



# Additive Manufacturing



Maurizio Muzzupappa



# Industria 4.0 e (è) l'Additive Manufacturing

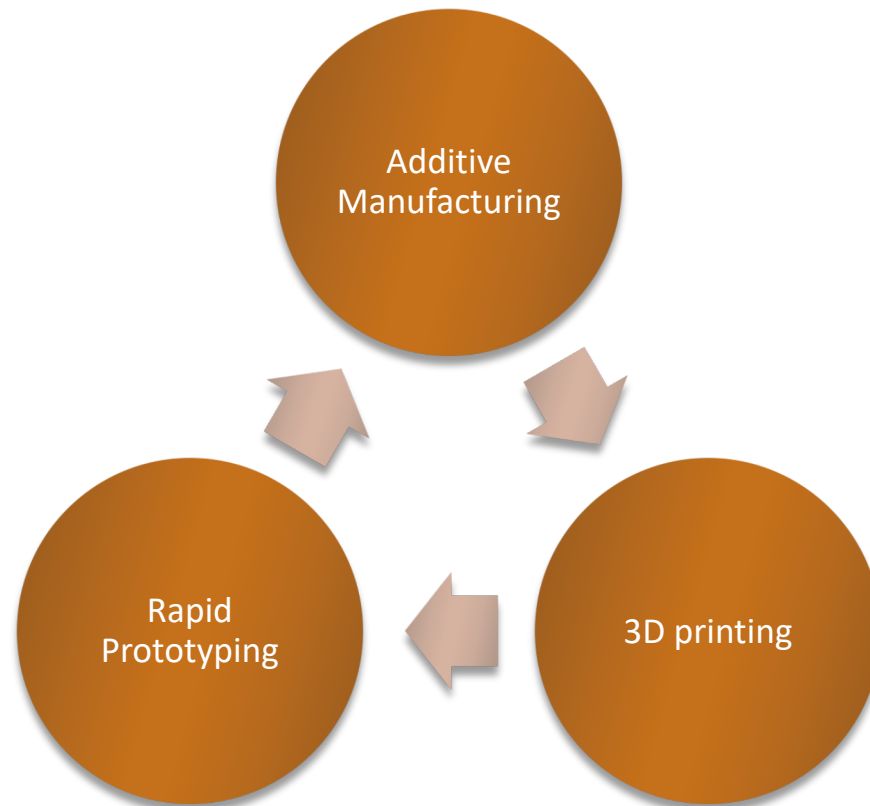


*Tecniche ed applicazioni*



# Prototipazione Rapida o Manifattura Additiva

---





# Prototipazione Rapida o Manifattura Additiva

---

Con il termine **Rapid Prototyping o Additive Manufacturing** si intende un insieme di processi che realizzano modelli e componenti per addizione di materiale layer by layer a partire da un modello matematico tridimensionale.





This collage illustrates various plastic and metal components. The top left shows a red and green gear assembly, a white circular filter, and a blue and white spring. The top center features a blue car engine block. The middle left shows a blue and white hand mixer. The bottom left displays a row of colorful plastic handles. The right side features a detailed 3D exploded view of a mechanical assembly, showing a central cylindrical component with flanges, surrounded by various structural beams and circular plates.

# Nel processo di progettazione

- ✓ Prototipi (Estetici o funzionali)
- ✓ Produzione diretta o indiretta
- ✓ Parti di ricambio



# I prototipi

- ▶ **Estetici** (*looks-like* o modelli concettuali)
  - ▶ Sono usati principalmente per comunicare le caratteristiche estetiche
  - ▶ Possono essere impiegati durante la generazione dei concept
  - ▶ Possono essere in scala 1:1 o in scala ridotta



# Campi di applicazione

---

## Design



Realizzazione di oggetti di stile utilizzabile per verificare il design dell'oggetto oppure per la creazione di cataloghi o fogli pubblicitari

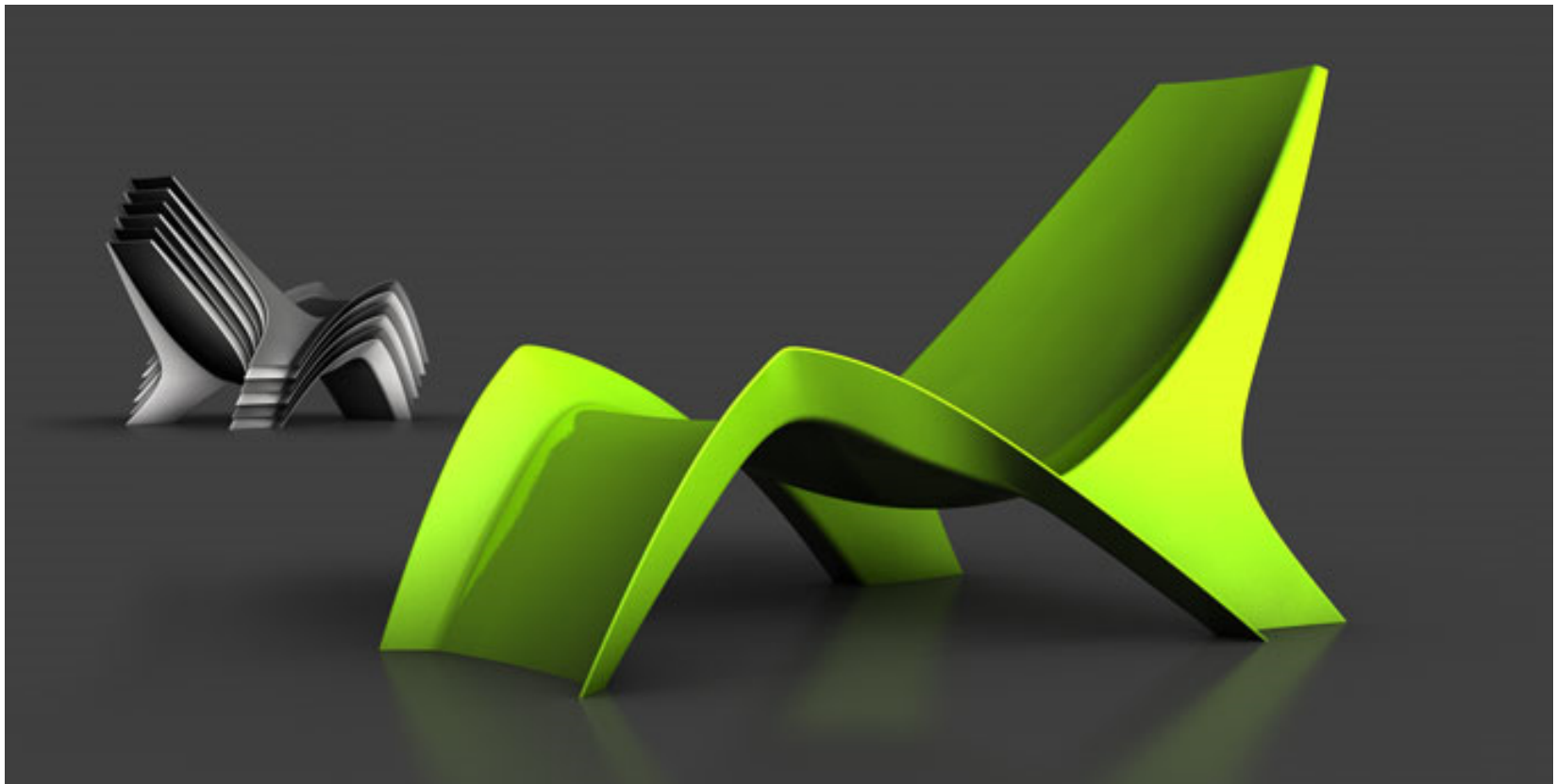




# Campi di applicazione

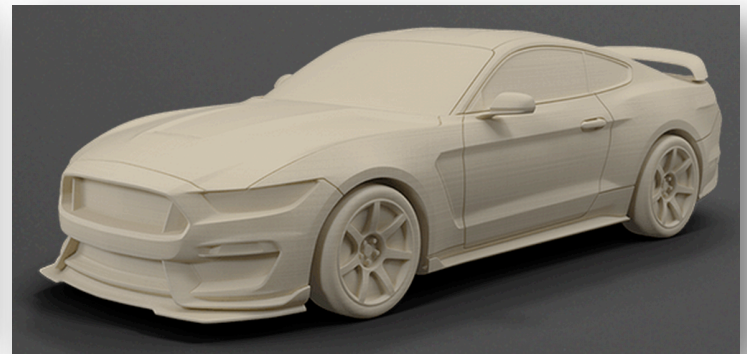
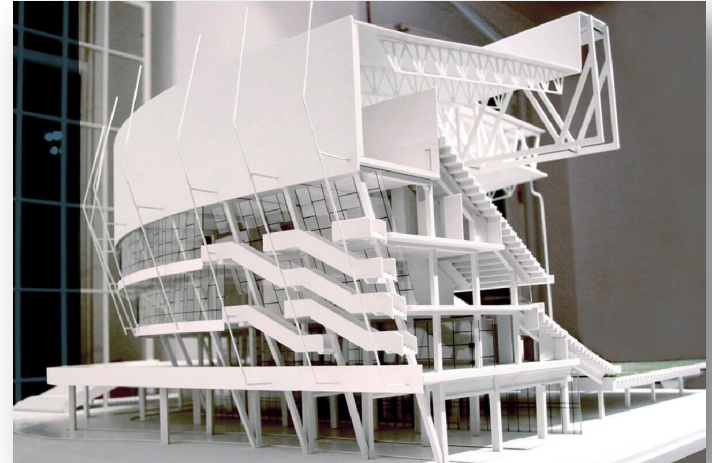
---

## Design



# Campi di applicazione

## Design



# Prototipi Estetici

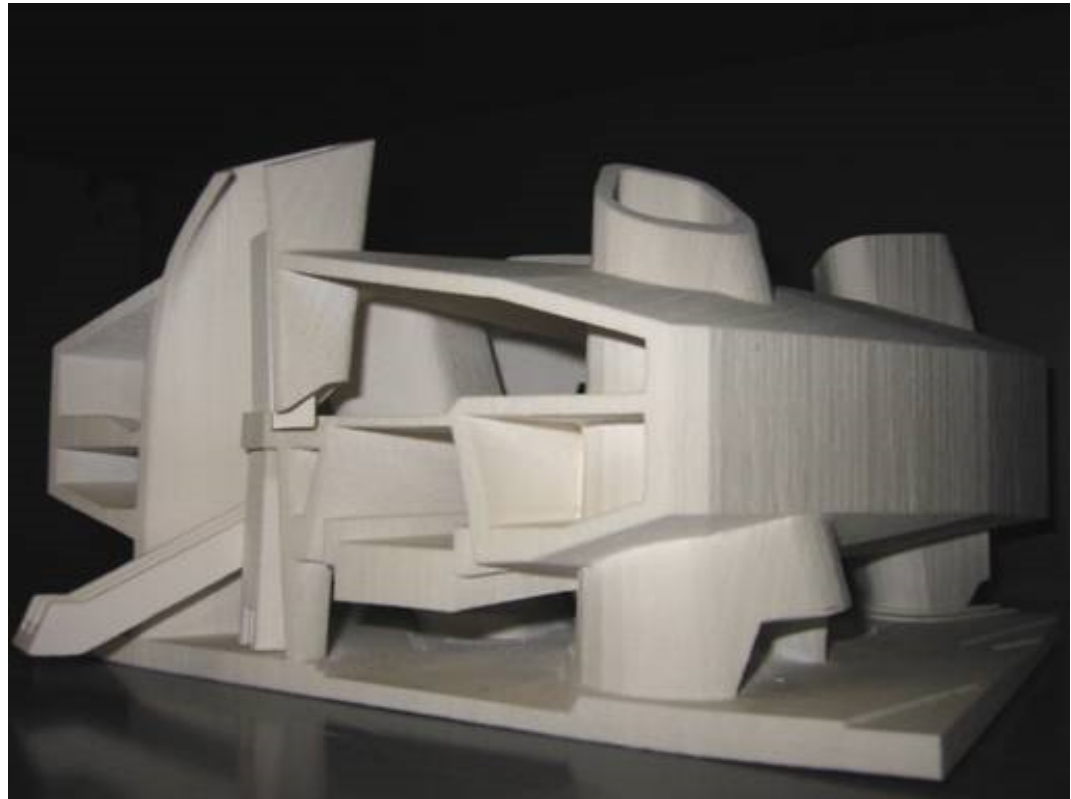
Design



# Campi di applicazione

---

## Architettura





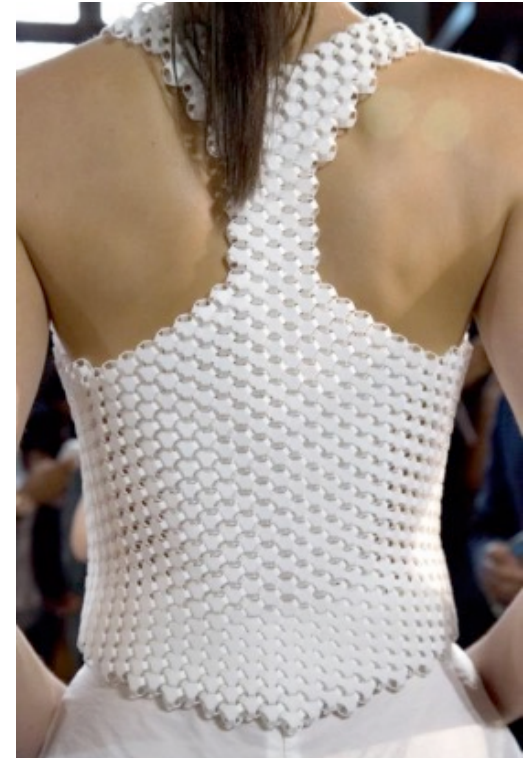
# Campi di applicazione

## Architettura



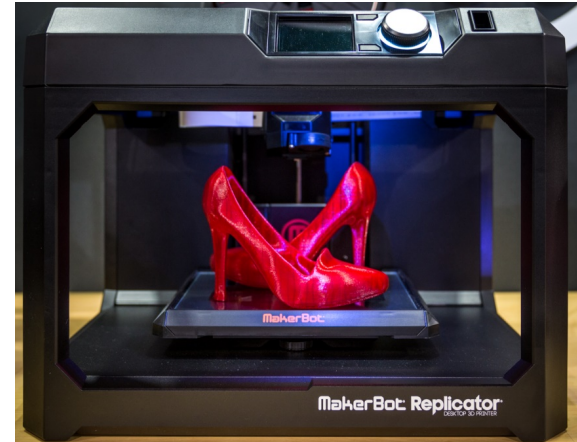
# Campi di applicazione

## Moda



# Campi di applicazione

## Arte e artigianato

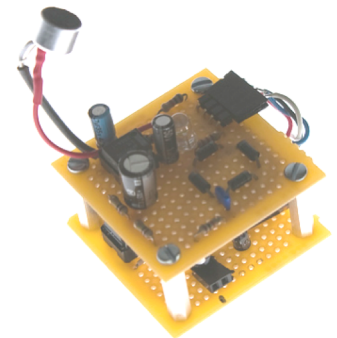




# I prototipi

---

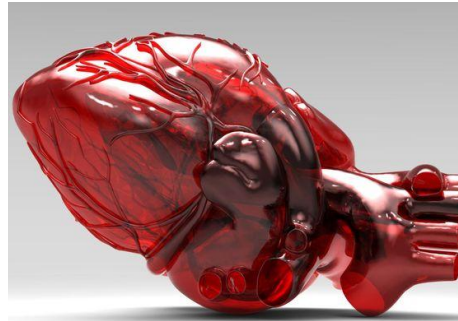
- ▶ **Funzionali** (*works-like*), Permettono di verificare la funzionalità, l'assemblabilità, la fabbricabilità o l'usabilità e si possono suddividere in:
  - ▶ **Prototipi per la validazione:** modelli utilizzati per test funzionali
  - ▶ **Prototipi tecnici:** hanno proprietà meccaniche identiche ai pezzi finali e vengono realizzati per certificazioni, verifiche di durata, o verifiche di rispondenza alla normativa





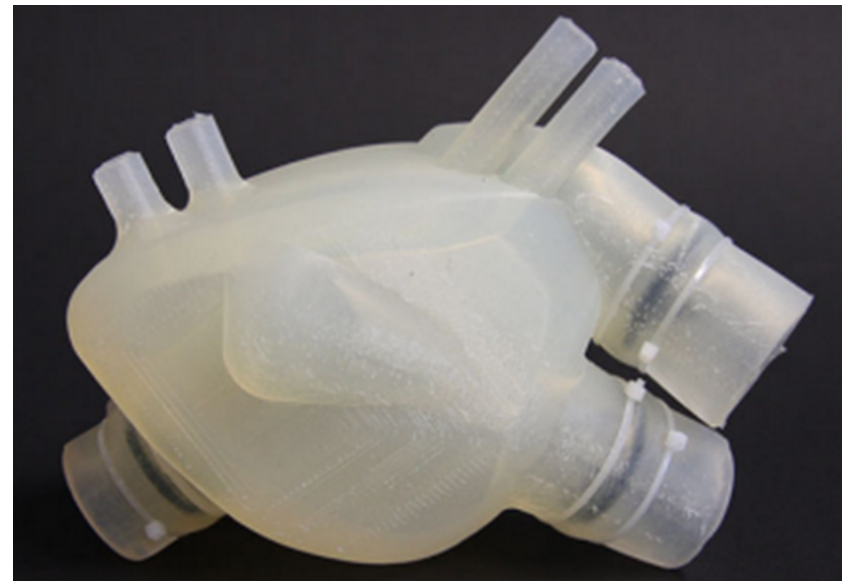
# Campi di applicazione

## Settore biomedico



# Campi di applicazione

## Settore biomedico



# PROTOTIPI PER VALIDAZIONE

---

Rappresentazione fisica di un modello per prove di  
assemblaggio e test funzionali.

In particolare per:

- Mock up fisici
- Test aerodinamici
- Analisi di flussi



# PROTOTIPI PER VALIDAZIONE

---

## Verifiche di assemblaggio

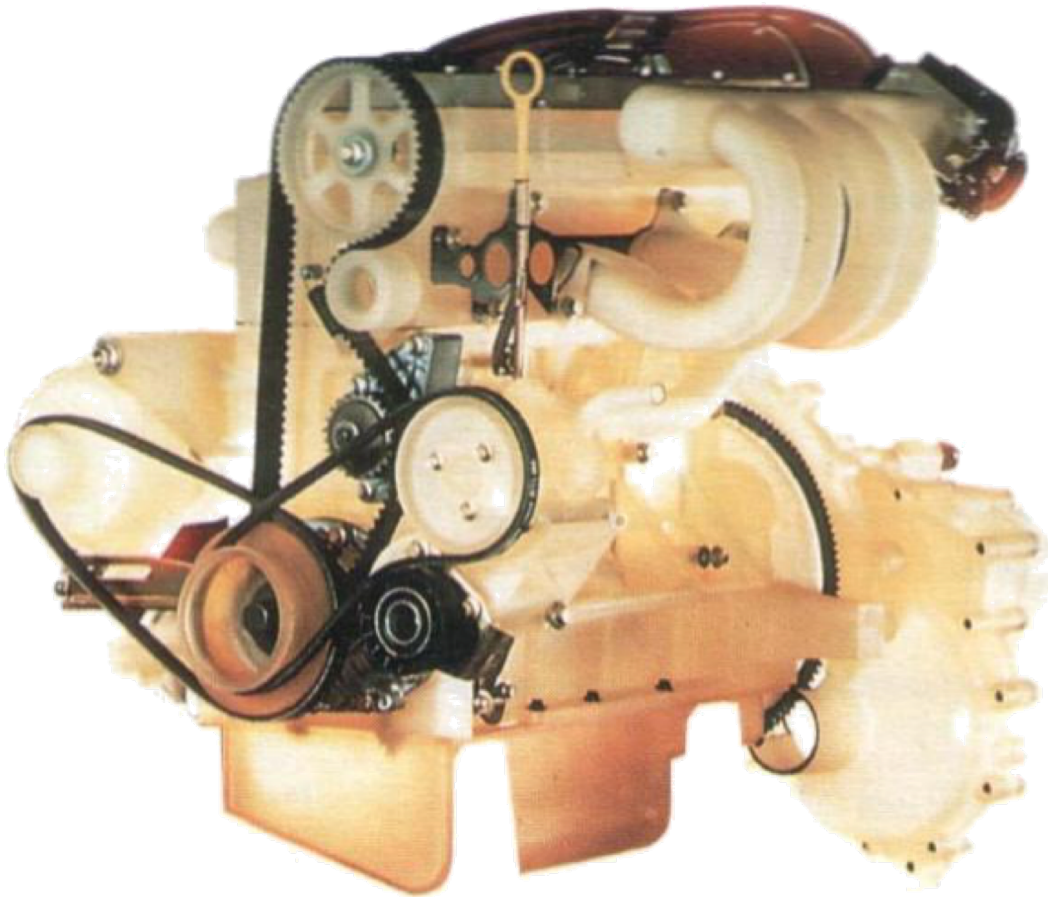
Assemblaggio di due o più componenti nei casi in cui l'accoppiamento dei componenti determina la funzionalità dell'assieme per la verifica del progetto





# PROTOTIPI PER VALIDAZIONE

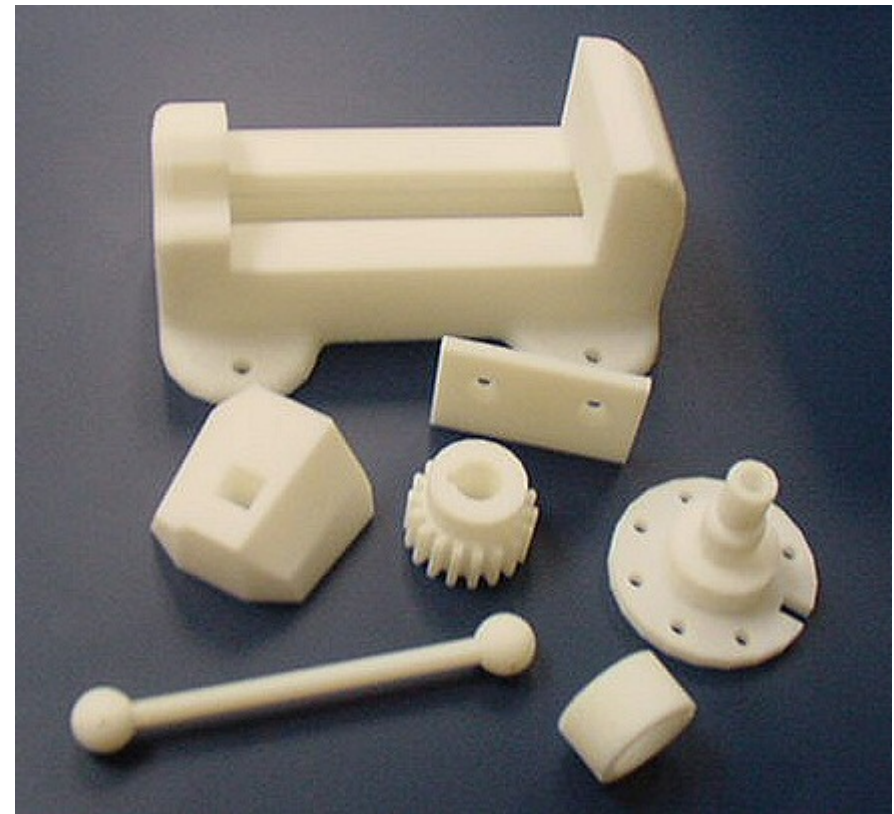
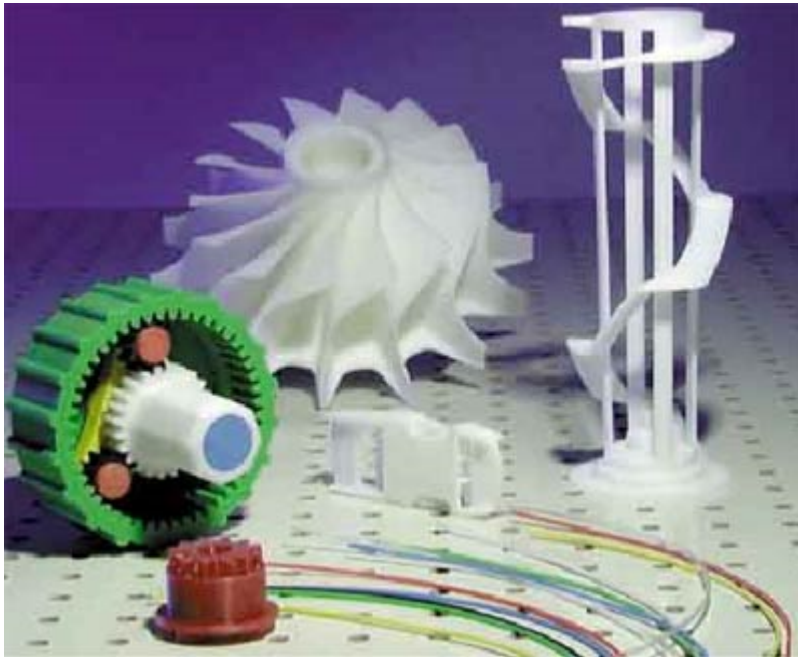
---



