazione additiva (FA)

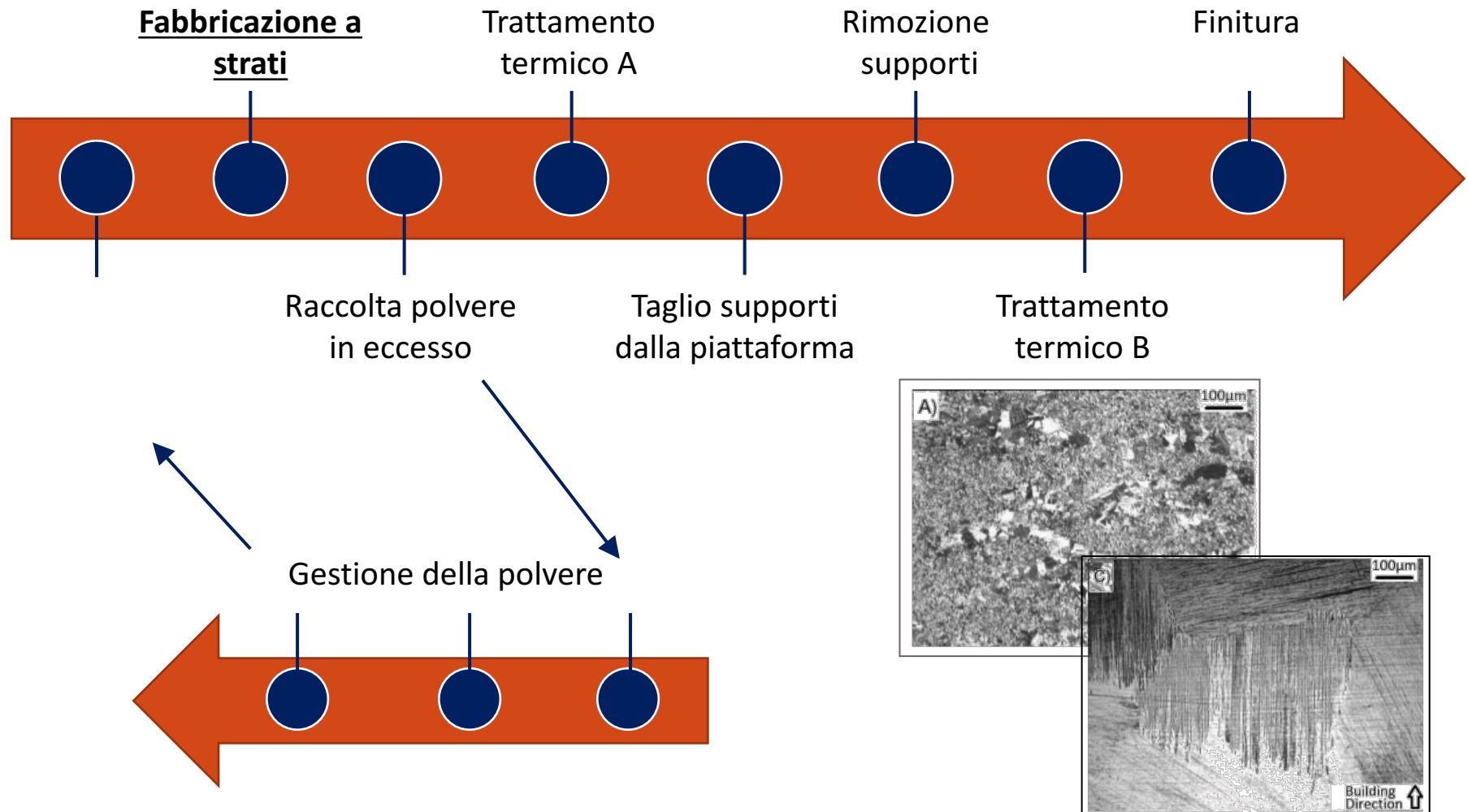


AM technologies for metal parts



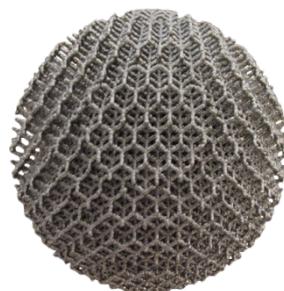
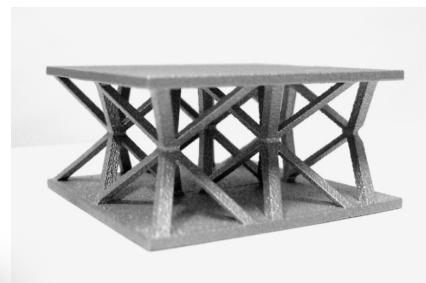
Characteristic	Power Bed Fusion	Directed Energy Deposition
Build speed	5÷20 cm ³ /h (~ 40÷160 g/h)	Up to 500 g/h (~ 70 cm ³ /h)
Accuracy	± 0.02÷0.05 mm / 25 mm	± 0.1÷0.5 mm / 25 mm
Detail capability	0.04÷0.2 mm	0.5÷1.0 mm
Surface quality	Ra 4÷10 µm	Ra 7÷20 µm
Max part size	500 x 280 x 325 mm	2000 x 1500 x 750 mm
System price range	450.000÷600.000 €	500.000÷800.000 €

Metalli: Ciclo di Fabbricazione Completo

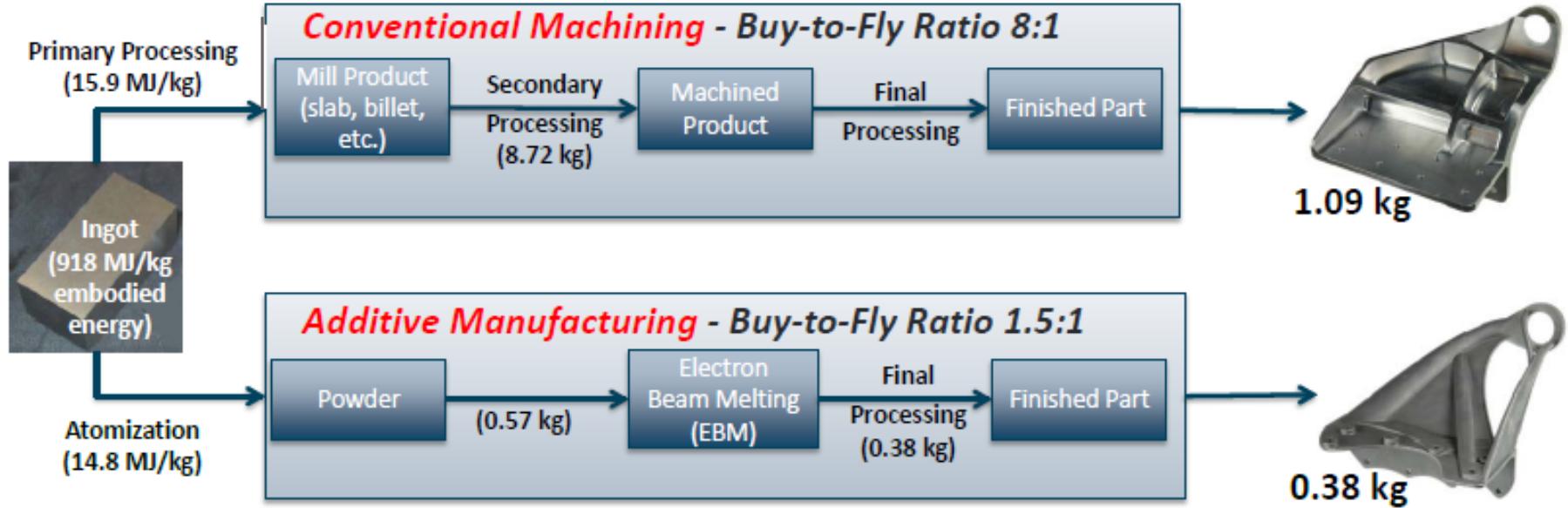


FABBRICAZIONE ADDITIVA (FA)

LA NUOVA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE: METALLI



Perché usare l'Additive Manufacturing (AM)?



Process	Final part (kg)	Ingot consumed (kg)	Raw mat'l (MJ)	Manuf (MJ)	Transport (MJ)	Use phase (MJ)	Total energy per bracket (MJ)
Machining	1.09	8.72	8,003	952	41	217,949	226,945
EBM (Optimized)	0.38	0.57	525	115	14	76,282	76,937

Applicazioni

1. Elementi progettati per essere realizzati con le tecnologie convenzionali:

- prototipi;
- ricambi;

