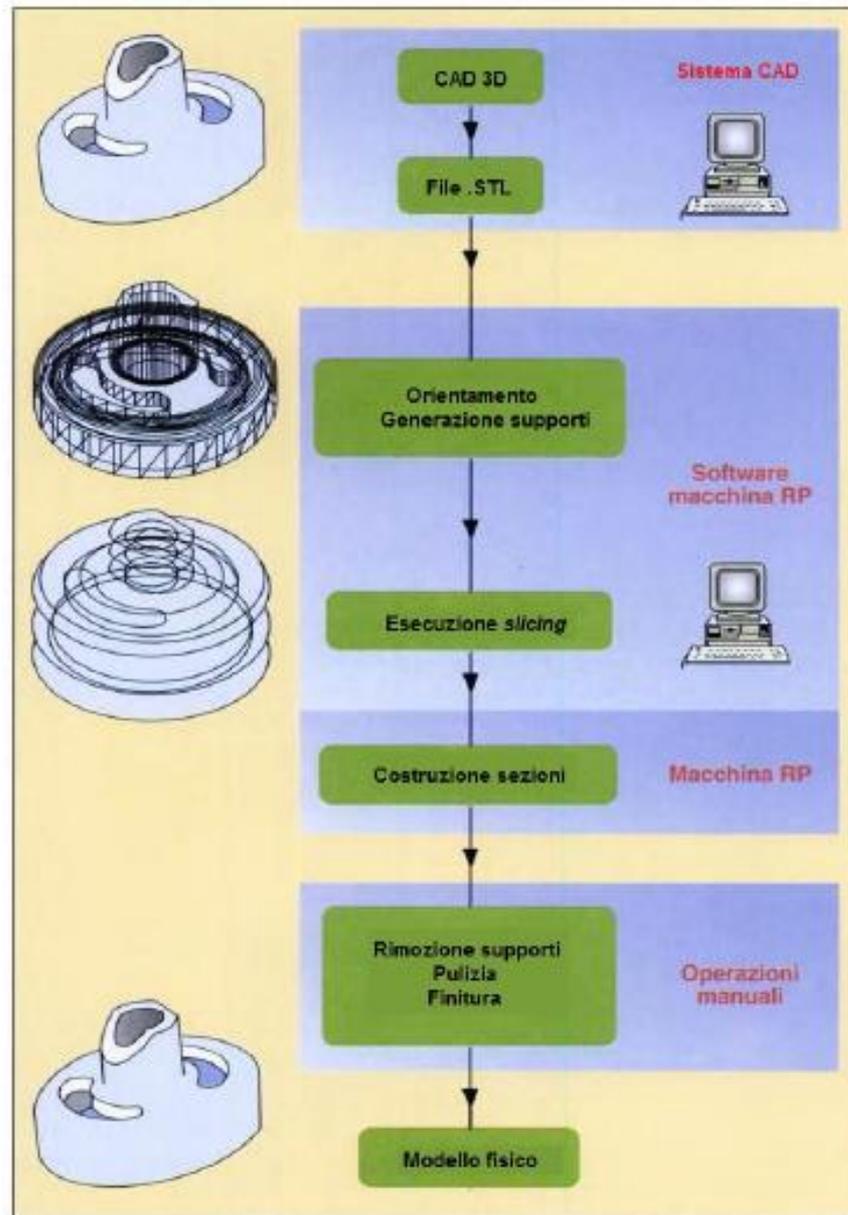


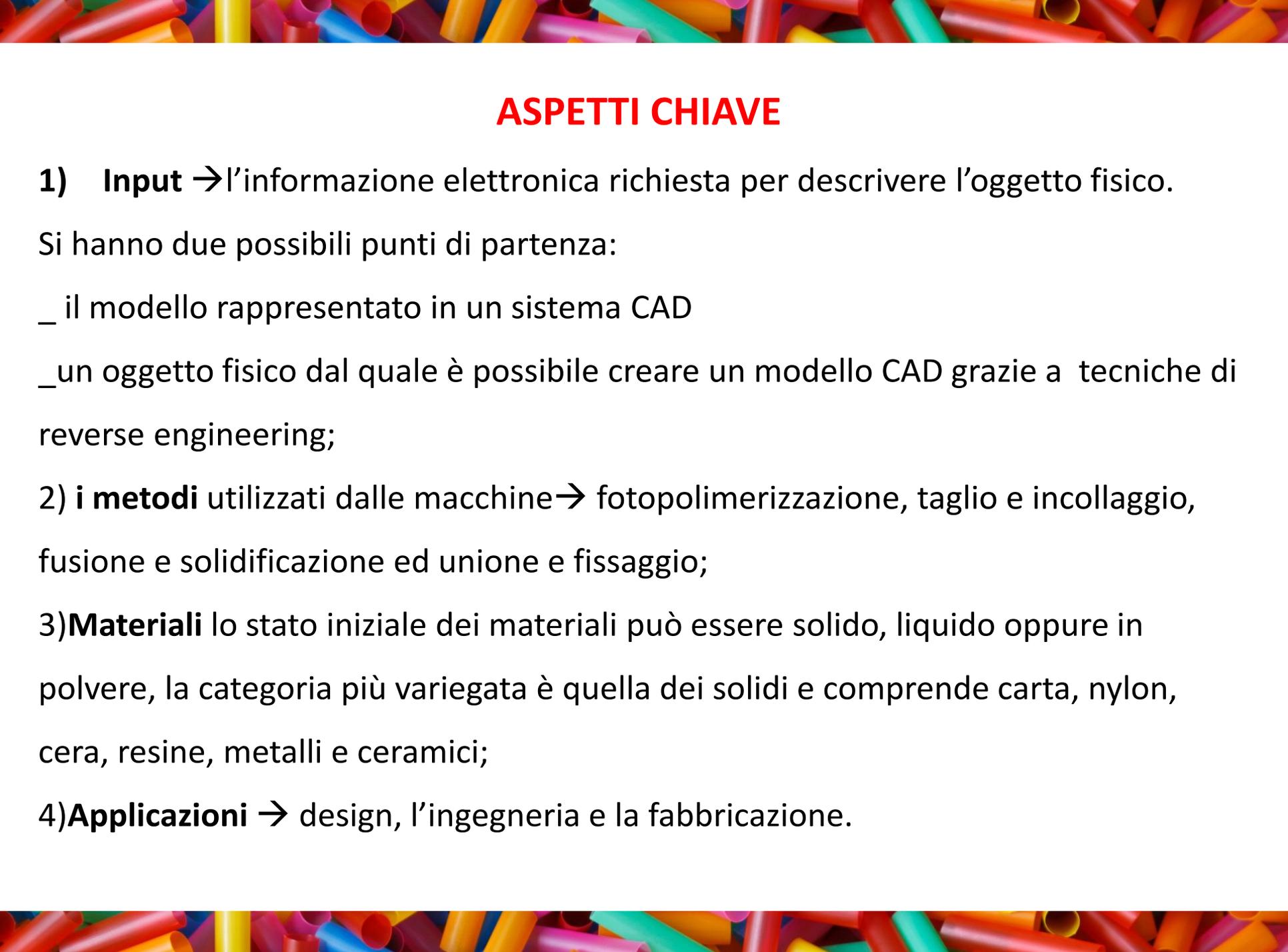
## Prototipazione rapida

è una tecnica che permette di costruire oggetti direttamente dal modello matematico realizzato su un sistema CAD tridimensionale.

1. Il prodotto è rappresentato su un sistema CAD/CAM come un **insieme di superfici chiuse che ne racchiudono il volume;**
2. Le superfici e i volumi così rappresentati sono convertiti in un file di formato “.STL”. Che **approssima le superfici del modello con poligoni e triangoli**, tanto più fitti quanto più curva è la superficie dell’oggetto.
3. Un software che genera delle **sezioni orizzontali nel modello.**
4. Queste sezioni sono ricreate attraverso la **solidificazione di polimeri liquidi o tramite l’aggregazione di particelle in forma di polveri** andando così a creare fisicamente il modello tridimensionale inizialmente rappresentato sul sistema CAD/CAM.



Lavorazione CNC		Stereolitografia	
Fase	Tempo(h)	Fase	Tempo(h)
Modello CAD	1	Modello CAD	1
Pianificazione di processo	1	Generazione e verifica file STL	1.25
Programmazione percorso utensile	25	Esecuzione slicing	0.7
Generazione file APT	1	Settaggio macchina	0.5
Post-processo	2	Costruzione pezzo	14.2
Verifica codice ISO	3	Rimozione supporti	0.25
Settaggio macchina utensile	1	Pulizia pezzo	0.5
Lavorazione	7	Post.-trattamento	4
<b>Totale</b>	<b>41</b>	<b>Totale</b>	<b>22.45</b>



## ASPETTI CHIAVE

1) **Input** → l'informazione elettronica richiesta per descrivere l'oggetto fisico.

Si hanno due possibili punti di partenza:

\_ il modello rappresentato in un sistema CAD

\_ un oggetto fisico dal quale è possibile creare un modello CAD grazie a tecniche di reverse engineering;

2) i **metodi** utilizzati dalle macchine → fotopolimerizzazione, taglio e incollaggio, fusione e solidificazione ed unione e fissaggio;

3) **Materiali** lo stato iniziale dei materiali può essere solido, liquido oppure in polvere, la categoria più variegata è quella dei solidi e comprende carta, nylon, cera, resine, metalli e ceramici;

4) **Applicazioni** → design, l'ingegneria e la fabbricazione.



**Modellazione tridimensionale** è il prerequisito basilare di tutti i processi ed è la parte che comporta il maggior dispendio di tempo.