Prototipo di un  
motore per auto per  
verifiche di ingombro  
e di assemblaggio -  
Componenti SLA  
assemblati -  
(Rover)



# PROTOTIPI PER VALIDAZIONE



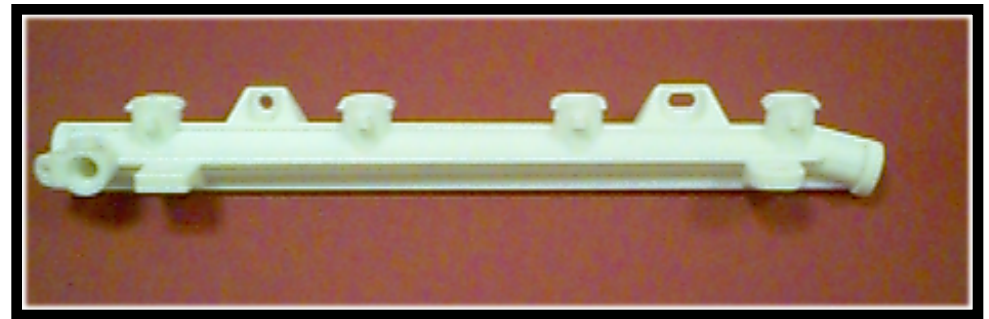
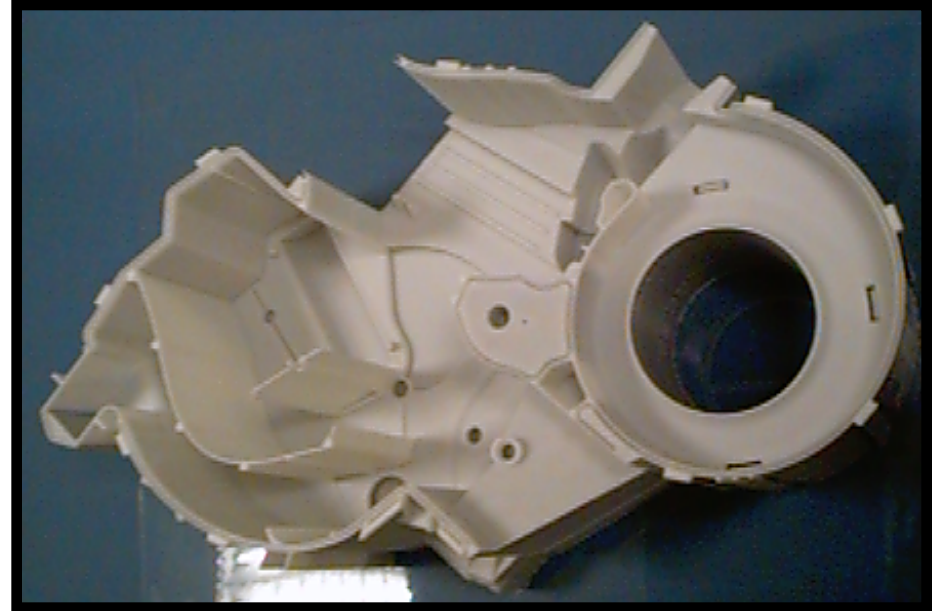
Verifiche di assemblaggio



# PROTOTIPI PER VALIDAZIONE



Verifiche di  
assemblaggio



# PROTOTIPI PER VALIDAZIONE

---

## Test Funzionali

Prove fisiche di una o più funzioni di un particolare o di un assemblato





# PROTOTIPI PER VALIDAZIONE

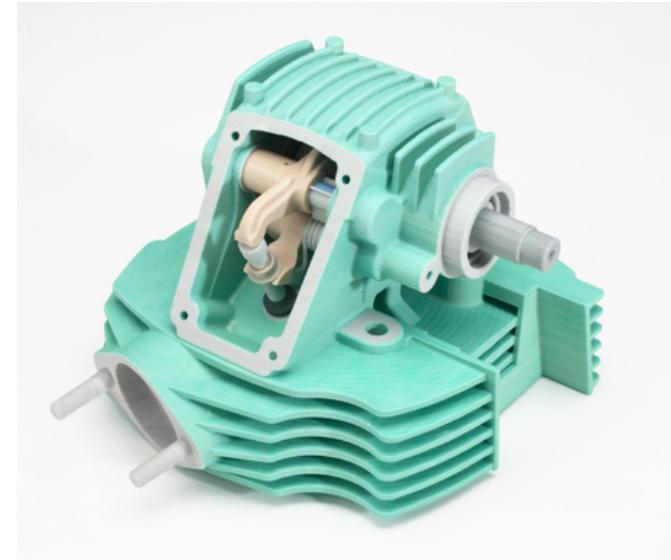
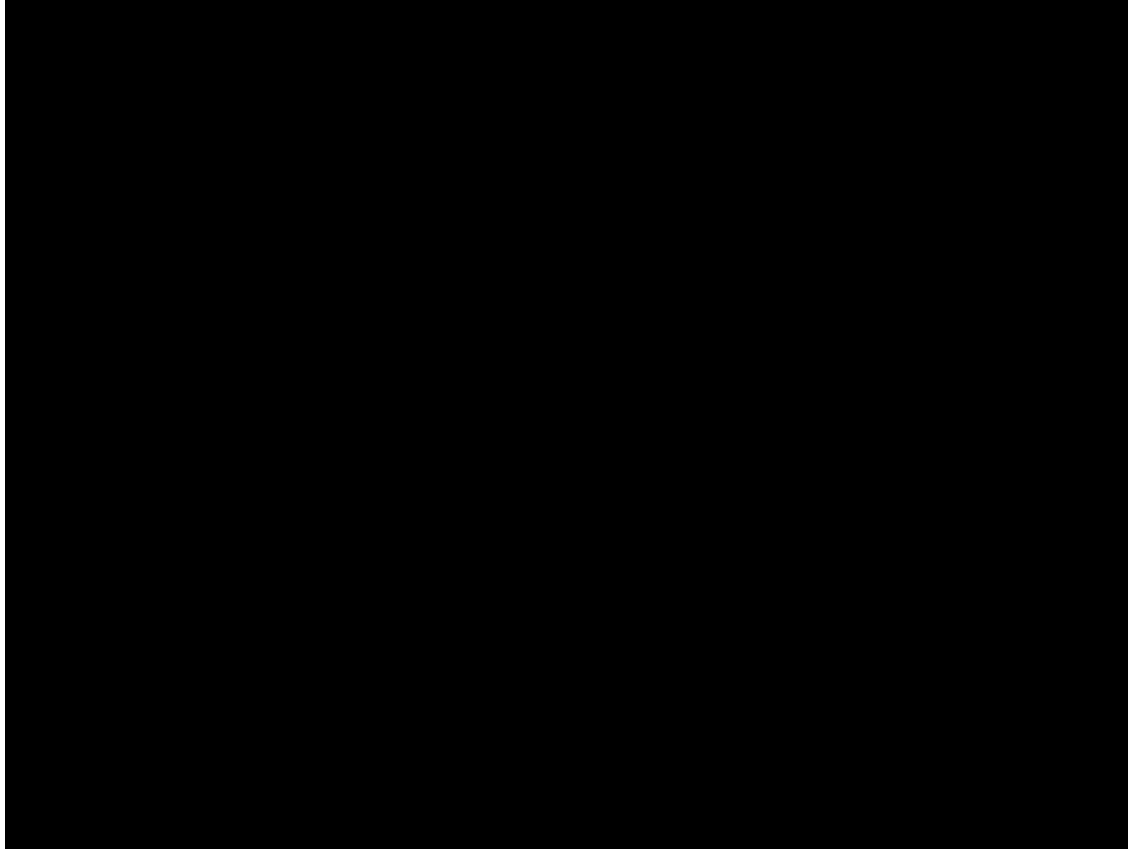
---

Test funzionali



# PROTOTIPI PER VALIDAZIONE

---



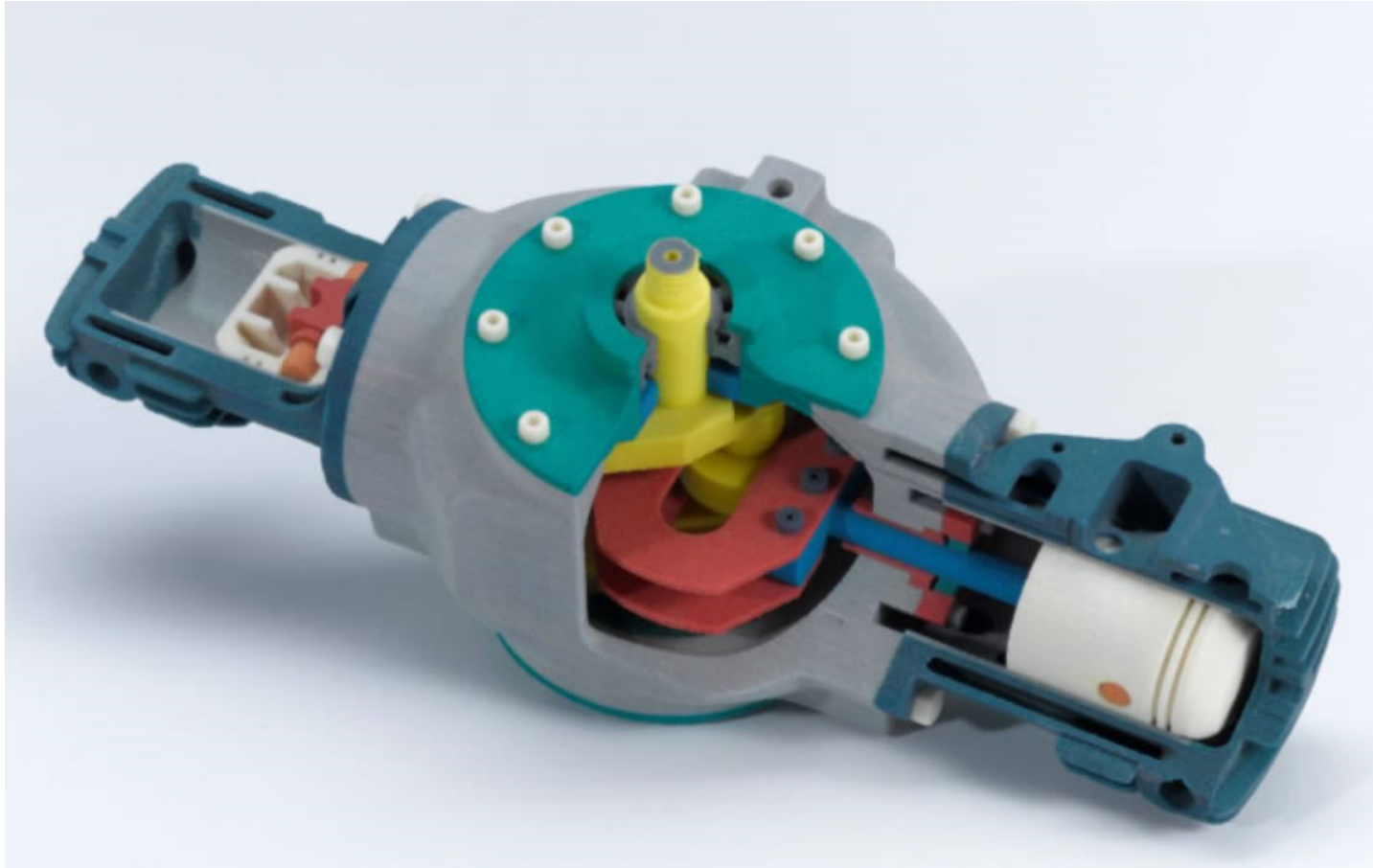
Test funzionali



# PROTOTIPI PER VALIDAZIONE

---

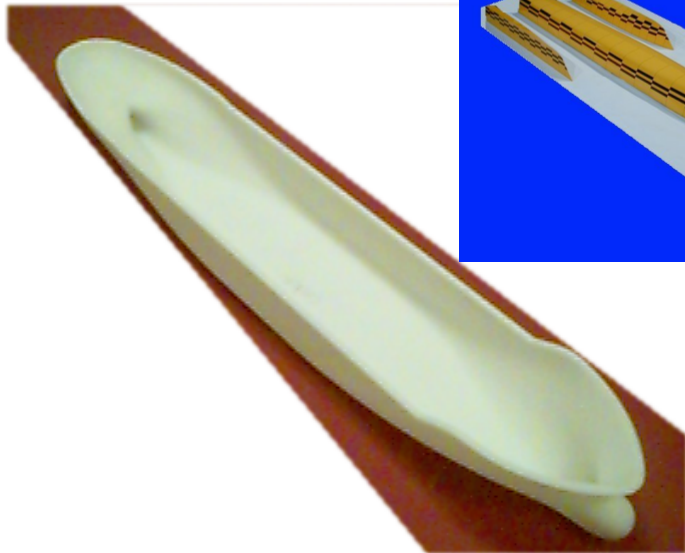
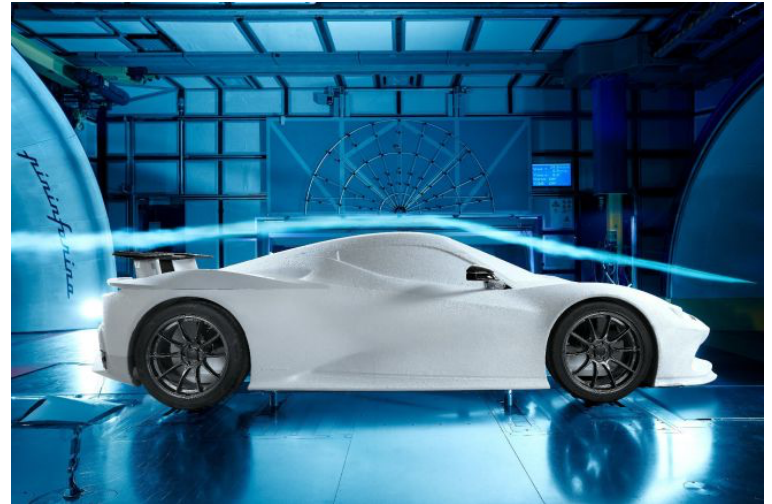
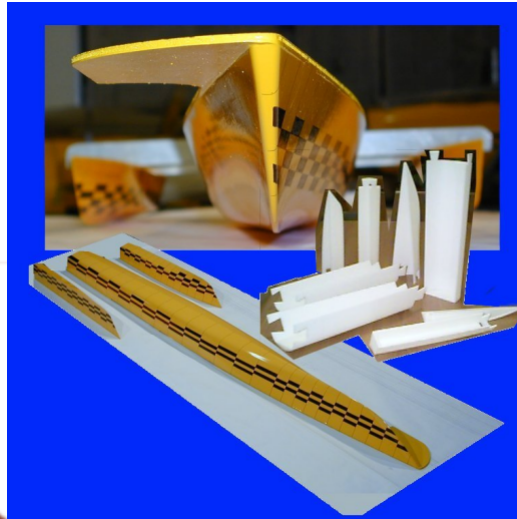
## Test funzionali



# PROTOTIPI PER VALIDAZIONE

## Test idrodinamici

Progettati per le verifiche fluidodinamiche o aereodinamiche





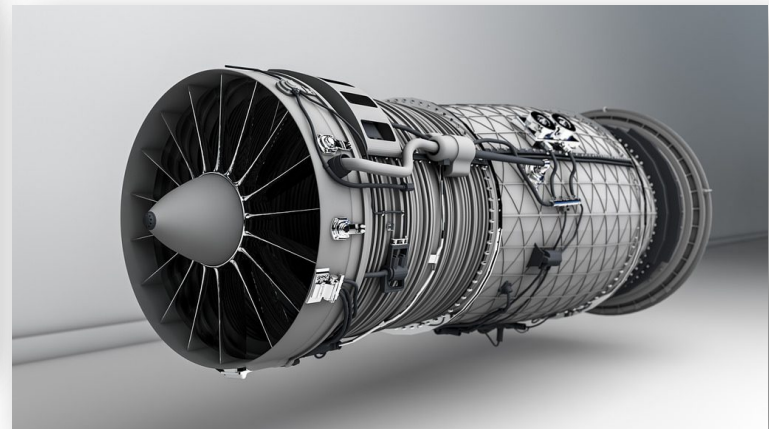
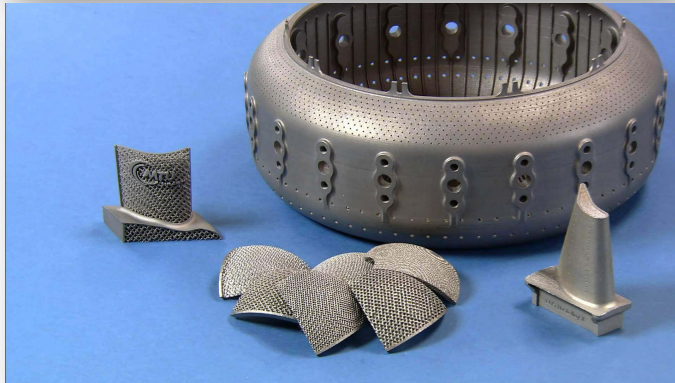
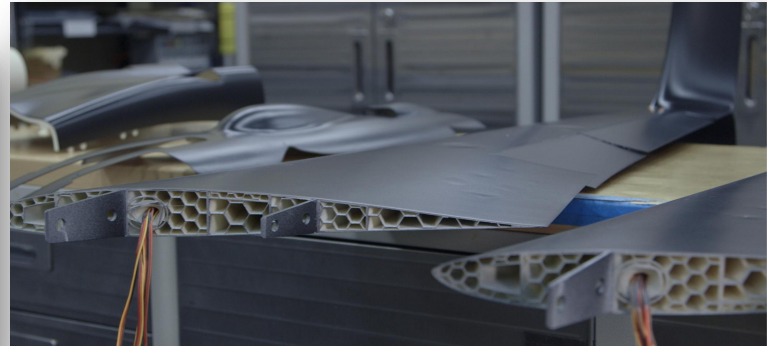
# PROTOTIPI TECNICI

---

- Sono prototipi che hanno anche le proprietà meccaniche identiche ai pezzi finali e vengono realizzati per:
  - Certificazioni
  - Verifiche di durata
  - Verifiche di rispondenza alle normative di sicurezza

# Campi di applicazione

## Settore aerospaziale



# Campi di applicazione

Tutti i settori industriali



# Prototipi tecnici o Additive Manufacturing

---

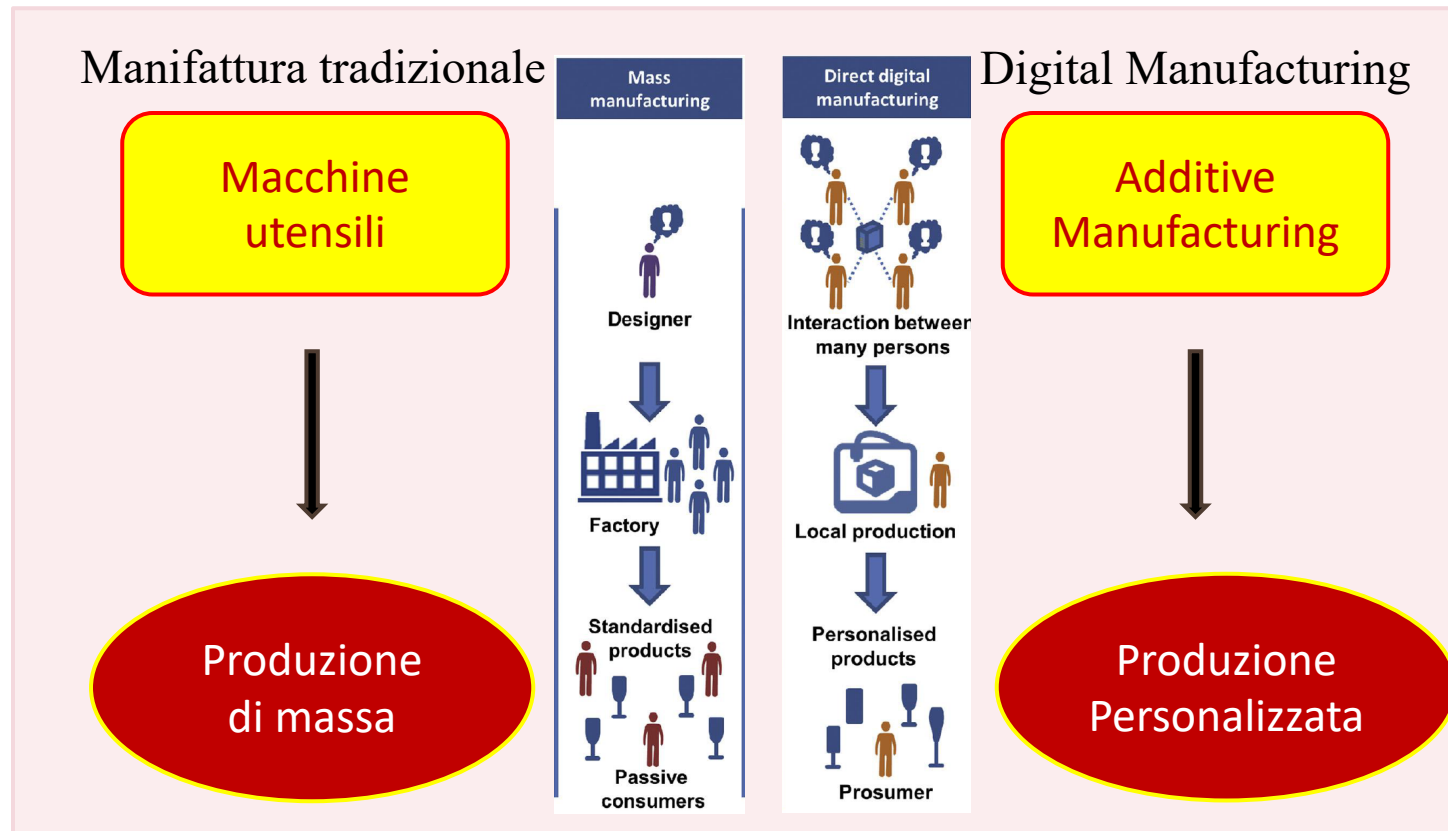
- Produzioni in piccole serie: 1-500 pz nel materiale finale
- Produzioni in medie serie: 500-50000 pz nel materiale finale
- Produzioni in grande serie: >50000 pz nel materiale finale

Si può ancora parlare di prototipi o entriamo in un mondo di applicazioni industriali alternative ai metodi produttivi usati sino ad oggi?





# Additive Manufacturing



# Additive Manufacturing

---

## Manifattura additiva: quali sono le opportunità?

Se confrontata con i metodi di produzione tradizionale (tornitura, fresatura, ecc.), la produzione additiva offre immediatamente nuove possibilità:

- la produzione di oggetti con **forme complesse** che non sarebbe possibile o economico realizzare con le tecniche di lavorazione tradizionali;
- la **riduzione delle materie** prime impiegate, l'utilizzo di materiali alternativi a quelli in uso, modificando la struttura costruttiva dell'oggetto che viene ripensata in funzione della stampa 3D;
- la drastica **riduzione dei costi nella produzione di prodotti personalizzati** in piccole serie o pezzi unici;
- la **riduzione delle parti da assemblare**, con conseguente miglioramento delle prestazioni.



# Additive Manufacturing

---

## Manifattura additiva: quali sono le sfide principali?

- Tempi, volumi e dimensioni di stampa;
- Prestazioni complessive dei processi da migliorare (finitura superficiale, accuratezza geometrica, etc.);
- Necessità di strutture di supporto;
- Forte dipendenza delle caratteristiche meccaniche dalla combinazione di materiali/processi;
- Strumenti di progettazione non ancora adeguati, know-how tecnico;
- Costo materiali maggiore;
- Verifica della qualità dei processi AM.



# Additive Manufacturing

---

## Approccio progettuale: Think Different!

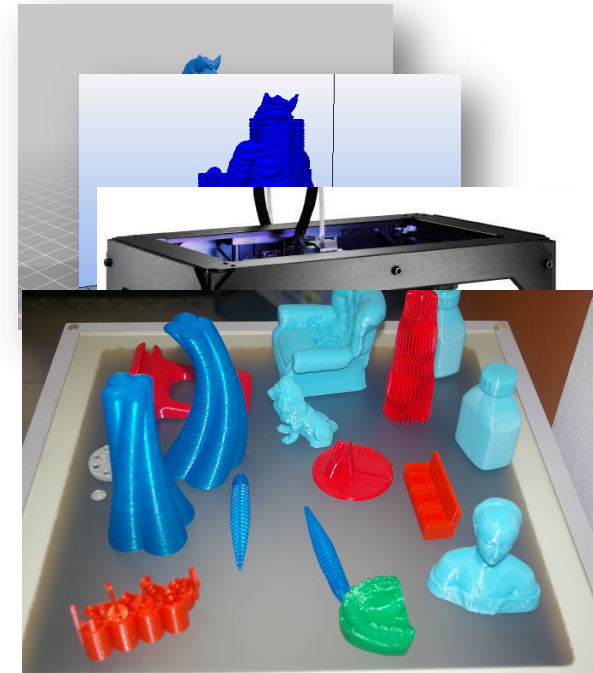
- Progettare senza limiti (o quasi);
- Forme e funzionalità;
- Andare oltre il mero impulso tecnologico;
- Progettare attraverso la tecnologia e non per la tecnologia;
- *Enhanced, Custom and Computational Design*;





# Principi generali di funzionamento

## Cosa serve per stampare in 3D



# Principi generali

1. Trasformazione del modello CAD in un formato compatibile col il software di gestione della macchina RP (generazione file STL).



