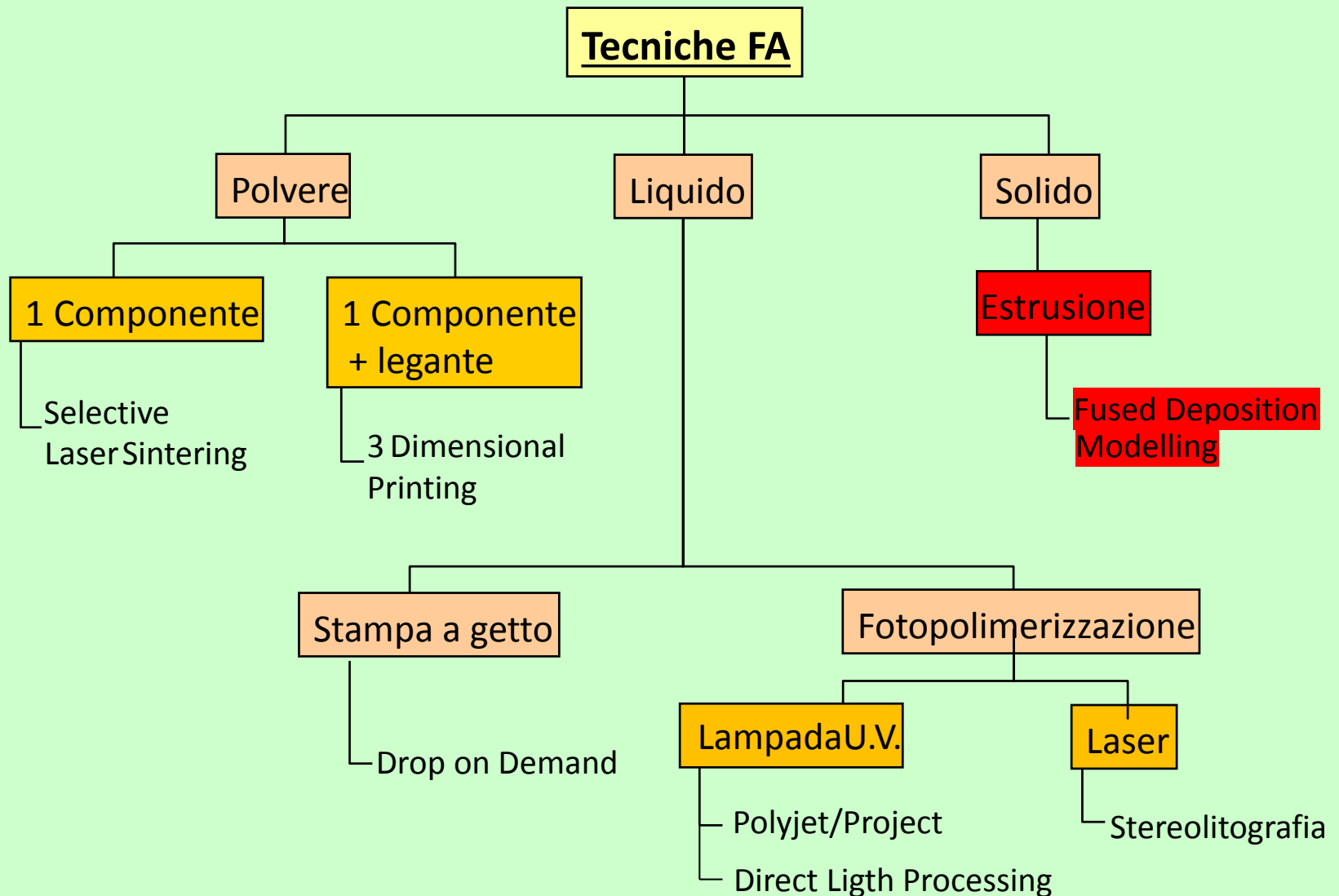


## **Tecniche di Additive Manufacturing per polimeri**

*Prof. Luca Iuliano*



# TECNICHE AM PER POLIMERI



# FUSED DEPOSITION MODELLING (FDM)

Produttore:

Stratasys (USA)

*La scadenza del brevetto ha portato alla diffusione delle stampanti 3D a basso costo*



Scott Crump

Fasi del processo:

Deposizione mediante estrusione

Materiale:

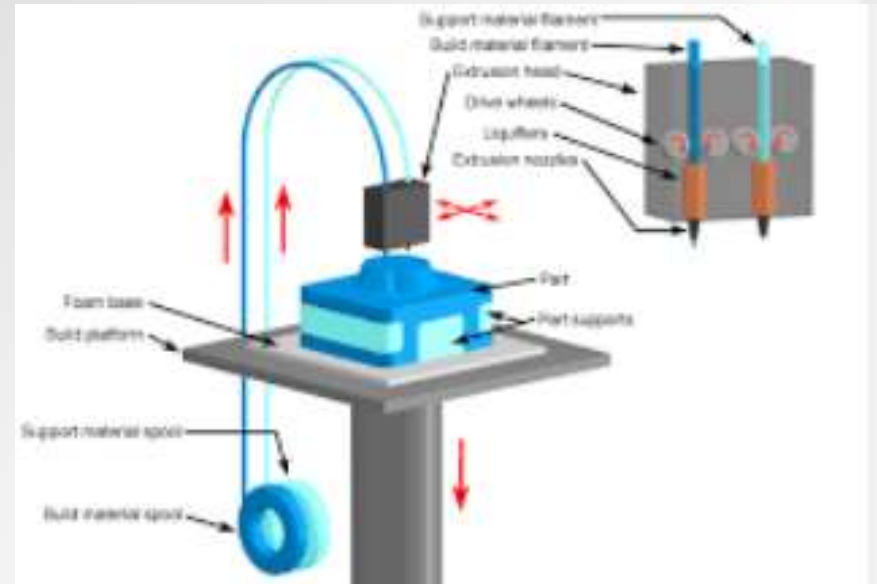
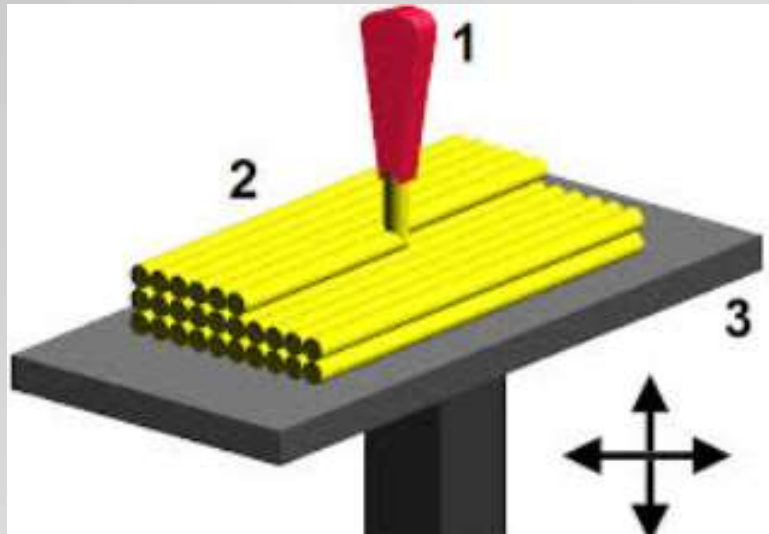
Termoplastici definitivi

Pezzo e supporto in materiali termoplastici differenti, quello di supporto può essere solubile in acqua

# **FUSED DEPOSITION MODELLING (FDM)**



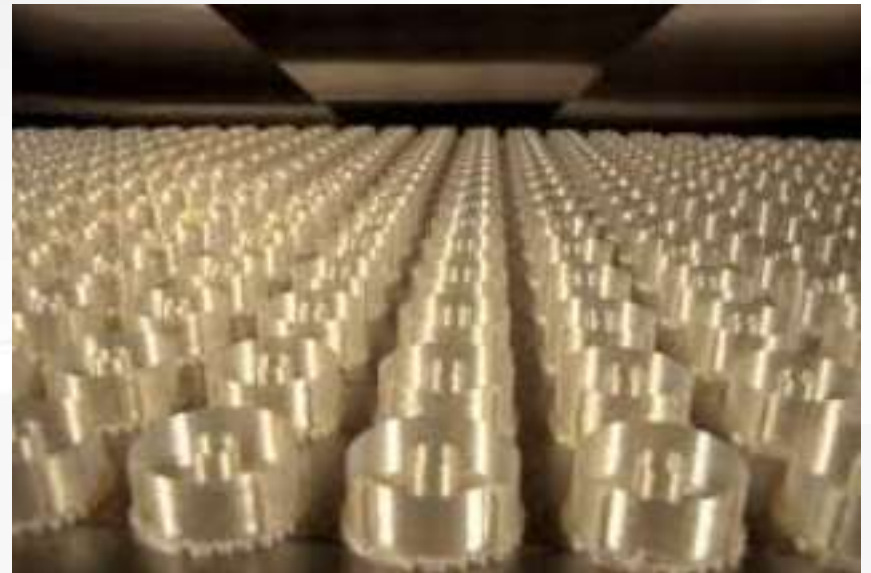
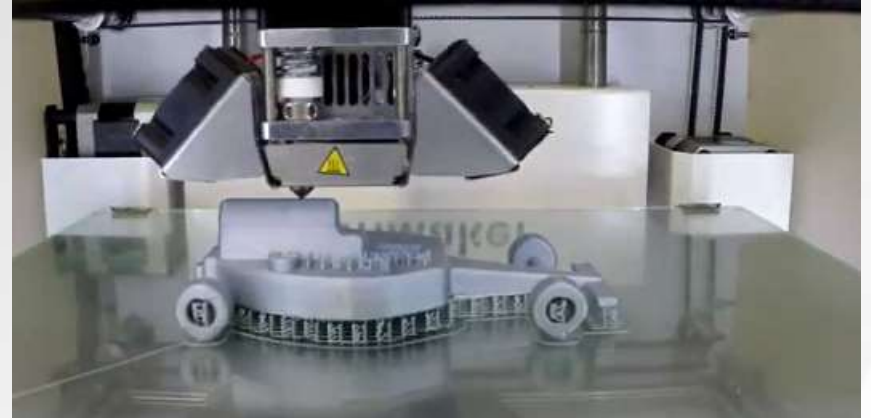
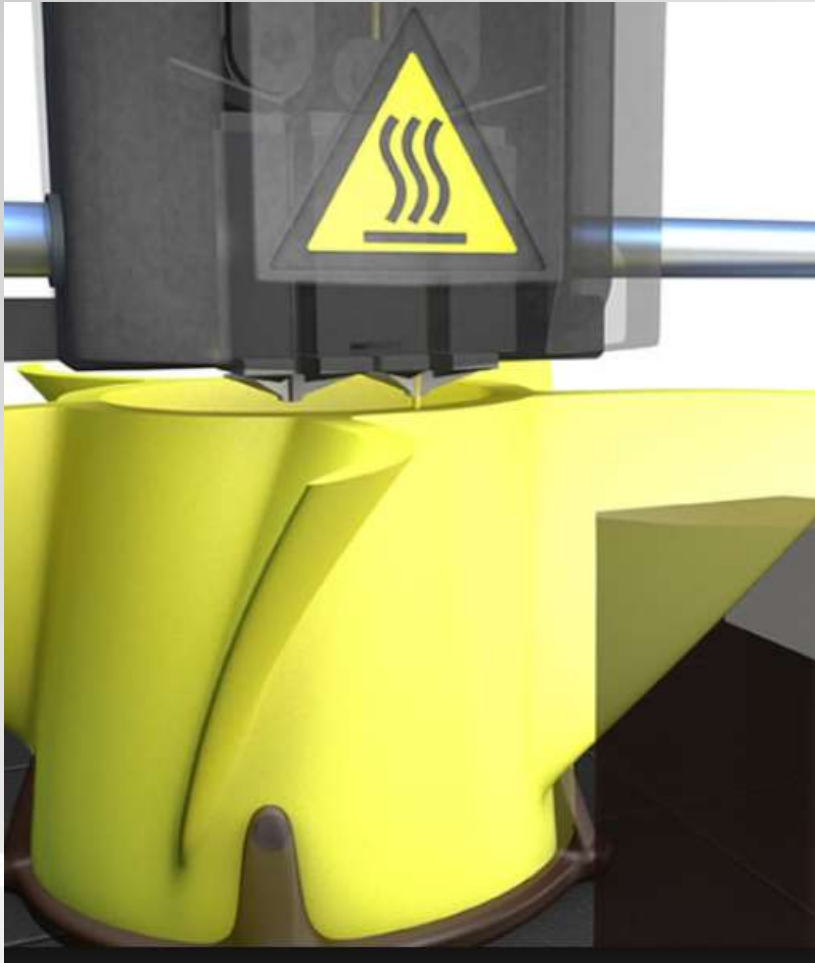
# FUSED DEPOSITION MODELLING (FDM)