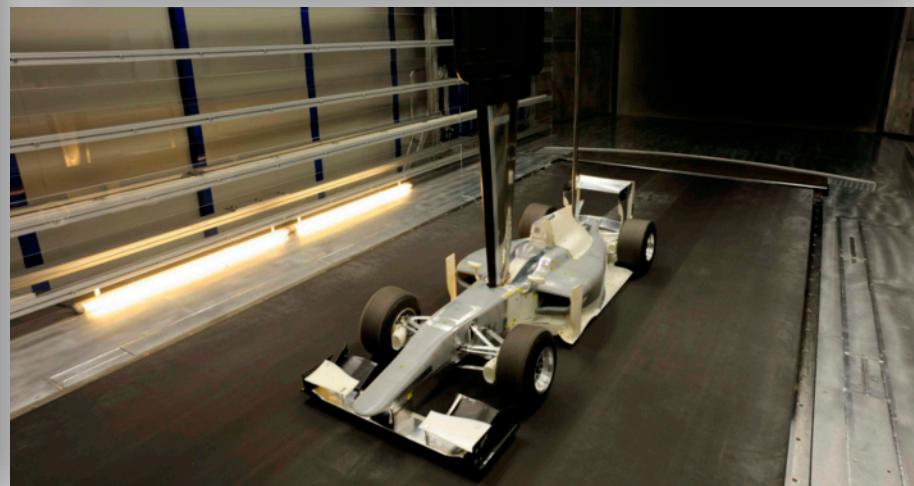
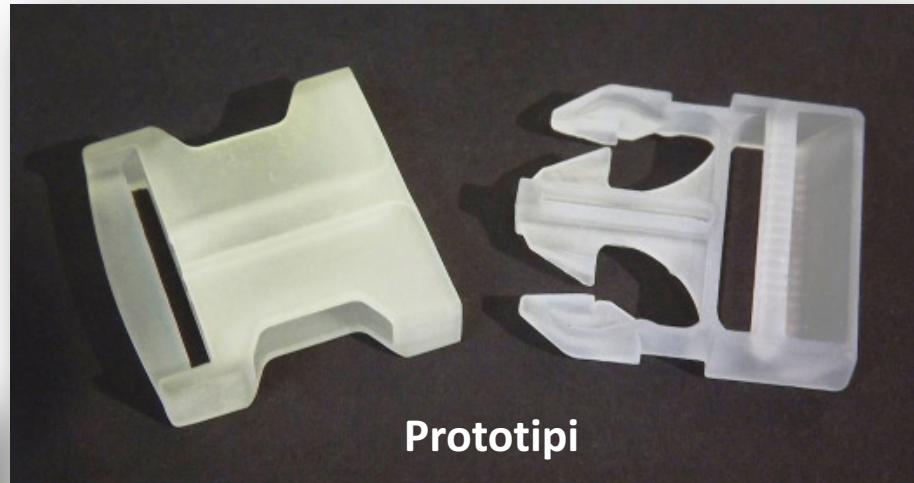
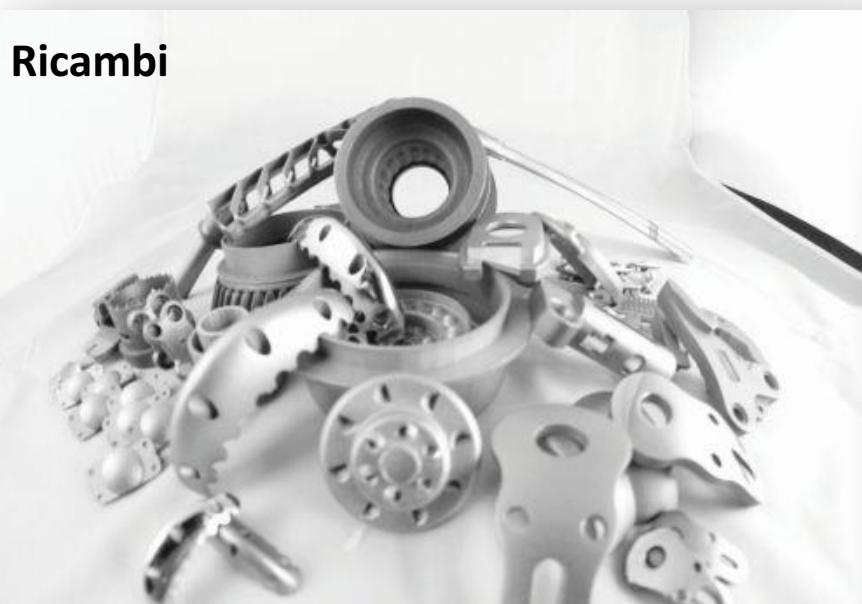
2. Elementi che necessitano una **progettazione dedicata** per la fabbricazione additiva:

- Pezzi definitivi;
- Stampi con canali conformali

Strumenti di progettazione CAD/CAE 3D dedicati inclusa l'ottimizzazione topologica non pienamente consolidati

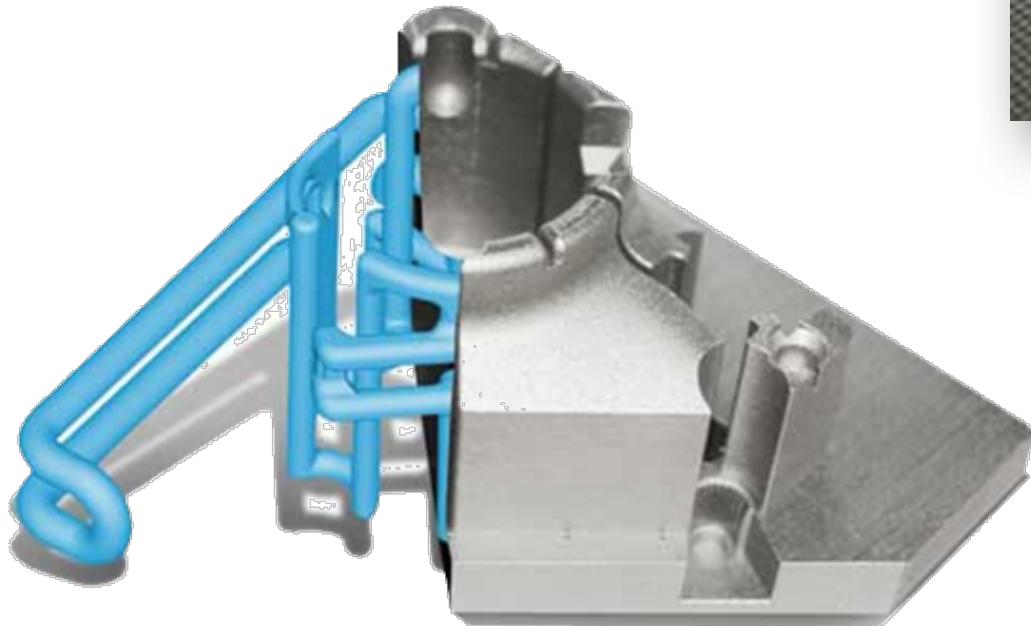
Applicazioni: prototipi e ricambi

Elementi progettati per essere realizzati con le tecnologie convenzionali



Applicazioni

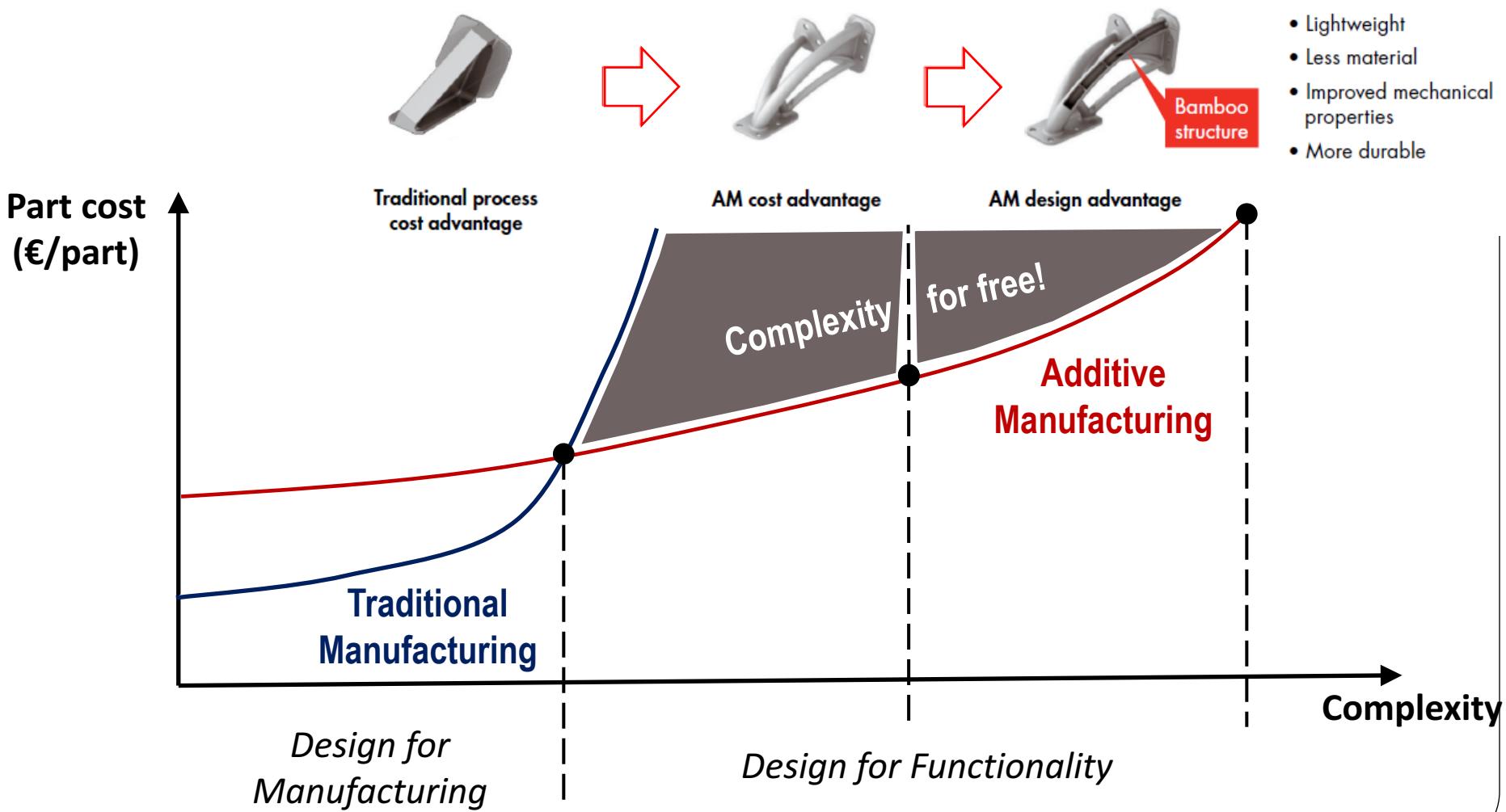
Elementi che necessitano una
riprogettazione dedicata per la
fabbricazione additiva