MODELLO CAD



MODELLO STL

# Principi generali

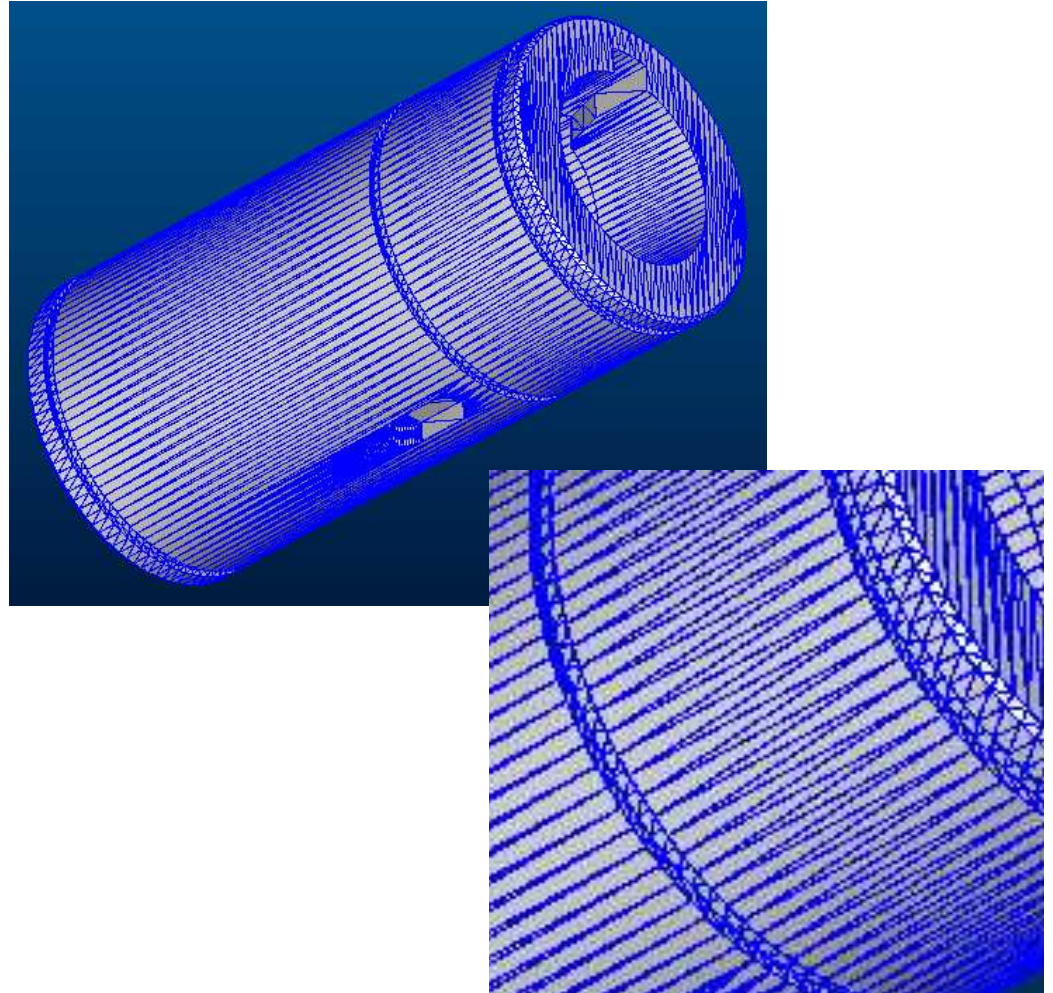
---

- Utilizzo di un sistema CAD tridimensionale (3D) avente un'uscita in formato STL (**S**tandard **T**riangulation **L**anguage ) che rappresenta il formato standard per i modelli matematici nella PR.
- Il modello solido 3D viene convertito in un modello tipo “Shell” nel quale la superficie esterna è approssimata attraverso triangoli di dimensioni diverse (dipendente dalla risoluzione richiesta) in modo da seguire il profilo del modello. L'utilizzo di questo formato pone tuttora diversi problemi ma, grazie alla diffusione di numerosi software correttivi, rimane attualmente il formato più affidabile e diffuso nell'ambito della PR.



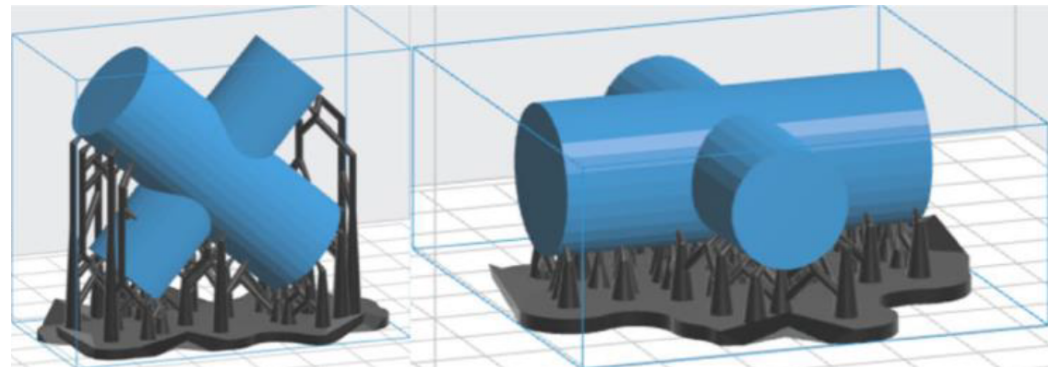
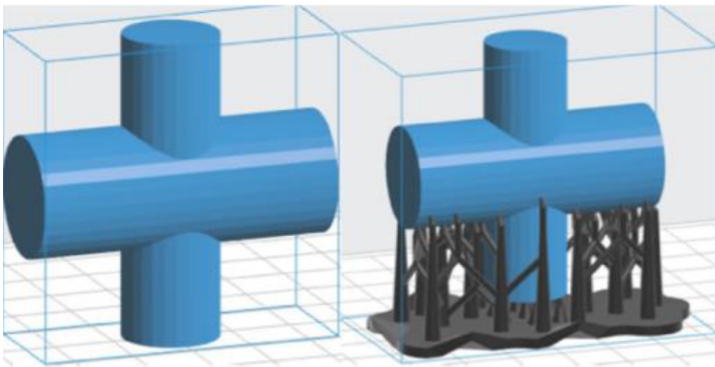
# Principi generali

E' la rappresentazione semplificata delle superfici interne ed esterne del pezzo tramite faccette triangolari che per definizione sono piane



# Principi generali

2. Lettura del file STL;
3. Orientamento del pezzo;
4. Generazione dei supporti;



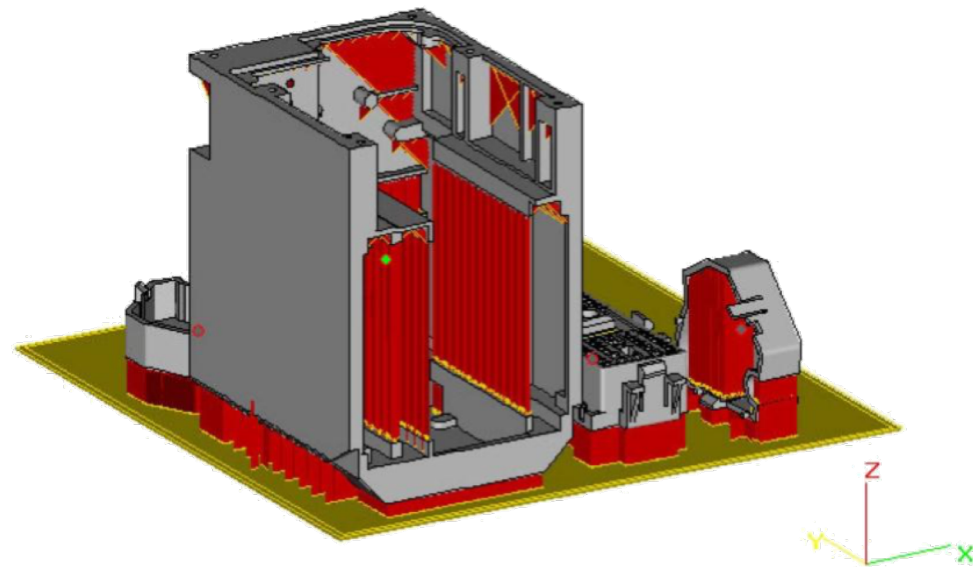
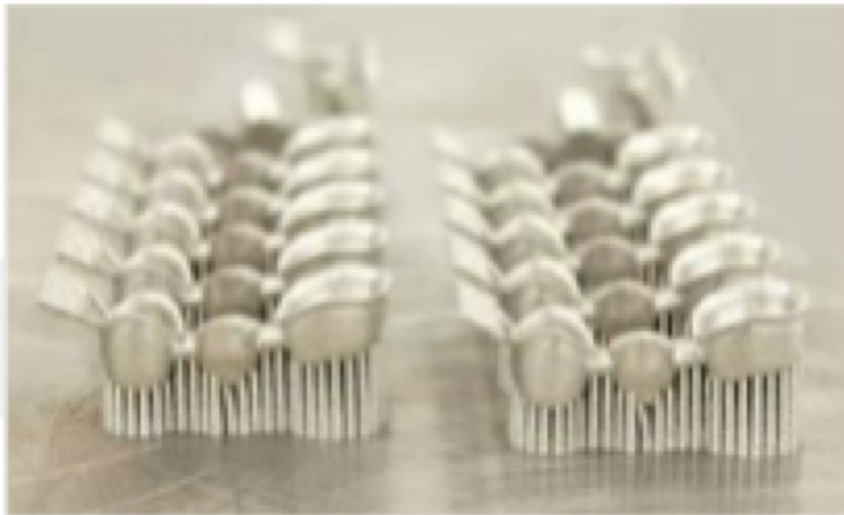
Come orientare il pezzo?





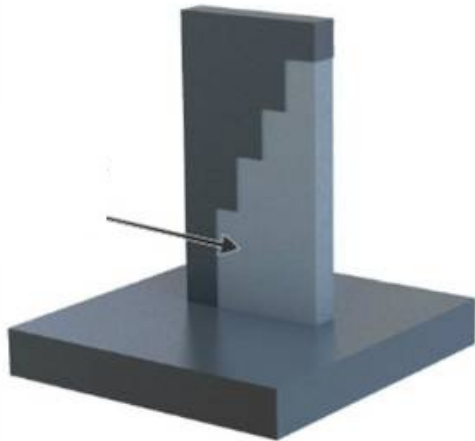
# Principi generali

- Pre-processore
  - Il modello STL deve essere processato con un software che generi i “supporti” laddove siano necessari
  - I supporti sono quegli elementi estranei al modello che però ne permettono la realizzazione



# I Supporti

A cosa servono i supporti?



I supporti sono un 'male necessario' nel processo di stampa 3D. Una buona progettazione mira a ridurli al minimo, evitando consumo di energia e materiale per la loro costruzione e rimozione.

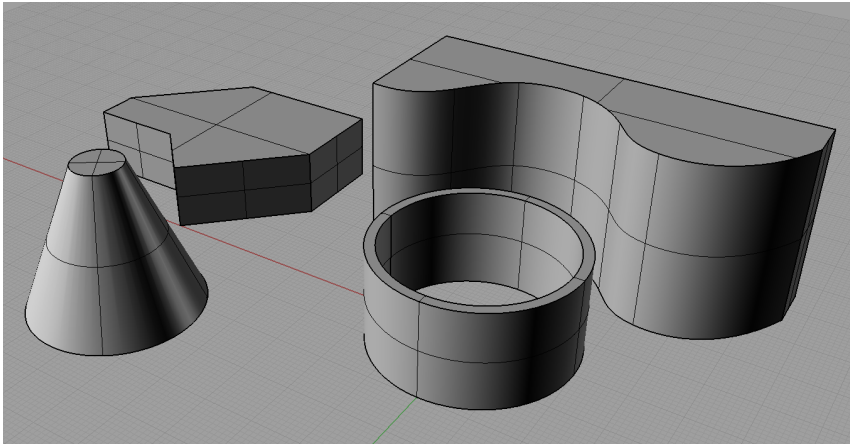
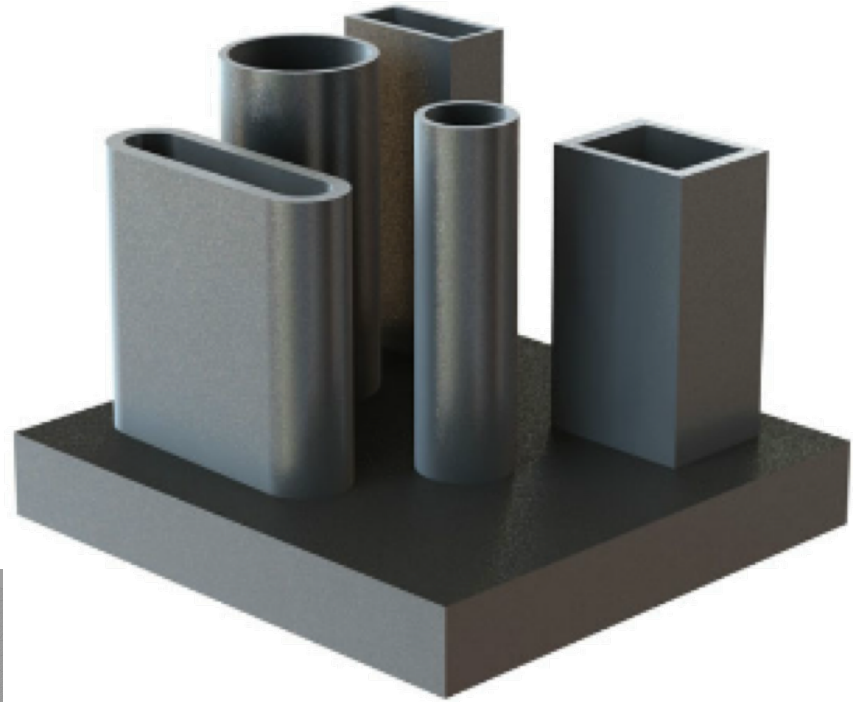
- 1.** Essi sostengono la superficie appena costruita, in particolare quelle affacciate verso il basso e gli angoli poco profondi;
- 2.** Possono impedire la deformazione della nuova geometria;
- 3.** Forniscono un sostegno temporaneo per la geometria che sarà forte quando completa, ma che è debole durante il processo di generazione.

Raramente è possibile la progettazione di parti che non richiedono supporti a tutta la geometria, ma riducendoli al minimo ci sarà un risparmio di tempo, energia e denaro.



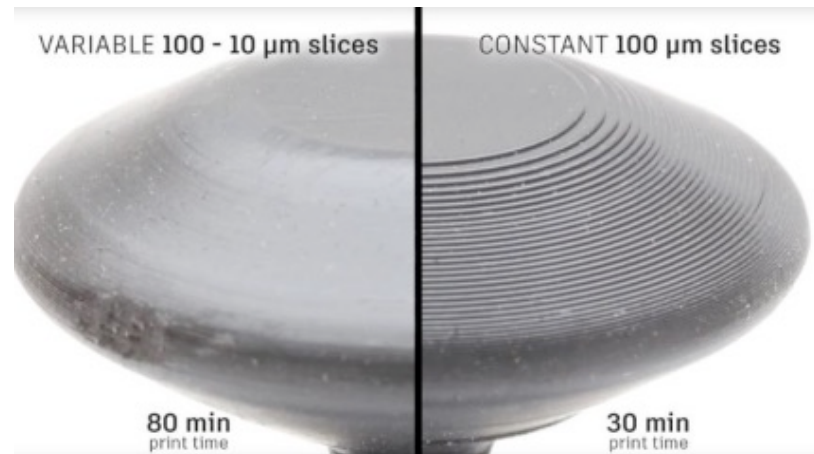
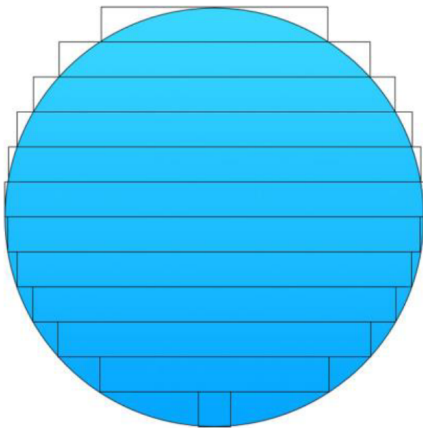
# Principi generali

Stampare oggetti  
ottenuti dalla semplice  
estrusione di una  
sezione non comporta  
alcun problema.



# Principi generali

5. Esecuzione slicing;
6. Definizione del file dati;

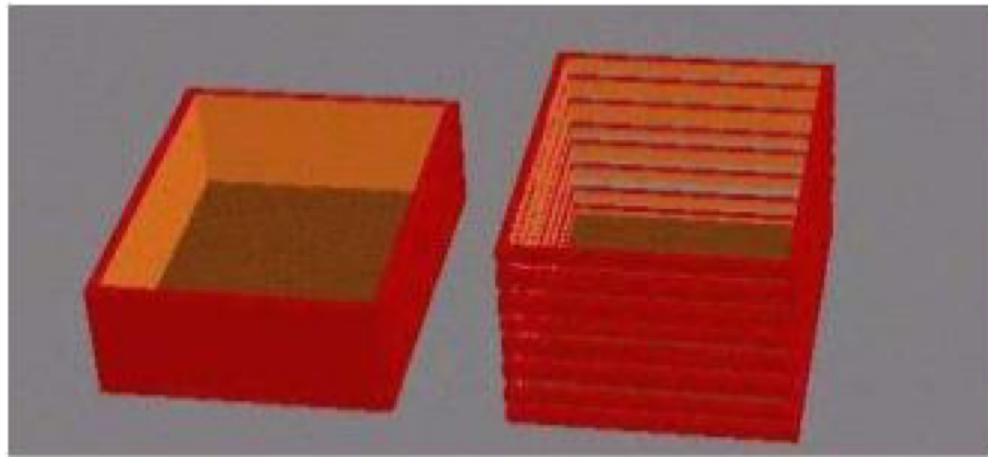


# Principi generali

---

## Slicing

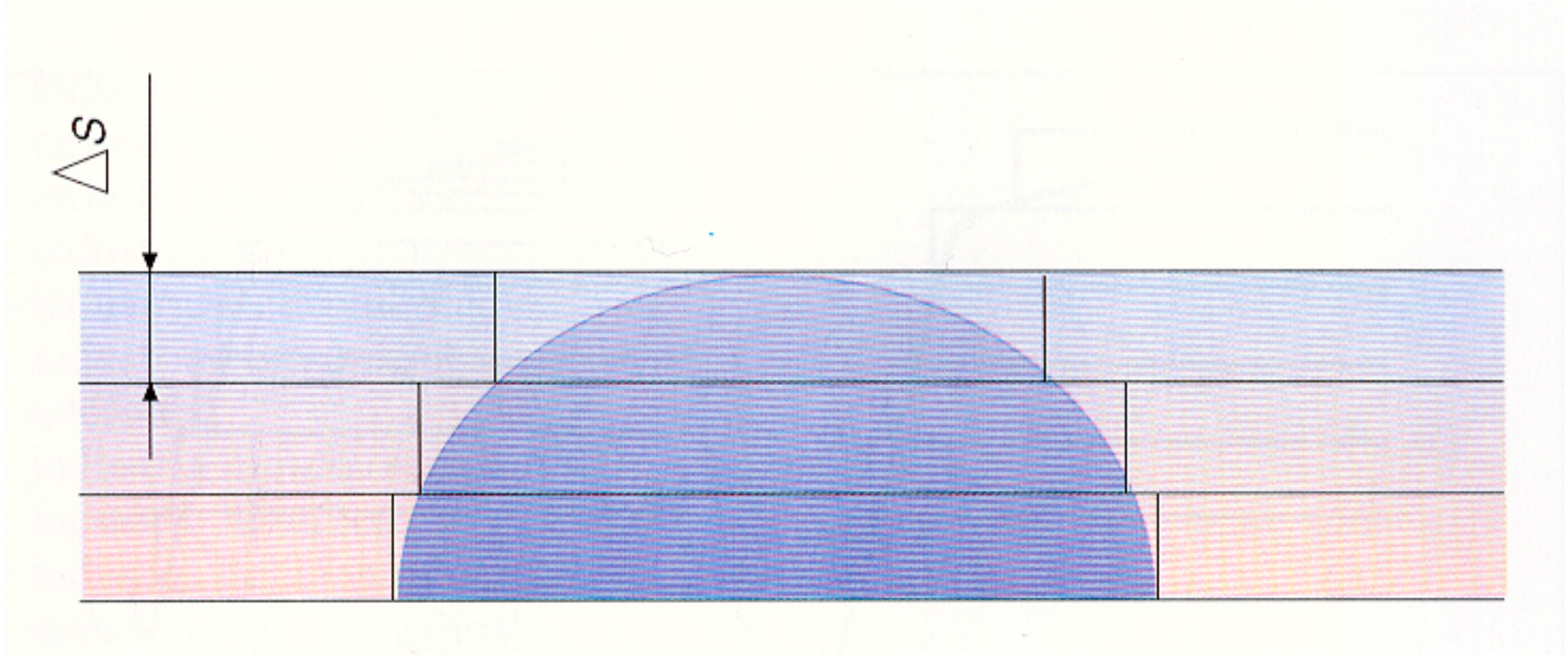
- Sezionamento del modello con piani perpendicolari all'asse z
- Il file del modello sezionato è quello che la macchina di RP utilizzerà per la creazione del pezzo





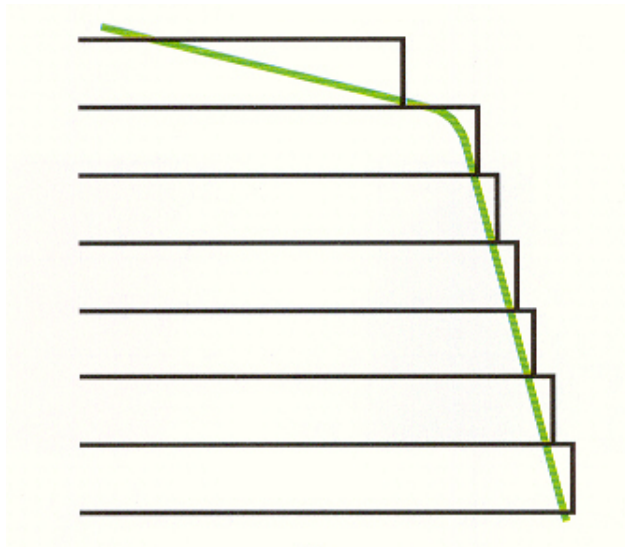
# Principi generali

La distanza tra i piani di slicing ( $\Delta s$  0.05 – 0.5 mm) determina la risoluzione del modello lungo l'asse z.