- Deposizione mediante estrusione di un filamento di materiale termoplastico su una piattaforma di lavoro
- Necessità di supporti
- La piattaforma si muove lungo l'asse Z e le testine nel piano XY

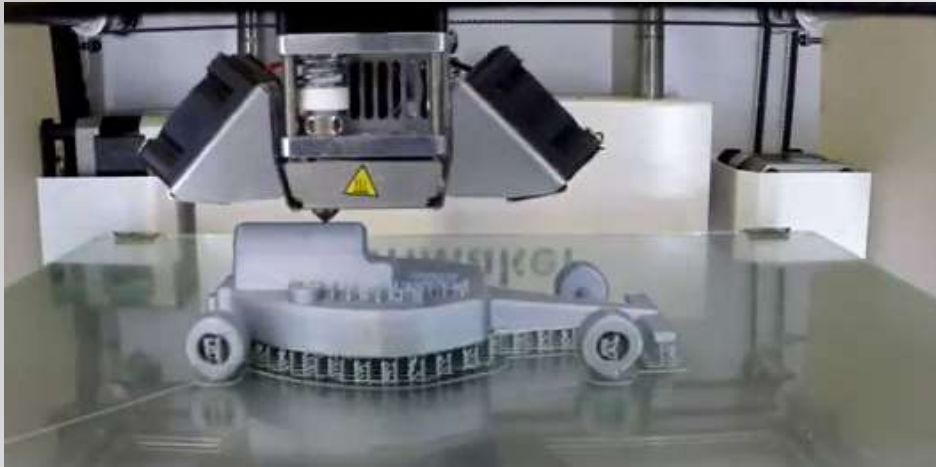


# **FUSED DEPOSITION MODELLING (FDM)**





# FUSED DEPOSITION MODELLING (FDM)



I supporti possono essere rimossi meccanicamente o sciolti in soluzione acquosa

# **FDM: LE MACCHINE**

## **Design Series**

### **Dimension Elite**



Volume di lavoro: 203x203x305 mm

Materiale: ABS (anche colorato + supporto solubile)

Spessore dello strato: 0.178 mm, 0.254 mm

Precisione: decimi di mm

### **Fortus 250mc**



Volume di lavoro: 254x254x305 mm

Materiale: ABS (anche colorato + supporto solubile)

Spessore dello strato: 0.178 mm, 0.254 mm, 0.33 mm

Precisione: decimi di mm



# **FDM: LE MACCHINE**

## **Production Series**

### **Fortus 900 mc**



Volume di lavoro: 910x610x914 mm

Materiale: tutti i termoplastici disponibili + supporto solubile)

Spessore dello strato: 0.178 mm, 0.254 mm, 0.33 mm, 0.508 mm

Precisione:  $\pm 0.0015$  mm/mm

# FDM: MATERIALI

ABSi™  
PC-ISO  
ABS-M30  
PC  
ABS-M30i  
FDM Nylon 12  
ABS-ESD7  
ULTEM 9085 resin  
PC-ABS  
PPSF  
ULTEM 1010 resin  
ASA



Termoplastici disponibili  
anche colorati

Bobine 'Intelligenti'

# **FDM: APPLICAZIONI**

- Prototipazione funzionale
- Produzione di parti definitive
- Produzione di stampi di preserie



# **FDM: APPLICAZIONI**



# *FDM: APPLICAZIONI*



Parti realizzate in FDM finite e estetizzate

# **FDM - Vantaggi**

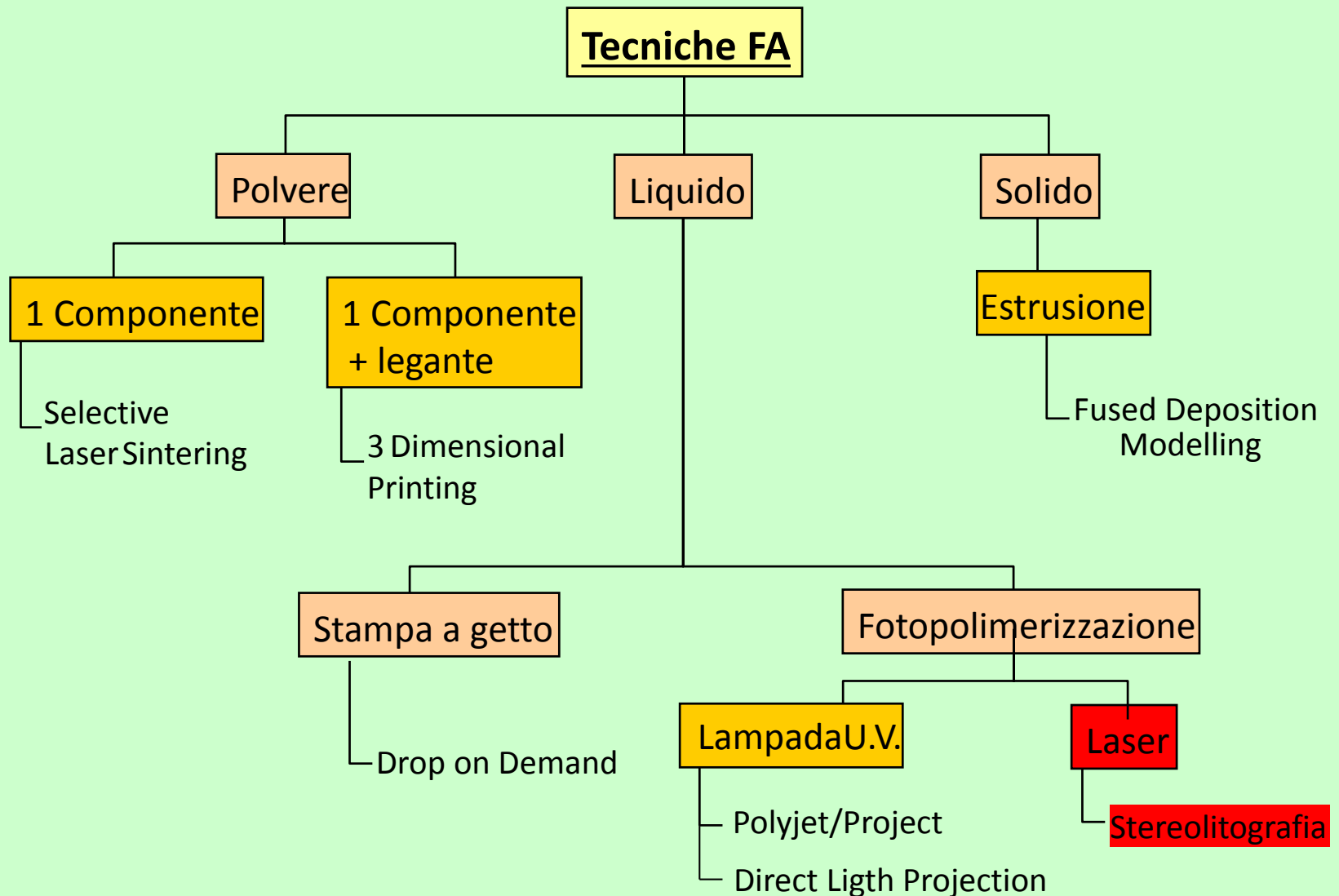
1. Tecnica di AM che assicura buone prestazioni in termini di tolleranze dimensionali e rugosità superficiali;
2. Supporti solubili in soluzione acquosa;
3. Materiali termoplastici definitivi
4. Assenza di post-trattamento
5. Assenza di vincoli per l'installazione

# **FDM - Limiti**

1. Necessità di rimozione dei supporti;
2. Impossibilità di sfruttare l'intero il volume di lavoro



# TECNICHE AM PER POLIMERI



## **TECNICHE AM PER POLIMERI**

- In analogia ai processi convenzionali per la produzione convenzionale (stampaggio a iniezione, estrusione...) il particolare prodotto non può essere lavorato alle macchine utensili ma può essere finito con tela abrasiva
- I componenti prodotti possono essere estetizzati mediante verniciatura
- Le tolleranze che si ottengono sono analoghe a quelli dei particolari realizzati con tecniche convenzionali
- Le rugosità sono superiori e spesso richiedono la finitura manuale sulle superfici a vista