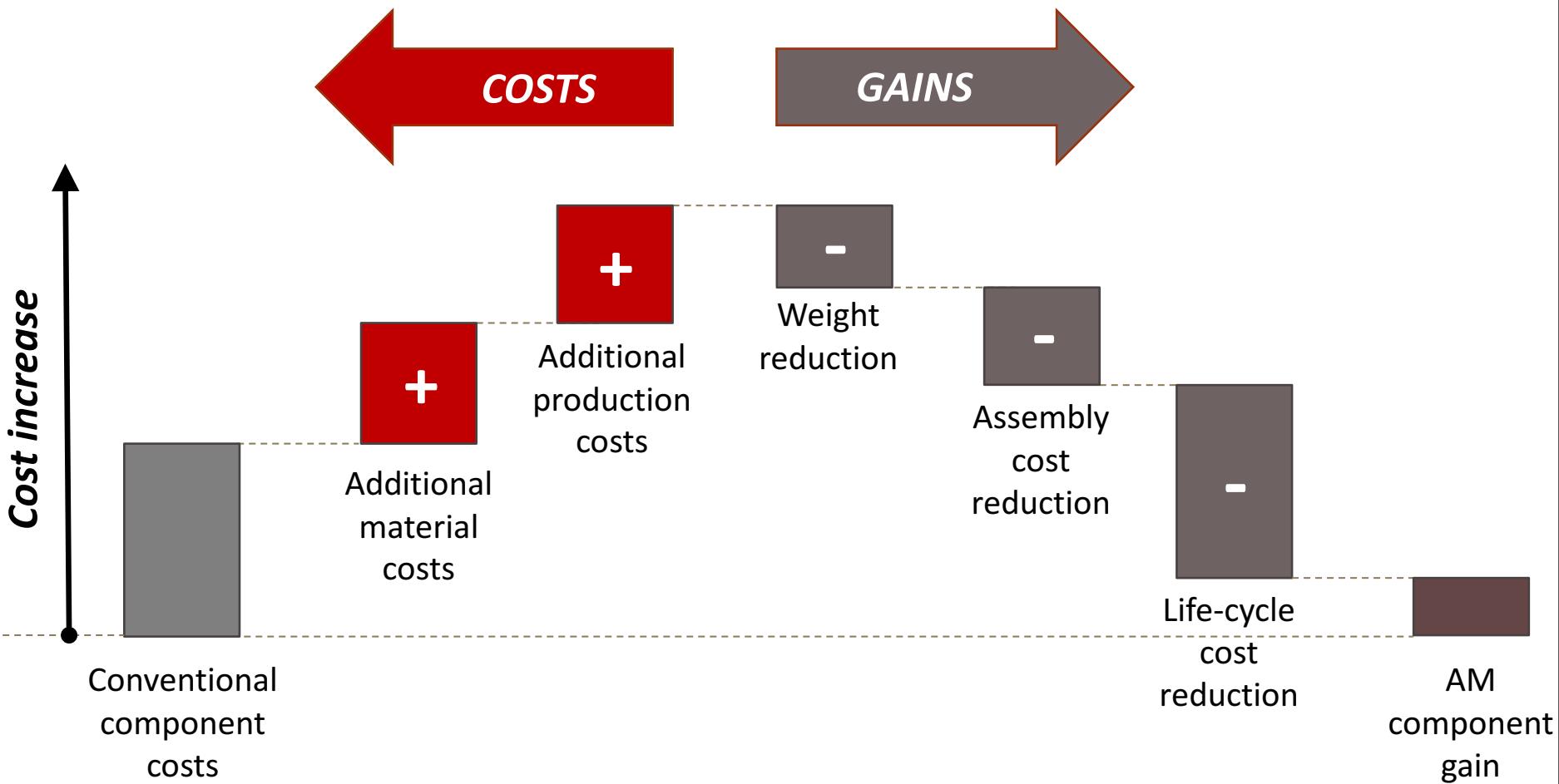
Pezzi finali

Stampi con canali di raffreddamento
conformali

La progettazione per l'AM



Costi e guadagni della fabbricazione additiva



Rapid Casting

Le applicazioni dirette e indirette di tecniche additive in fonderia sono conosciute come "Rapid Casting".

Campi di applicazione:

- colata in sabbia;
- pressocolata;
- microfusione

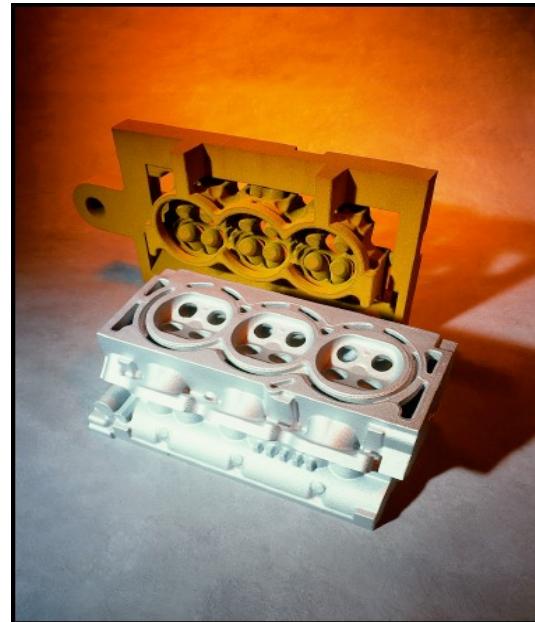
Rapid Casting – colata in sabbia

Sia la stampa 3D che i processi a letto di polvere (SLS) possono essere utilizzati per creare direttamente anime e tasselli in sabbia.

Uno dei vantaggi di questi approcci diretti è che possono essere realizzate anime a geometria complessa che sarebbero molto difficili da fabbricare utilizzando qualsiasi altro processo.

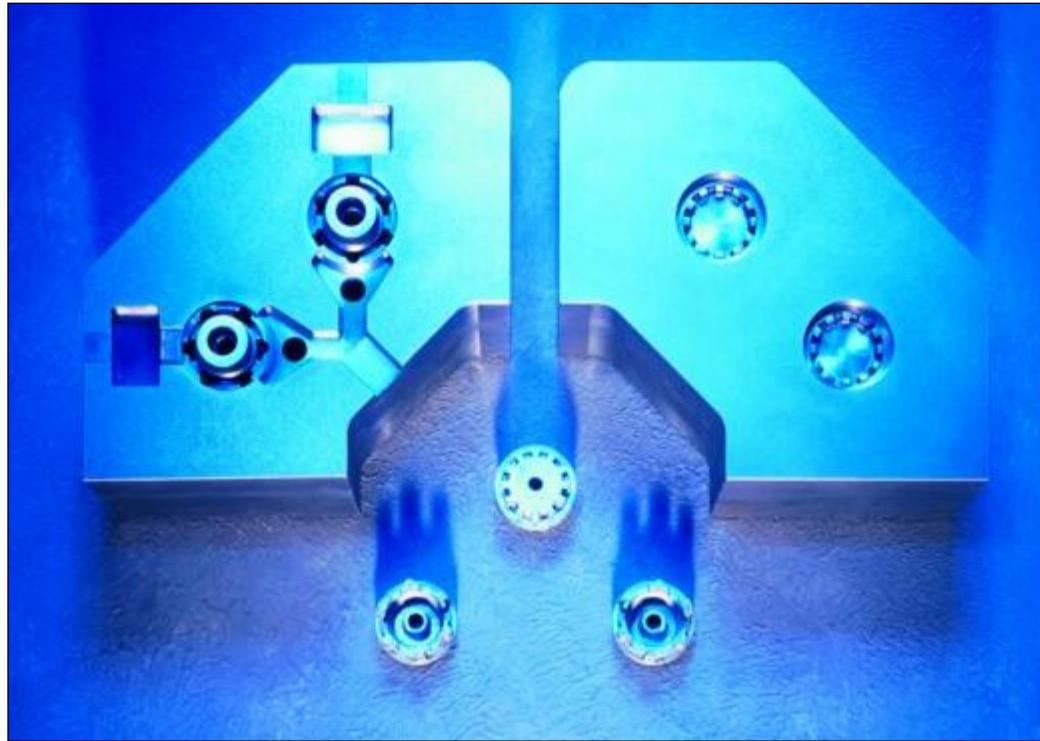


SLS - EOS

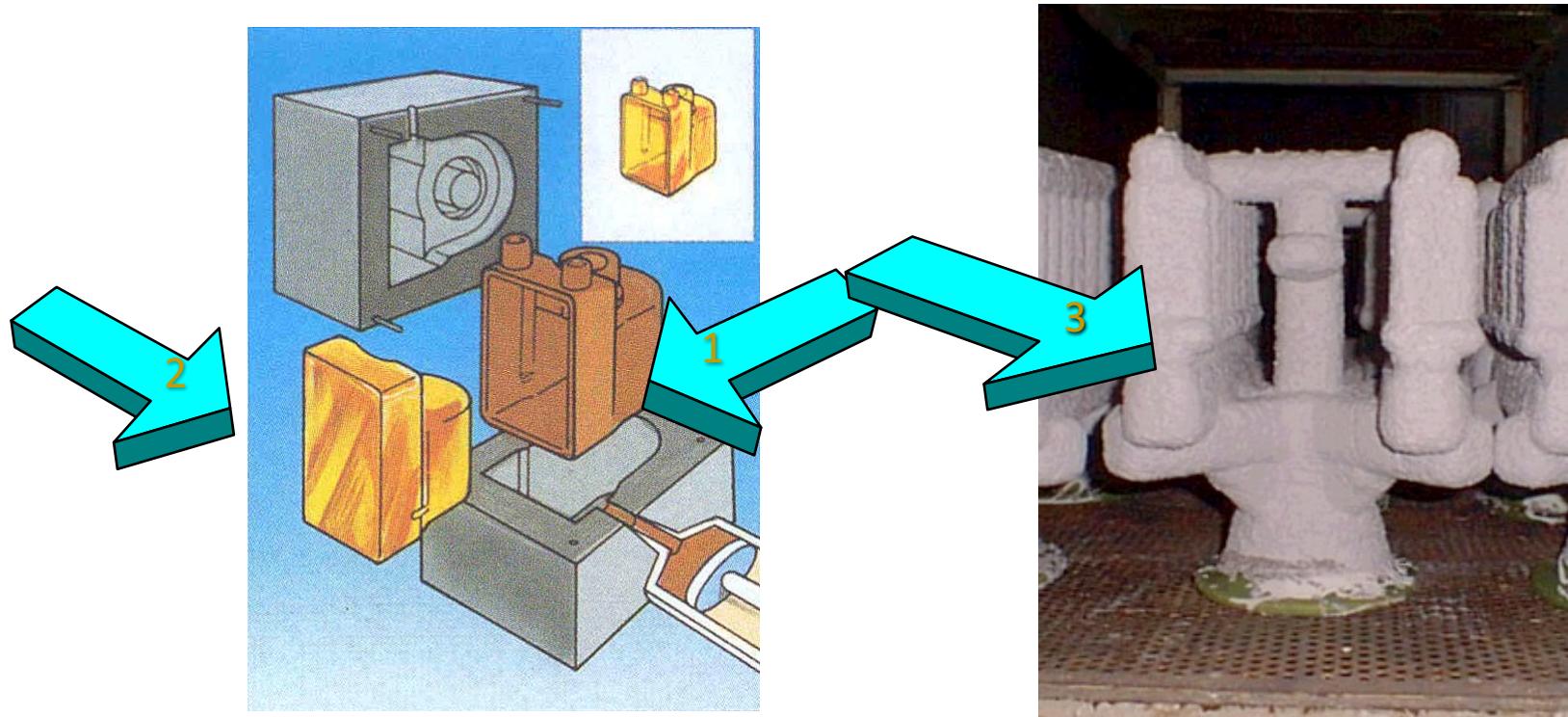


Rapid Casting – pressocolata

Gli stampi in metallo (inserti) per la pressocolata possono essere realizzati con tecnica AM e quindi utilizzati per fabbricare i prodotti finali