### COMUNE EQUIVOCO

*controllo numerico* → una singola superficie o linea può essere un elemento

*prototipazione rapida* → richiede volumi chiusi del modello

Questo porta a **sotto-specificare i parametri per il sistema**, causandone scarse performance e un'utilizzazione non ottimale.

Per esempio aspetti che devono essere presi in considerazione sono l'orientazione delle parti, necessarie per i **supporti** e i dettagli difficili da costruire, come pareti sottili, piccoli buchi





## **Conversione e trasmissione dei dati**

Il modello CAD è poi convertito nel formato “.STL” che approssima la superfici con triangoli. La maggior parte, hanno sviluppato e integrato l’interfaccia CAD-STL, in modo tale da effettuare automaticamente la conversione, facendo sì che questa fase del ciclo sia la più semplice e veloce.

## **Controllo e preparazione**

Prima di procedere con la fase di creazione fisica del prototipo occorre controllare che il file sia privo di errori nel modello CAD (buchi, vuoti e fessure) che possono causare il fallimento della creazione del prototipo

## **Costruzione**

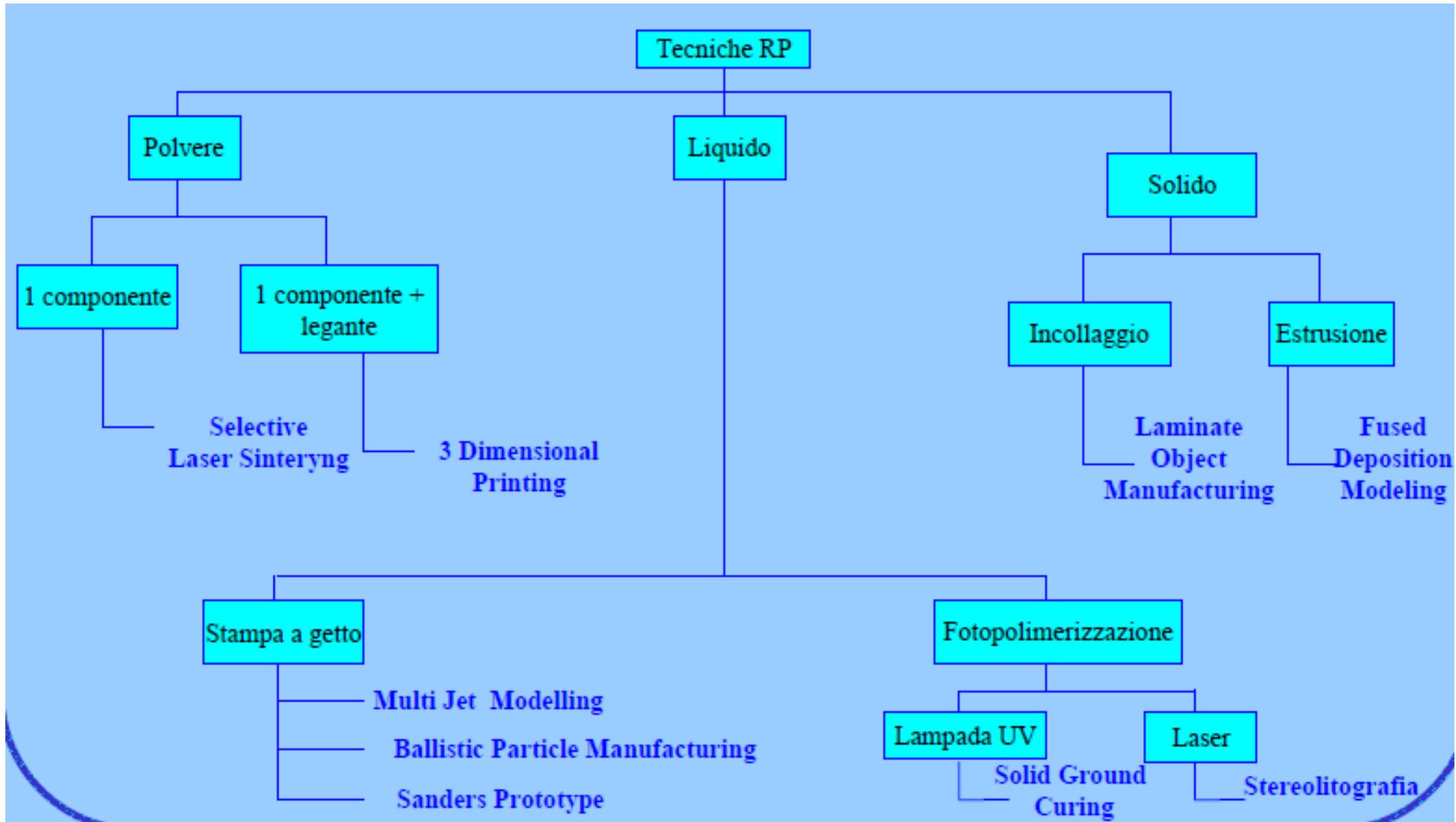
questa fase è completamente automatizzata e spesso gli operatori lasciano lavorare la macchina di notte poiché il processo può impiegare molte ore e l’operatore non può più intervenire una volta avviata l’operazione.





# Le tecniche di prototipazione rapida

- 1) Stereolitografia (SLA)
- 2) Solid ground curing (SGC)
- 3) Laminated object manufacturing (LOM)
- 4) Fused deposition modeling (FDM)
- 5) Selective laser sintering (SLS)
- 6) 3D printing
- 7) Polyjet
- 8) Multi-jet-modeling (MJM)



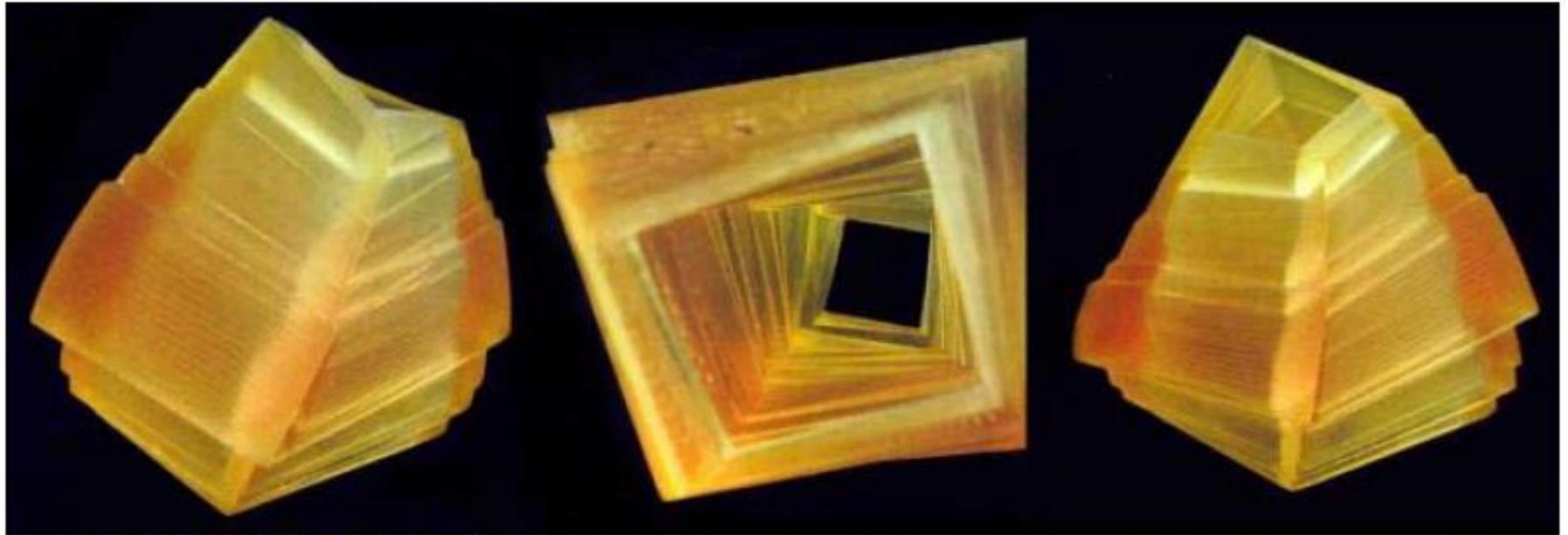
# Stereolitografia (SLA)

La stereolitografia SLA (StereoLithography Apparatus) è la più vecchia tecnica di prototipazione rapida, ma è tutt'oggi molto utilizzata, in quanto permette di ottenere particolari con un ottimo dettaglio superficiale.

La SLA è una tecnologia che si presta molto alla realizzazione di **particolari estremamente dettagliati**, modelli per test di accoppiamenti o verifiche dimensionali, studi di ergonomia.

Inoltre consente di realizzare pezzi aventi un'ottima trasparenza.





*SLA Model: The aspect of this model is translucent and slightly amber, however different resins can be used which have different characteristics.*



Il **processo stereolitografico** è basato sulla fotopolimerizzazione, le parti sono costruite a partire da una resina liquida fotosensibile (detta fotopolimero) che solidifica sotto l'esposizione di un raggio laser (UV) che scansiona la superficie della resina.

Queste resine sono formulate con monomeri liquidi, che possono contenere additivi.

La **fotopolimerizzazione** → permette di reticolare i monomeri in molecole di dimensioni maggiori.