# STEREOLITOGRAFIA

Produttore:  
3D Systems (USA)

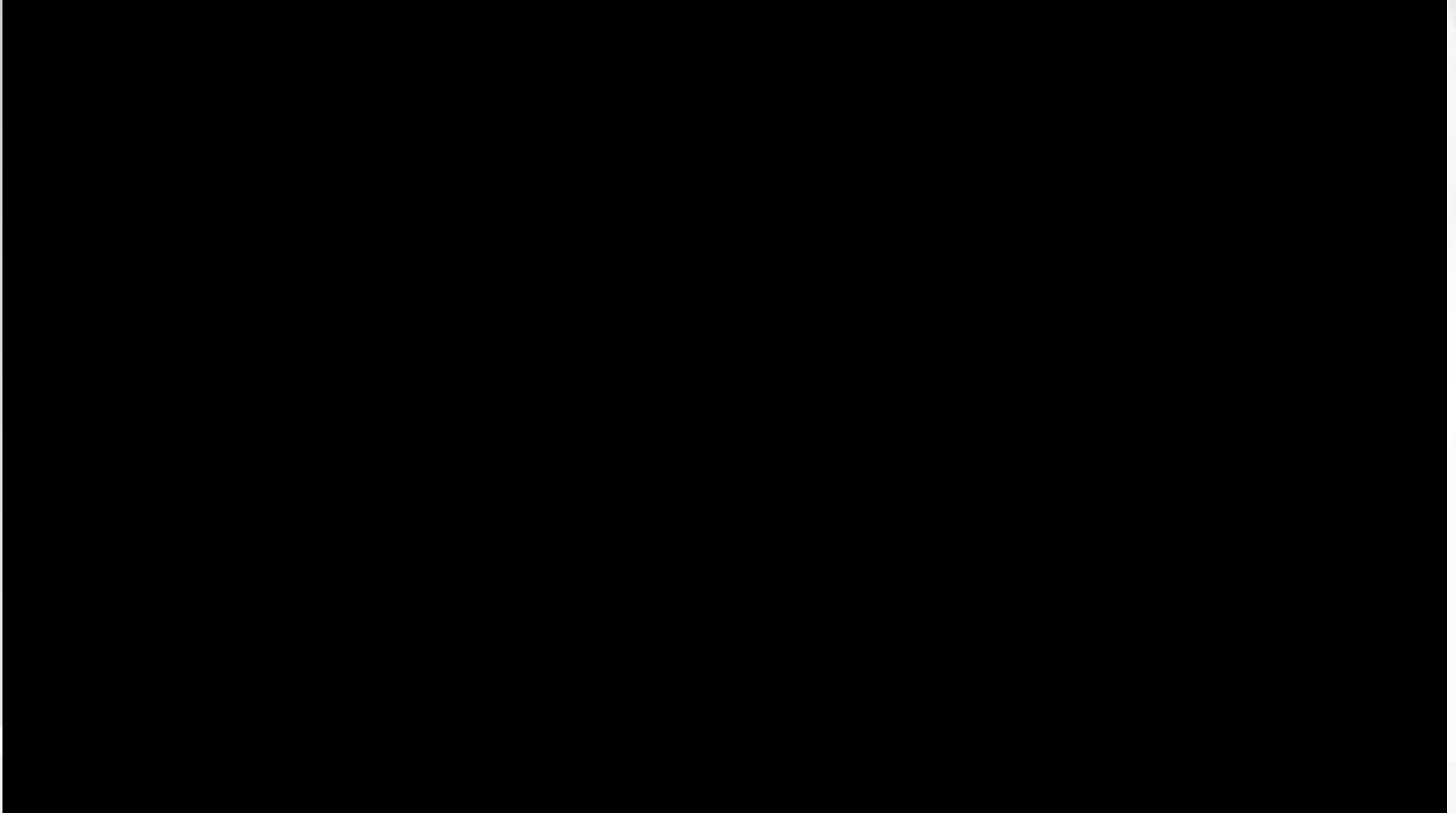


Materiale:  
Fotopolimero (resina termoidurenti  
su base epossidica, acrilica, vinilica )

Fasi del processo:

1. Trattamento con il laser (green –part);
2. Post-trattamento in forno UV (red-part)

# **STEREOLITOGRAFIA**

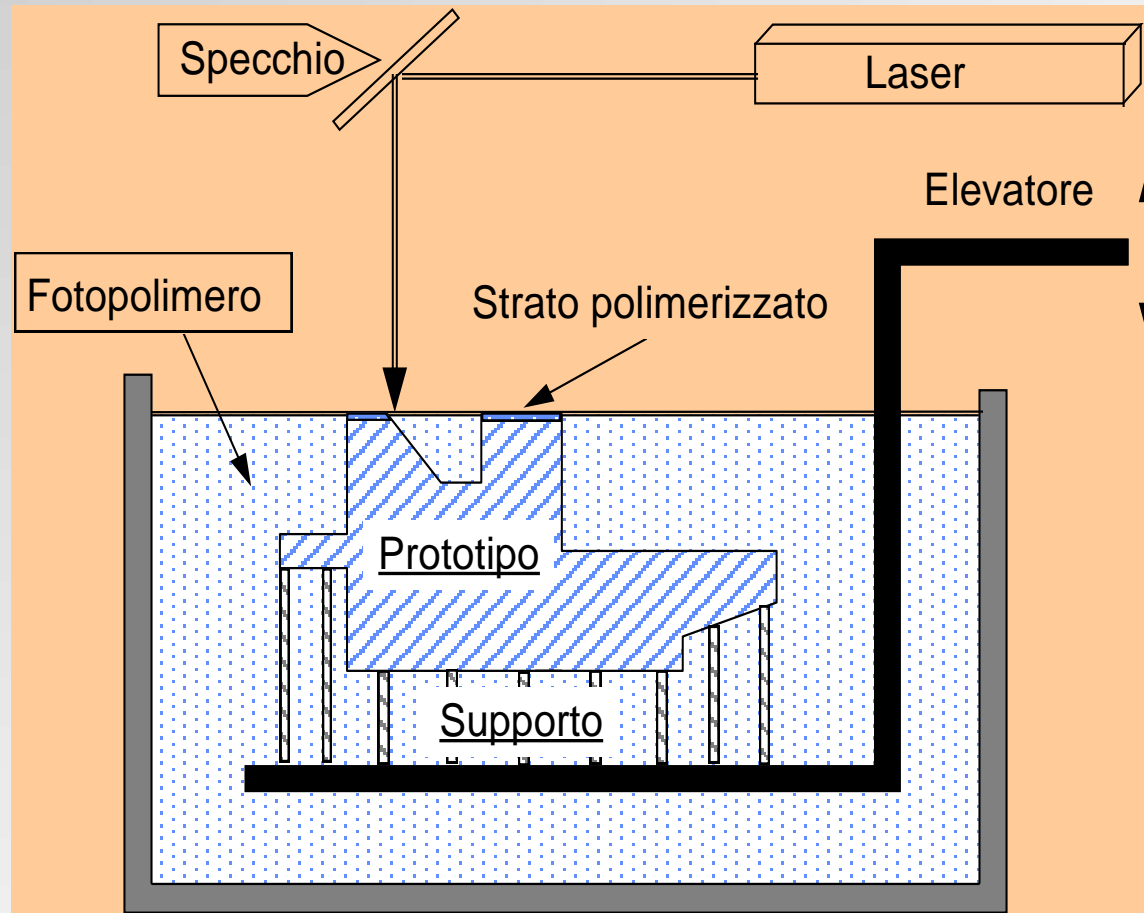


# STEREOLITOGRAFIA



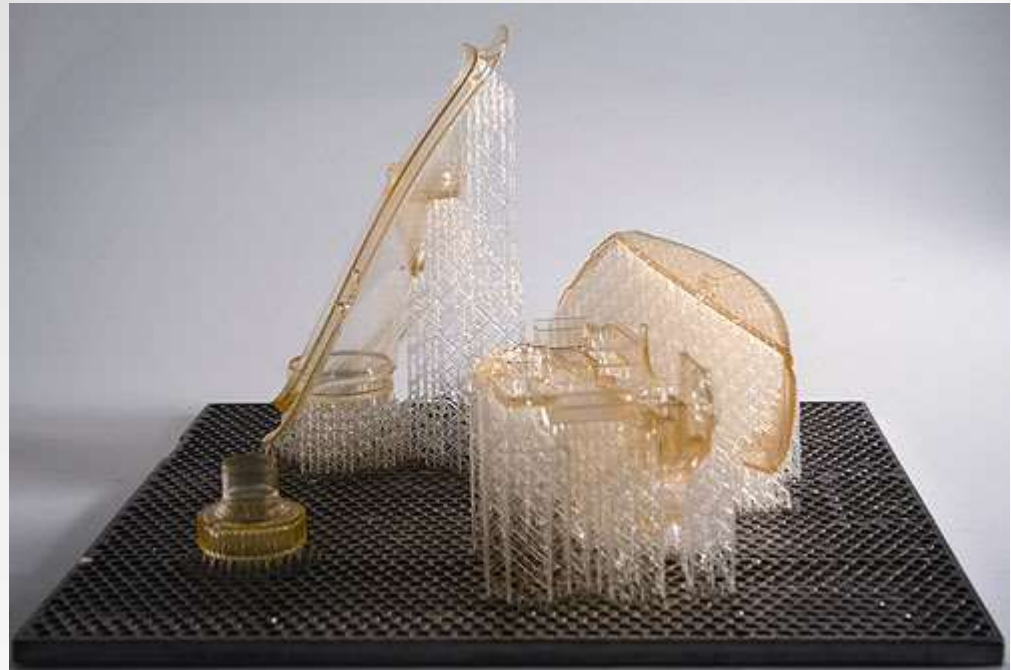
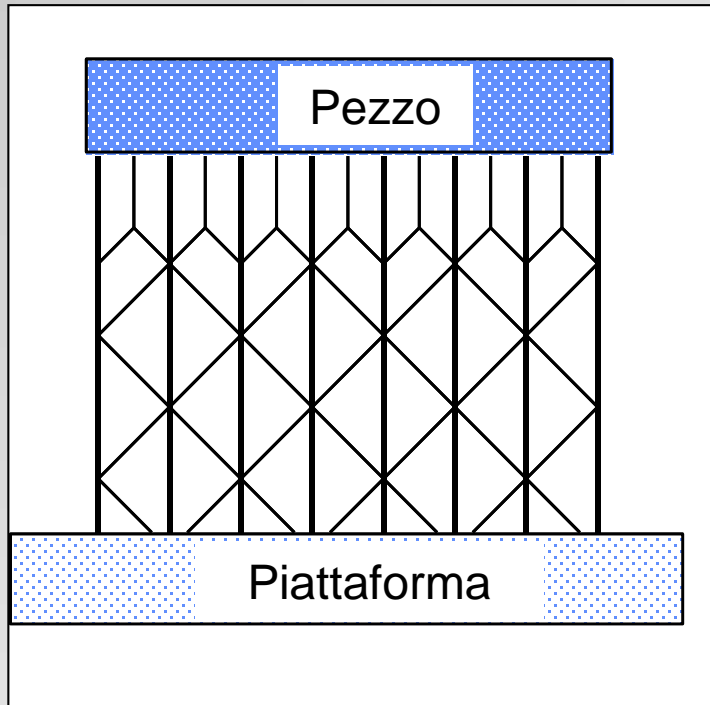
SLA 1: il primo stereolitografo prodotto da 3D Systems nel 1987