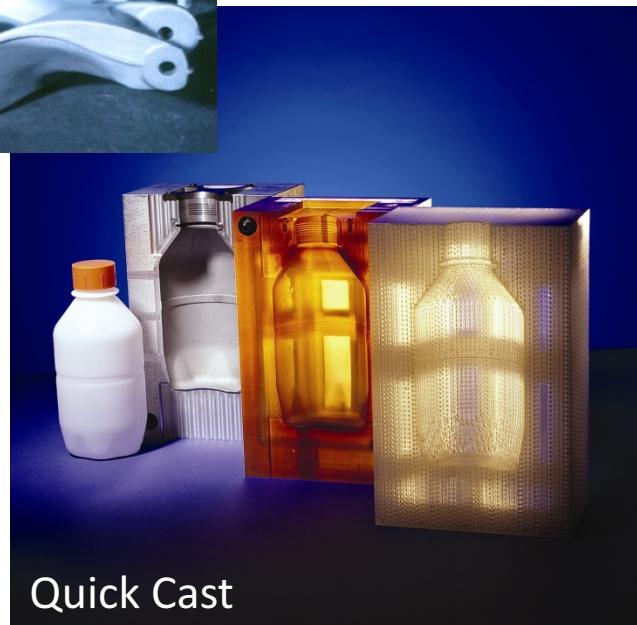
Rapid Casting – microfusion



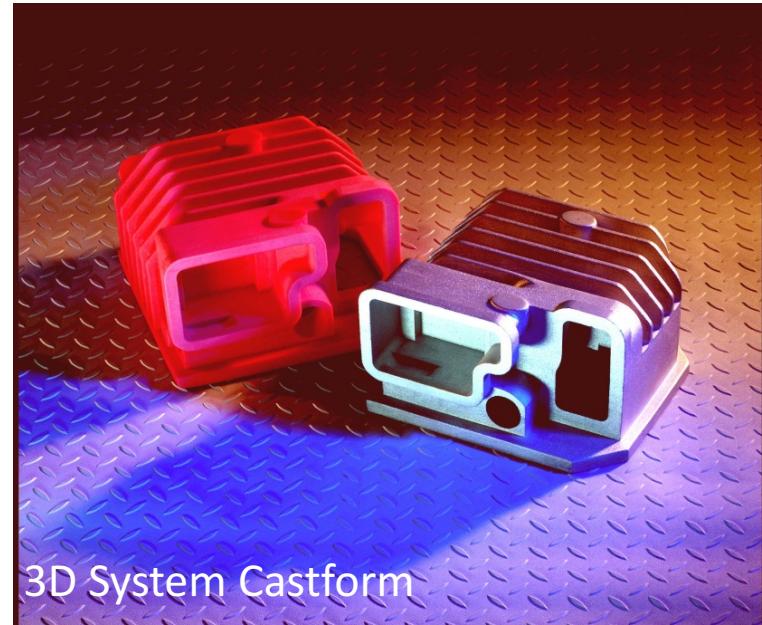
Rapid Casting – Microfusion



Nel caso della microfusione, il modello AM verrà dissolto durante la lavorazione. Si può creare direttamente il grappolo, oppure i singoli modelli da collegare al bastone centrale (non AM) per ottenere il grappolo.

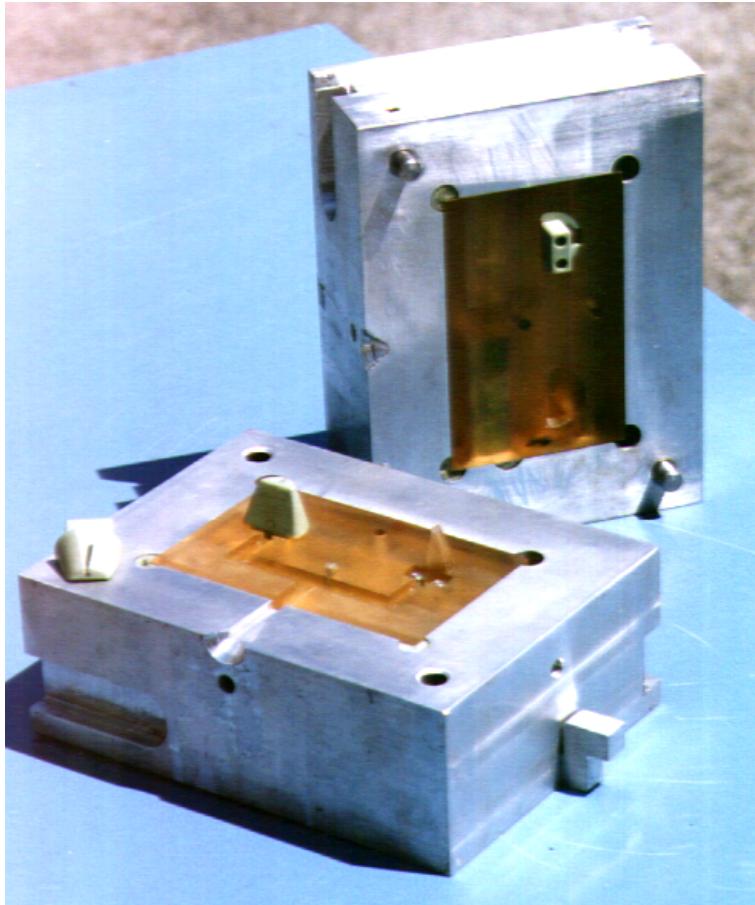


Quick Cast



3D System Castform

Rapid Casting – Microfusione



Mould of epoxy resin (SLA)

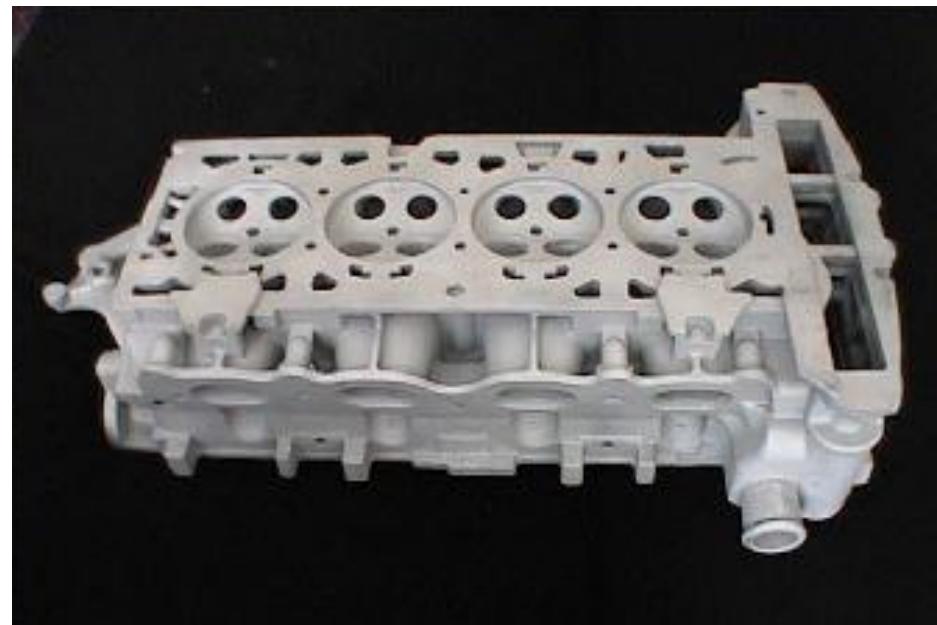


Mould of brass-nickel (SLS)

Rapid Casting – microfusione



Ceramic shell (3DP)



Cast part

Rapid Tooling

Tecniche dirette e indirette applicate alla realizzazione di utensili per la produzione pre-serie.

- *Soft-tooling*: per basse produzioni (stampi in gomma siliconica, resina epossidica, leghe a basso punto di fusione)
- *Hard-tooling* > 10000 parti (stampi in metallo)

Direct Rapid Tooling

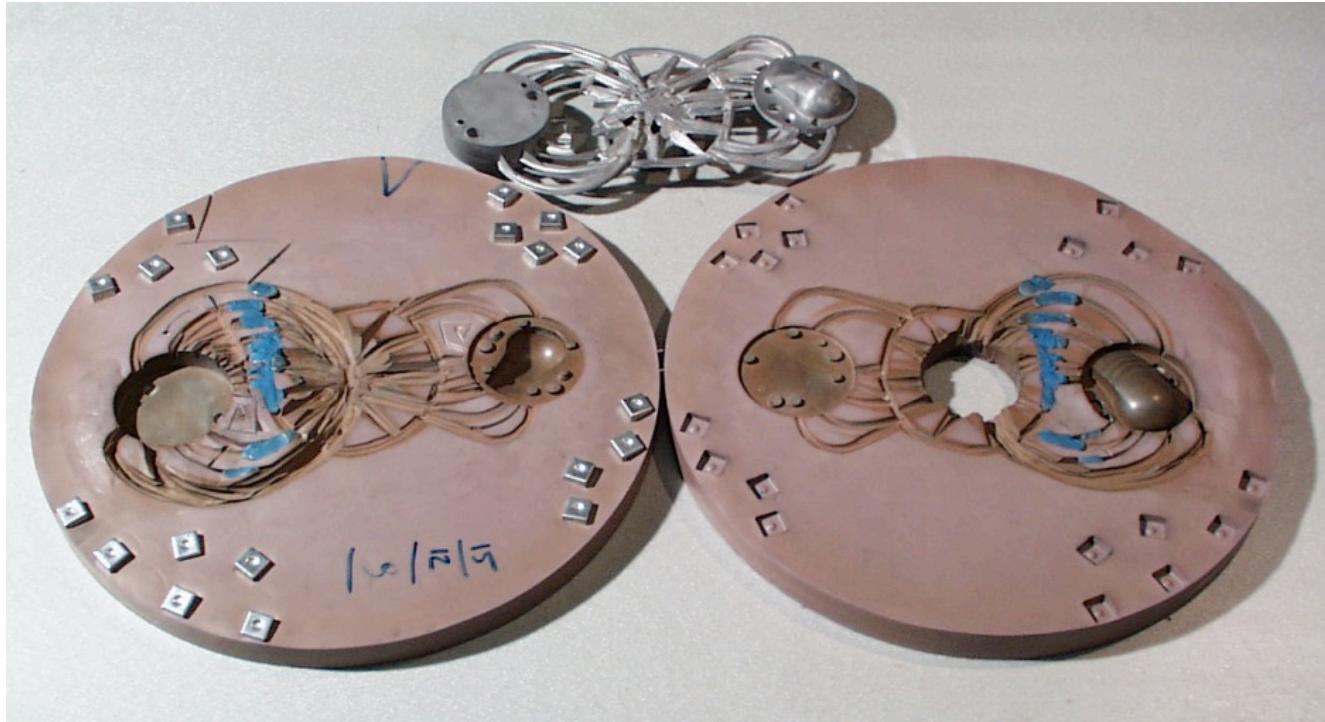
- Le tecniche additive possono essere utilizzate per fabbricare direttamente gli inserti per stampi a iniezione. Questa applicazione è nota come rapid tooling (RT), soprattutto perché l'aspetto di risparmio di tempo è importante.