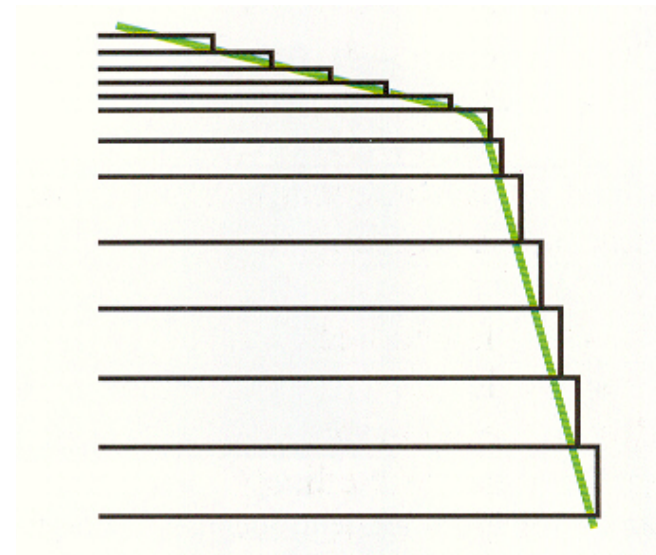


# Principi generali

## Slicing fisso



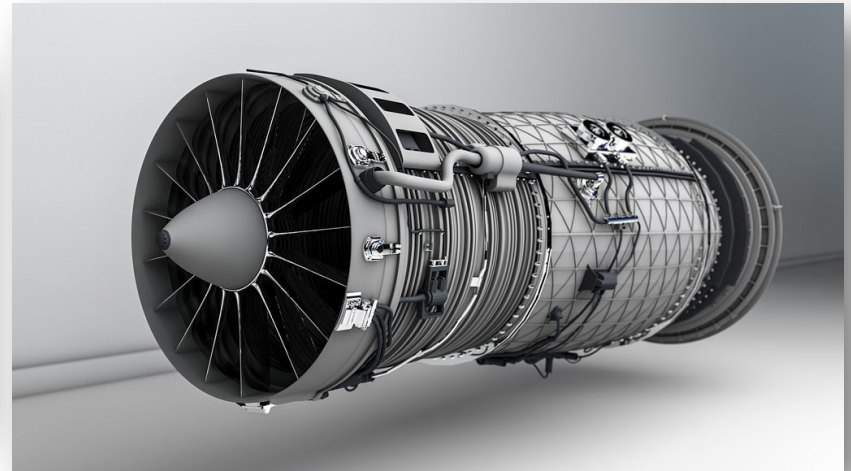
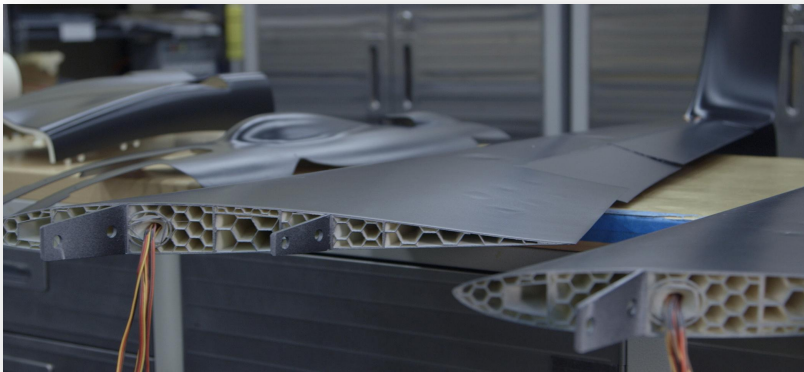
## Slicing adattativo



# Principi generali

---

6. Costruzione fisica del prototipo;
7. Rimozione supporti e finitura del pezzo.



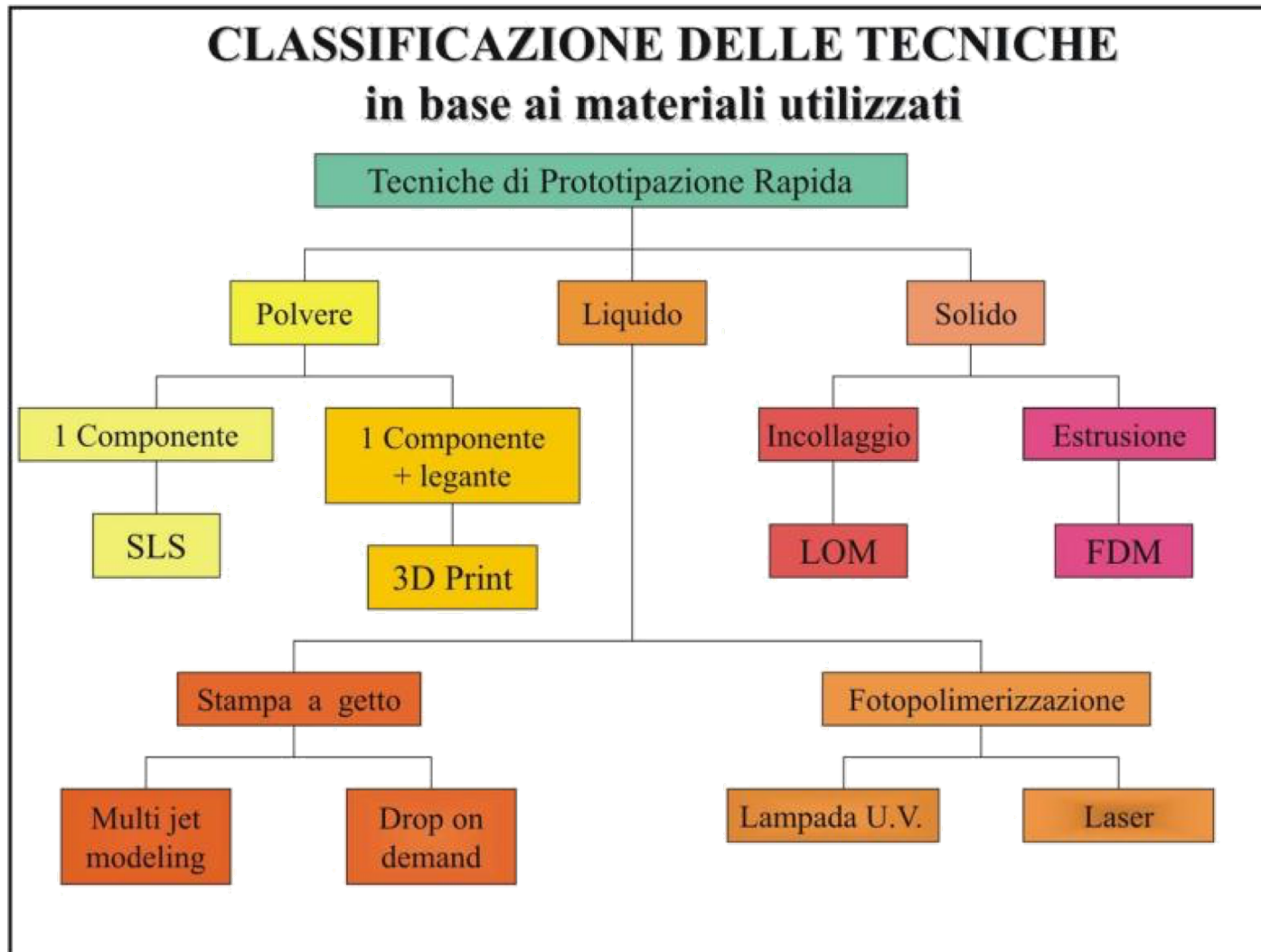
# Principi generali

---

## 1. Modello CAD

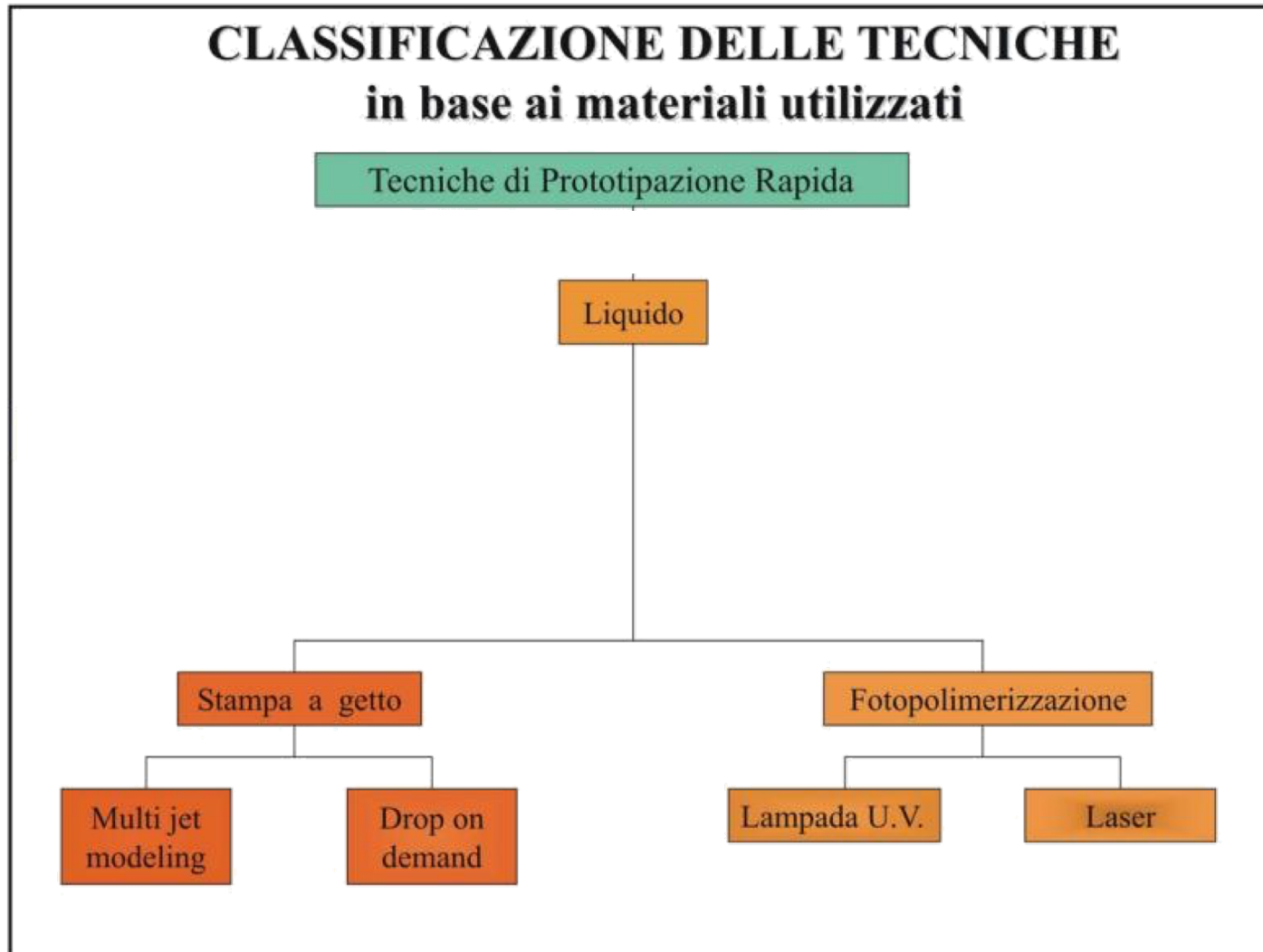


# Classificazione delle tecniche di P.R. in base ai materiali utilizzati



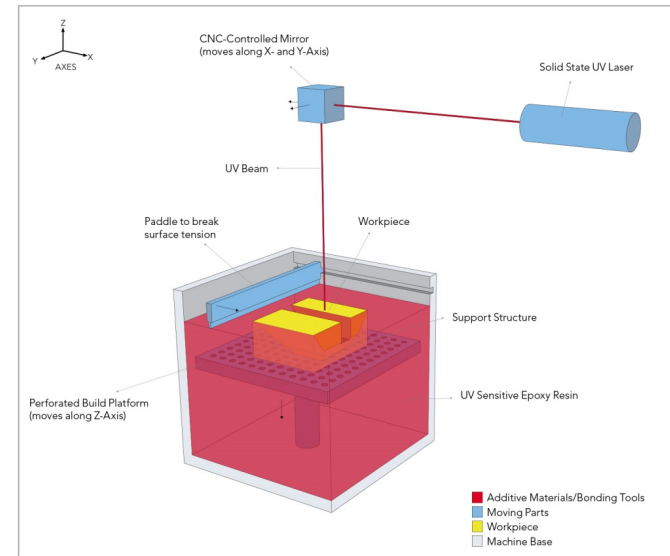


# Classificazione delle tecniche di P.R. in base ai materiali utilizzati



# Stereo Litography Apparatus (SLA)

|               |                                                   |
|---------------|---------------------------------------------------|
| Ideatori:     | Chuck Hull                                        |
| Anno:         | 1986                                              |
| Materiale:    | Resine fotosensibili allo stato liquido.          |
| Deposizione:  | Letto di resina in vasca.                         |
| Energia:      | Laser UV.                                         |
| Supporti:     | Necessari. Generati automaticamente dal software. |
| Applicazione: | Prototipi funzionanti.                            |



## PRO:

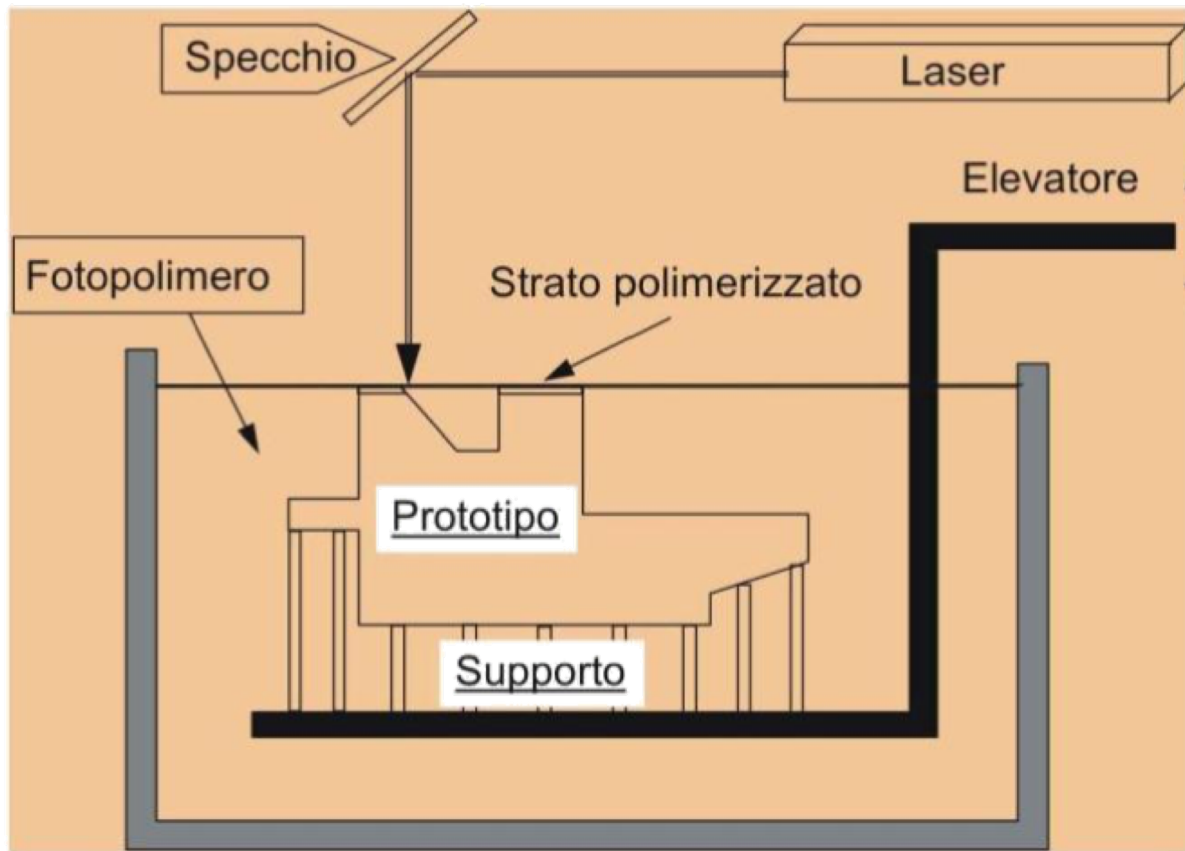
- Buona finitura superficiale.
- Vasta gamma di resine epossidiche fotosensibili utilizzabili e combinabili.

## CONTRO:

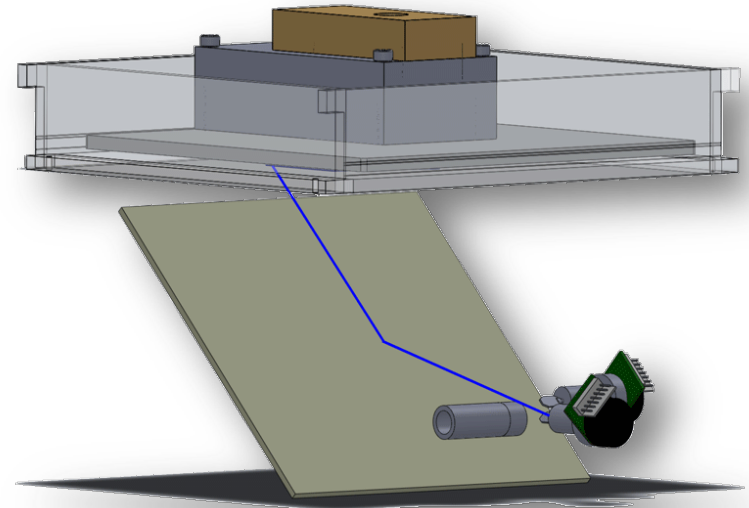
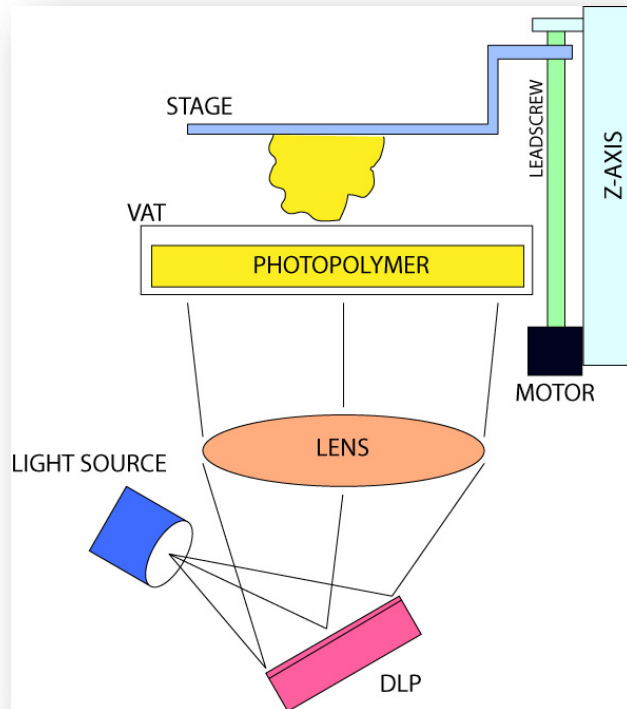
- La necessità di supporti limita le possibilità di realizzare forme molto complesse.
- Parti con scarsa resistenza meccanica e agli urti.
- È necessario porre il pezzo in un forno UV per solidificare la resina interna, allungando molto i tempi di lavorazione.

# Stereo Litography Apparatus (SLA)

## SCHEMA DI FUNZIONAMENTO



# Stereo Litography Apparatus (SLA)



# Stereo Litography Apparatus (SLA)

---

Stereolithography

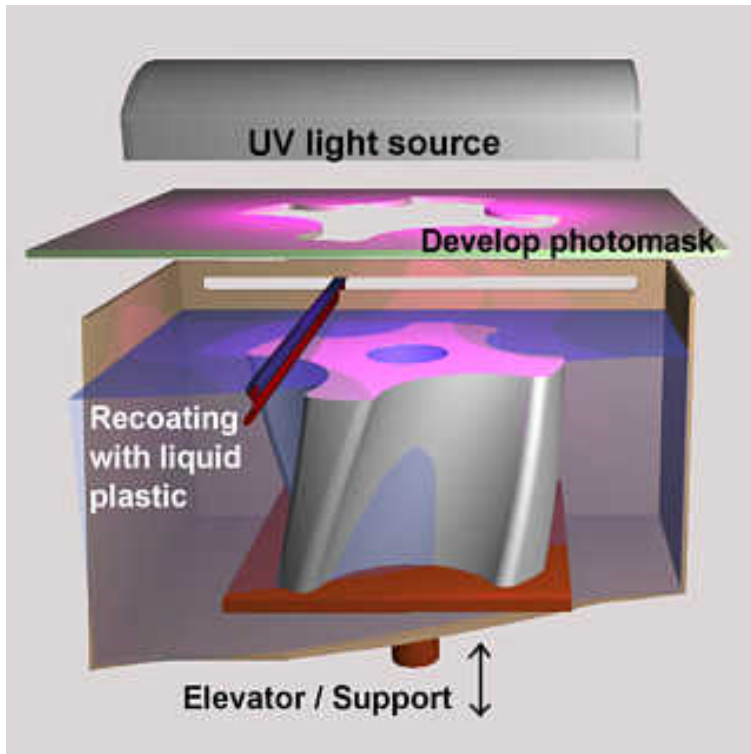
Computer Aided Manufacturing (CAM)





# Solid Ground Curing (SGC)

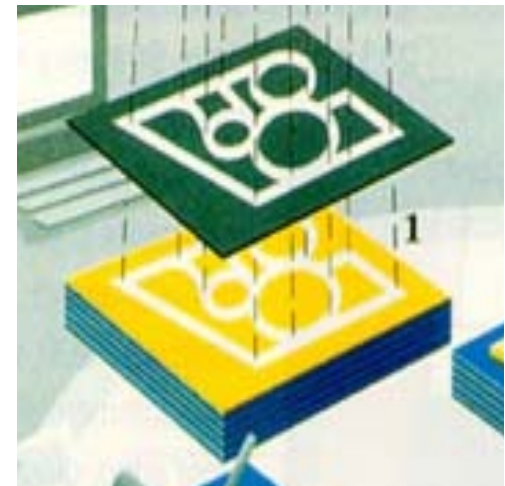
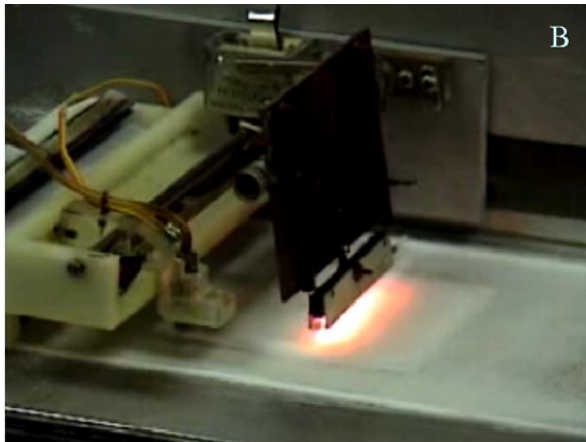
## Schema di Funzionamento



# Solid Ground Curing (SGC)

---

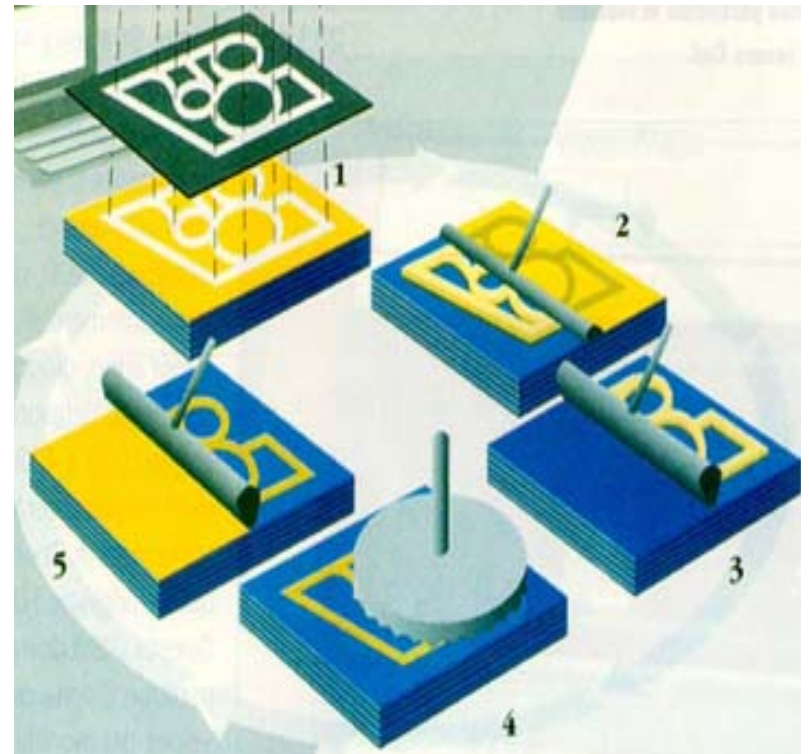
1. La sezione generata dal software viene utilizzata per produrre, su un supporto di vetro, una maschera che riproduce in negativo la sezione stessa (il principio sfruttato è analogo a quello della deposizione del toner nei processi di fotocopiatrice). Il supporto di vetro viene posto al di sopra di uno strato di resina depositato poco prima ed illuminato da una lampada ad ultravioletti; in questo modo si solidificano contemporaneamente tutti i punti della sezione da costruire



# Solid Ground Curing (SGC)

---

2. La parte di resina non polimerizzata viene aspirata
3. Sull'intera superficie viene depositato uno strato di cera liquida che immediatamente dopo verrà solidificata impiegando una piastra raffreddata
4. Lo strato costituito da cera e resina solidificate viene fresato per ottenere una sezione di spessore costante



# Solid Ground Curing (SGC)

---

5. L'elevatore si abbassa di una quantità pari allo spessore della sezione costruita, il supporto di vetro viene pulito, un sottile strato di fotopolimero viene depositato sull'elevatore ed il processo riprende fino al completamento del prototipo

Al termine si ha a disposizione un blocco compatto di cera e resina solidificata, il lavaggio finale con acqua in soluzione citrica permette l'asportazione della cera e l'estrazione del particolare. I materiali impiegati sono resine analoghe a quelle utilizzate per la stereolitografia; per di più, è possibile usare resine ad alta viscosità che garantiscono un basso coefficiente di ritiro.