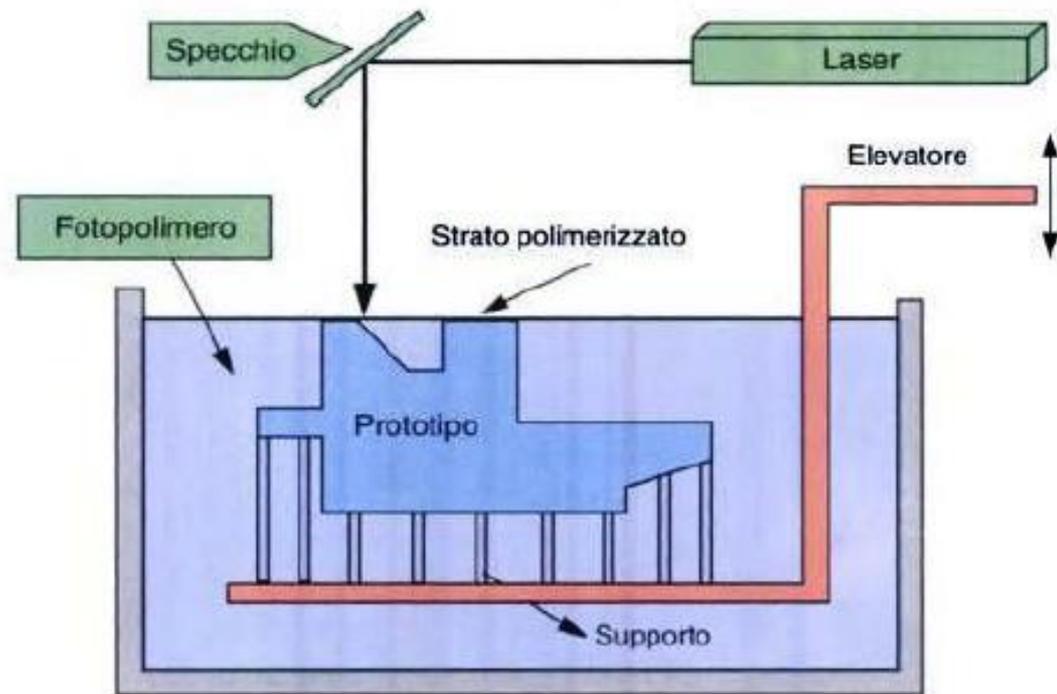
Il punto di partenza è dato dall'introduzione di energia nella forma di radiazione ultravioletta, ma è necessaria la presenza di un catalizzatore.



I componenti principali del sistema sono:

un **pc** per il controllo delle parti in movimento, il **laser**, il **sistema ottico** e la **camera di processo**, ovvero un recipiente riempito di resina liquida fotosensibile, al cui interno è presente una **piattaforma** che può abbassarsi o sollevarsi grazie alla presenza di un **elevatore**.

La sorgente laser è collocata sopra al recipiente e il suo fascio viene deviato opportunamente dal sistema di ottiche.





1) **l'esecuzione dello *slicing***, ovvero la generazione delle sezioni del pezzo (0.025 e 0.5 mm)

2) La piattaforma è al suo livello più alto, ricoperta da appena uno strato di resina opportunamente livellato. La generazione dei supporti per sostenerlo nella fase di costruzione.

3) Il laser comincia a **tracciare la sezione inferiore** del pezzo come previsto dal file.

3) Una volta terminata la solidificazione, **l'elevatore abbassa di un livello la piattaforma** che si ricopre di uno strato di fotopolimero liquido e il laser solidifica la sezione successiva.

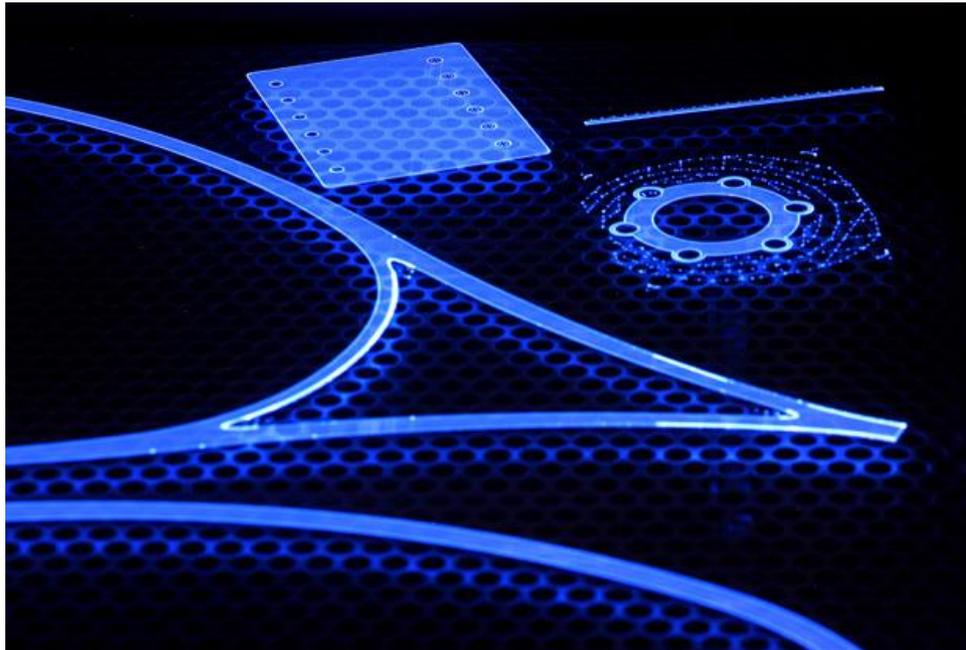
N.B. Alcuni micrometri dello strato indurito a contatto con l'atmosfera rimangono liquidi poiché l'ossigeno ne inibisce la reazione, questo comportamento è molto favorevole al processo perché agevola l'adesione tra strati successivi.

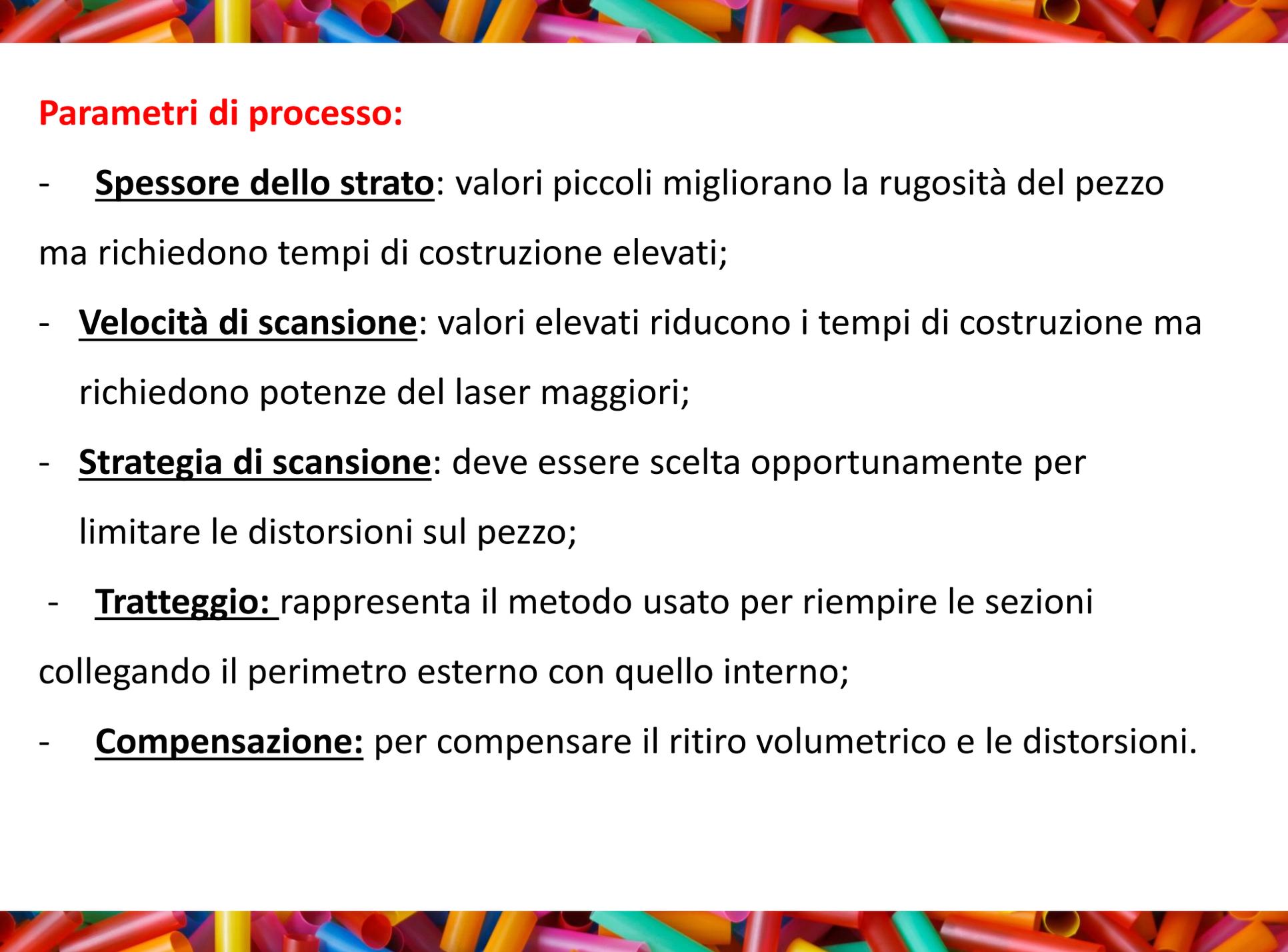


4) Il processo si ripete finché non viene solidificata anche **l'ultima sezione**, quella superiore del pezzo.

Per ragioni di tempo il laser si limita a solidificare ai profili o il perimetro interno con quello esterno (green part).