Mold insert

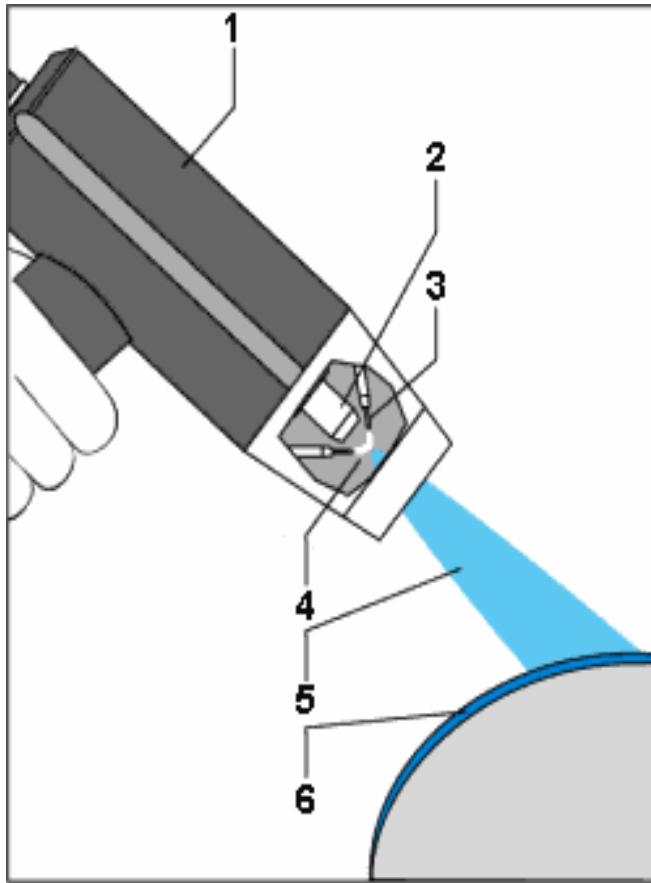
Indirect Rapid Tooling

La Rapid Tooling indiretta viene utilizzata per creare una PARTE indirettamente attraverso l'uso di un modello fabbricato in modo additivo



Silicon rubber mould

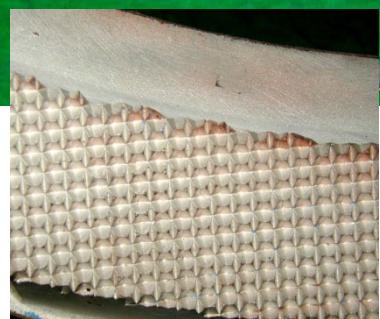
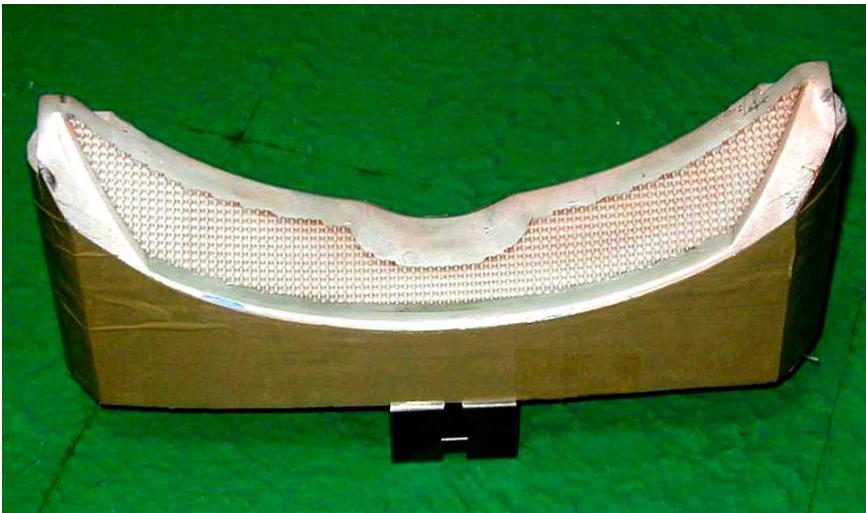
Indirect Rapid Tooling



Metal spray



Indirect Rapid Tooling

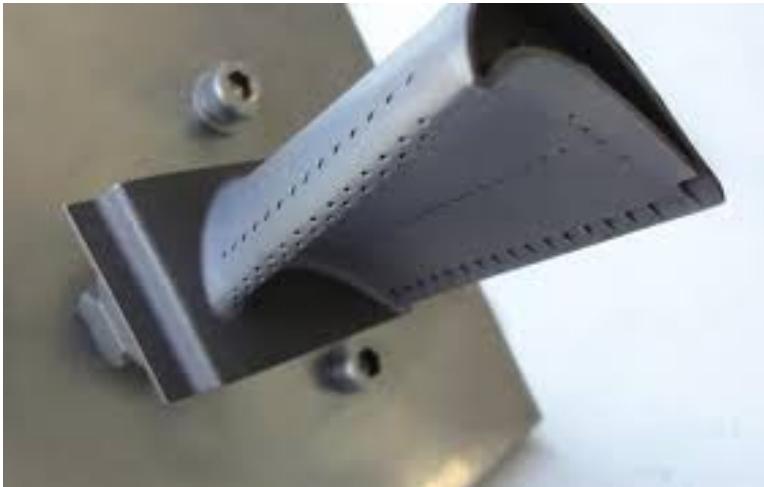


Electroforming

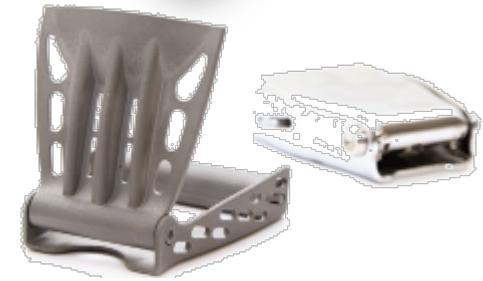


Esempi

Aerospace



Air duct of flame retardant plastic



Medical and Dental



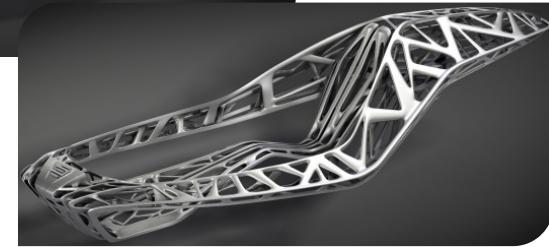
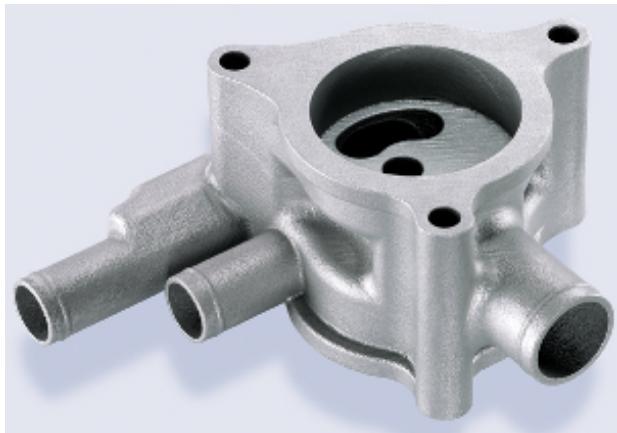
*Image courtesy of
ARCAM AB*