# Stampa a getto - Multi jet modeling

---

- Definizioni e principi

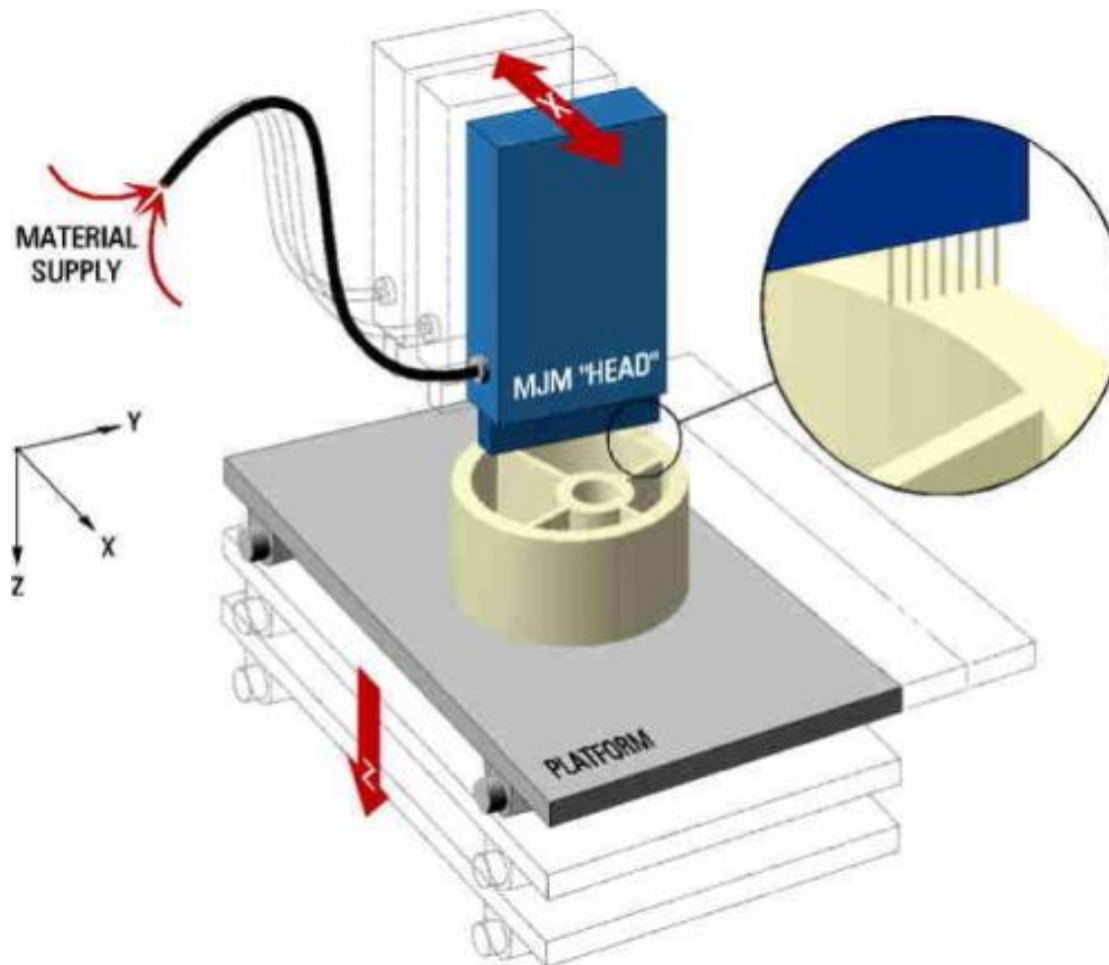
- Deposito di materiale simile a cera ( $T_m \sim 80^\circ\text{C}$ ) attraverso una testina di stampa che provvede a creare sia il modello che i supporti.

Una volta terminato il ciclo di stampa si preleva il modello dalla piattaforma e si rimuovono i supporti. A questo punto la macchina è pronta per un nuovo ciclo di stampa.





## SCHEMA DI FUNZIONAMENTO



# Stampa a getto - Multi jet modeling

---

- Vantaggi
  - Rapidità nella costruzione del modello
  - Buona fondibilità del prototipo
  - Utilizzo in ambiente d'ufficio
- Applicazioni tipiche
  - Modelli per stampi in silicone
  - Progetti di stile
  - Modelli per fusioni





# Stampa a getto – Drop on demand

---

- Definizioni e principi

- La tecnologia D.O.P. brevettata dalla Sanders (oggi Solidscape), consiste nel depositare attraverso due getti gocce micrometriche di materiale termoplastico verde (del tutto simile a cera) per la costruzione del modello ed una cera rossa per la costruzione dei supporti.

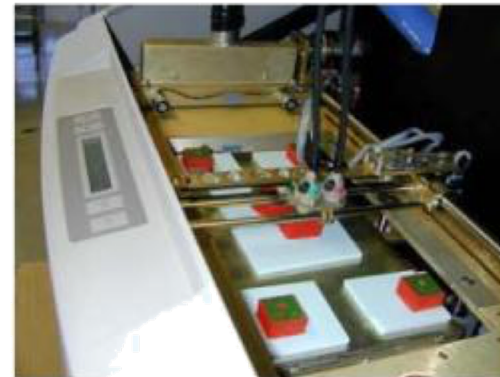
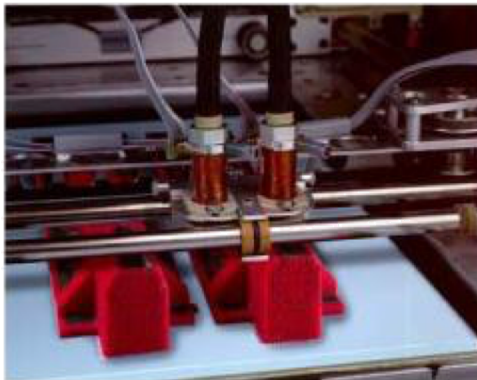
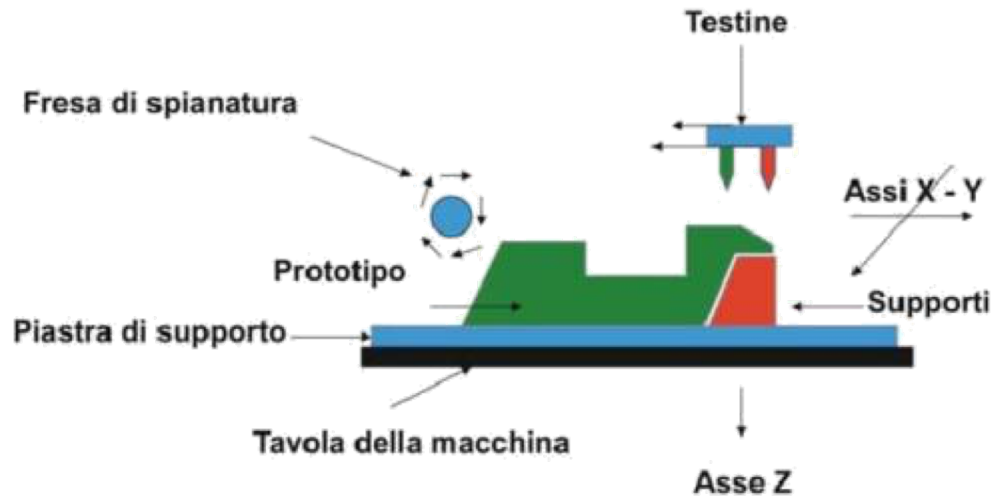
Oltre al processo additivo tipico dei sistemi RP interviene un processo sottrattivo, tipico delle macchine CNC, costituito da una fresa che provvede a spianare lo strato appena depositato.

Questa combinazione permette di realizzare prototipi molto precisi.

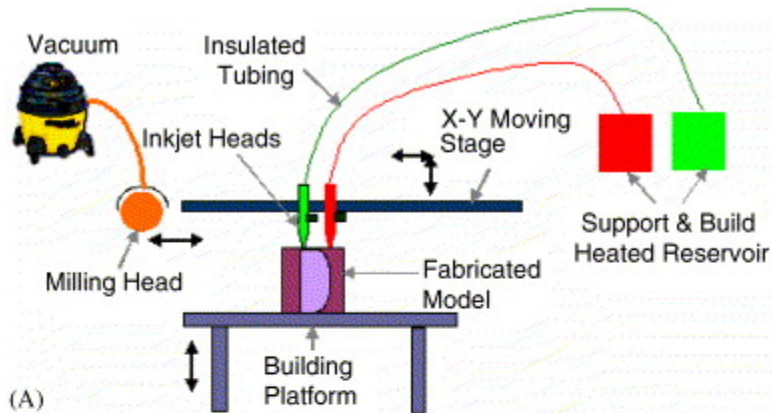


# Stampa a getto – Drop on demand

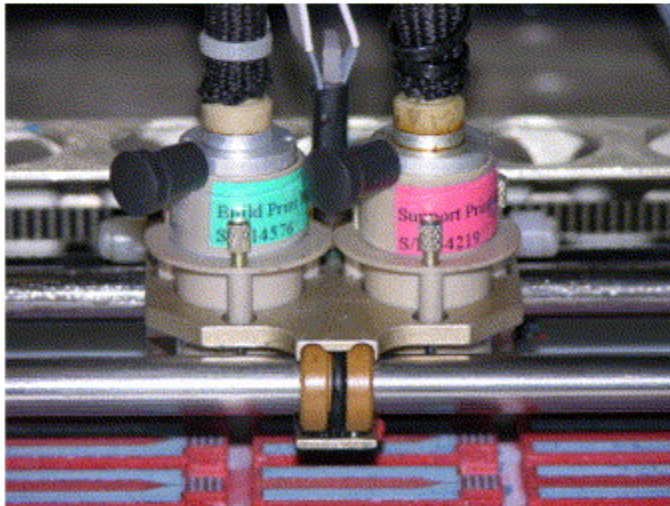
## SCHEMA DI FUNZIONAMENTO



# Stampa a getto – Drop on demand



(A)



(B)





# Stampa a getto – Drop on demand

---

- Vantaggi
  - E' la più precisa delle macchine RP
  - Flessibilità nella scelta della risoluzione
  - Precisione
    - 13 micron su 23 cm sull'asse Z
    - 25 micron su 15 cm sugli assi X ed Y
  - Semplice utilizzo e affidabile
- Applicazioni tipiche
  - Modelli per stampi in silicone
  - Modelli per fusione (gioielleria)
  - Direct manufacturing



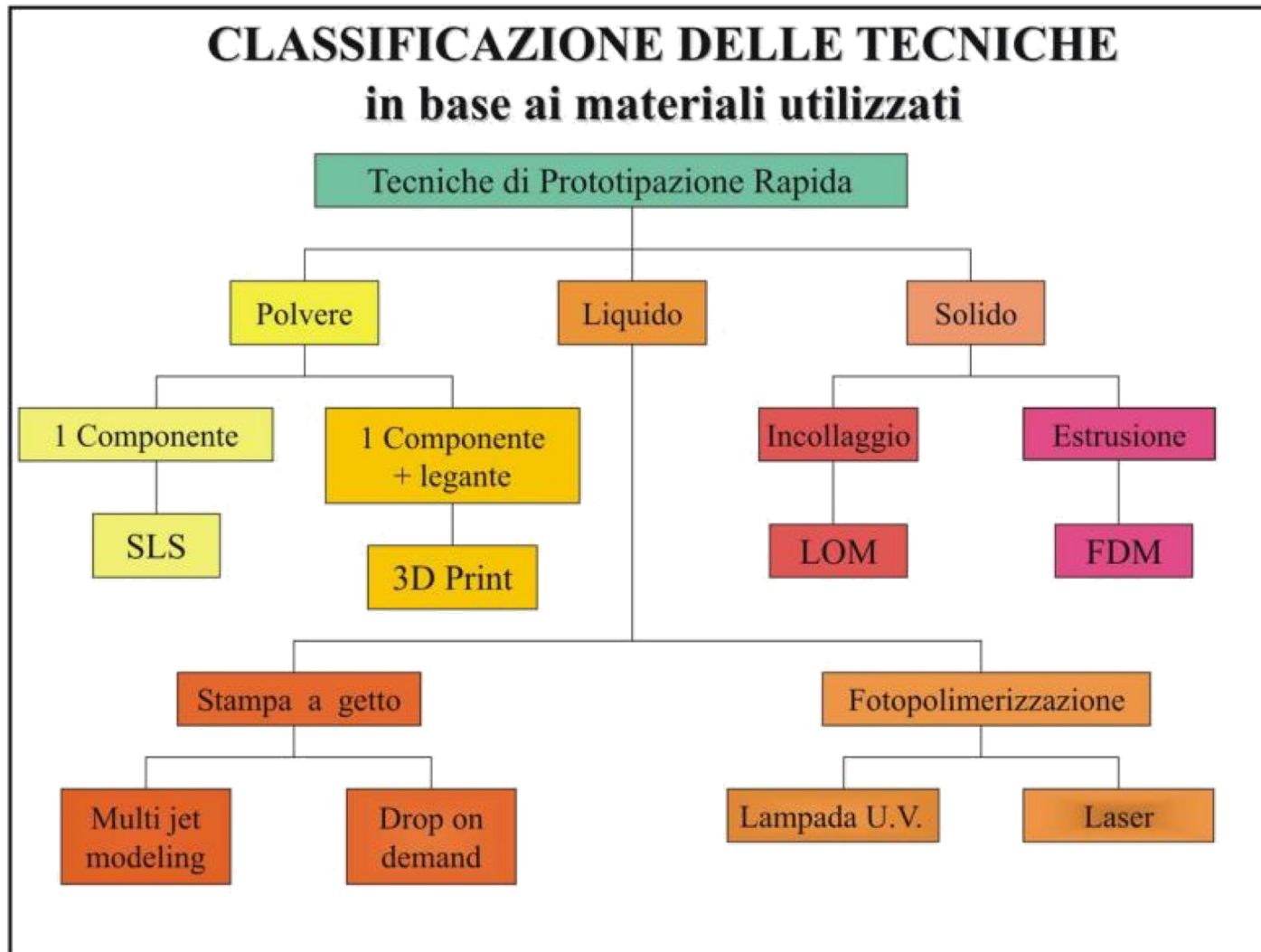
# Stampa a getto – Drop on demand

---

- Esempi di modelli



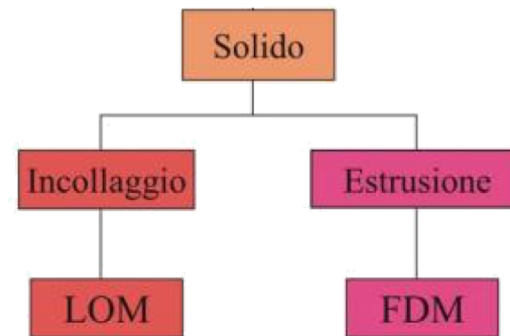
# Classificazione delle tecniche di P.R. in base ai materiali utilizzati



# Classificazione delle tecniche di P.R. in base ai materiali utilizzati

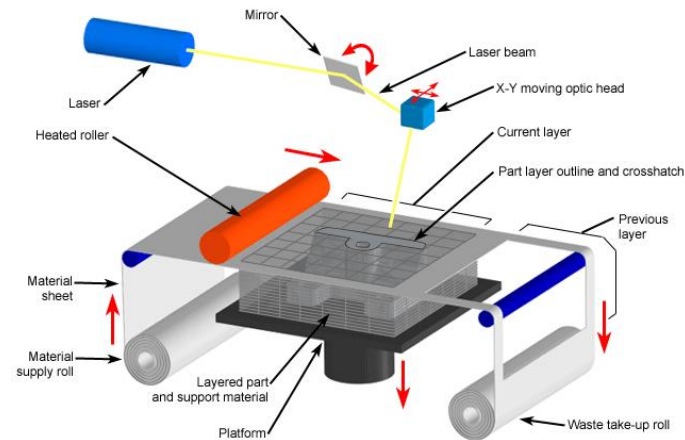
## CLASSIFICAZIONE DELLE TECNICHE in base ai materiali utilizzati

Tecniche di Prototipazione Rapida



# Laminated Object Manufacturing (LOM)

|               |                                                                                   |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Ideatori:     | Helisys Inc.                                                                      |
| Materiale:    | Solitamente carta, in fogli sottili.                                              |
| Deposizione:  | I fogli vengono uniti uno sull'altro tramite un collante al diossido di carbonio. |
| Energia:      | Rullo riscaldato                                                                  |
| Supporti:     | Necessari. Dello stesso materiale della parte.                                    |
| Applicazione: | Prototipi estetici e modelli di grandi dimensioni.                                |



Copyright © 2008 CustomPartNet

## PRO:

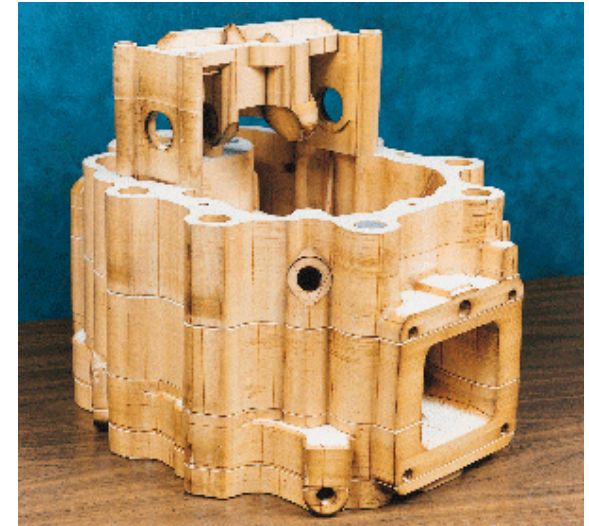
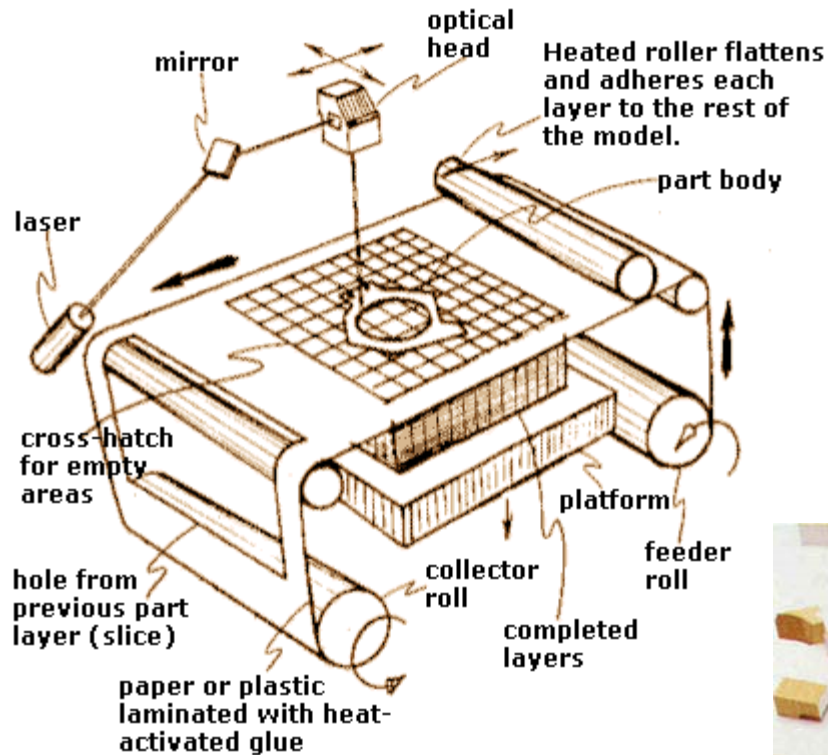
- Materiali utilizzati e processo particolarmente economici.

## CONTRO:

- Post processing lungo e complesso: i supporti vanno rimossi manualmente con attrezzature da falegnameria; finitura con carta abrasiva per evitare distacchi di materiale; trattamento di impermeabilizzazione.



# Tecnologia LOM (Laminate Object Manufacturing)



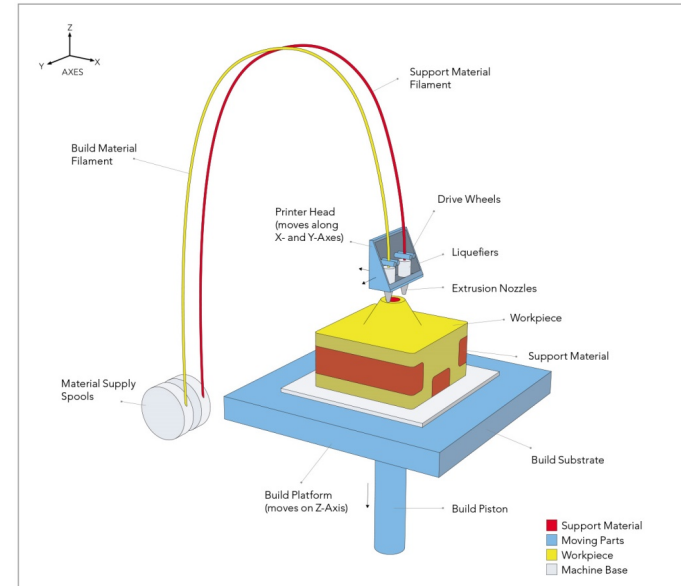
# Tecnologia LOM (Laminate Object Manufacturing)

Lentezza, problemi dimensionali di notevole imprecisione e la deperibilità dei prototipi realizzati in questa tecnologia sono la somma dei difetti L.O.M. Si aggiunga la difficoltà di rifinitura di questi pezzi e la difficoltà ad eliminare gli eventuali supporti e si capirà il perché della sua scarsa diffusione. Il basso costo del materiale permette di mantenere i prezzi contenuti su prototipi di grandi dimensioni.



# Fused Deposition Modelling (FDM)

|               |                                                                                      |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Ideatori:     | Scott Crump                                                                          |
| Anno:         | 1988                                                                                 |
| Materiale:    | Polimeri termoplastici sotto forma di filo sottile.                                  |
| Deposizione:  | Estrusione attraverso un ugello.                                                     |
| Energia:      | Estrusione, ugello riscaldato al di sopra della temperatura di fusione del polimero. |
| Supporti:     | Necessari in caso di sottosquadri.                                                   |
| Applicazione: | Prototipi estetici; prototipi funzionanti; uso domestico.                            |



## PRO:

- Processo "pulito": non è presente materiale in eccesso all'interno della camera di stampa.
- Processo economico.
- Parti con buona resistenza agli urti e all'usura.

## CONTRO:

- Lo spessore di slice è determinato dalla dimensione dell'ugello. Ne consegue una scarsa finitura delle parti realizzate.

# Tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling)

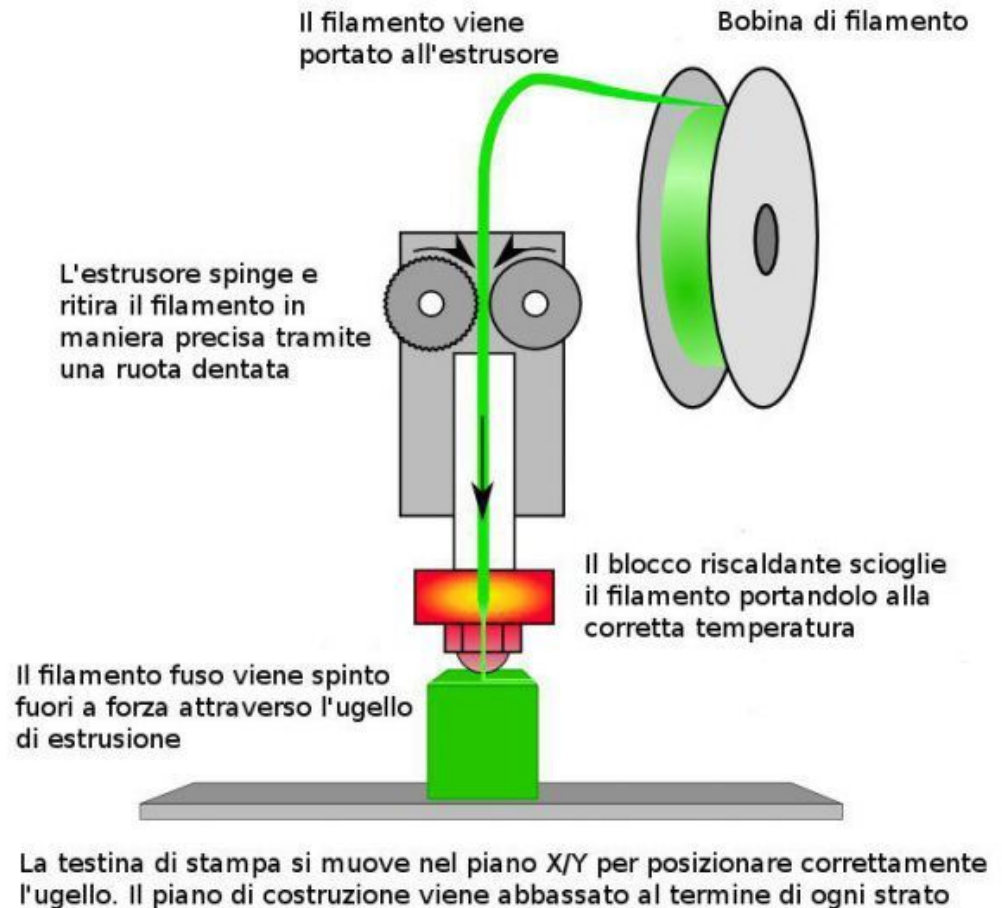
---

- Definizioni e principi
  - Per “estrusione di materiale” si intende quel processo tecnologico in cui le sezioni (“slicing”) sono realizzate tramite estrusione e deposizione di materiale allo stato fuso e non tramite polimerizzazione
  - Anche in queste macchine la generazione dei supporti, ove necessaria, è completamente automatica



# Tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling)

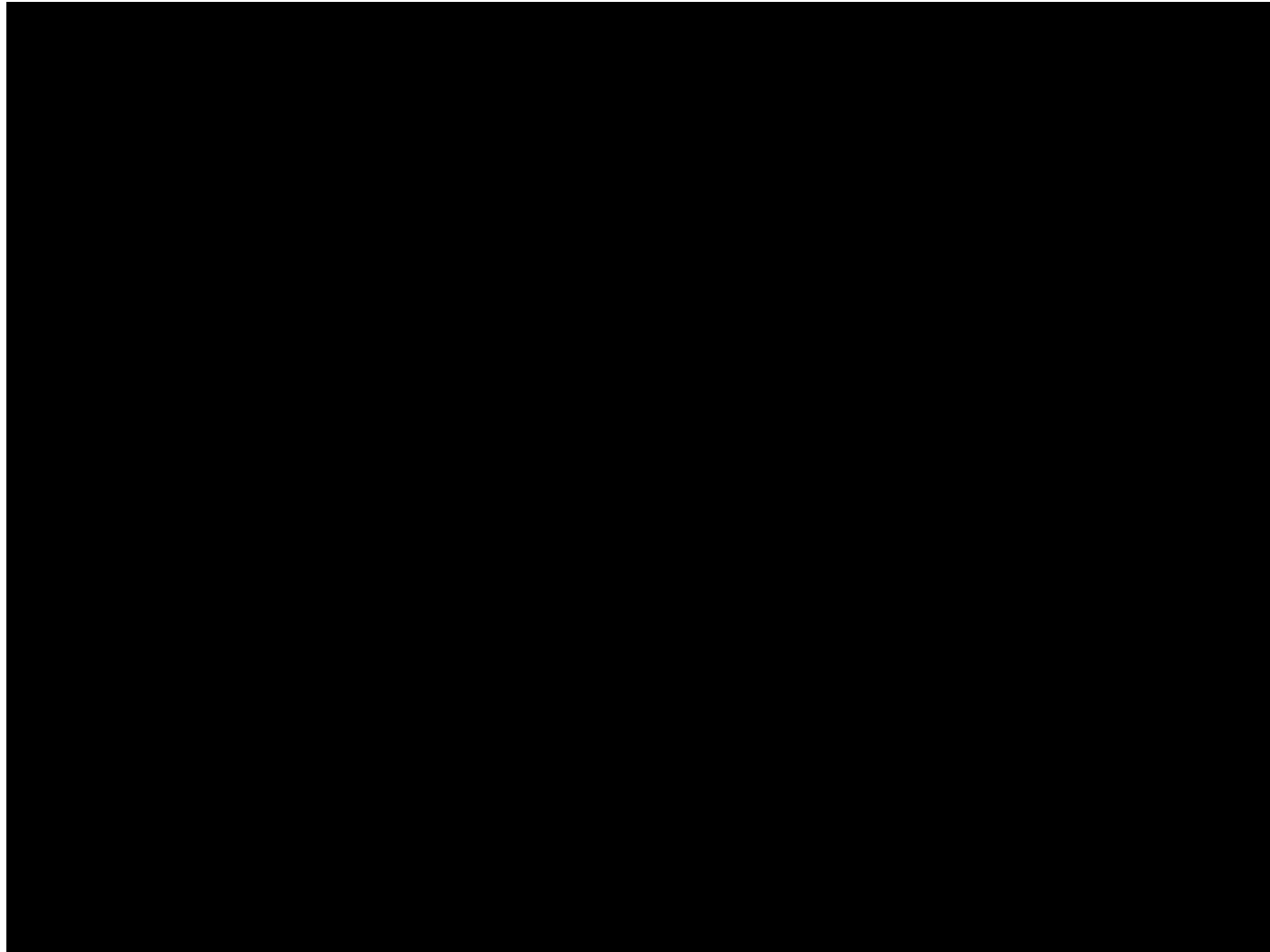
La Modellazione a Deposizione Fusa (Fused deposition modeling) fu sviluppata da S. Scott Crump alla fine degli anni ottanta e fu commercializzata negli anni '90 dalla Stratasys. Da qualche anno la Stratasys non possiede più il marchio commerciale.





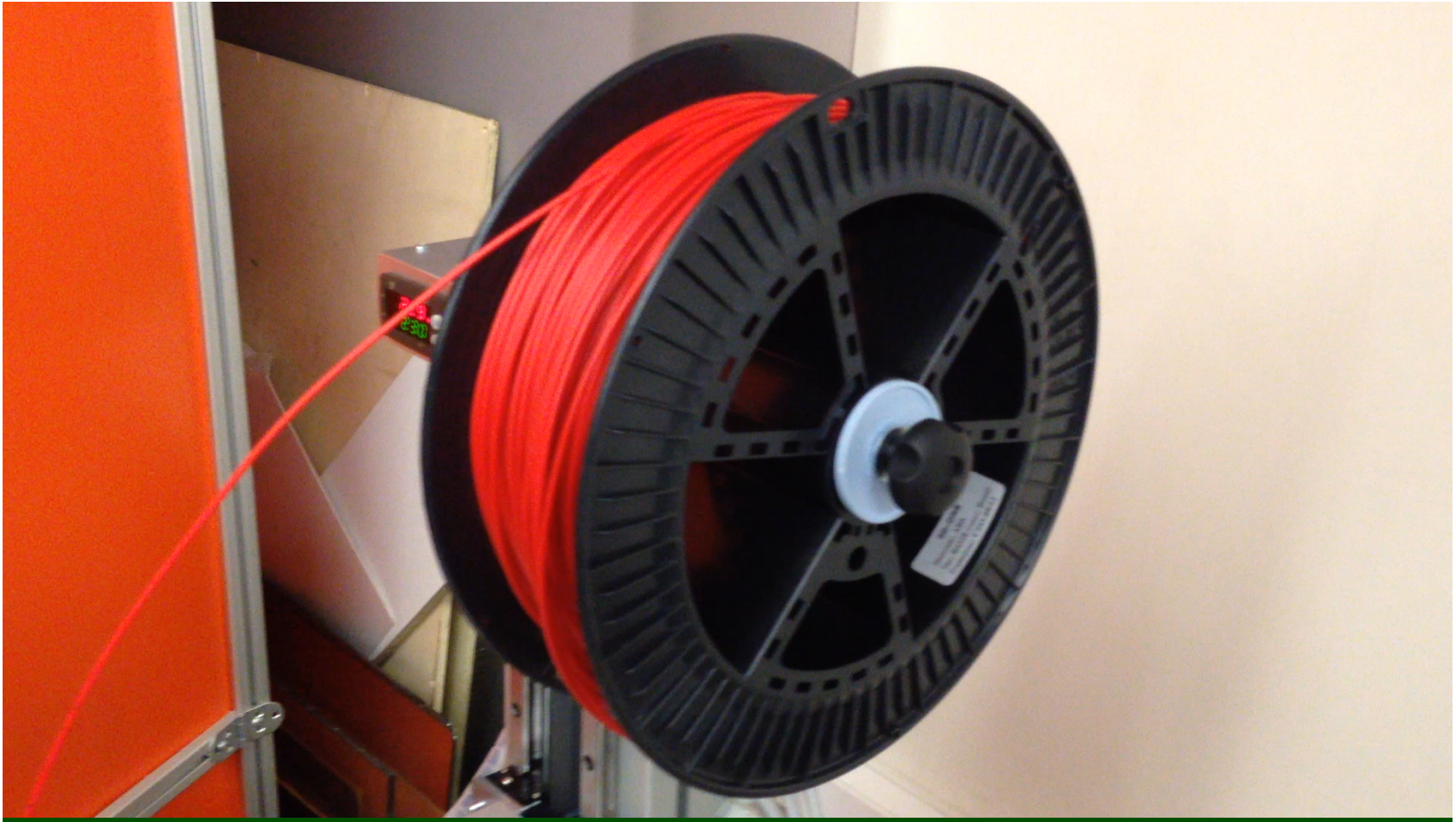
# Tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling)

---



# Tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling)

---



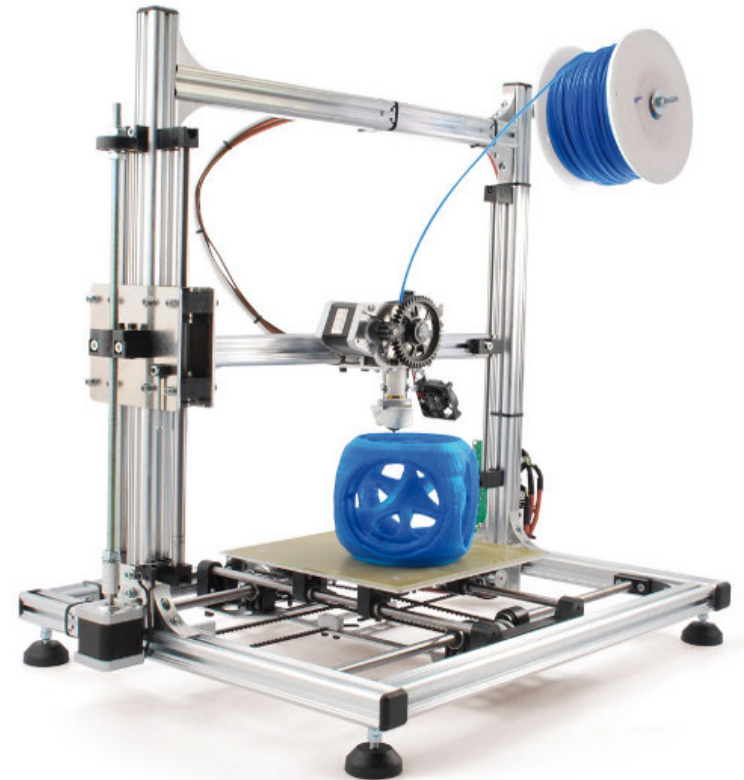
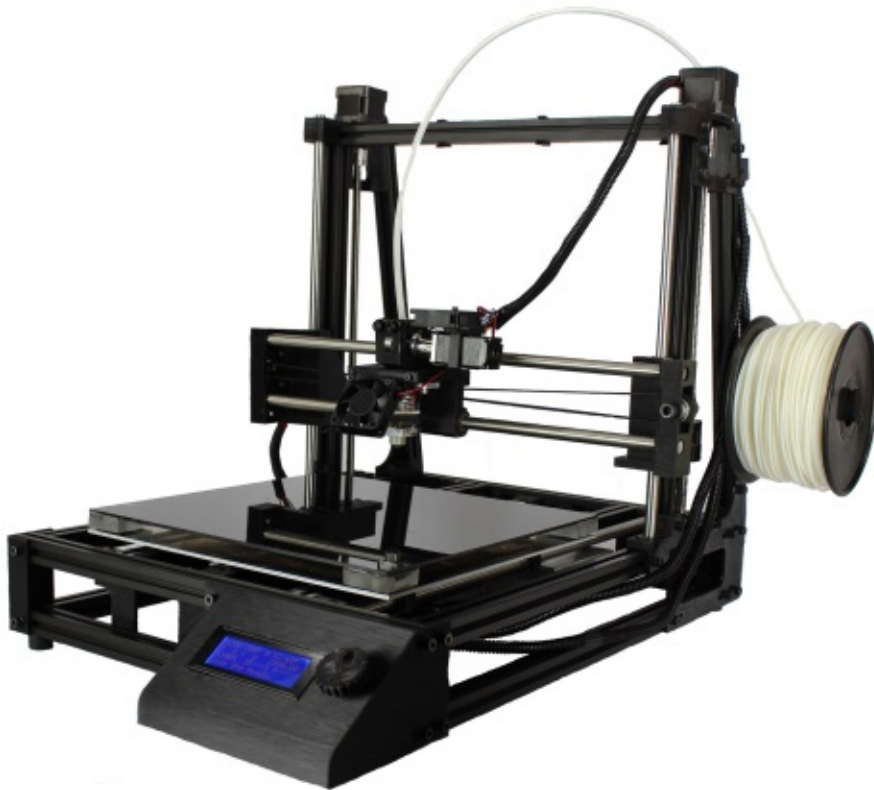
# Tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling)

---



# Tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling)

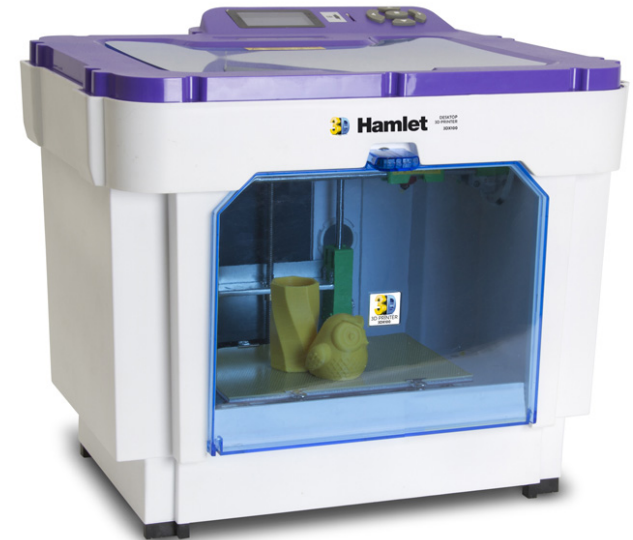
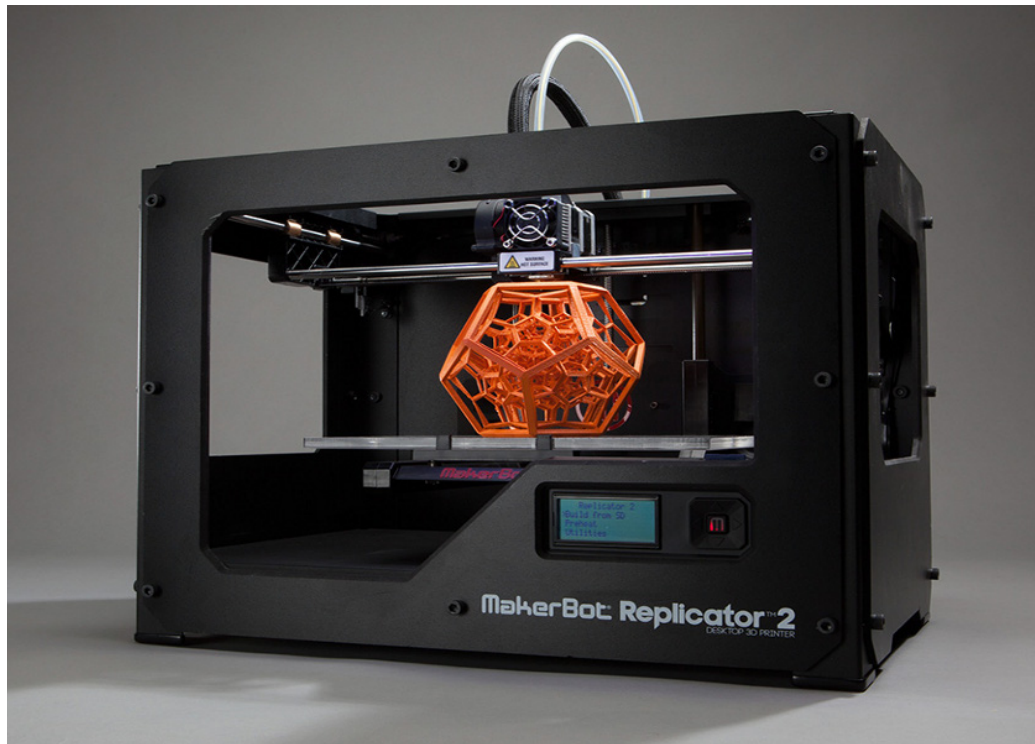
---





# Tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling)

---





# Tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling)



# Tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling)

---

## Vantaggi

- Discreta resistenza dei modelli
- Buona precisione dimensionale
- Semplice rimozione dei supporti

## Applicazioni tipiche

- Modelli per stampi
- Modelli per test di assemblaggio
- Modelli di stile
- Prodotti finiti per piccola serie a cui non sono richieste particolari caratteristiche meccaniche

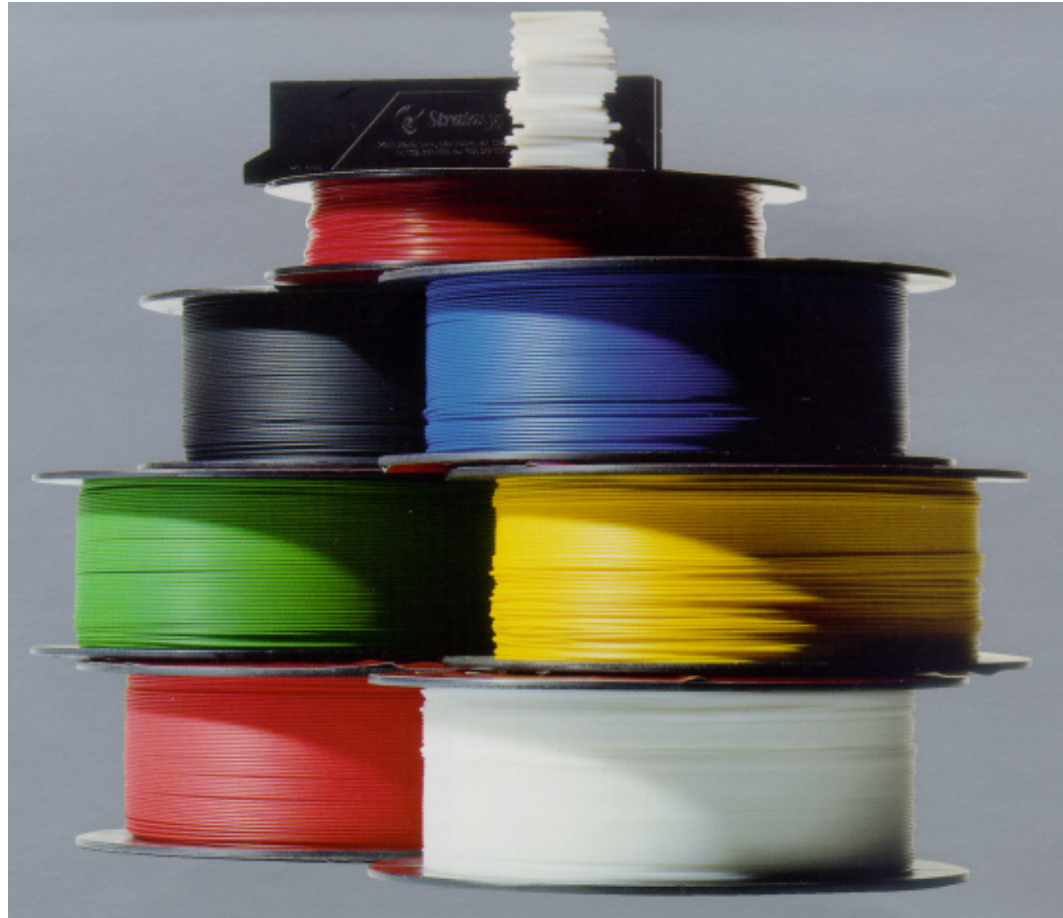
# Tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling)

---

- ▶ LIMITI: processo lento per pezzi grandi.
- ▶ SUPPORTI: se necessari sono generati automaticamente dal software
- ▶ POST-TRATTAMENTO: potrebbe essere necessario
- ▶ PULIZIA DEL PROCESSO: pulito

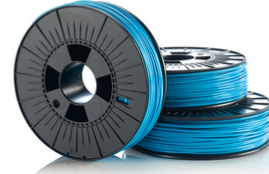
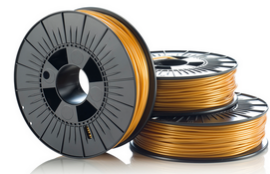
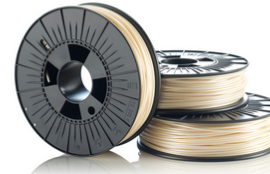
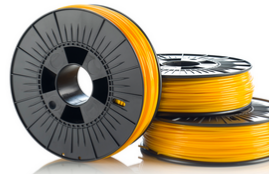
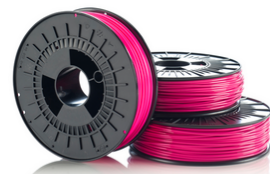
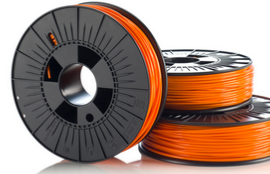
# Tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling)

## ABS Model Finishing Techniques



# Tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling)

PLA (Poly-Lactic-Acid - acido polilattico ricavata dalla farina di granoturco)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>PLA Ultimate-Blue</b></p>  <p>PLA (Poly-Lactic-Acid) reel with 2.85 mm diameter. Great roundness and consistency.</p> <p>€31,50 <small>ex. VAT</small></p> <p><a href="#">Go shopping</a></p>                                   | <p><b>PLA Gold</b></p>  <p>Comes on a reel for more printing convenience. 2.85mm diameter. Great roundness and consistency. PLA is Poly-Lactic-Acid, a</p> <p>€31,50 <small>ex. VAT</small></p> <p><a href="#">Go shopping</a></p>     | <p><b>PLA Pearl-White</b></p>  <p>Comes on a reel for more printing convenience. 2.85mm diameter. Great roundness and consistency. PLA is Poly-Lactic-Acid, a</p> <p>€31,50 <small>ex. VAT</small></p> <p><a href="#">Go shopping</a></p> |
| <p><b>PLA Yellow</b></p>  <p>Comes on a reel for more printing convenience. 2.85mm diameter. Great roundness and consistency. PLA is Poly-Lactic-Acid, a</p> <p>€31,50 <small>ex. VAT</small></p> <p><a href="#">Go shopping</a></p> | <p><b>PLA Magenta</b></p>  <p>Comes on a reel for more printing convenience. 2.85mm diameter. Great roundness and consistency. PLA is Poly-Lactic-Acid, a</p> <p>€31,50 <small>ex. VAT</small></p> <p><a href="#">Go shopping</a></p> | <p><b>PLA Orange</b></p>  <p>Comes on a reel for more printing convenience. 2.85mm diameter. Great roundness and consistency. PLA is Poly-Lactic-Acid, a</p> <p>€31,50 <small>ex. VAT</small></p> <p><a href="#">Go shopping</a></p>     |

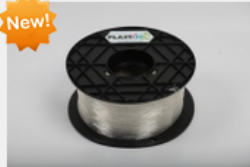




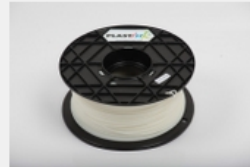
# Tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling)

## Gomma

GOMMA Ø 1,75 mm 1 kg



CRYSTAL RUBBER Ø 1,75 da 1kg  
60,00 EUR  
più 22 % IVA  
[Acquista](#) [Dettaglio](#)



GOMMA BIANCA Ø 1,75 da 1 Kg  
60,00 EUR  
più 22 % IVA  
[Acquista](#) [Dettaglio](#)



GOMMA BLU Ø 1,75 da 1Kg  
60,00 EUR  
più 22 % IVA  
[Acquista](#) [Dettaglio](#)



GOMMA GIALLA Ø 1,75 da 1 Kg  
60,00 EUR  
più 22 % IVA  
[Acquista](#) [Dettaglio](#)



GOMMA NERA Ø 1,75 da 1Kg  
60,00 EUR  
più 22 % IVA  
[Acquista](#) [Dettaglio](#)



GOMMA ROSSA Ø 1,75 da 1 Kg  
60,00 EUR  
più 22 % IVA  
[Acquista](#) [Dettaglio](#)



GOMMA VERDE Ø 1,75 da 1 Kg  
60,00 EUR  
più 22 % IVA  
[Acquista](#) [Dettaglio](#)