# STEREOLITOGRAFIA



Trattamento con il laser (green-part)

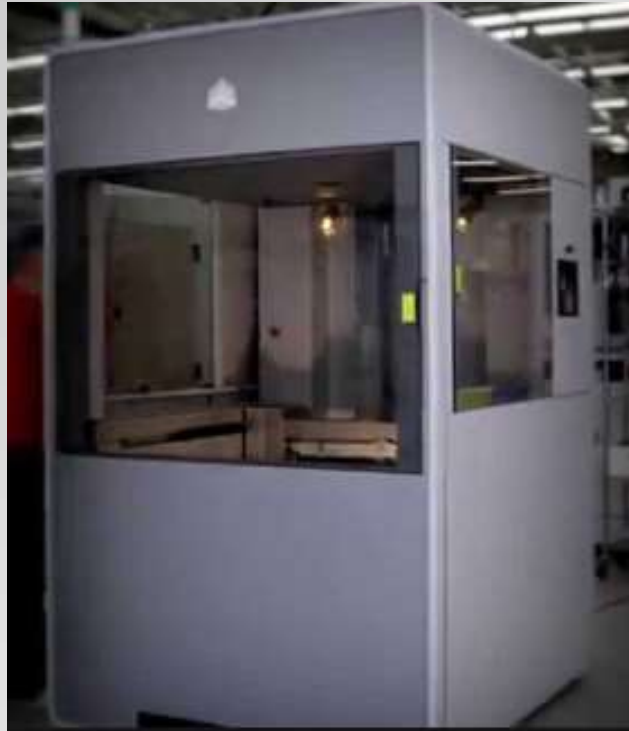
# STEREOLITOGRAFIA



**Tipologia della struttura dei supporti**



# STEREOLITOGRAFIA: LE MACCHINE



**ProX 800**

## **Volume di costruzione netto (xyz)**

Massimo	650 x 750 x 550 mm (25.6 x 29.5 x 21.65 in); 414 l (109.3 U.S. gal)
Metà	650 x 750 x 275 mm (25.6 x 29.5 x 10.8 in); 272 l (71.9 U.S. gal)
Minimo	650 x 750 x 50 mm (25.6 x 29.5 x 21.97 in); 95 l (25.09 U.S. gal)

<b>Peso parte max</b>	75 kg (165 lbs)
-----------------------	-----------------

Precisione: 0.025-0,05 mm per 25,4 mm di dimensione della parte

# **STEREOLITOGRAFIA: LE MACCHINE**



Volume di lavoro: 1500x750x550 mm,  
935 l

Peso max pezzo: 150kg

Precisione: 0.025-0,05 mm per 25,4  
mm di dimensione della parte

**ProX 950**

# STEREOLITOGRAFIA: MATERIALI

Accura® 25

Accura® 48HTR

Accura® 55

Accura® 60

Accura® ABS Black (SL 7820)

Accura® ABS White (SL 7810)

Accura® Bluestone

Accura® CastPro

Accura® CastPro Free (SL7800)

Accura® CeraMAX™ Composite

Accura® ClearVue

Accura® ClearVue Free (SL 7870)

Accura® e-Stone

Accura® Peak

Accura® SL 7840

Accura® Xtreme

Accura® Xtreme™ White 200

## Materiale liquido

Misurazione	Condizione	Valore:
Aspetto		Trasparente
Densità allo stato liquido	@ 25 °C	1,13 g/cm <sup>3</sup>
Densità allo stato solido	@ 25 °C	1,21 g/cm <sup>3</sup>
Viscosità	@ 30 °C	150 - 180 cps
Profondità di penetrazione (Dp) *		6,3 mils
Esposizione critica (Ec) *		7,6 mJ/cm <sup>2</sup>
Stili di costruzione collaudati		EXACT™, FAST™, QuickCast™

## Materiale Post-Trattato

Misurazione	Condizione	Valore:
Resistenza alla trazione	ASTM D 638	58-68 MPa
Modulo di trazione	ASTM D 638	2690-3100 MPa
Allungamento alla rottura (%)	ASTM D 638	5 - 13 %
Resistenza alla flessione	ASTM D 790	87-101 MPa
Modulo di flessione	ASTM D 790	2700-3000 MPa
Resistenza all'impatto (Notched Izod)	ASTM D 256	15-25 J/m
Temperatura di deviazione del calore	ASTM D 648 @ 0,5 PSI @ 0,8 PSI	53-55 °C 48-50 °C
Durezza, Shore D		86
Coefficiente di espansione termica	ASTM E 831-93 TMA (T<T <sub>g</sub> , 0-40 °C) TMA (T<T <sub>g</sub> , 75-140 °C)	71-131 µm/m-°C 153 µm/m-°C
Transizione vetrosa (T <sub>g</sub> )	DMA, E''	58 °C

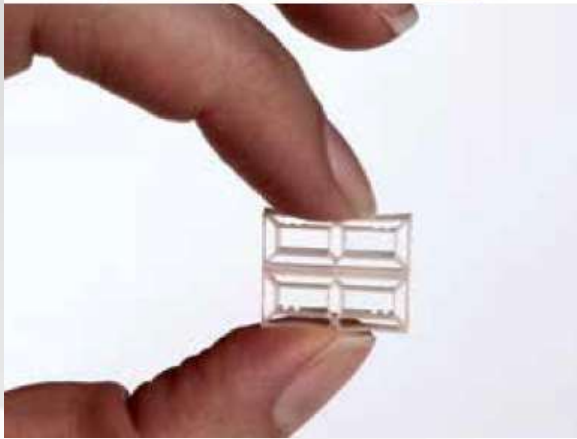
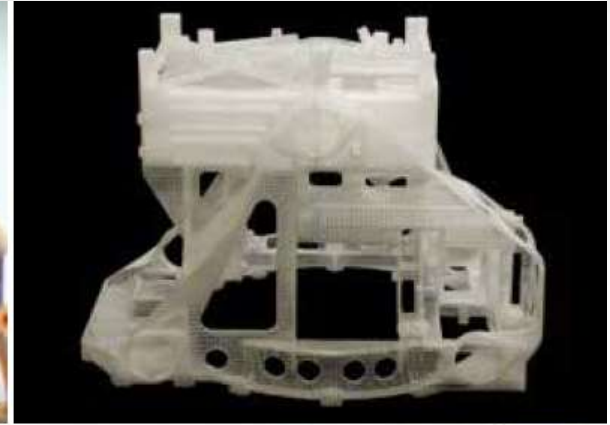
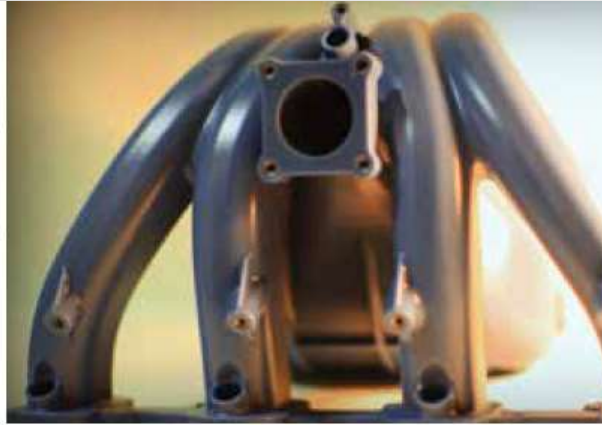
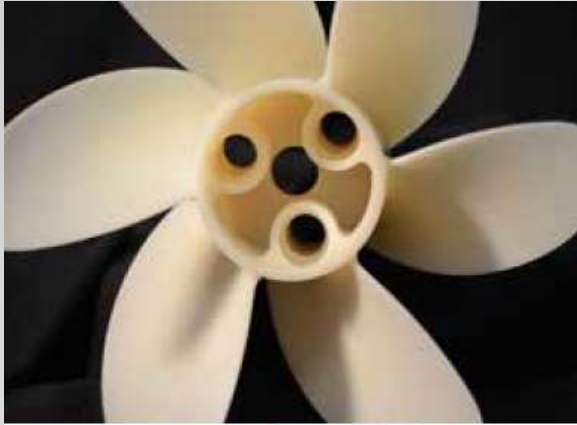
Fotopolimeri commercializzati  
da 3D System

Accura 60

# **STEREOLITOGRAFIA: APPLICAZIONI**

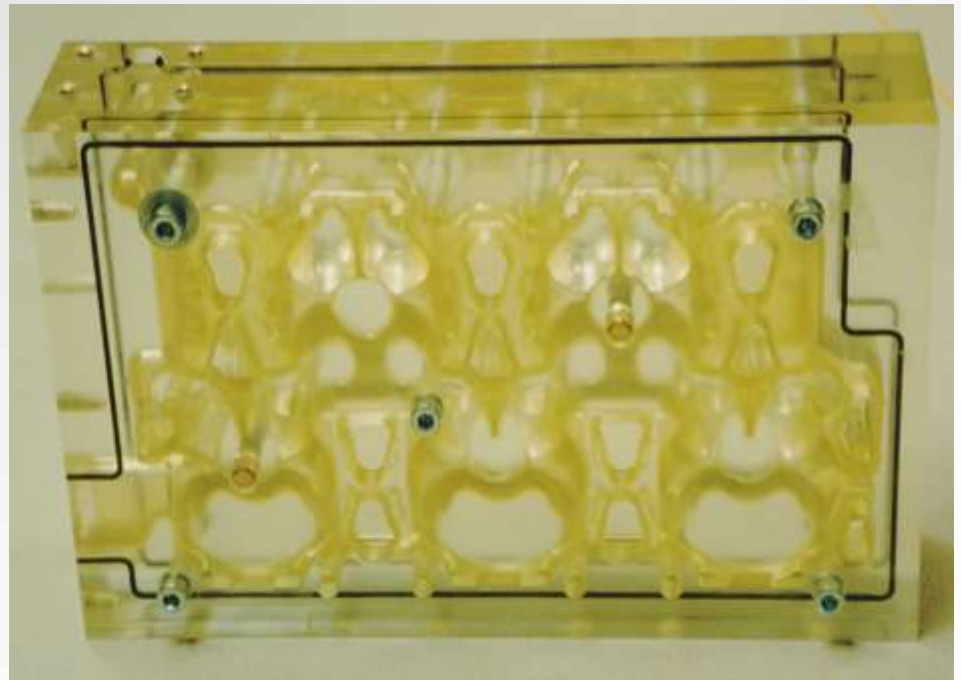
- Modelli per la replicazione siliconica
- Test Aerodinamici
- Analisi di Flusso
- Produzione di parti complesse con dettagli di piccola dimensione
- Modelli di stile
- Test di assemblaggio
- Modelli a perdere per la fusione a cera persa (gioielleria)