Image courtesy of EOS GmbH



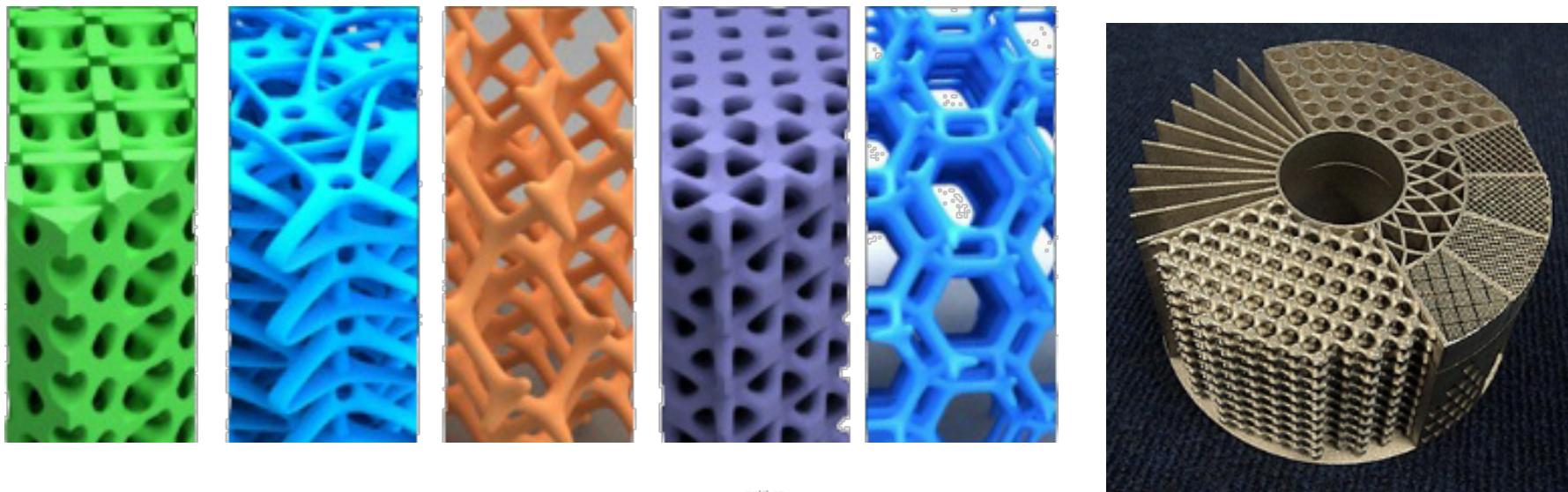
Automotive



Jewelry



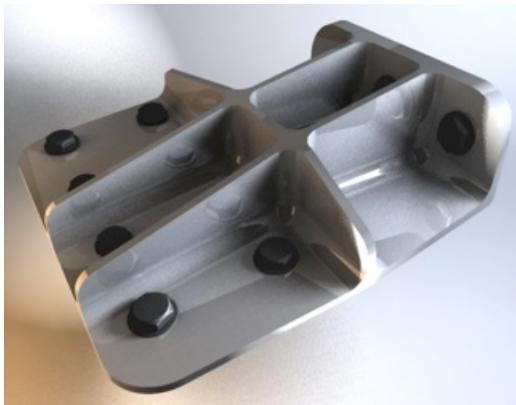
Lattice Structures and Filters



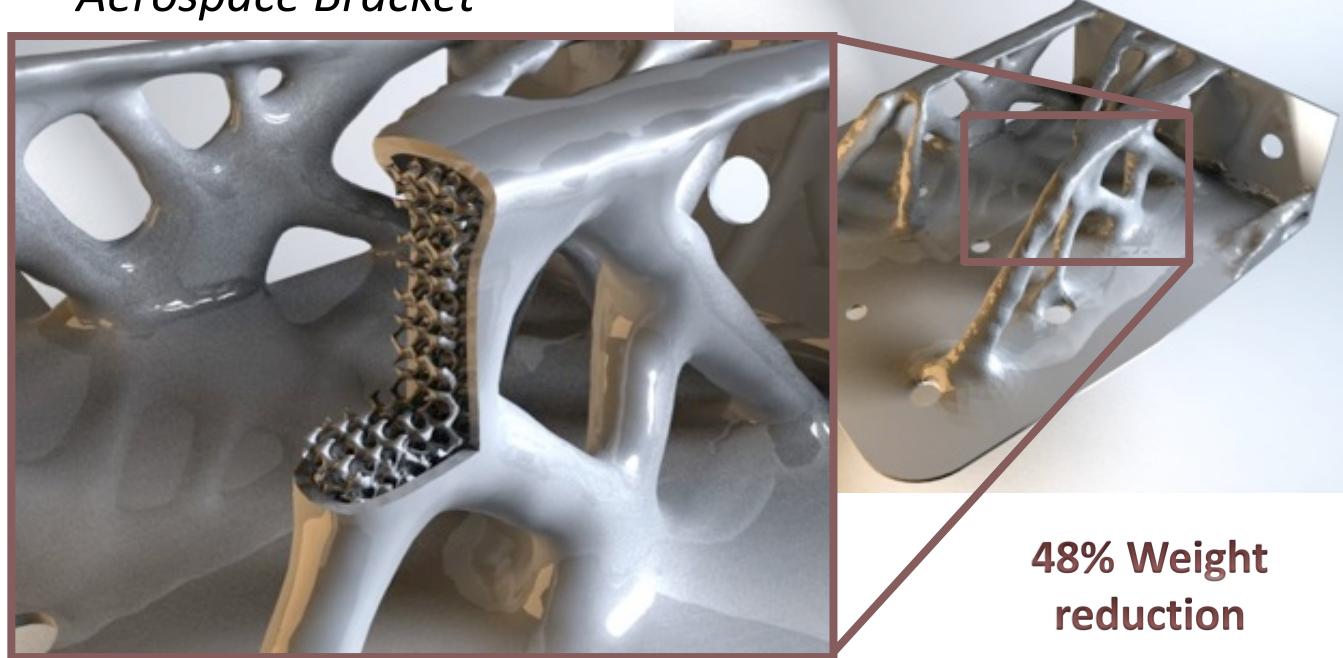
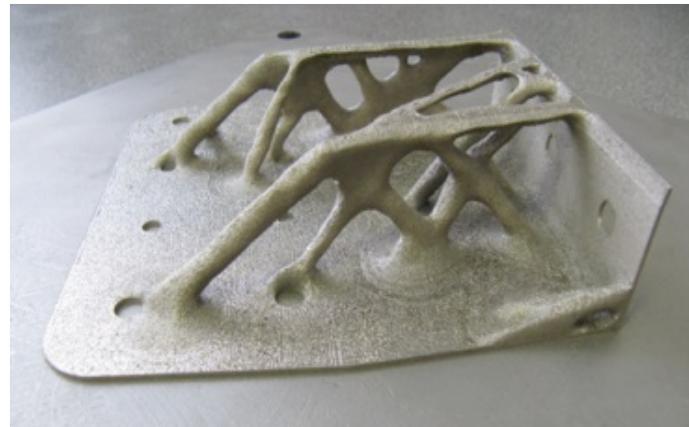
Living Hinges and Assemblies



Design from Biological Structures

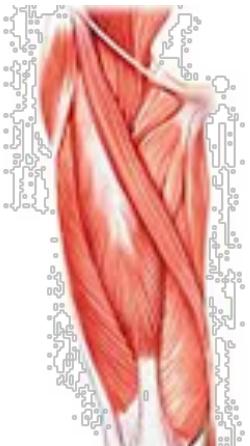


Aerospace Bracket

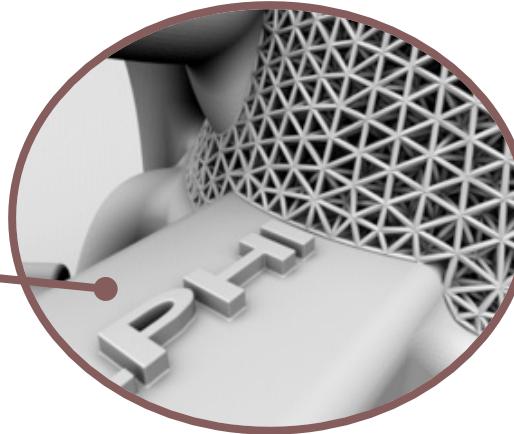
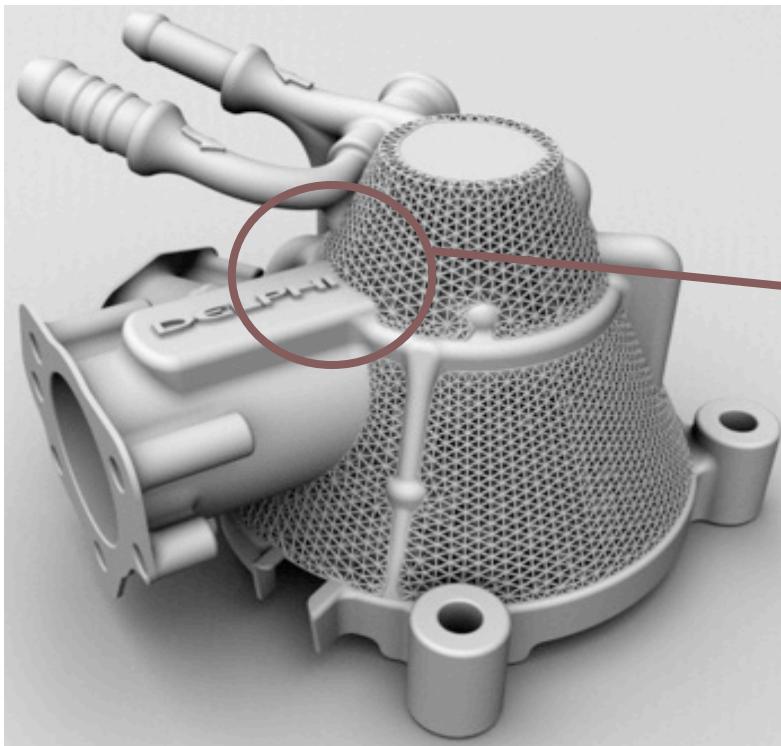