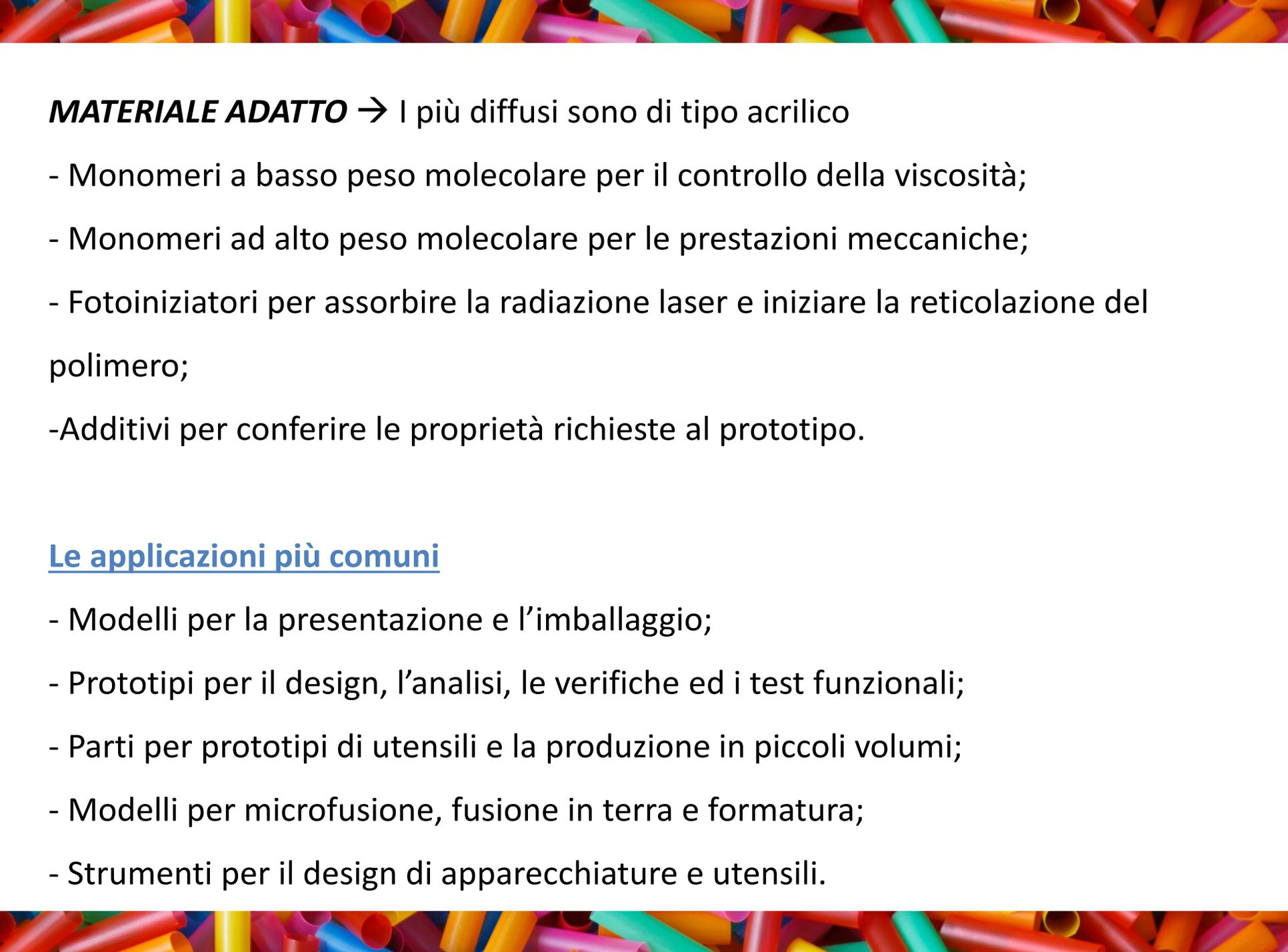
5) Al termine di questa fase, e viene quindi **esposto ad una lampada UV** (red part)





## Parametri di processo:

- **Spessore dello strato**: valori piccoli migliorano la rugosità del pezzo ma richiedono tempi di costruzione elevati;
- **Velocità di scansione**: valori elevati riducono i tempi di costruzione ma richiedono potenze del laser maggiori;
- **Strategia di scansione**: deve essere scelta opportunamente per limitare le distorsioni sul pezzo;
- **Tratteggio**: rappresenta il metodo usato per riempire le sezioni collegando il perimetro esterno con quello interno;
- **Compensazione**: per compensare il ritiro volumetrico e le distorsioni.



**MATERIALE ADATTO** → I più diffusi sono di tipo acrilico

- Monomeri a basso peso molecolare per il controllo della viscosità;
- Monomeri ad alto peso molecolare per le prestazioni meccaniche;
- Fotoiniziatori per assorbire la radiazione laser e iniziare la reticolazione del polimero;
- Additivi per conferire le proprietà richieste al prototipo.

### Le applicazioni più comuni

- Modelli per la presentazione e l'imballaggio;
- Prototipi per il design, l'analisi, le verifiche ed i test funzionali;
- Parti per prototipi di utensili e la produzione in piccoli volumi;
- Modelli per microfusione, fusione in terra e formatura;
- Strumenti per il design di apparecchiature e utensili.

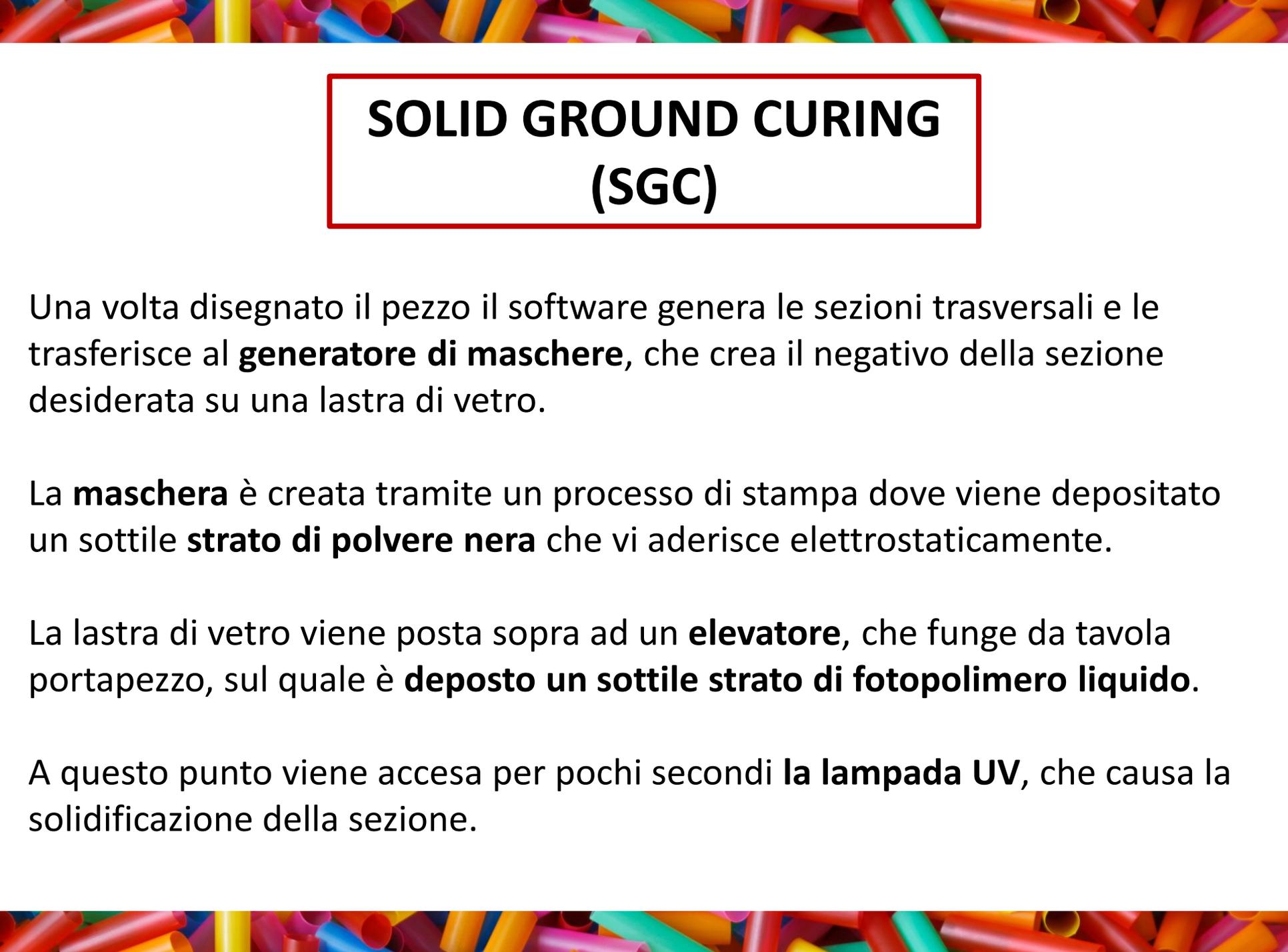


## **VANTAGGI**

- 1) Possibilità di utilizzo continuo;
- 2) Macchine con volumi costruttivi variabili dalle piccole alle grandi dimensioni;
- 3) Buona accuratezza e finitura superficiale;
- 4) Ampia gamma di materiali utilizzabili.

## **SVANTAGGI**

- 1) Necessità di costruire strutture di supporto;
  - 2) Fasi post-processo, ovvero rimozione di supporti e altre fasi manuali;
  - 3) Post-trattamento, per solidificare l'intera struttura e garantirne l'integrità.
- 



## SOLID GROUND CURING (SGC)

Una volta disegnato il pezzo il software genera le sezioni trasversali e le trasferisce al **generatore di maschere**, che crea il negativo della sezione desiderata su una lastra di vetro.