# **STEREOLITOGRAFIA: APPLICAZIONI**

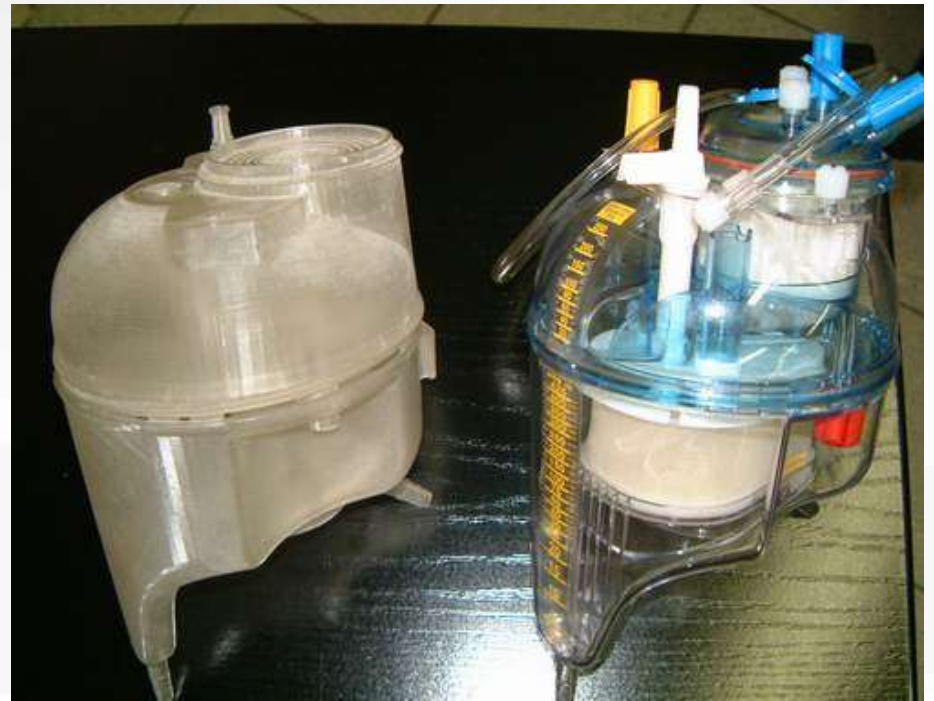




# STEREOLITOGRAFIA: APPLICAZIONI

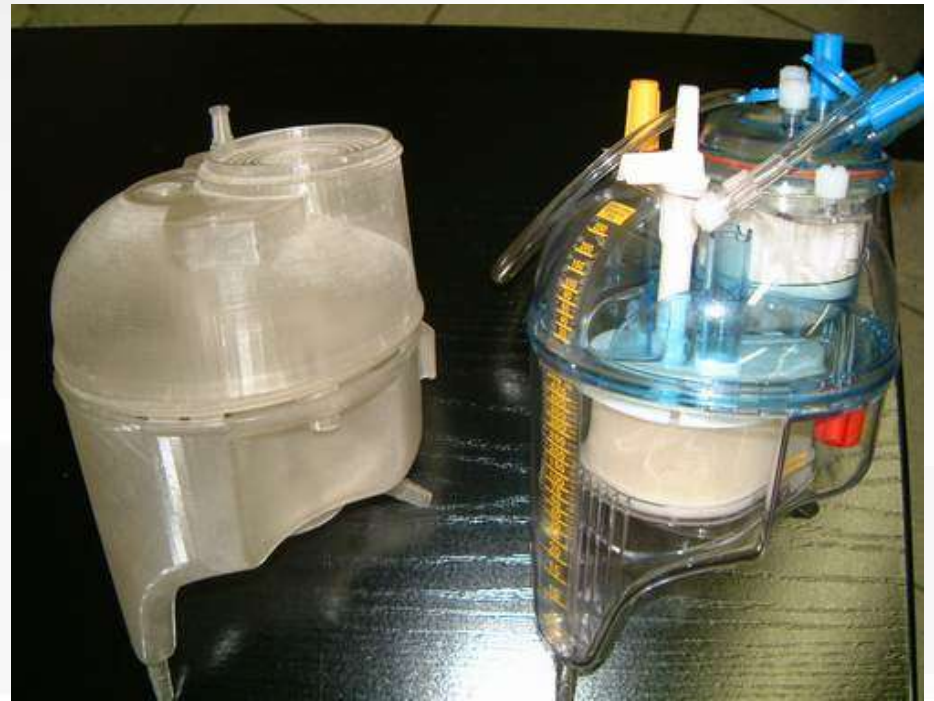


# STEREOLITOGRAFIA: APPLICAZIONI

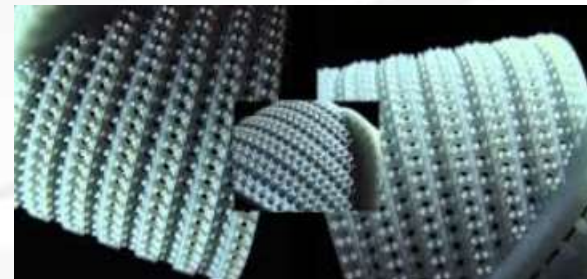




# STEREOLITOGRAFIA: APPLICAZIONI



# **STEREOLITOGRAFIA: APPLICAZIONI**



# **Stereolitografia - Vantaggi**

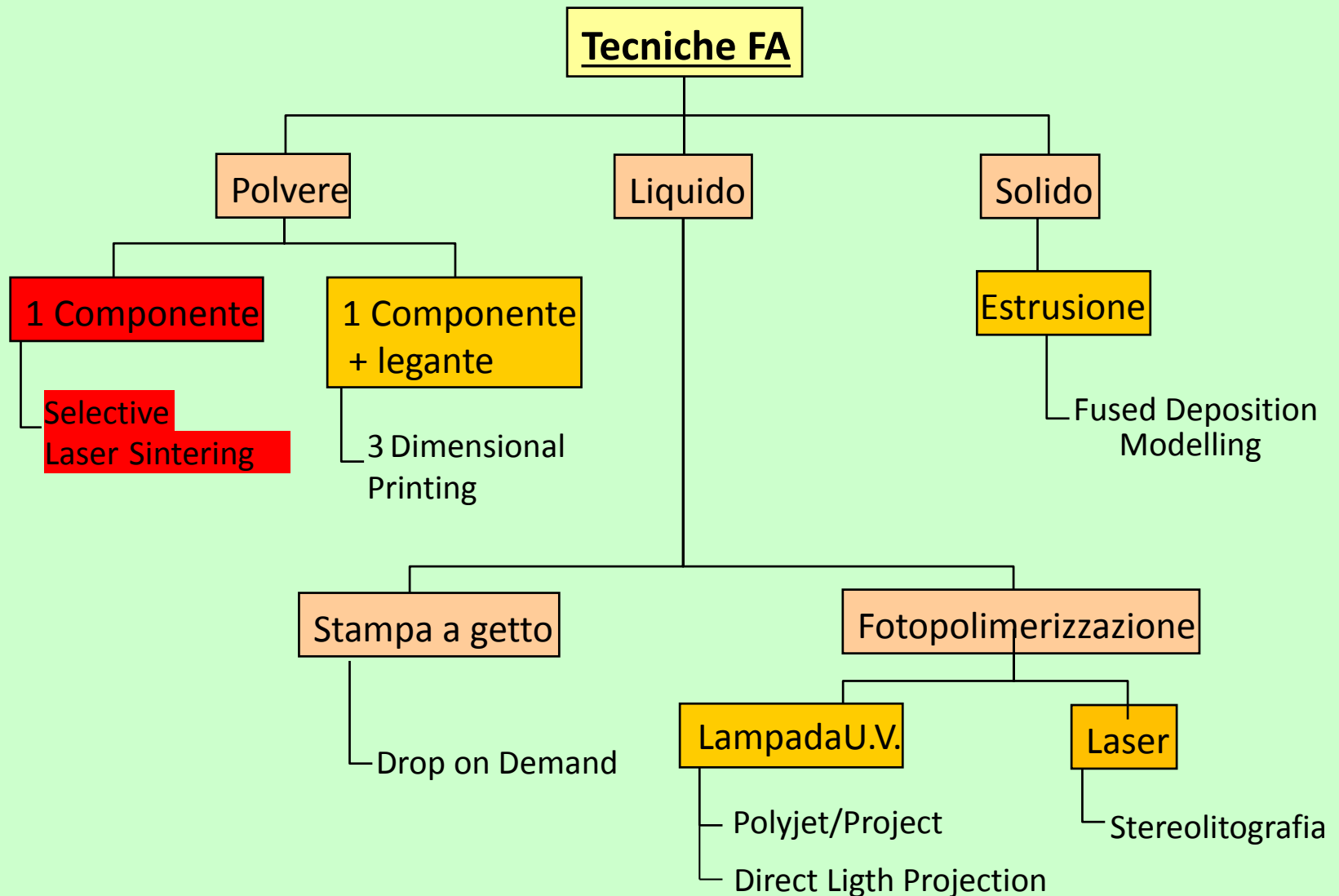
1. Tecnica di AM che assicura le migliori prestazioni in termini di tolleranze dimensionali e rugosità superficiali;
2. Spessore di strato compreso tra (0.025-0.05) mm;
3. Possibilità di realizzare elementi trasparenti/traslucidi