Prodotti Ø 3 mm

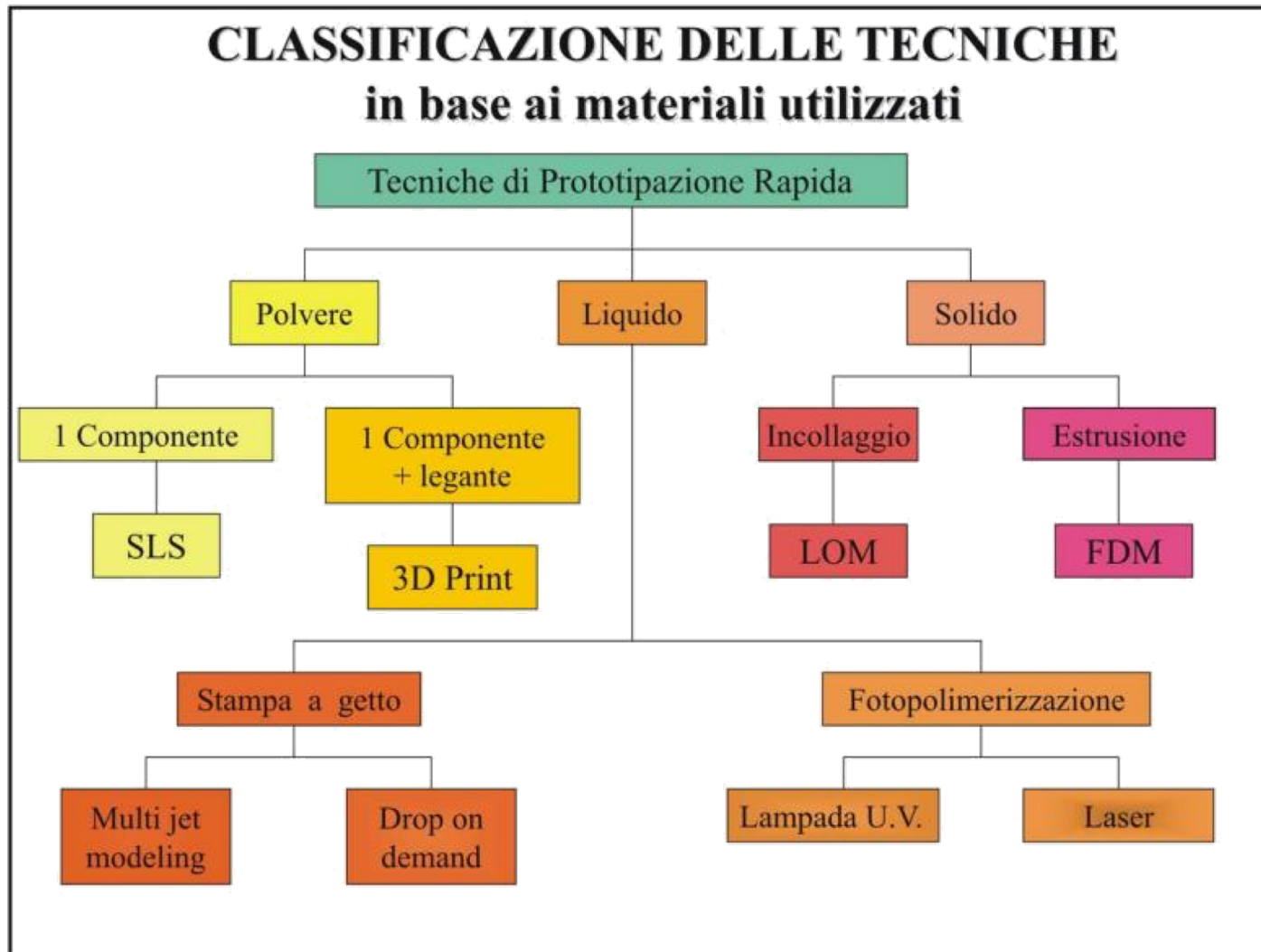
Campionatura Ø 3 mm  
GOMMA Ø 3 mm 1 kg  
GOMMA Ø 3 mm 500 g  
ABS Ø 3 mm 1 kg  
ABS Ø 3 mm 500 g  
PLA Ø 3 mm 1 kg  
PLA Ø 3 mm 500 g

Prodotti Ø 1,75 mm

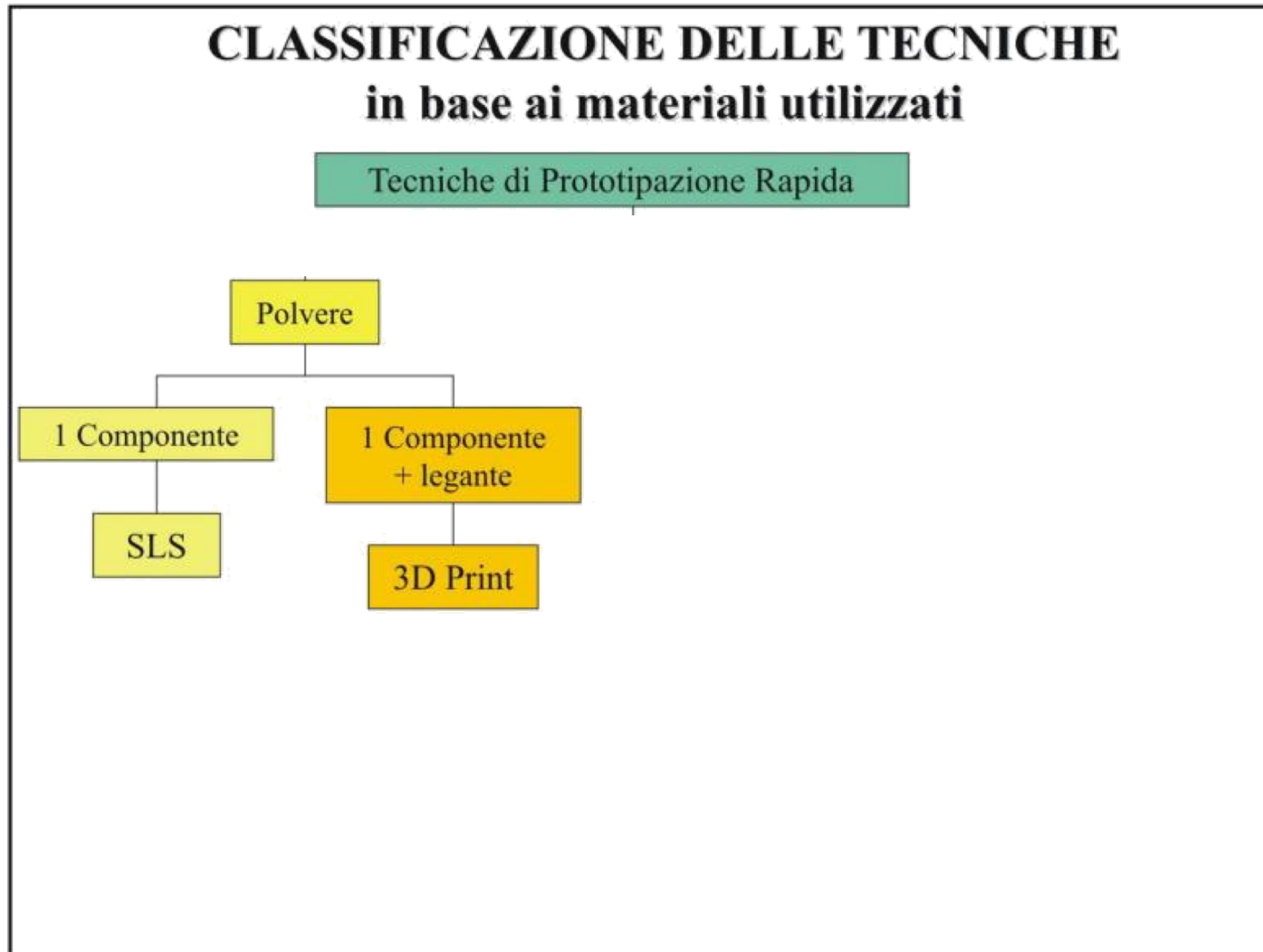
Campionatura Ø 1,75 mm  
**GOMMA Ø 1,75 mm 1 kg**  
GOMMA Ø 1,75 mm 500 g  
ABS Ø 1,75 mm 1 kg  
ABS Ø 1,75 mm 500 g  
PLA Ø 1,75 mm 1 kg  
PLA Ø 1,75 mm 500 g



# Classificazione delle tecniche di P.R. in base ai materiali utilizzati

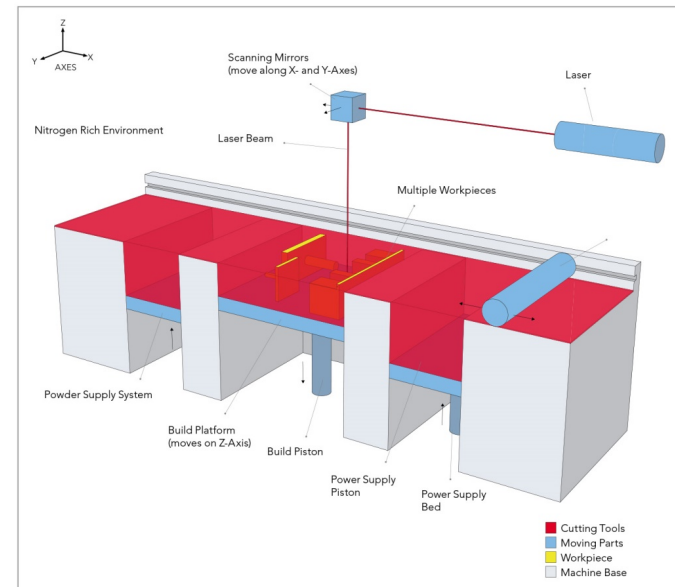


# Classificazione delle tecniche di P.R. in base ai materiali utilizzati



# Selective Laser Sintering (SLS)

|               |                                                              |
|---------------|--------------------------------------------------------------|
| Ideatori:     | Carl Deckard                                                 |
| Anno:         | 1992                                                         |
| Materiale:    | Polimeri termoplastici e metalli (versione DMLS) in polvere. |
| Deposizione:  | Letto di polvere                                             |
| Energia:      | Sinterizzazione Laser                                        |
| Supporti:     | Non necessari.                                               |
| Applicazione: | Prototipi funzionanti; additive manufacturing.               |

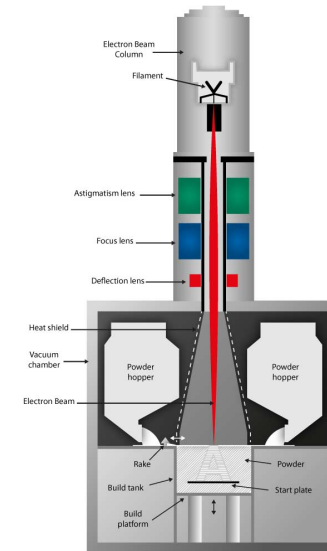


## PRO:

- Non essendo necessario l'utilizzo di supporti, la tecnica è particolarmente adatta a forme complesse.
- Il materiale ottenuto dalla lavorazione ha buone proprietà meccaniche.
- Camera di stampa dalle dimensioni piuttosto ridotte.
- Finitura superficiale peggiore rispetto ad altre tecniche additive.
- Costi elevati.

# Selective Laser Melting (SLM)

|               |                                                |
|---------------|------------------------------------------------|
| Ideatori:     | Fraunhofer Institute                           |
| Anno:         | 1995                                           |
| Materiale:    | metalli in polvere.                            |
| Deposizione:  | Letto di polvere in atmosfera inerte.          |
| Energia:      | Fusione Laser ( $\text{CO}_2$ , Nd:YAG)        |
| Supporti:     | Non necessari.                                 |
| Applicazione: | Additive manufacturing; prototipi funzionanti. |



## PRO:

- Non essendo necessario l'utilizzo di supporti, la tecnica è particolarmente adatta a forme complesse.
- Il materiale ottenuto dalla lavorazione ha ottime proprietà meccaniche.

## CONTRO:

- Costi elevati.



# Sinterizzazione delle polveri - SLS

---

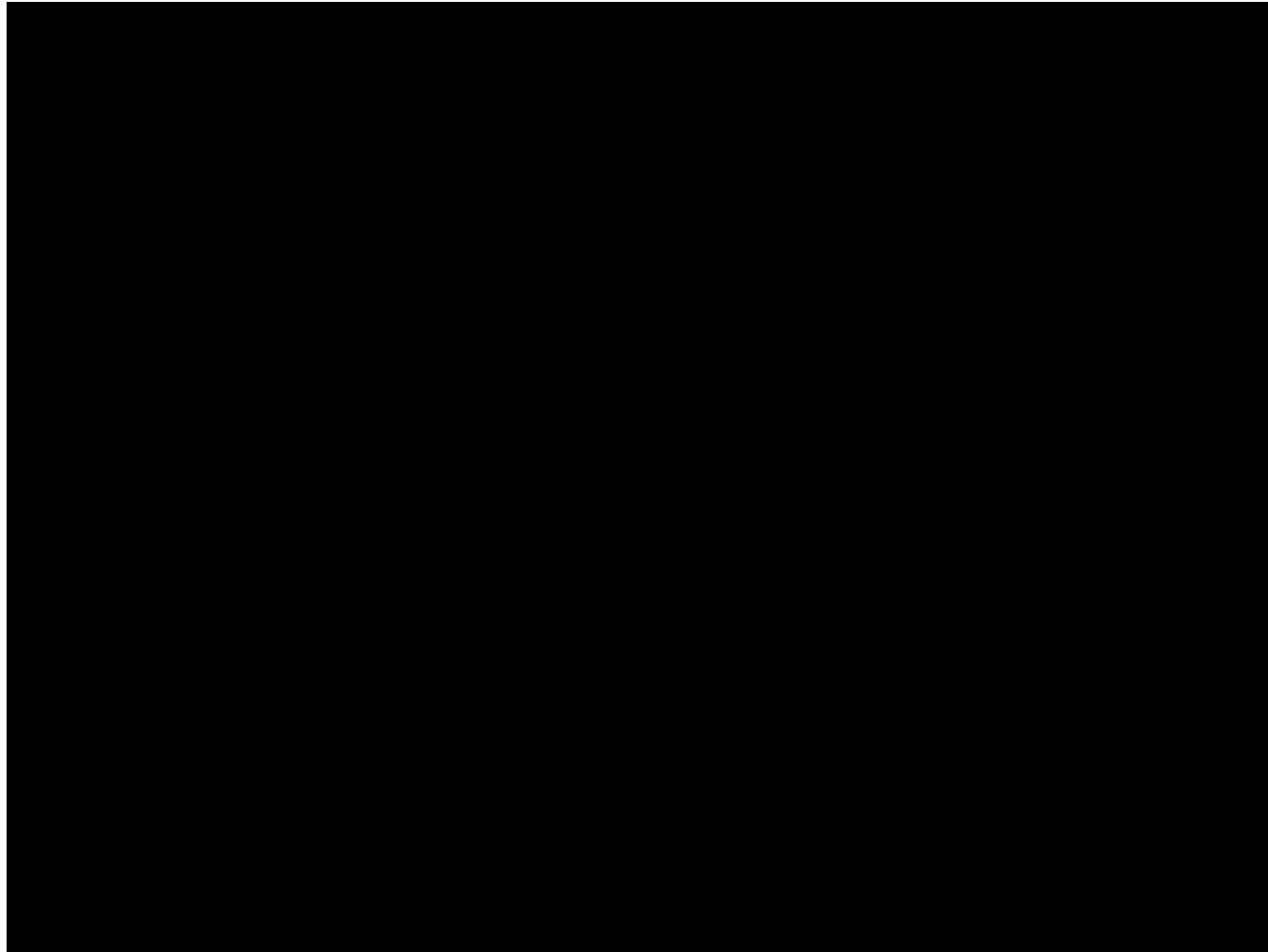
- Definizioni e principi
  - Le macchine per la sinterizzazione laser diretta delle polveri lavorano per strati come tutte le macchine con logica additiva. Ciò è reso possibile da un opportuno fascio laser che viene pilotato attraverso processi non presidiati e completamente automatici.  
Con tali sistemi è possibile la costruzione rapida di parti tecniche in materiali definitivi, sia di plastica che di metallo.
- Tecniche disponibili
  - Sintering plastico
  - Sintering metallico





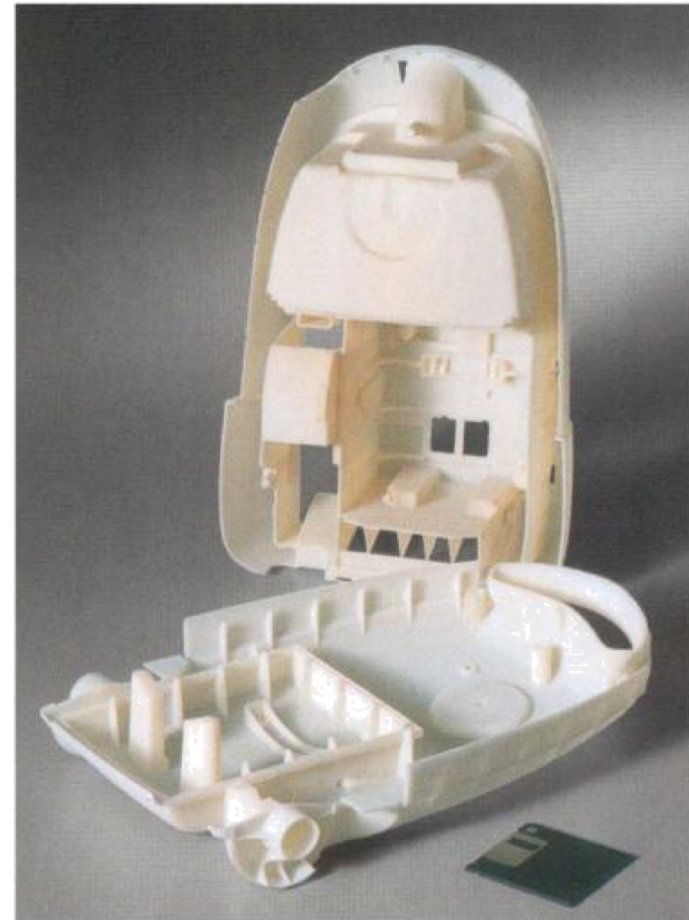
# Sinterizzazione delle polveri – Sintering plastico

---



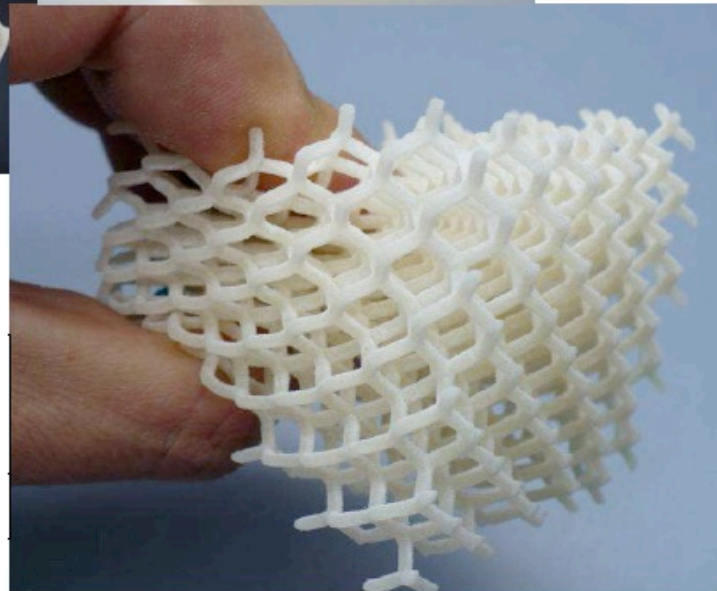
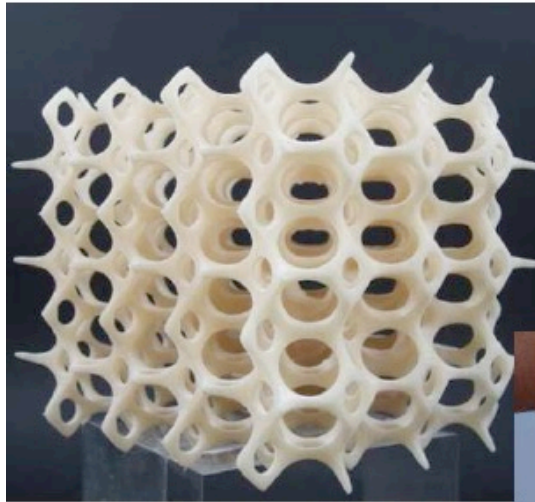
# Sinterizzazione delle polveri – Sintering plastico

Alcuni esempi

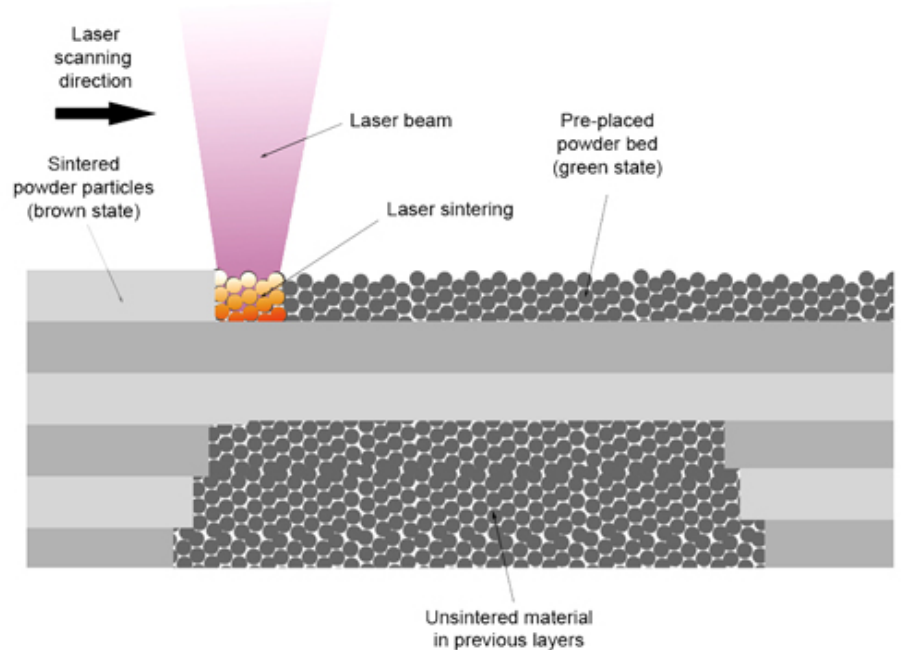
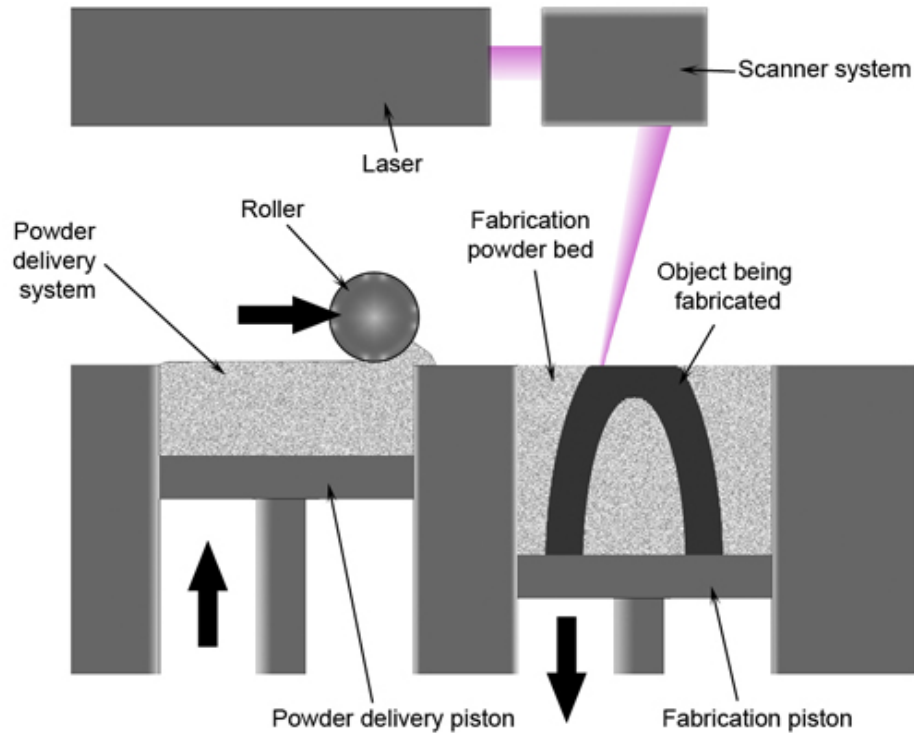