La **maschera** è creata tramite un processo di stampa dove viene depositato un sottile **strato di polvere nera** che vi aderisce elettrostaticamente.

La lastra di vetro viene posta sopra ad un **elevatore**, che funge da tavola portapezzo, sul quale è **deposto un sottile strato di fotopolimero liquido**.

A questo punto viene accesa per pochi secondi **la lampada UV**, che causa la solidificazione della sezione.

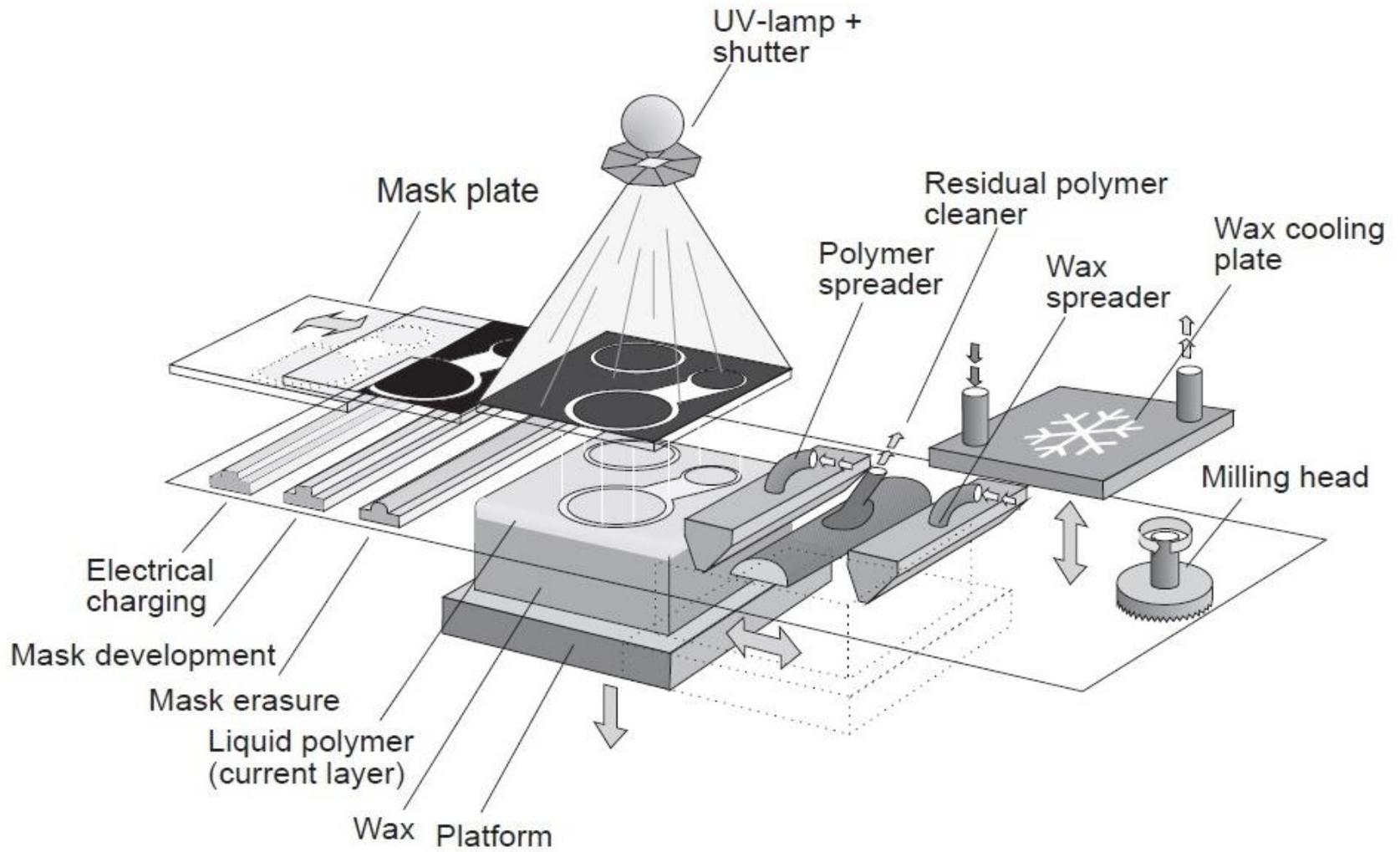


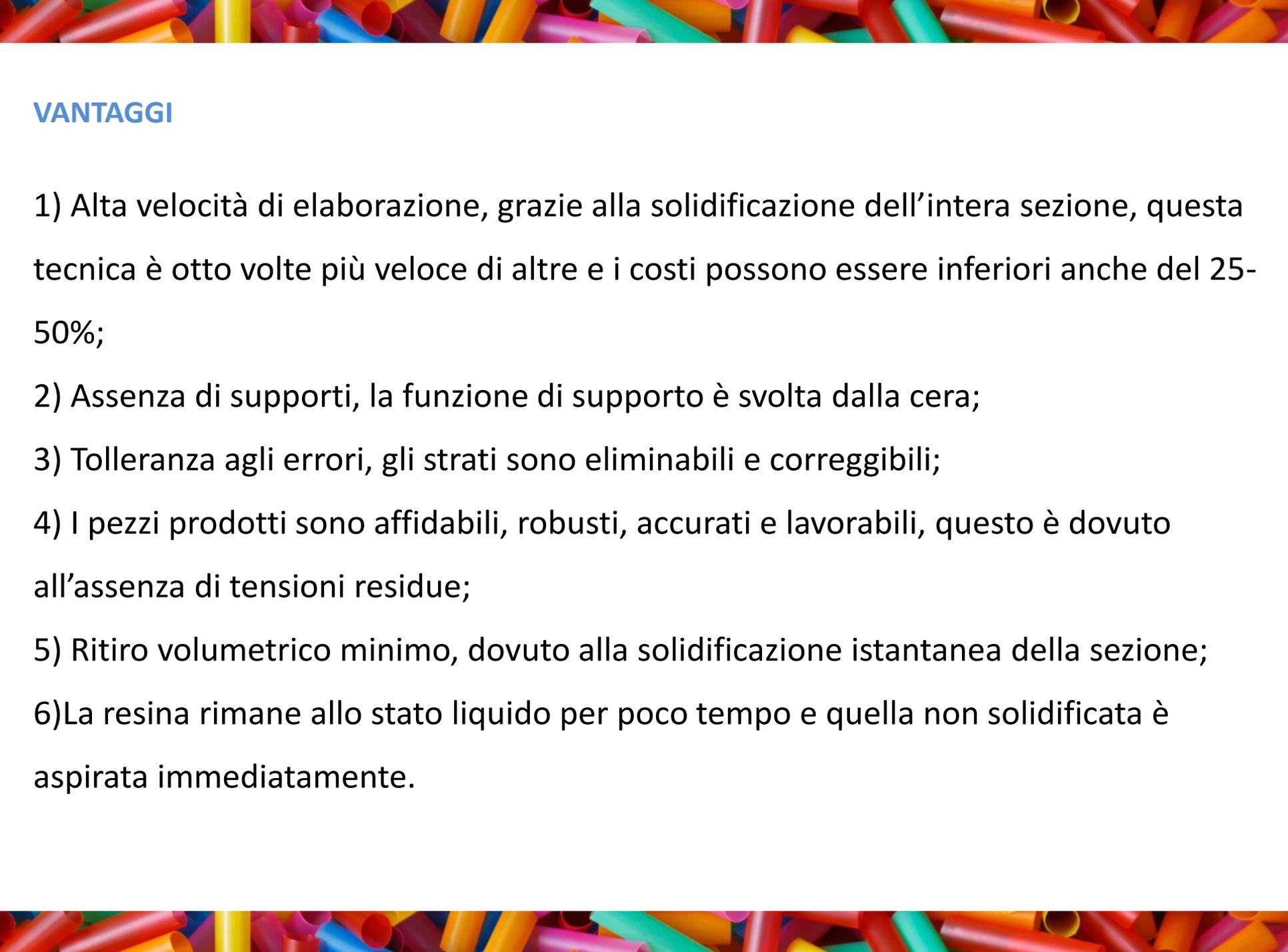
L'elevatore si porta:

- sotto alla **stazione d'aspirazione** che elimina la resina non polimerizzata
- sotto ad una **stazione che deposita uno strato di cera liquida** sull'intera stazione, che viene poi solidificata da una **piastra reffreddante**.

Si ha così la sezione di fotopolimero solidificata inglobata dalla cera

- il tutto viene poi **fresato** in modo da uniformare lo spessore
- 





## VANTAGGI

- 1) Alta velocità di elaborazione, grazie alla solidificazione dell'intera sezione, questa tecnica è otto volte più veloce di altre e i costi possono essere inferiori anche del 25-50%;
- 2) Assenza di supporti, la funzione di supporto è svolta dalla cera;
- 3) Tolleranza agli errori, gli strati sono eliminabili e correggibili;
- 4) I pezzi prodotti sono affidabili, robusti, accurati e lavorabili, questo è dovuto all'assenza di tensioni residue;
- 5) Ritiro volumetrico minimo, dovuto alla solidificazione istantanea della sezione;
- 6) La resina rimane allo stato liquido per poco tempo e quella non solidificata è aspirata immediatamente.



## SVANTAGGI

- 1) Necessità di spazio costruttivo maggiore rispetto alle altre tecniche;
- 2) Difficoltà di rimozione della cera se la geometria del pezzo è complessa;
- 3) Produzione di materiale di scarto, principalmente nella fase di fresatura;
- 4) Rumore.