# Stereolitografia - Limiti

1. Materiali termoindurenti;
2. Supporti nello stesso materiale del pezzo da rimuovere meccanicamente
3. Impossibilità di sfruttare l'intero volume di lavoro;
4. Impianto che lavora a 'Vasca Piena'
5. Vincoli sull'installazione per la presenza del fotopolimero liquido



# TECNICHE AM PER POLIMERI





# **SELECTIVE LASER SINTERING (SLS)**

## Processo:

Basato sul letto di polvere, sviluppato in parallelo dall'Università di Austin (Prof. Beaman) in collaborazione con la società DTM e dalla società tedesca EOS (Dott. Langer)

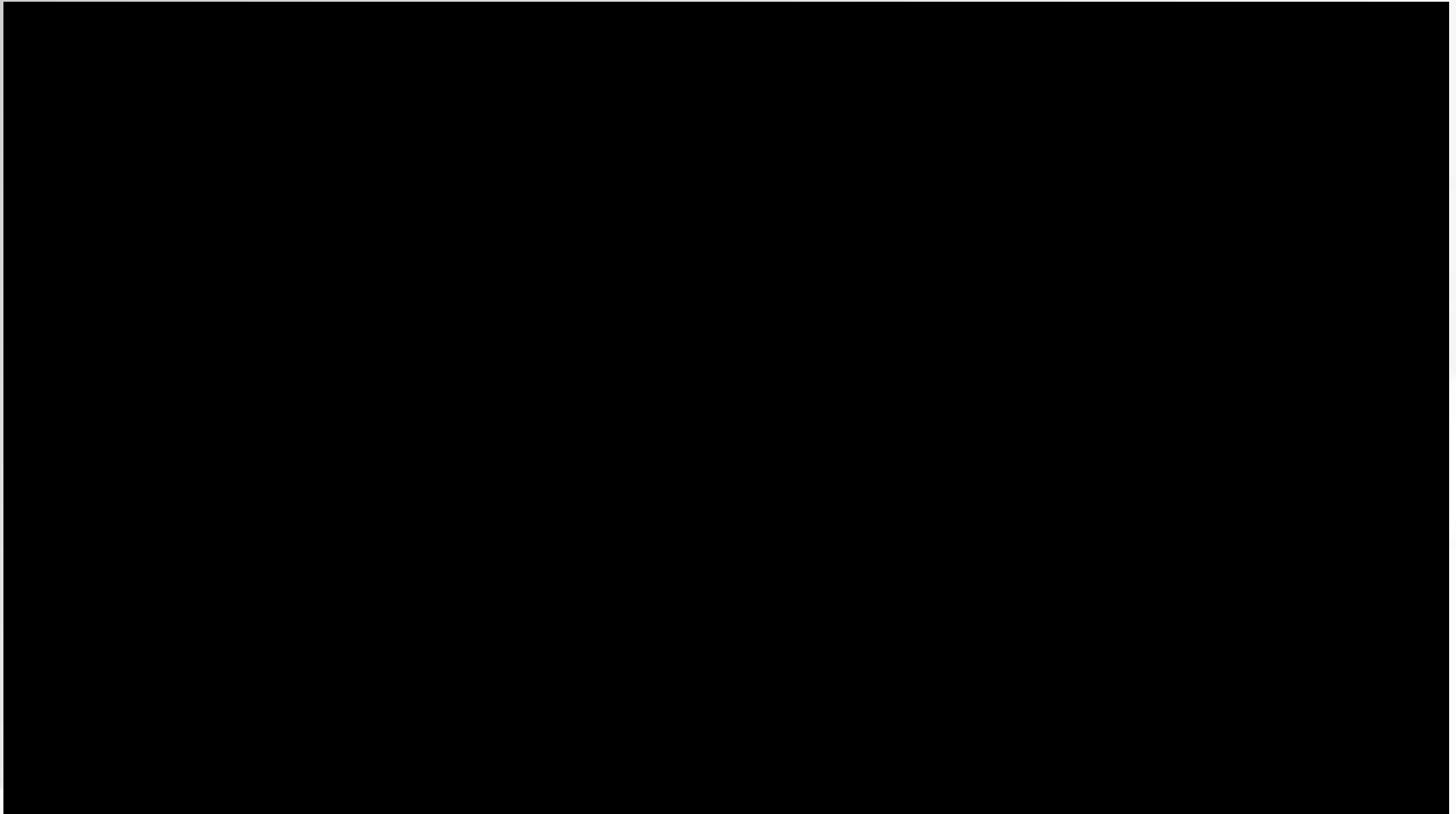


Prof. Beaman



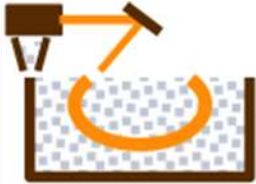

Dott. Langer

# **SELECTIVE LASER SINTERING (SLS)**

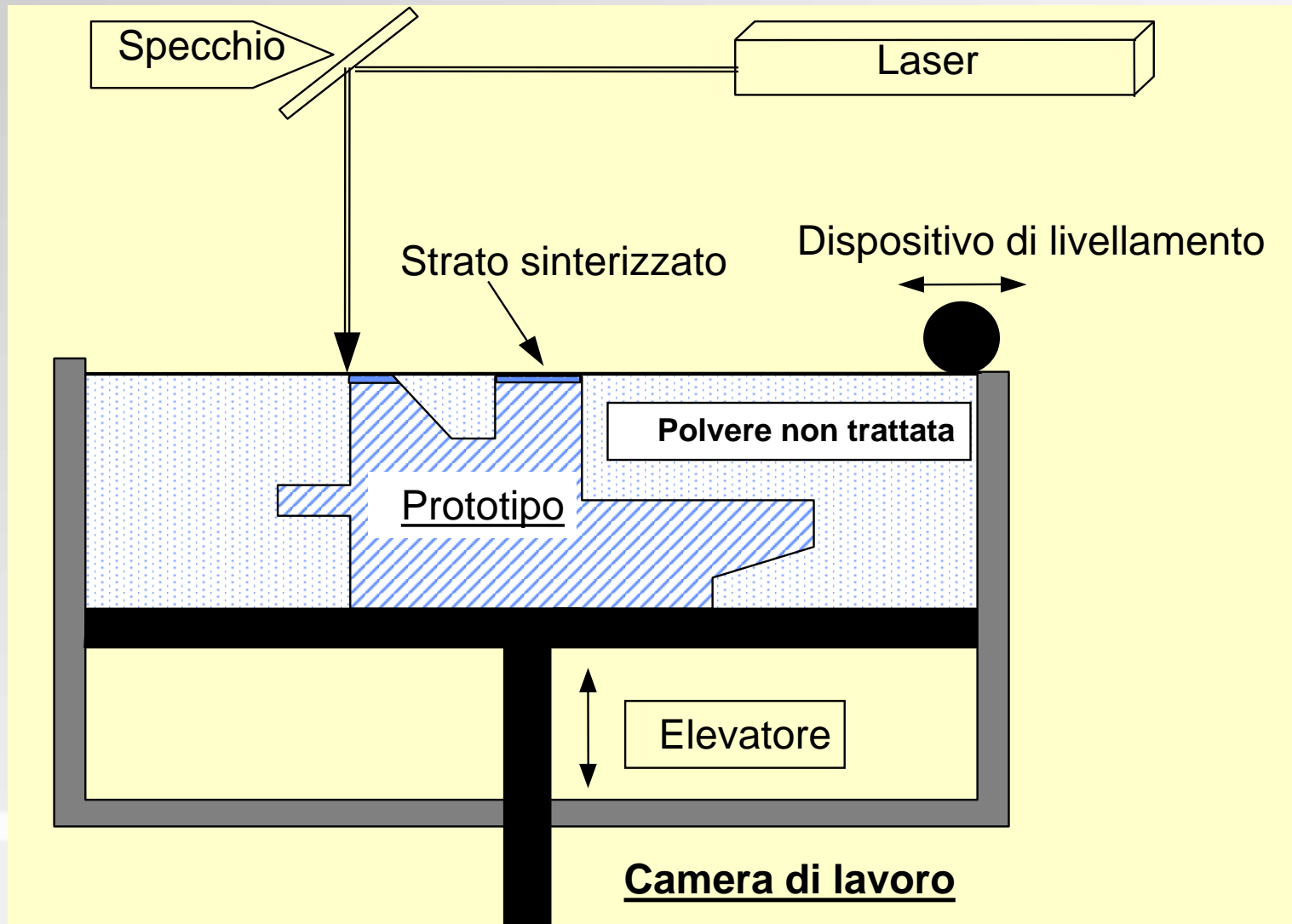




# SELECTIVE LASER SINTERING (SLS)

Descrizione	Materiale	Produttore
<p>Radiazione laser porta a fusione le particelle di materiale</p>  	Metalli	EOS (Germania) Concept Laser (Germania) Renishaw (UK) Realizer (Germania) 3D Systems (USA) SLM Solutions (Germany) SISMA (Italia)
	Polimeri termoplastici	EOS (Germania) 3D Systems (USA)
	Ceramici	EOS (Germany)

# SLS – Processo



## *SLS – Processo*

- Nel caso dei polimeri termoplastici la sorgente laser porta a fusione la polvere e realizza l'intera sezione facendola aderire allo strato precedente
- La camera di lavoro è mantenuta ad una temperatura prossima a quella di fusione della polvere per minimizzare i ritiri di solidificazione
- Il sistema opera in copertura di azoto per evitare l'ossidazione della polvere
- Non sono necessari i supporti
- Al termine i pezzi sono immersi nel letto di polvere

## *SLS – Processo*

- Il blocco di polvere contenente i pezzi deve essere fatto raffreddare in aria prima di estrarre i pezzi per evitare deformazioni degli stessi
- La polvere non trattata può essere riutilizzata in combinazione con quella vergine
- Non è necessario eseguire post-trattamenti a parte la pulizia della polvere
- Notevole interesse per i materiali termoplastici disponibili che assicurano elevate prestazioni