**48% Weight
reduction**

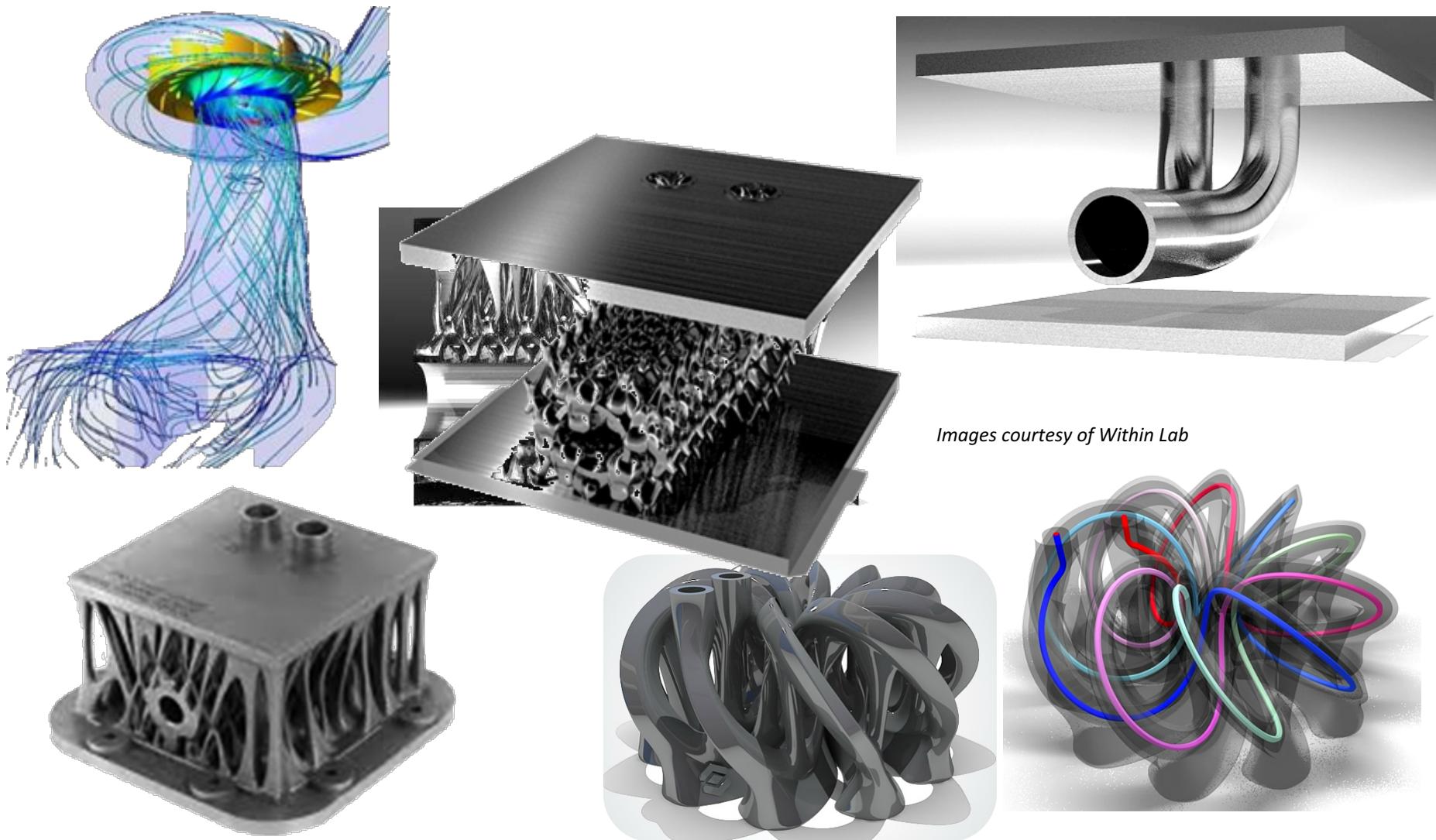
Additive Manufacturing



Optimisation of Heat Exchangers and Dissipation Surfaces



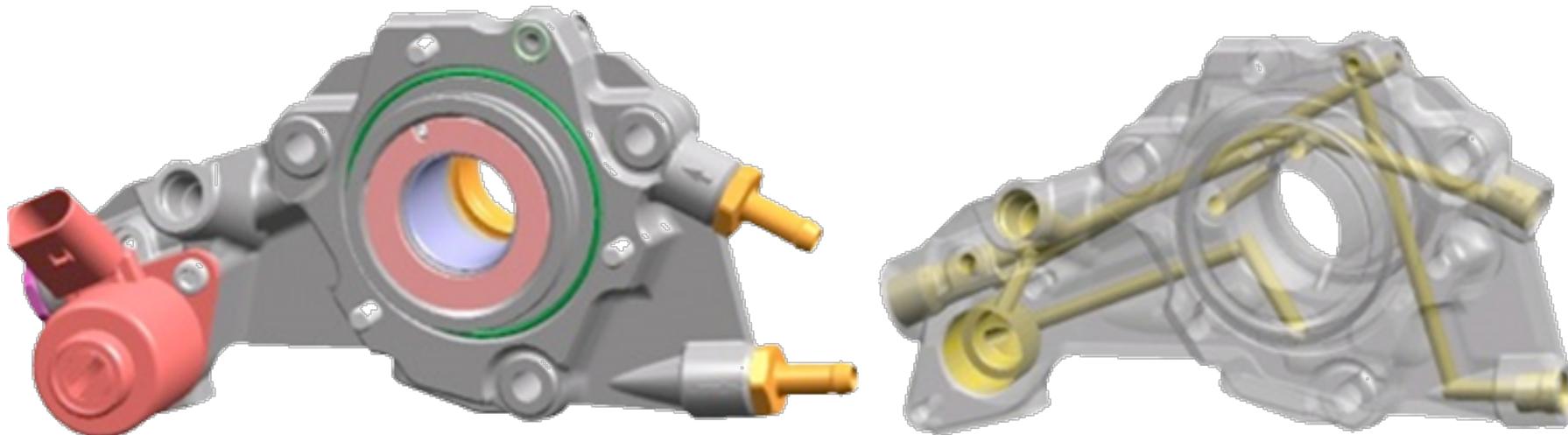
New Opportunities for Fluid Dynamics



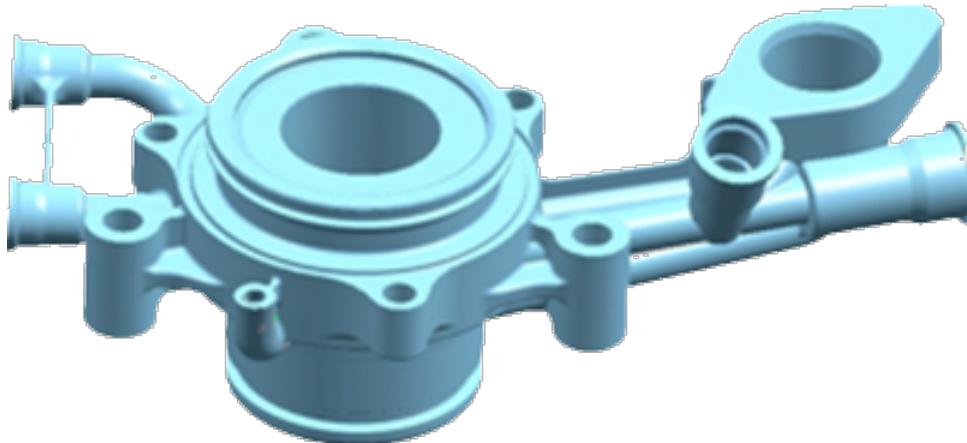
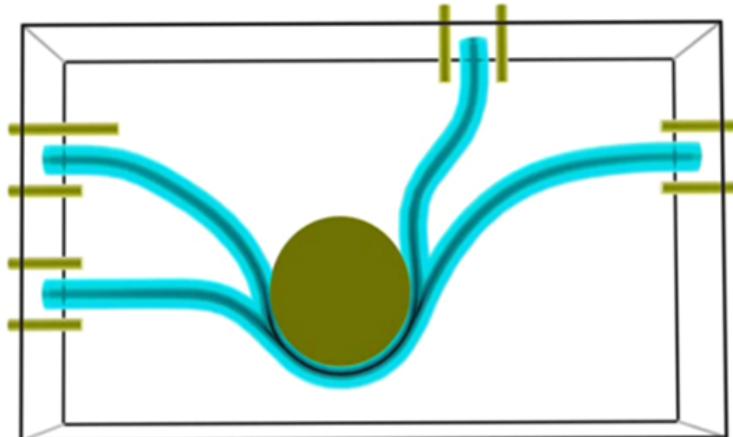
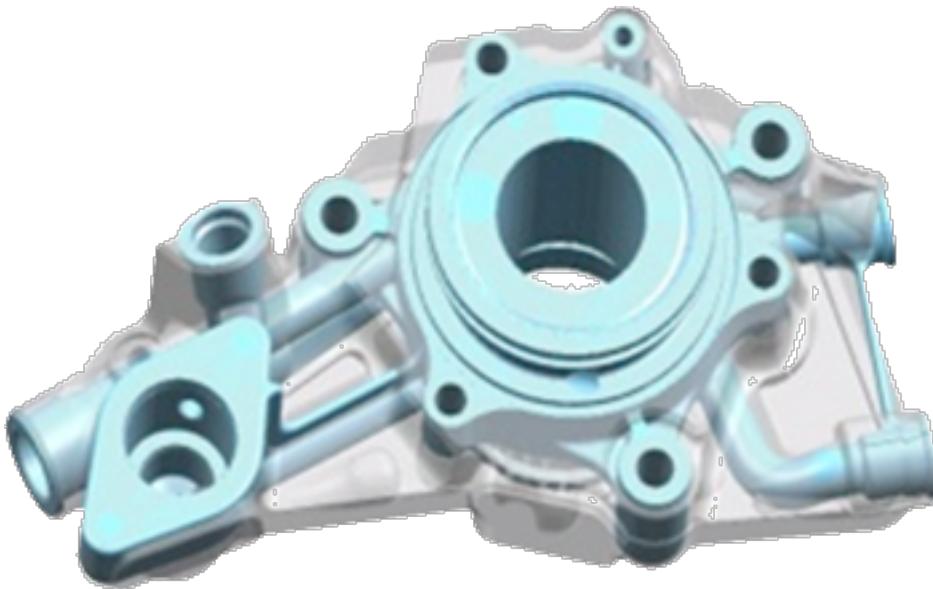
Additive Manufacturing

Example of Delphi Diesel Pump

- Conventional product manufactured by cross drilling an aluminium die casting
- Multiple machining operations
- Multiple post processing operations
(chemical deburring, hole blanking, pressure testing)
- Final product prone to leakage

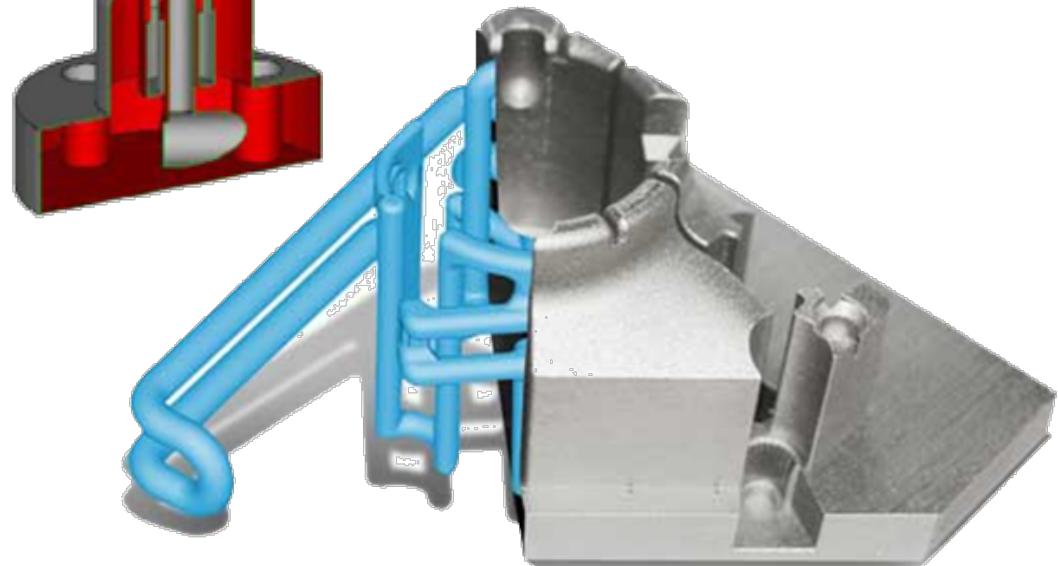
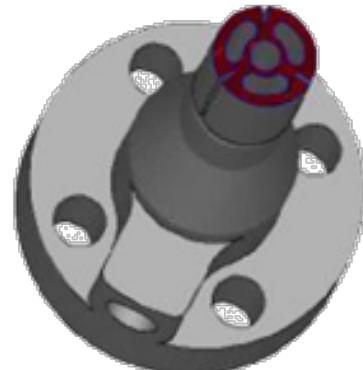


New Conceptual Design



Conformal Cooling

Cooling water flows up through outer channels and back down through the central channel