*«L'azienda Schneider Prototyping GmbH è riuscita a costruire un prototipo in metallo per la microfusione in sole due settimane quando con le tecniche tradizionali sarebbero occorse tra le dieci e le sedici settimane.»*

*«Inoltre l'applicazione di tale tecnologia ha permesso di produrre prototipi dal costo pari alla metà di quello che si sarebbe ottenuto con altre tecniche di prototipazione rapida.»*





# LAMINATED OBJECT MANUFACTURING (LOM)

La struttura base della macchina LOM comprende:

- 1) un computer,
- 2) il laser,
- 3) il sistema di ottiche (che consiste di tre specchi che riflettono il raggio laser ed una lente che lo focalizza),
- 4) la piattaforma
- 5) il sistema di incollaggio.

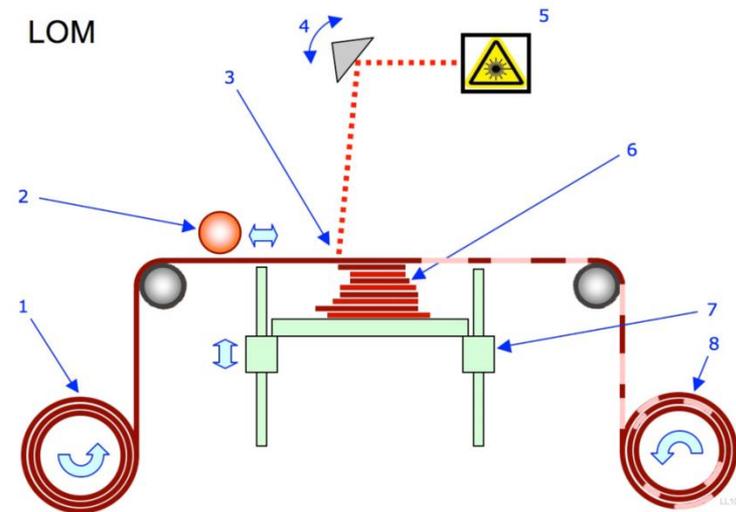
Per rendere più semplice, veloce e sicuro il taglio, il raggio laser è accompagnato ad un laser che proietta un raggio rosso che rende visibile la traiettoria seguita.

Il processo parte con l'elaborazione del modello CAD del pezzo da parte del software che esegue lo slicing delle sezioni.

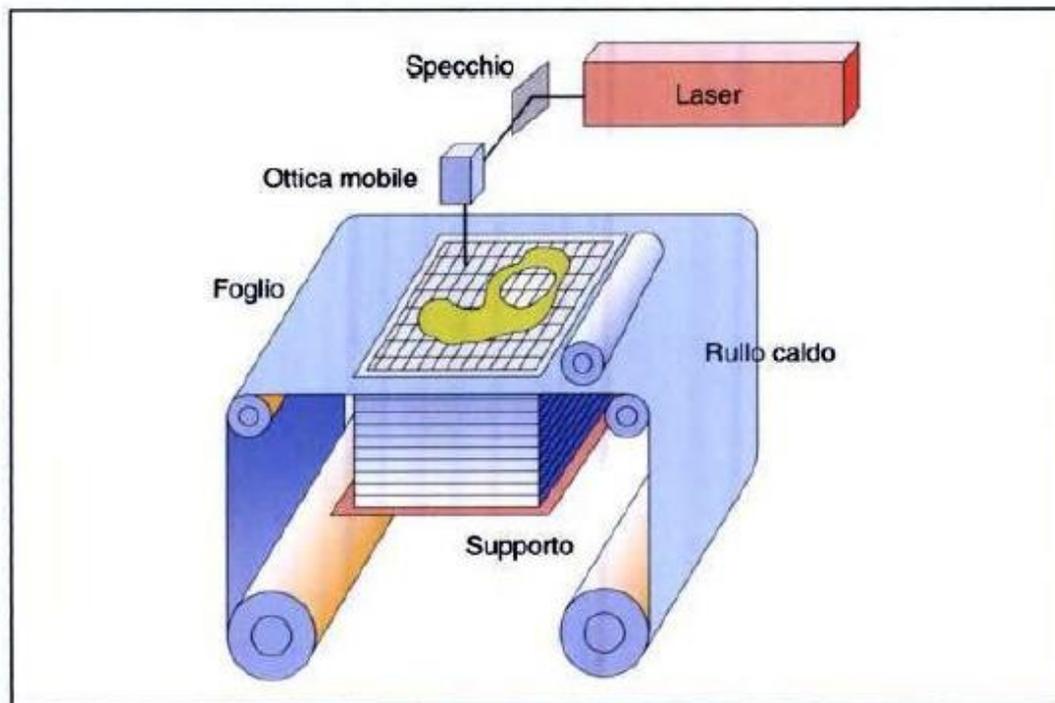
**Questa tecnica consiste nel progressivo incollaggio di fogli sottili rivestiti di materiale adesivo sui quali interviene successivamente il raggio laser che taglia le sezioni.**

Il pezzo viene costruito strato su strato, il sistema di trascinamento posiziona il foglio nella zona di lavoro e il passaggio di un rullo caldo incolla il foglio al supporto,

- 1 rullo di materiale.
- 2 rulli riscaldati.
- 3 fascio laser.
4. prisma scansione.
- 5 unità laser.
- 6 strati.
- 7 piattaforma mobile.
- 8 scarto



Le *proprietà meccaniche* assunte dal pezzo sono funzione: della **velocità di passaggio del rullo di incollaggio**, della sua **temperatura** e della **pressione esercitata sugli strati**.

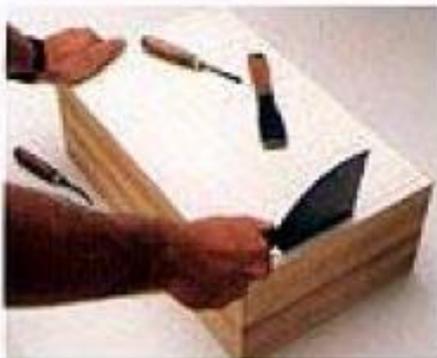


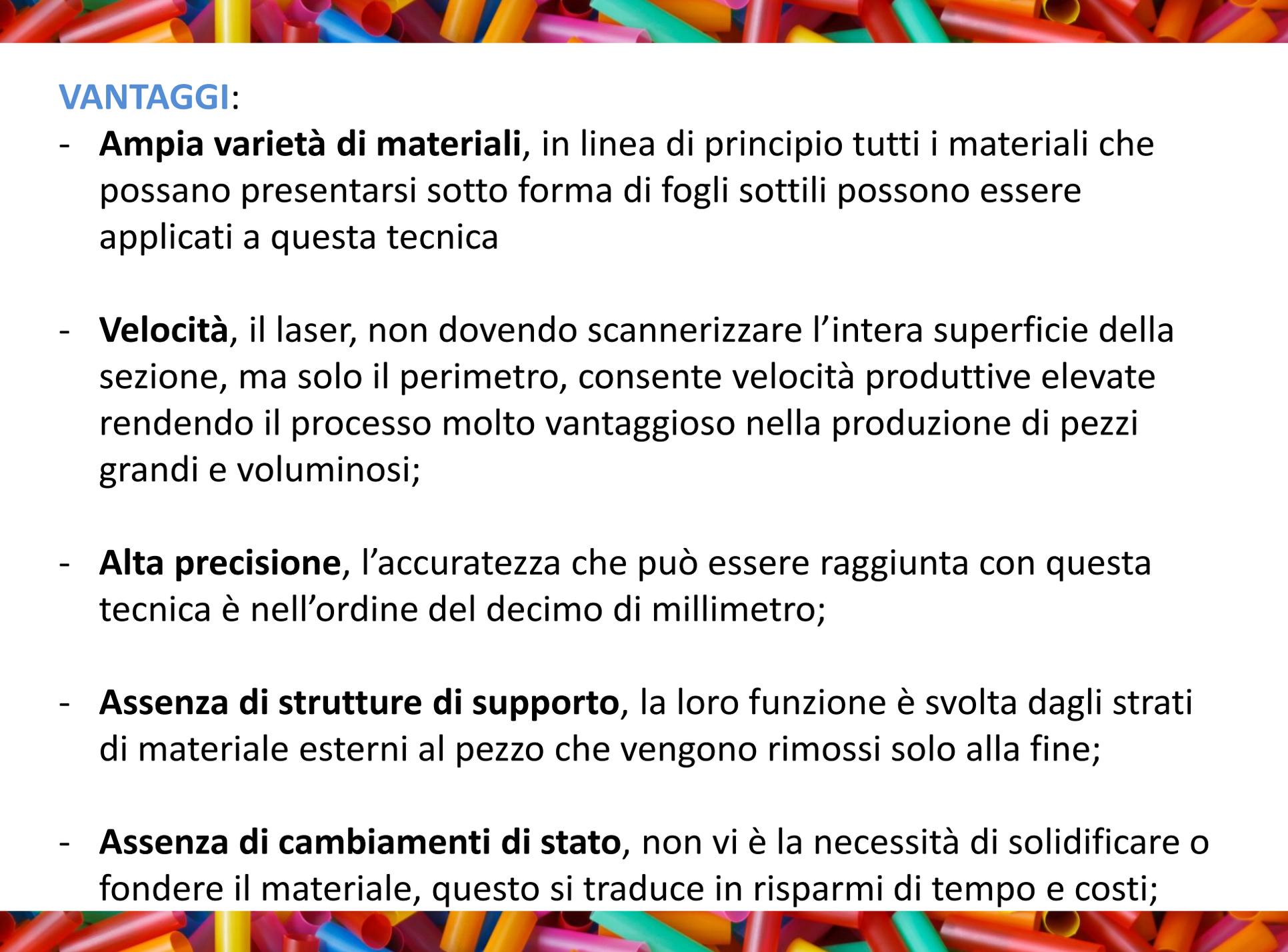
Il *materiale di costruzione*, di **costo limitato** e completamente **atossico**, è costituito da carta rivestita nella parte inferiore da uno strato di polietilene e viene approvvigionata sotto forma di rotoli.