# SLS – 3D Systems – estrazione pezzi



Estrazione dal letto di polvere e pulizia

## *SLS – Applicazioni*

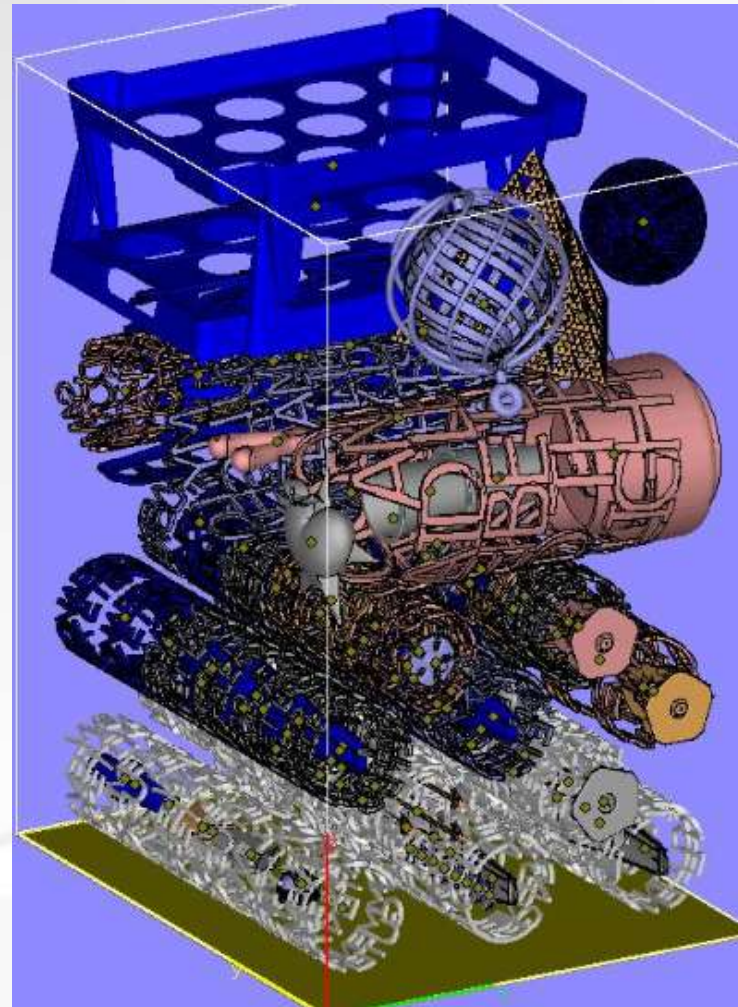
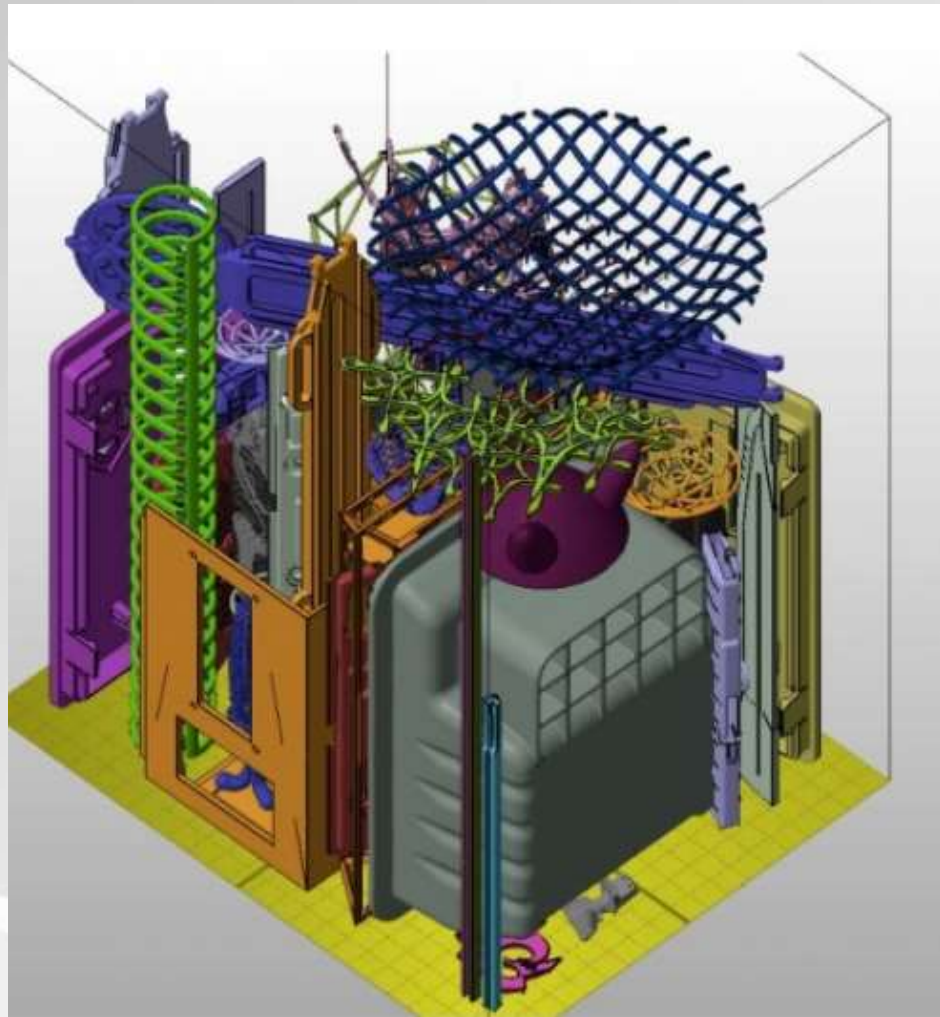
- Produzione di modelli sacrificali per la fusione a cera persa;
- Prototipazione funzionale;
- Produzione diretta di parti definitive
- Produzione di forme e anime per la fusione in sabbia (solo EOS)

# **SLS - Vantaggi**

1. Buone prestazioni in termini di tolleranze dimensionali e rugosità superficiali;
2. Materiali termoplastici definitivi
3. Elevata produttività nella produzione delle parti;
4. Possibilità di saturare completamente il volume di lavoro
5. Possibilità di inserire nuovi pezzi anche a job avviato;
6. Assenza di supporti
7. Assenza di post-trattamento
8. Vincoli limitati per l'installazione



# SLS – Nesting 3D

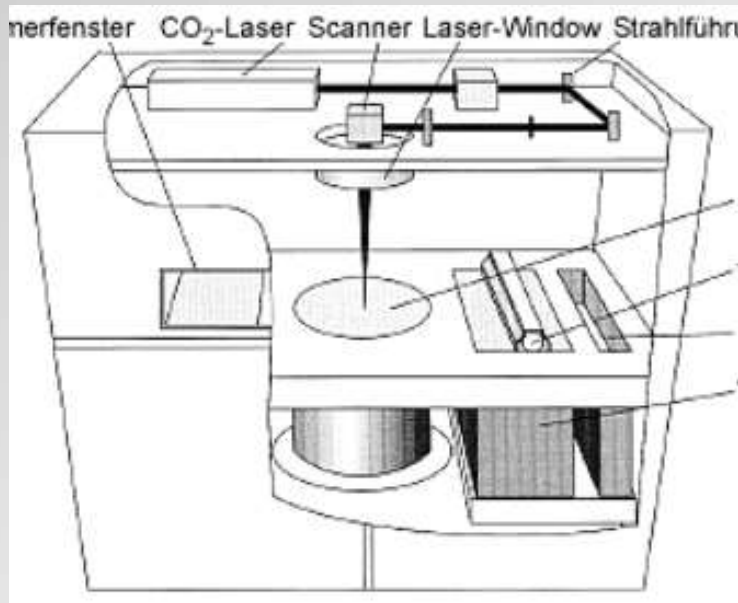


# **3DP – 3D Systems - Limiti**

1. Limitata disponibilità di materiali
2. Sistemi sviluppati per la costruzione di prototipi con difficoltà di adattamento alla produzione definitiva
3. Tempi lunghi per il cambio materiale in macchina

# SLS – 3D Systems

Inizialmente il processo sviluppato presso l'Università di Austin è stato industrializzato dalla società texana DTM passata nel 2001 sotto il controllo di 3D Systems



***La Sinterstation 2000 di DTM***

# SLS – 3D Systems – Le Macchine

## sPro 60



Volume di lavoro: 381x330x460 mm

Sorgente Laser: CO2 30W

Spessore dello strato: (0.08-0.15) mm

Velocità di costruzione: 1.8 l/h

# SLS – 3D Systems – Le Macchine

## sPro 230 HS



Volume di lavoro: 550x550x750 mm

Sorgente Laser: CO2 200 W

Spessore dello strato: (0.08-0.15) mm

Velocità di costruzione: 1.8 l/h

# SLS – 3D Systems – Materiali

CastForm™ PS

DuraForm® EX Black

DuraForm® EX Natural

DuraForm® Flex

DuraForm® FR 100

DuraForm® GF

DuraForm® HST Composite

DuraForm® PA

- Castform è il nome commerciale di 3D Systems per del polistirene per la produzione di modelli per la fusione a cera persa
- Duraform è il nome commerciale di 3D Systems per il nylon che può essere puro o caricato



# SLS – 3D Systems – Materiali

## Proprietà generali

Misurazione	Condizione	Valore:
Peso specifico	ASTM D792	1.01 g/cm <sup>3</sup>
Assorbimento dell'umidità - 24 ore	ASTM D570	0.48%
Saturazione dell'umidità	ASTM D570	1.15%

## Caratteristiche meccaniche

Misurazione	Condizione	Valore:
Resistenza alla trazione, torsione	ASTM D638	37 MPa
Resistenza alla trazione, rottura	ASTM D638	48 MPa
Modulo di trazione	ASTM D638	1 517 MPa
Allungamento alla torsione	ASTM D638	5.00%
Allungamento alla rottura	ASTM D638	47%
Resistenza alla flessione (torsione)	ASTM D790	42 MPa
Resistenza alla flessione (rottura)	ASTM D790	46 MPa
Modulo di flessione	ASTM D790	1 310 MPa
Durezza Shore D	ASTM D2240	74
Durezza Rockwell L	ASTM D785	69
Durezza Rockwell M	ASTM D785	34
Resistenza all'impatto (Izod con intaglio, 23°C)	ASTM D256	74 J/m
Resistenza all'impatto (Izod senza intaglio, 23°C)	ASTM D256	1 486 J/m
Impatto Gardner	ASTM D5420	11.8 J

## Caratteristiche termiche

Misurazione	Condizione	Valore:
Temperatura di Deformazione termica (HDT)	ASTM D648 @ 0.45 MPa @ 1.82 MPa	188 °C 48 °C
Coeff.di dilatazione termica	ASTM E831 @ 0 - 50 °C @ 85 - 145 °C	120 µm/m-°C 342 µm/m-°C
Capacità termica specifica	ASTM E1269	1.75 J/g-°C
Conducibilità termica	ASTM E1225	0.51 W/m-K
Infiammabilità	UL 94	HB