## Sinterizzazione delle polveri – Sintering plastico

---



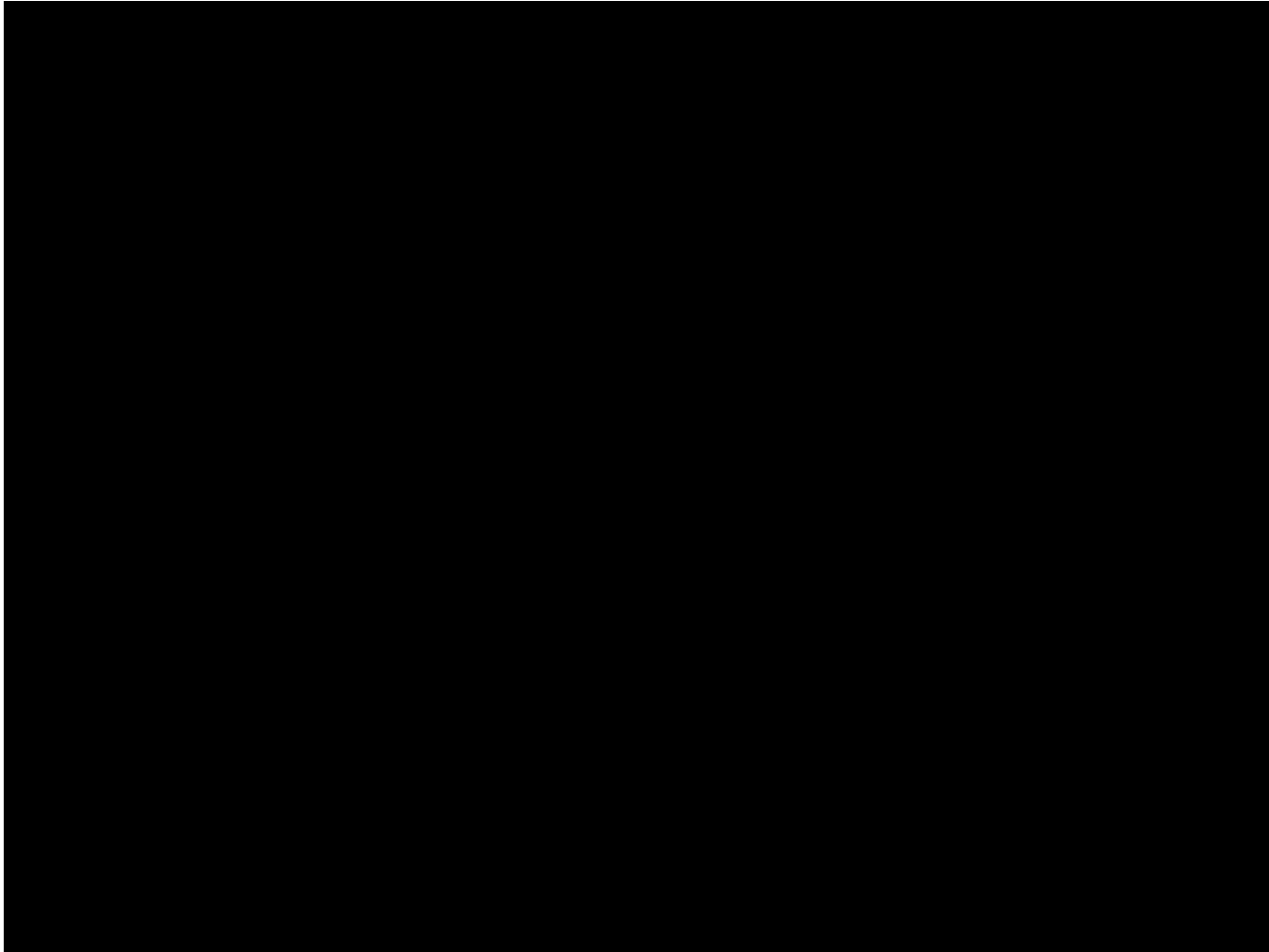
# Sinterizzazione delle polveri – Sintering metallico





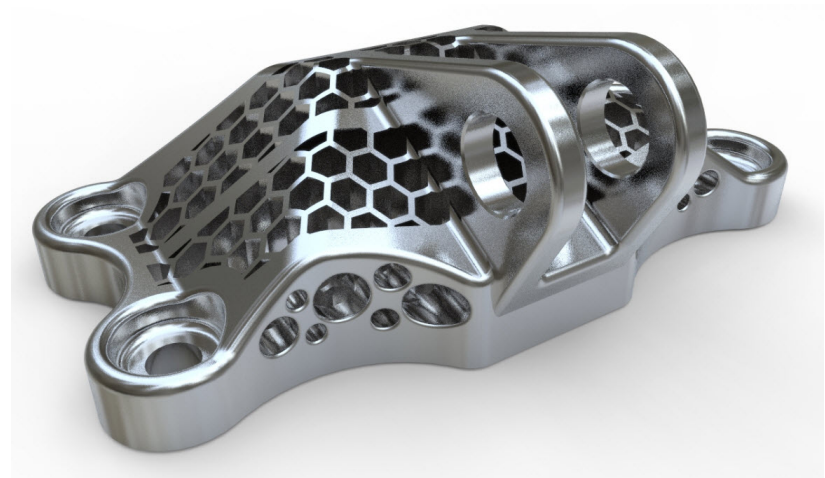
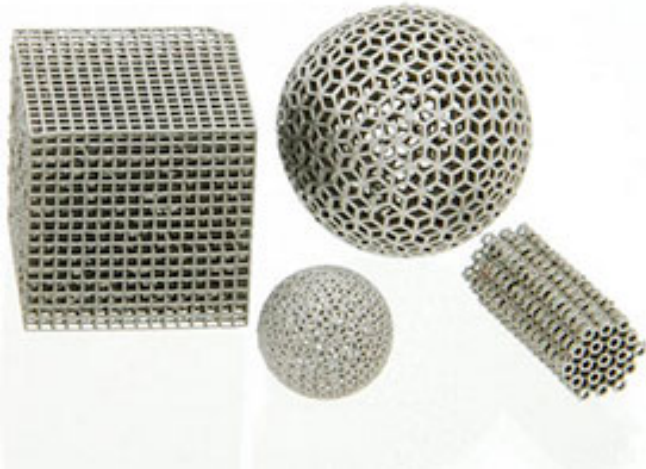
# Sinterizzazione delle polveri – Sintering metallico

---

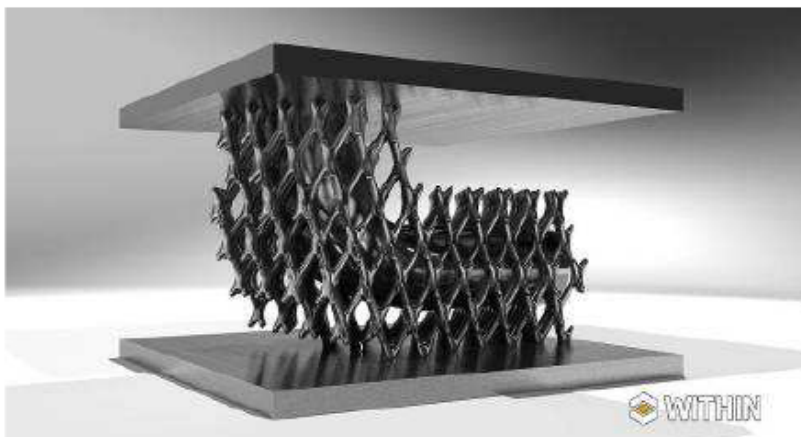
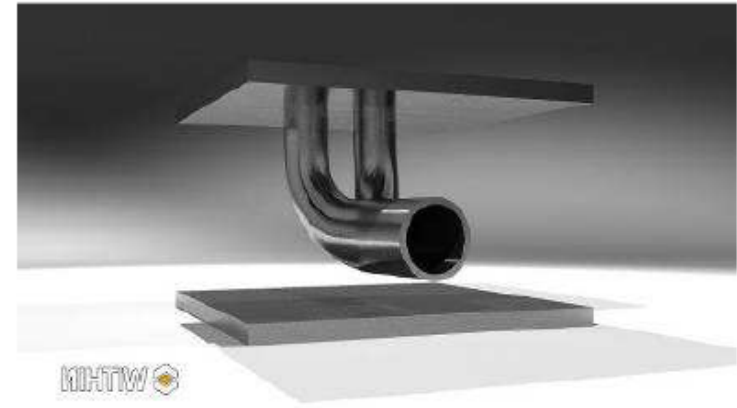


# Sinterizzazione delle polveri – Sintering metallico

Alcuni esempi



# Sinterizzazione delle polveri – Sintering metallico



# Sinterizzazione delle polveri – Sintering metallico

---



# Sinterizzazione delle polveri – Sintering metallico

| materiale                           | tipologia polvere                                                                                  | applicazione                                                                                                     |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DirectMetal 20                      | Miscela a base bronzo                                                                              | Stampi di pre-serie<br>Prototipi metallo stile ottone oppure acciaio dopo galvanica                              |
| EOS Inconel™ 718\625*               | Superlega a base nickel tipo<br>UNS N07718, AMS 5662, W.Nr 2.4668 etc.                             | Componenti aeronautici, competizione sportiva,<br>industria chimica                                              |
| EOS MaragingSteel MS1               | 18 Mar300 / 1.2709                                                                                 | Stampi da produzione; componenti meccanici<br>ad alta resistenza per impatto                                     |
| EOS StainlessSteel GP1\PH1\316L*    | Acciaio inossidabile. Formulazione 17-4 e 15-5. Versione ad alta duttilità oppure indurimento H900 | Componenti meccanici di serie per settori:<br>biomedicale; meccanico; farmaceutico;<br>alimentare ed aeronautico |
| EOS CobaltChrome SP2                | superlega CoCr adatta a ricoperture ceramiche                                                      | Applicazioni dentali; restaurazione<br>odontoiatrica                                                             |
| EOS CobaltChrome MP1                | superlega CoCr multi-purpose; norme biomedicali                                                    | Protesi biomedicali; componenti meccanici per<br>alte temperature e resistenti alla corrosione                   |
| EOS Titanium Ti64\EOS Titanium TiCP | Lega titanio Ti6Al4V\Titanio CP                                                                    | Protesi biomedicali; componenti meccanici<br>leggeri\Protesi biomedicali e dentali                               |
| EOS alluminio AlSi10Mg              | Lega alluminio                                                                                     | Componenti meccanici                                                                                             |

Per i requisiti di sistema riferirsi alle descrizioni tecniche delle attrezzature

\* In fase di sviluppo pre-commerciale



Prof. Maurizio Muzzupappa



e-Manufacturing Solutions

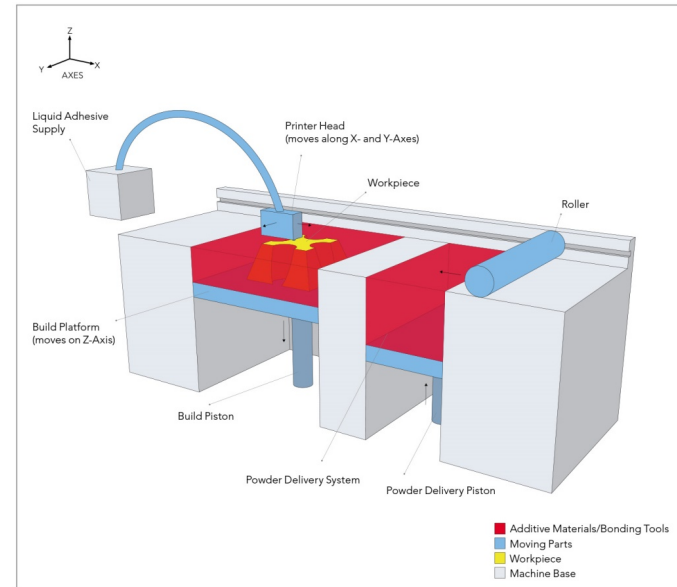


- Definizioni e principi

- Il progetto nasce da un brevetto del M.I.T. di Boston, acquisito dalla Zcorp, che prevede l'utilizzo di una o più cartucce di stampanti commerciali che anziché spruzzare inchiostro monocromatico o a colori, spruzzano un liquido a base di colla su uno strato di materiale quale l'amido, il gesso e recentemente anche la polvere ceramica. Strato dopo strato sulla tavola viene consolidato un modello tridimensionale. E' attualmente considerata la macchina più veloce nel mondo del RP
- Utilizza materiali atossici (amido, gesso o polvere ceramica)
- La polvere in cui il modello viene costruito fa da supporto al modello stesso
- Possibilità di costruire modelli con sottosquadri senza la difficoltà di eliminare i supporti

# 3D Print

|               |                                                            |
|---------------|------------------------------------------------------------|
| Ideatori:     | MT                                                         |
| Anno:         | Primi anni '90                                             |
| Materiale:    | Polvere (solitamente amido o gesso).                       |
| Deposizione:  | Viene depositato un legante tramite una testina di stampa. |
| Supporti:     | Non necessari.                                             |
| Applicazione: | Prototipi estetici.                                        |



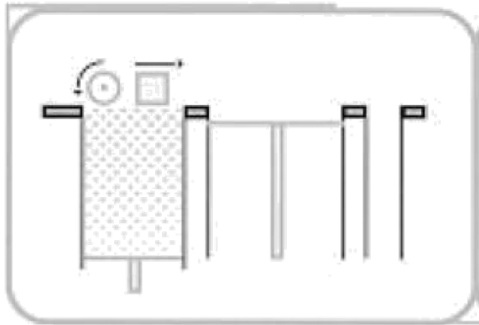
## PRO:

- Processo veloce ed economico.
- Offre la gamma di colori di gran lunga più ampia nel campo delle tecniche additive.

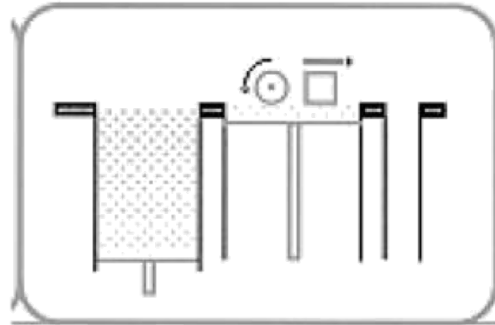
## CONTRO:

- Scarse proprietà meccaniche.
- Finitura superficiale molto scarsa.

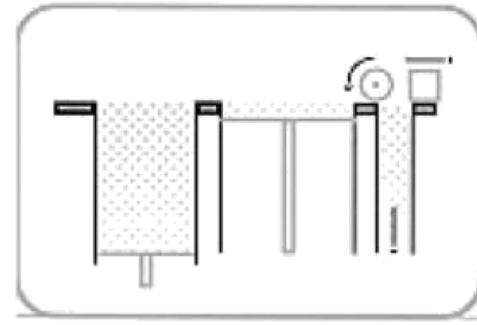
## SCHEMA DI FUNZIONAMENTO



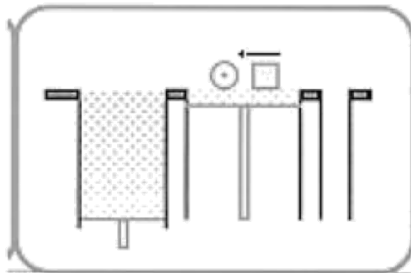
MUOVENDOSI DA SX A DX IL  
CILINDRO RACCOGLIE LA  
POLVERE



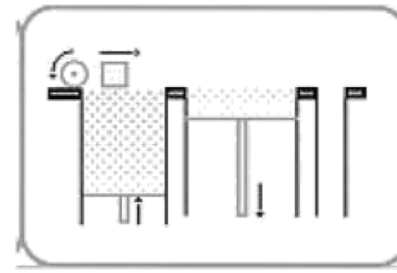
IL RULLO STENDE UN SOTTILE  
STRATO DI POLVERE SUL  
PISTONE DI COSTRUZIONE



IL RULLO SCARICA LA  
POLVERE IN ECCESSO NEL  
CANALE DI RACCOLTA

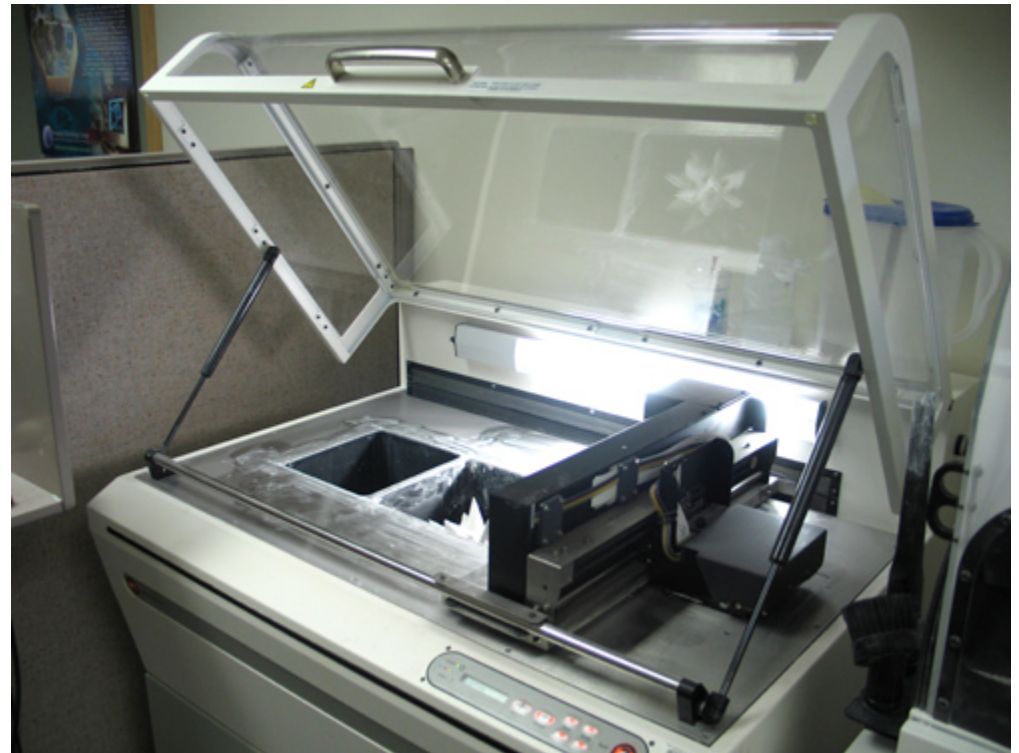


MENTRE SI MUOVE DA DA A SX LA  
CARTUCCIA STAMPA LA SEZIONE  
DEL PEZZO



IL PISTONE DI ALIMENTAZIONE SALE DI UNO  
STRATO, QUELLO DI COSTRUZIONE SCENDE DI  
UNO STRATO ED IL CICLO SI RIPETE

# 3D Print

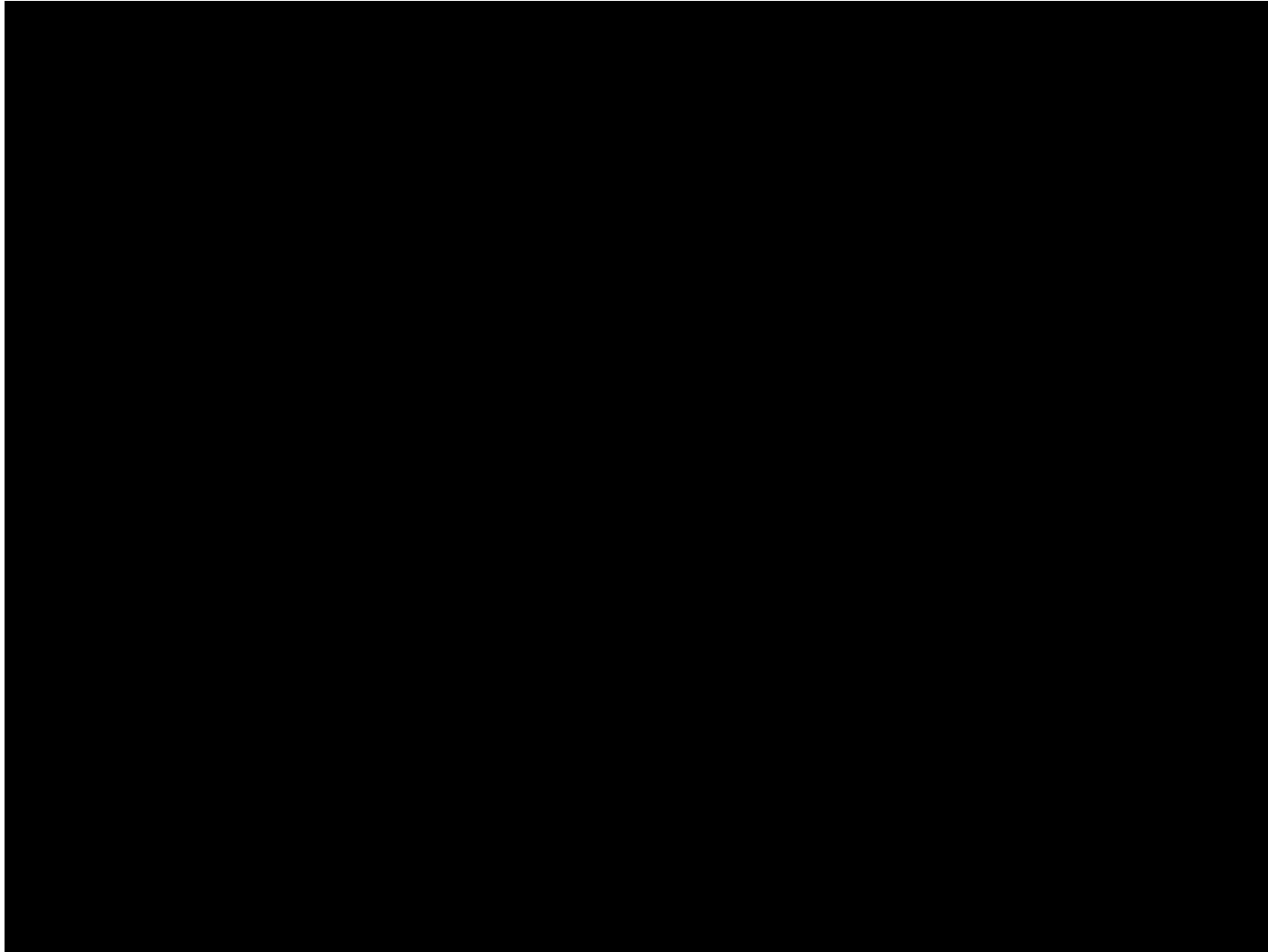


Sono macchine da ufficio



# 3D Print

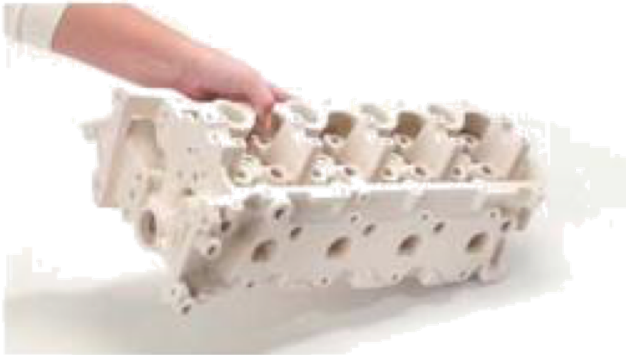
---





# 3D Print

- Alcuni esempi



# 3D Print

---

- Vantaggi
  - Riesce a creare più modelli fisici in meno di un'ora
  - I modelli creati possono essere verniciati e metallizzati
  - Sistema semplice ed affidabile
- Applicazioni tipiche
  - Verifiche di progetto
  - Verifiche ergonomiche
  - Modelli per stampi in silicone
  - Modelli per fusioni a cera persa o in sabbia



# Quanto sono maturi i tempi?



- ▶ Nuove tecnologie di stampa
- ▶ Nuovi materiali
- ▶ Nuovi campi di applicazione

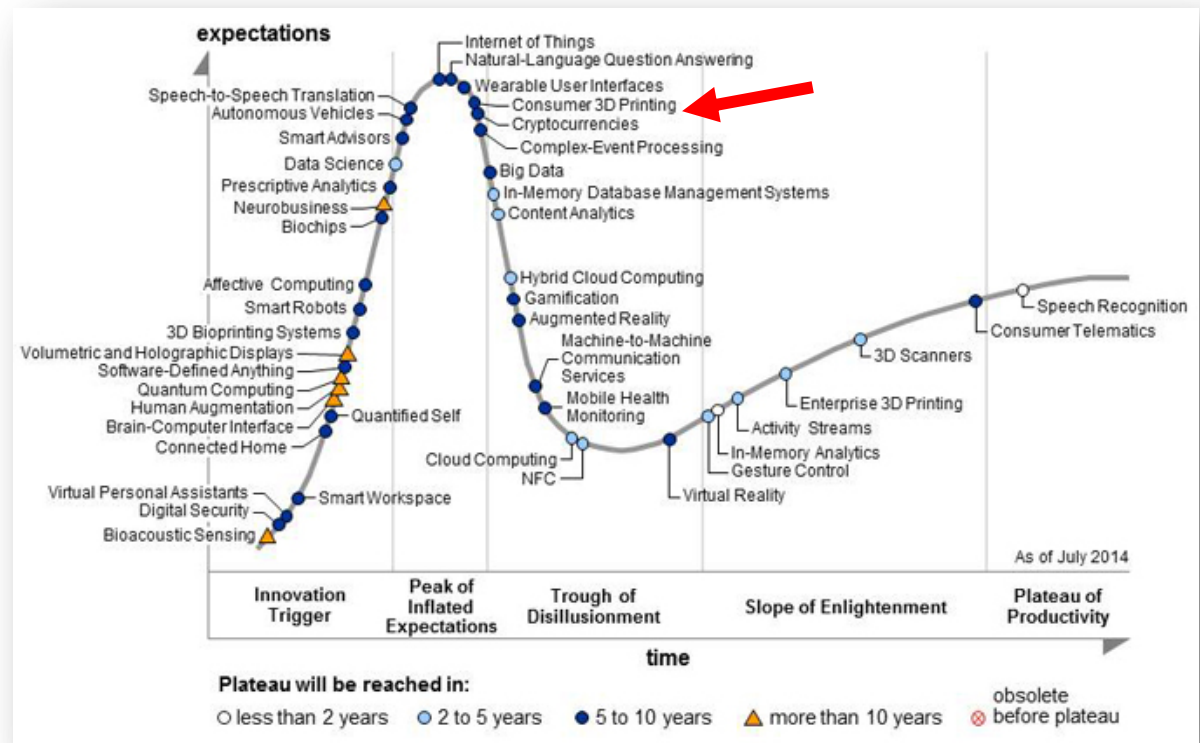
*mai improvvisando, ma sempre con la  
consapevolezza di un progetto*



# Trend Tecnologico

## Innovazione diffusa

- ▶ Le stampanti 3D «consumer» sono ancora ben lontane da essere dispositivi alla portata di tutti.



Trend delle tecnologie di Gartner 2014



# Industria 4.0 è l'additive manufacturing

---