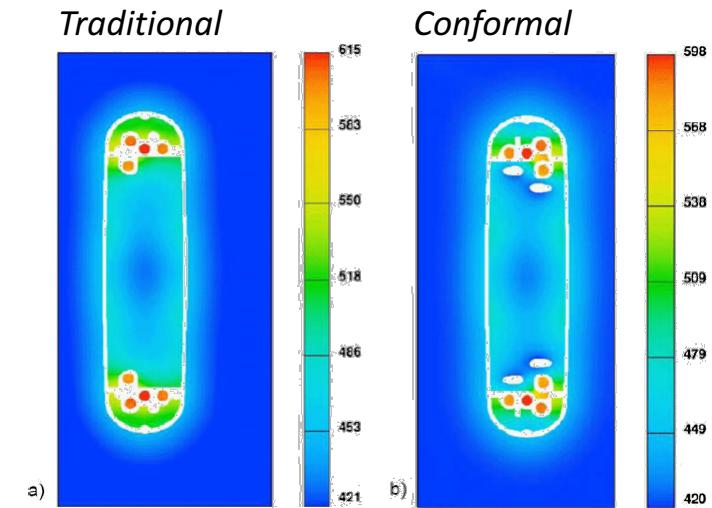
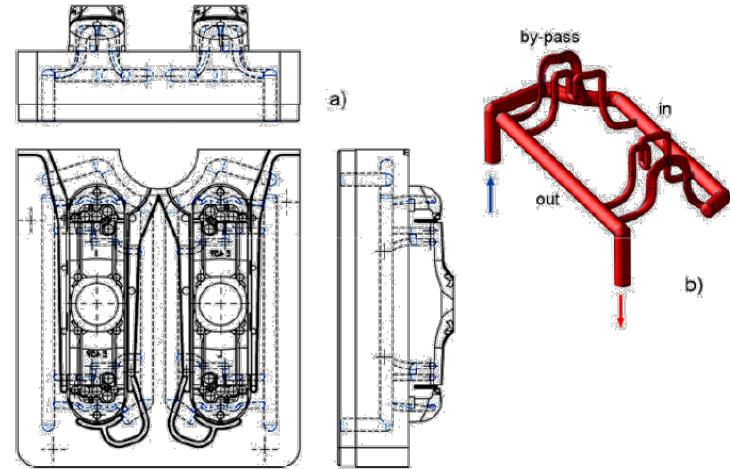


Conformal Cooling – Applicazioni

- Riduce sostanzialmente i tempi ciclo
- Migliora la qualità della parte
- Riduce le sollecitazioni e le deformazioni
- Riduce il tempo di messa in servizio del nuovo stampo
- Sostenibilità
- Energia e consumo di materiali ridotti



Metal die casting example



Conformal Cooling – Profits

	Traditional Cooling	Conformal Cooling	
Mold cavities	4	4	
Machine size	500 tons	500 tons	
Cycle time	60 sec	40 sec	
Number of parts per hour	240	360	
Machine cost per hour	120 \$	120 \$	
Overheads	60 \$	60 \$	
Effective cost per part	0.75 \$	0.50 \$	- 33 %
Monthly production (20 days @ 22 hours per day)	105600 parts	158400 parts	+ 50 %

39,600 \$ saved monthly

Conformal Cooling – Profits

Cooling	Cycle time	Machine and direct labor cost	Injection Molding Mazine size	Cost per part
Traditional	128 sec	114 €/hour	1000 tons	4,05 €
Conformal	110 sec	114 €/hour	1000 tons	3,48 €

Production of 150,000 parts

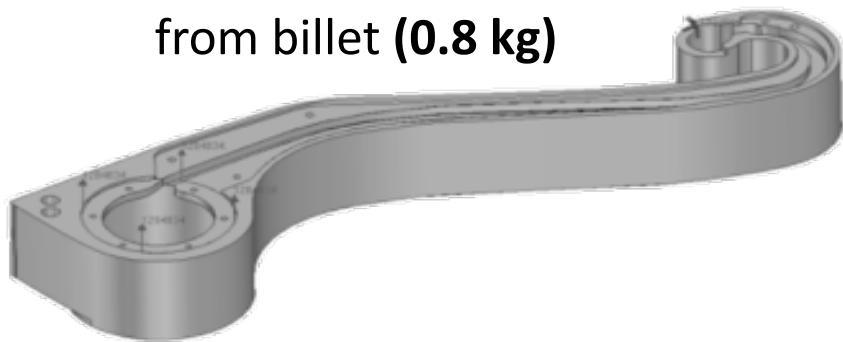
Cooling	% scraps	Molding process cost per part	Material cost per part	Waste for scraps
Traditional	3.5 %	4,05 €	7 €	58012€
Conformal	0.5 %	3,48 €	7 €	7860 €

Cost saving $(50152+85500)=135,652$ €

Freeform Design Optimisation

*Upper class monitor arm
of Aluminum*

**Scenario 1 – Machined
from billet (**0.8 kg**)**



**Scenario 2 – Lattice
structure (**0.31 kg**)**



**Scenario 3 – Load
optimised design (**0.37 kg**)**



Sostenibilità

La Fabbricazione Additiva migliora la sostenibilità economica e ambientale:

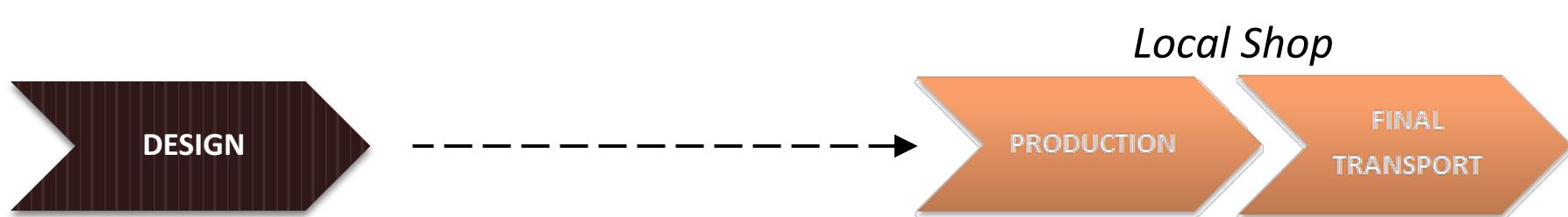
- Ridotto consumo di materie prime
- Efficienza del prodotto ottimizzata
- Componenti alleggeriti
- Ridotto impiego di attrezzature
- Investimenti e scorte ridotti
- *Supply chain* efficiente e nuovi modelli di vendita al dettaglio
(Semplificati e con tempi di consegna ridotti)



Supply Chain – Produzione su richiesta



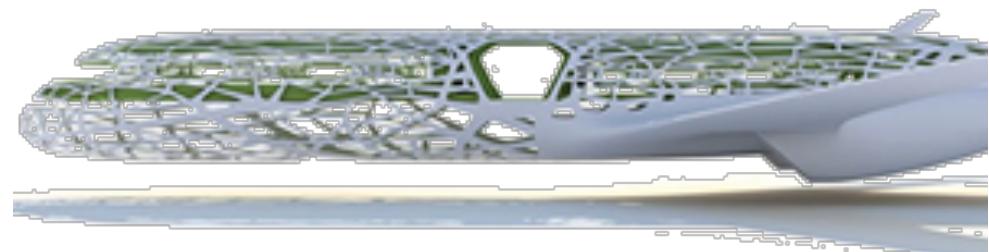
- Logica *pull*
- Produzione distribuita
- Assenza di magazzini
- Produzione al punto di consegna, minori *lead times*



Quale futuro?

Negli ultimi anni si è assistito a :

- Esplosione di stampanti 3D a basso costo
 - Definizione di standards, che accrescono l'accettazione da parte dei clienti
 - Sviluppo di software di modellazione 3D a basso costo e di semplice utilizzo
 - Accessibilità a librerie di parti (a medio termine)
- ⇒ La capacità di stampa a basso costo favorirà le tecnologie additive ad alto costo
- ⇒ Ampliare la base di conoscenza favorirà nuove applicazioni



Conclusioni

- La fabbricazione additiva riduce i tempi e i costi di sviluppo prodotto dalla fase di progettazione a quella di produzione anche perché non occorrono investimenti per la produzione delle attrezzature.
- Tuttavia il vantaggio va oltre il solo risparmio per le attrezzature grazie alla libertà delle forme e alla possibilità di iniziare la produzione immediatamente dopo la progettazione.
- L'analisi dei costi evidenzia come a oggi l'incidenza principale sul costo del pezzo nella fabbricazione additiva sia imputabile alla macchina;
- Non appena le tecnologie additive si diffonderanno ulteriormente e diventeranno processi produttivi comuni, sarà logico supporre una diminuzione del costo dei macchinari e di conseguenza, nel prossimo futuro, il punto di pareggio si sposterà verso volumi produttivi maggiori di quelli attuali

Conclusioni

- La convenienza nell'adozione della fabbricazione additiva è evidente se la libertà delle forme viene capitalizzata attraverso un'opportuna progettazione (DFAM), in maniera tale da sfruttare a pieno le potenzialità della tecnologia additiva.
- La sinergia con l'analisi CAE consente di riprogettare un componente ottimizzando il rapporto resistenza/peso con l'ottica di diminuire il peso e la quantità di materiale utilizzato, rispettanto nel contempo i requisiti funzionali.
- Tecnologia **"GREEN"** da integrare con le tecnologie convenzionali;
- Necessità di una **"nuova logistica"** interna ed esterna;
- Necessità di **"formazione specialistica"** del personale.

Prossimi sviluppi

Parametro	Trend	Aspetti principali
Volume di lavoro	↗	<ul style="list-style-type: none">I limiti sull'affidabilità del processo conterranno l'aumento di volume della camera
Velocità di costruzione	↑	<ul style="list-style-type: none">Ottimizzazione della strategia di costruzione (spessori degli strati diversi)Parallelizzazione del processo (erogazione polvere e fusione)Maggiore stabilità di processo (sistemi di monitoraggio online)
Costi delle macchine	↗	<ul style="list-style-type: none">L'aggiunta di dispositivi elettronici per il controllo di processo e di qualità, così come il numero di laser alza il prezzo della macchina, in parte compensato da un'economia di scala
Costi dei materiali	↘	<ul style="list-style-type: none">I prezzi della polvere fissati dai fornitori di sistemi FA non riflettono i costi di produzioneCon l'aumento del volume di mercato , i produttori di polveri metalliche venderanno direttamente ai clienti finali
Manodopera	↘	<ul style="list-style-type: none">Sistemi più affidabili ridurranno la manutenzioneSistemi automatici per la rimozione di polvere in eccesso