La **potenza del laser** è opportunamente **controllata** in modo tale da tagliare un solo strato di foglio adesivo per non compromettere l'integrità degli strati inferiori.

A questo punto **la piattaforma si abbassa di un livello** per consentire l'avanzamento di un nuovo strato di materiale, la piattaforma si alza ed interviene il rullo caldo, il cui passaggio incolla il nuovo strato con i precedenti.

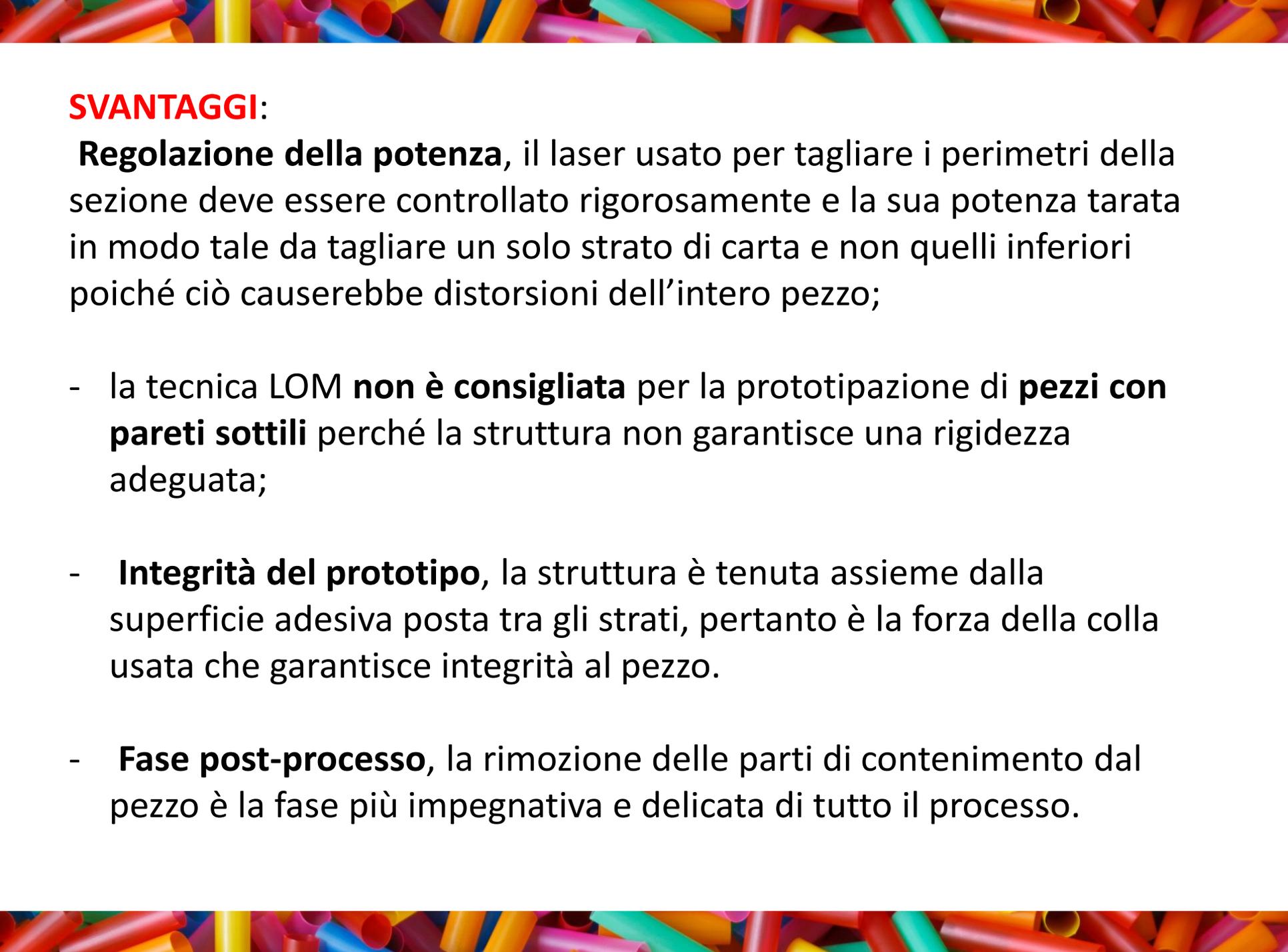
Il ciclo si ripete fino alla all'ultima sezione, a processo ultimato





## VANTAGGI:

- **Ampia varietà di materiali**, in linea di principio tutti i materiali che possano presentarsi sotto forma di fogli sottili possono essere applicati a questa tecnica
- **Velocità**, il laser, non dovendo scannerizzare l'intera superficie della sezione, ma solo il perimetro, consente velocità produttive elevate rendendo il processo molto vantaggioso nella produzione di pezzi grandi e voluminosi;
- **Alta precisione**, l'accuratezza che può essere raggiunta con questa tecnica è nell'ordine del decimo di millimetro;
- **Assenza di strutture di supporto**, la loro funzione è svolta dagli strati di materiale esterni al pezzo che vengono rimossi solo alla fine;
- **Assenza di cambiamenti di stato**, non vi è la necessità di solidificare o fondere il materiale, questo si traduce in risparmi di tempo e costi;



## SVANTAGGI:

**Regolazione della potenza**, il laser usato per tagliare i perimetri della sezione deve essere controllato rigorosamente e la sua potenza tarata in modo tale da tagliare un solo strato di carta e non quelli inferiori poiché ciò causerebbe distorsioni dell'intero pezzo;

- la tecnica LOM **non è consigliata** per la prototipazione di **pezzi con pareti sottili** perché la struttura non garantisce una rigidità adeguata;
- **Integrità del prototipo**, la struttura è tenuta assieme dalla superficie adesiva posta tra gli strati, pertanto è la forza della colla usata che garantisce integrità al pezzo.
- **Fase post-processo**, la rimozione delle parti di contenimento dal pezzo è la fase più impegnativa e delicata di tutto il processo.



La tecnica LOM è applicata ad un'ampia gamma di industrie, incluse quella aerospaziale, automobilistica, ai prodotti di consumo ed ai dispositivi medici.

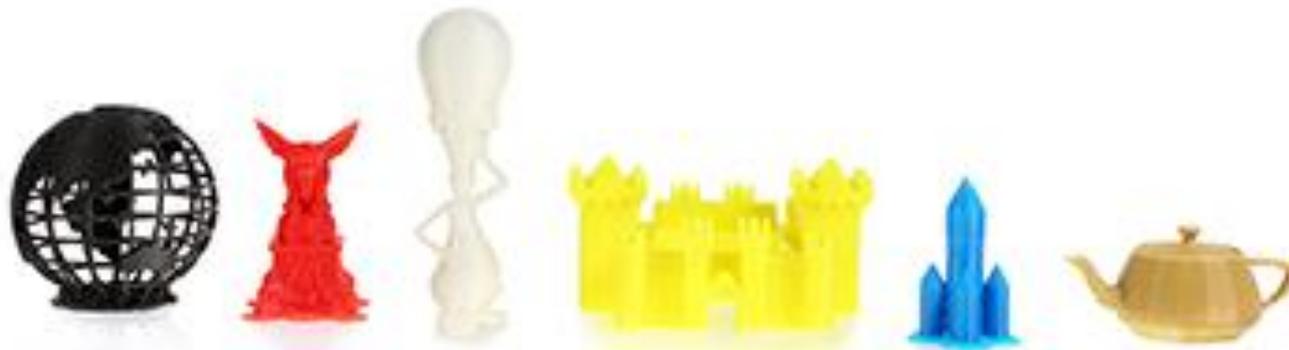
Questa tecnologia viene utilizzata **quando è importante visualizzare l'aspetto finale dell'oggetto**, testarne la forma, l'adattabilità e le funzioni così come produrre utensili e un piccolo volume di prodotti finiti.



# FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)

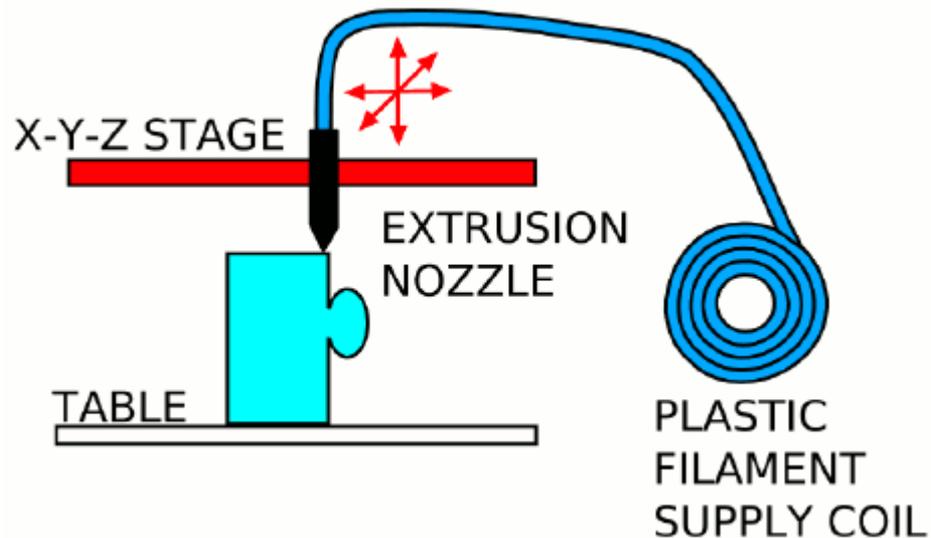
L' FDM è la seconda tecnologia di prototipazione rapida più utilizzato, dopo la stereolitografia.