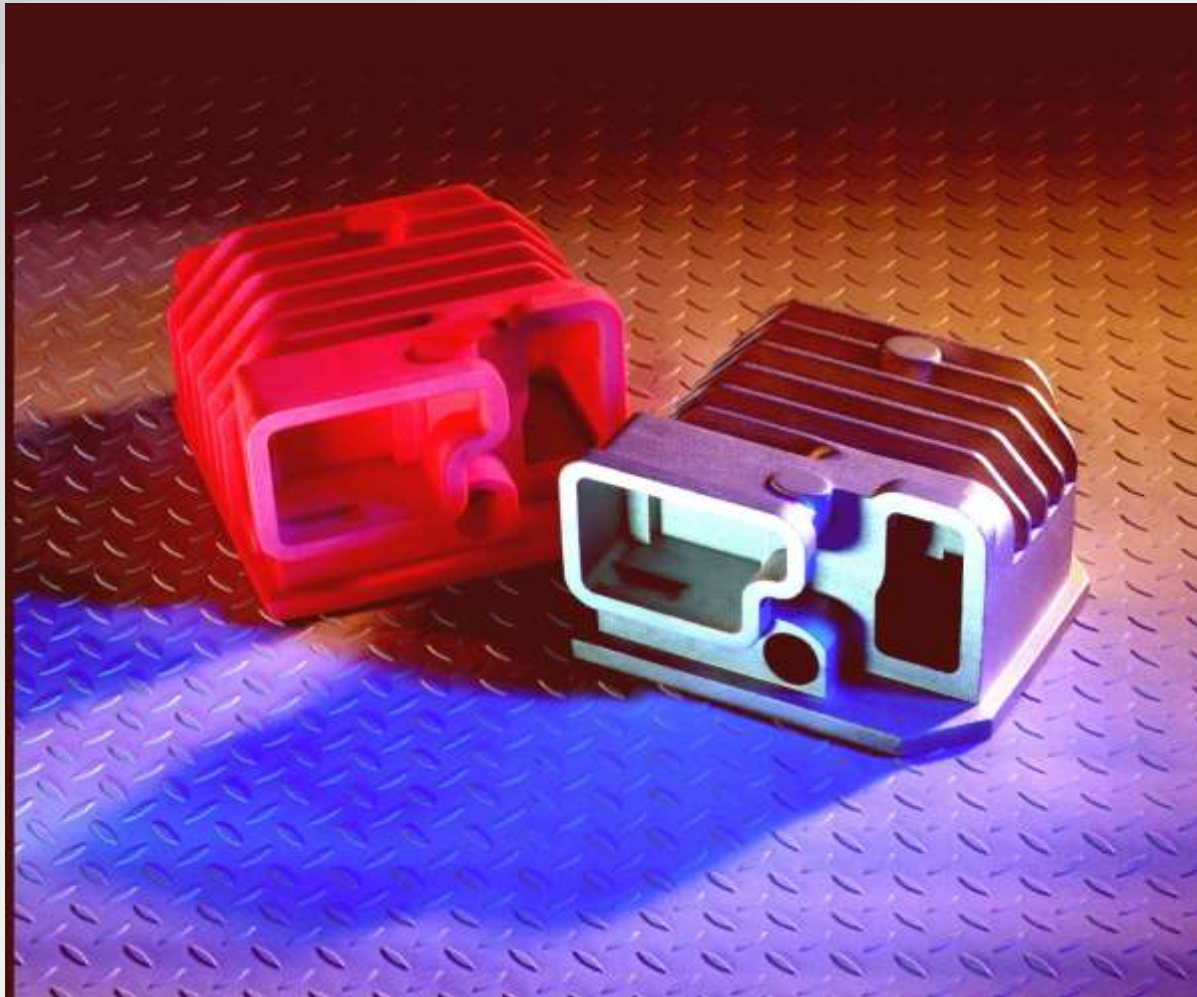
## Caratteristiche elettriche

Misurazione	Condizione	Valore:
Resistività volumetrica	ASTM D257	1.3 X 10 <sup>13</sup> ohm-cm
Resistività superficiale	ASTM D257	4.9 X 10 <sup>12</sup> ohm
Fattore di dispersione, 1 KHz	ASTM D150	0.050
Costante dielettrica, 1 KHz	ASTM D150	4.5
Rigidità dielettrica	ASTM D149	18.5 kV/mm

Duraform EX natural, nylon PA 12

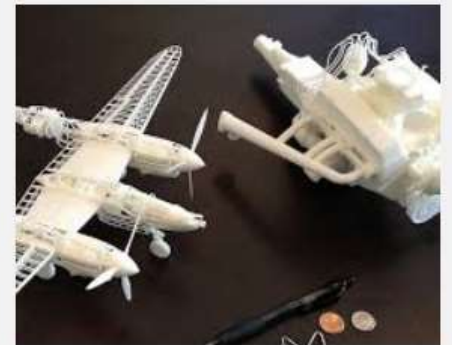


## SLS – 3D Systems – applicazioni



Modello in Cast-Form e relativo getto microfuso

# SLS – 3D Systems – applicazioni



Componenti realizzati in Duraform

# SLS - EOS

EOS inizialmente produceva impianti di stereolitografia e di sinterizzazione selettiva laser. Nella metà degli anni '90 a seguito di un accordo commerciale con 3D Systems ha concentrato l'attività sul processo SLS.



**EOSINT P350 il primo sinterizzatore per polimeri realizzato da EOS**

# SLS – EOS – Le Macchine

## Formiga P110



Volume di lavoro: 200x250x330 mm

Sorgente Laser: CO2 30W

Spessore dello strato: (0.06, 0.1, 0.12) mm

Velocità di costruzione: fino a 20 mm/h

Potenza installata: 2kW

# SLS – EOS – Le Macchine

## EOSINT P800



Volume di lavoro: 700x380x560 mm

Sorgente Laser: CO2 2 laser da 50W

Spessore dello strato: 0.12 mm

Velocità di costruzione: 7 mm/h

Potenza installata: 12kW

*Unico sistema di grado di trasformare il PEEK (tecnopolimero ad alta temperatura)*



# SLS – EOS – Materiali

Product class	Product name	Colour of laser-sintered parts	Main properties	Typical applications
Polyamide 12	PA 2200	white	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multipurpose material</li> <li>• Balanced property profile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Functional parts</li> </ul>
	PrimePart® PLUS (PA 2221)	natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Economical multipurpose material</li> <li>• Balanced property profile</li> <li>• Variety of certificates available (Biocompatibility, Food contact)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Functional parts</li> </ul>
	PA 2202 black	anthracite black	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanced property profile</li> <li>• Pigmented throughout</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Functional parts in anthracite black colour</li> </ul>
Polyamide 12, glass bead filled	PA 3200 GF	whitish	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High stiffness</li> <li>• Wear resistance</li> <li>• Improved temperature performance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stiff housings</li> <li>• Parts with requirements on wear and abrasion</li> <li>• Parts used under elevated thermal conditions</li> </ul>
Polyamide 12, aluminium filled	Alumide®	metallic grey	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Easy post-processing, good machinability</li> <li>• High temperature performance</li> <li>• Thermal conductivity (limited)</li> <li>• High stiffness</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Applications with metallic finish</li> <li>• Parts requiring machining</li> <li>• Parts with thermal loads</li> </ul>
Polyamide 12, carbon fibre reinforced	CarbonMide®	anthracite black	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extreme strength and stiffness</li> <li>• Thermal and limited electrical conductivity</li> <li>• Best strength / weight ratio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Light and stiff functional parts</li> <li>• Metal replacement</li> </ul>
Polyamide 11	PA 1101	natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High ductility and impact resistance</li> <li>• Otherwise balanced property profile (similar to PA 2200)</li> <li>• From renewable sources</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Functional parts requiring impact resistance</li> <li>• Parts with functional elements like film hinges</li> </ul>
	PA 1102 black	black	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Similar to typical applications for PA 1101</li> <li>• Additionally: black, mass-coloured applications, which remain black even under abrasive wear / scratching</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Similar to typical applications for PA 1101</li> <li>• Additionally: black, integrated colour</li> <li>• Through mass-colourisation suitable for scratch resistant parts</li> </ul>



# SLS – EOS – Materiali

## For special applications

Polyamide 12	PA 2201	natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multipurpose material</li> <li>• Material primarily for use in North America</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Functional parts</li> </ul>
	PA 2105	light beige	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Highest dimensional accuracy</li> <li>• High surface quality and detail resolution</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dental</li> </ul>
Polyamide 12, flame retardant	PA 2210 FR	white	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flame retardancy</li> <li>• Halogen-free material</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aerospace</li> <li>• Electric and electronics</li> </ul>
	PrimePart® FR (PA 2241 FR)	white	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Economic flame-retardant material</li> <li>• Material certificates available (flammability)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aerospace</li> </ul>
TPE-A Polyetheramide-Block-Copolymer	PrimePart® ST (PEBA 2301)	white	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rubber-like flexibility (Shore D <math>\approx</math> 35)</li> <li>• No infiltration necessary</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Damping devices, bumpers / cushions, gaskets / gasket seals, shoe sole elements</li> </ul>
Polystyrene	PrimeCast® 101	grey	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High dimensional accuracy</li> <li>• Low residual ash content (when burned)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Master patterns for investment casting</li> <li>• Master patterns for vacuum casting</li> <li>• Economical visual prototypes</li> </ul>
Polyaryletherketone	EOS PEEK HP3	beige-brown	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High-performance material</li> <li>• Excellent temperature performance, strength, stiffness and chemical resistance</li> <li>• Excellent wear resistance</li> <li>• Inherently flame retardant</li> <li>• Potentially biocompatible (component testing required) and sterilisable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metal replacement</li> <li>• Aerospace</li> <li>• Automotive and motorsports</li> <li>• Electric and electronics</li> <li>• Medical</li> <li>• Industrial</li> </ul>

# SLS – EOS – Materiali

EOS PEEK HP3   PEEK			
Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile Modulus	4250	MPa	ISO 527-1/-2
Tensile Strength	90	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break	2.8	%	ISO 527-1/-2
Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Melting temperature (20°C/min)	372	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load (1.80 MPa)	165	°C	ISO 75-1/-2
Other properties	Value	Unit	Test Standard
Density (lasersintered)	1310	kg/m <sup>3</sup>	EOS Method

PEEK HP3

## SLS – EOS – applicazioni



Modello in PrimeCast e relativo getto microfuso

# SLS – 3D Systems – applicazioni



Componenti realizzati in PA 2200