E' in grado di produrre modelli tridimensionali non solo per i test meccanici ma anche prototipi funzionali in grado di lavorare come unità produttive.



Il processo parte col caricamento del **modello CAD** del pezzo, dopo aver effettuato lo **slicing**, orienta il pezzo nella posizione costruttiva ottimale ed individua e genera le **strutture di supporto**.

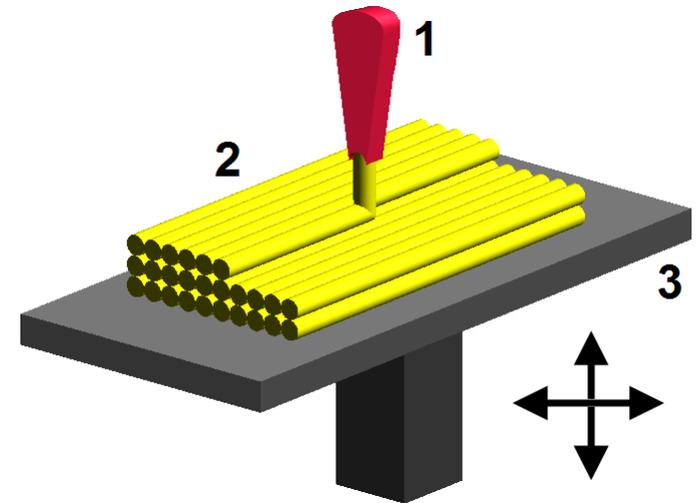
Lo spessore degli strati può essere modificato manualmente e varia da 0.172 a 0.356 mm a seconda delle necessità.



Questa tecnica utilizza **materiali differenti sotto forma di fili sottili avvolti in bobine** che vengono estrusi da una testa di estrusione che li scalda fino ad uno stato semi-liquido.

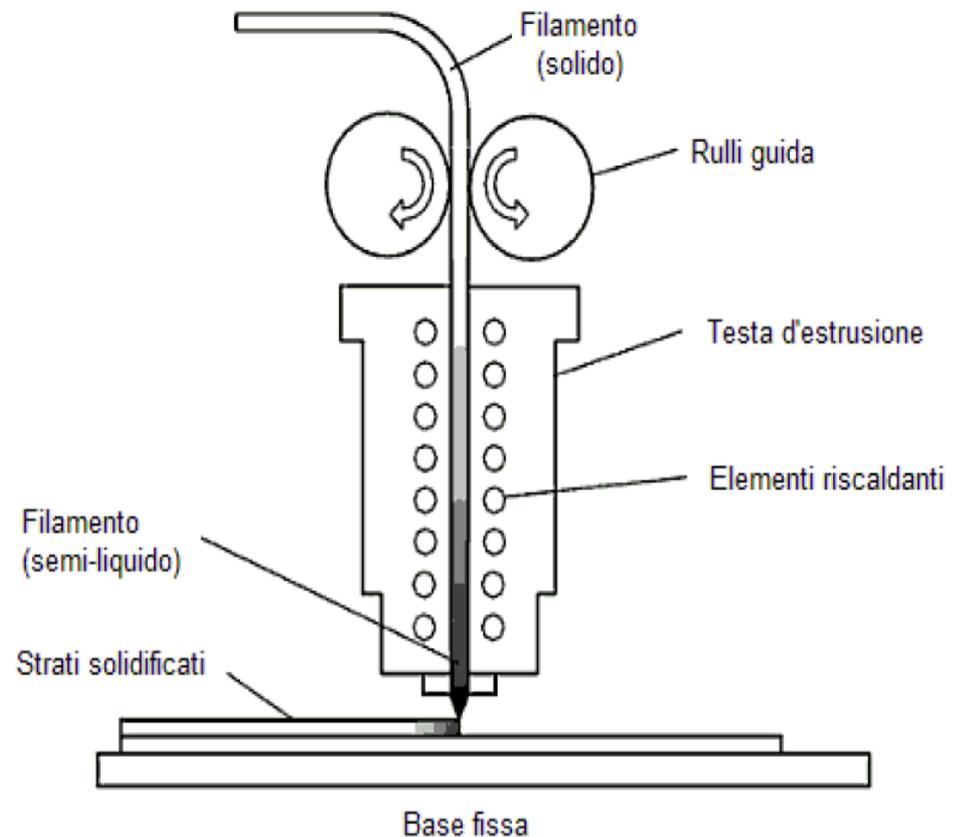
**Il materiale estruso viene quindi depositato in strati ultra sottili, uno alla volta.**

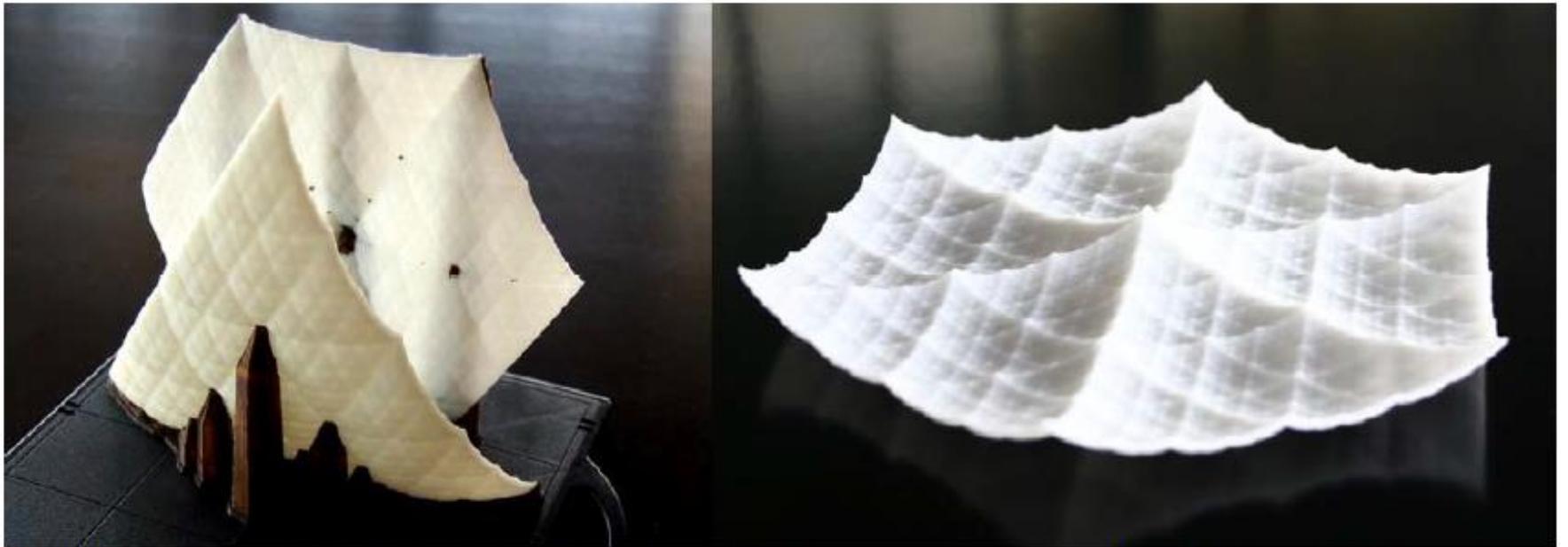
Poiché l'aria attorno alla testina d'estrusione viene mantenuta ad una temperatura inferiore a quella del punto di fusione, il materiale estruso solidifica rapidamente.



La **testina muovendosi nel piano X-Y** costruisce il pezzo sezione dopo sezione partendo da quella inferiore e ***distribuisce due materiali*** grazie ad un meccanismo a doppia punta, il primo per costruire il pezzo vero e proprio mentre il secondo per produrre le strutture di supporto.

Il particolare prodotto **non necessita di post-trattamento** poiché si devono solo eliminare strutture di supporto.





*FDM Model: On the left, the model on the production base with its support material (brown). On the right, the final object.*



## **VANTAGGI:**

- Costruzione di parti funzionali,
- i pezzi prodotti presentano ottime caratteristiche meccaniche
- è molto utile soprattutto per lo sviluppo di prodotti che richiedono test funzionali in tempi brevi;
- Minimo scarto di materiale;
- Facilità di rimozione dei supporti;
- Facilità di cambio del materiale.

## **SVANTAGGI:**

- Accuratezza limitata, ciò è dovuto al fatto che il materiale è estruso sotto forma di fili dallo spessore di 1.27 mm circa;
  - Lentezza del processo;
  - Ritiro imprevedibile.
- 



I materiali utilizzabili, sotto forma di fili sottili avvolti in bobine, sono vari:

- **Poliammide**, viene usato per realizzare **prototipi estetici** a causa delle limitate precisioni e caratteristiche meccaniche;
- **ABS**, garantisce **resistenza meccanica** e chimica, stabilità al calore, rigidità, basso coefficiente di ritiro e rapida solidificazione per la realizzazione di modelli funzionali.
- **MABS**, è un materiale destinato ad applicazioni medicali, i modelli **possono essere sterilizzati** con le radiazioni  $\gamma$  e utilizzati per prove funzionali direttamente a contatto con le apparecchiature medicali e nelle camere sterili;
- **Elastomero**, è caratterizzato da una durezza shore di 60A e destinato alla realizzazione di prototipi di **elementi elastici** come le guarnizioni.

Per ogni materiale ne esiste un secondo con proprietà termo-meccaniche leggermente inferiori e colore diverso destinato ai supporti.

