



Università degli Studi di Lecce
Facoltà di Ingegneria
Corso di Laurea in Ingegneria dei Materiali

PROTOTIPAZIONE RAPIDA (RP)

Carola Esposito Corcione



DEFINIZIONI

- ❖ La **prototipazione rapida (RP)** è una tecnologia innovativa che consente la produzione di oggetti di geometria comunque complessa, in tempi molto ridotti, a partire dalla definizione matematica dell'oggetto realizzata su un modello CAD tridimensionale.
- ❖ Si basa sulla considerazione che ogni oggetto è costituito da tante sezioni di spessore infinitesimo. Il prototipo viene, così realizzato sezione dopo sezione, trasformando il problema da tridimensionale in bidimensionale.
- ❖ Gli oggetti sono ottenuti con progressiva aggiunta di materia. Per questo motivo la tecnologia RP è anche definita tecnica di produzione per strati o per piani (**layer manufacturing**)



BREVE STORIA

- ❖ **Fine anni Settanta:** gli americani Herbert e Hull e il giapponese Kodama sviluppano indipendentemente un sistema di solidificazione selettiva di un fotopolimero per costruire un oggetto tridimensionale per strati successivi;
- ❖ **1986:** Hull brevetta un sistema che chiama “stereolitografia”
- ❖ **1986-87:** si sviluppa la maggior parte dei sistemi alternativi di prototipazione rapida;
- ❖ **1987:** la 3D System presenta la prima macchina (SLA1);
- ❖ **1989:** la macchina SLA 250 viene posta in commercio dalla 3D System;
- ❖ **1991-93:** vengono commercializzate le macchine della Cubital, DTM, EOS, Helysys, Stratasys con tecnologie alternative alla stereolitografia per la costruzione di prototipi;
- ❖ **1994:** la Sanders commercializza la prima macchina RP avente un costo inferiore ai 100.000\$;
- ❖ **1996:** la 3D System e la Stratasys introducono sul mercato i modellatori concettuali da destinare all’ufficio tecnico;
- ❖ **1996-2002:** implementazione e diffusione in tutto il mondo di nuove tecniche di RP



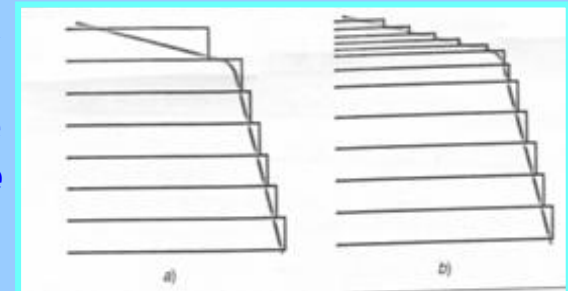
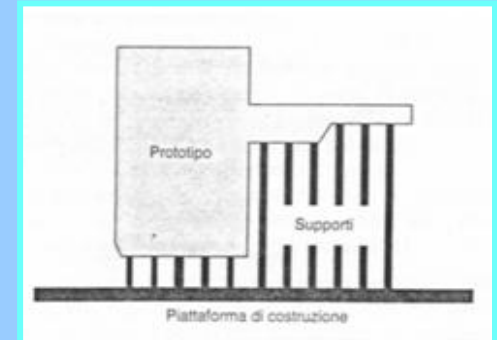
Le fasi del ciclo di RP





DEFINIZIONI

- ❖ **STL(solid to layer)** : formato grafico standard utilizzato nelle tecnologie RP. Consiste in una rappresentazione semplificata delle superfici interne ed esterne del pezzo tramite faccette triangolari che per definizione sono piane. Ciò introduce un errore noto come **facetting**. L'effetto può essere contenuto aumentando il numero di triangoli; appesantendo, però il tempo necessario all'elaborazione del file STL.
- ❖ **Generazione dei supporti**: operazione necessaria per alcune tecniche, per sostenere le parti sporgenti del pezzo.
- ❖ **Slicing**: operazione comune a tutte le tecnologie e che consiste nell'intersezione del modello completo di supporti con una serie di piani la cui normale è parallela alla direzione di costruzione STL, per ottenere le singole sezioni che distano di una distanza Δs variabile tra 0.05 e 0.5mm. Essa genera un errore, noto come **staircase** (effetto a scalino), dovuto alla costruzione di sezioni di spessore finito che determinano la rugosità superficiale del particolare.





VANTAGGI

❖ Vantaggi strategici

- ❖ Costi e tempi inferiori per la realizzazione di modelli
- ❖ Riduzione del tempo di lancio del prodotto
- ❖ Possibilità di realizzare produzione simultanea
- ❖ Rapidità nello sviluppo e nella gestione delle modifiche del progetto
- ❖ Capacità di trovare errori e problemi di progetto nelle fasi di sviluppo
- ❖ Maggiore flessibilità
- ❖ Maggiore soddisfazione del cliente
- ❖ Maggiore competitività

❖ Vantaggi di produzione

- ❖ Nella produzione di oggetti complessi le tecniche RP permettono di trovare errori prima di preparare e disegnare le attrezzature principali ed ausiliarie
- ❖ I modelli possono essere usati per fusione a cera persa, per ottenere stampi in silicone o di metallo per oggetti in plastica
- ❖ Si riduce il numero complessivo di attrezzature di prova perché esse entrano in produzione solo quando è stato creato il prototipo
- ❖ Il modello matematico realizzato al CAD 3D può essere interfacciato con altri sistemi di produzione assistita
- ❖ La qualità finale del manufatto migliora

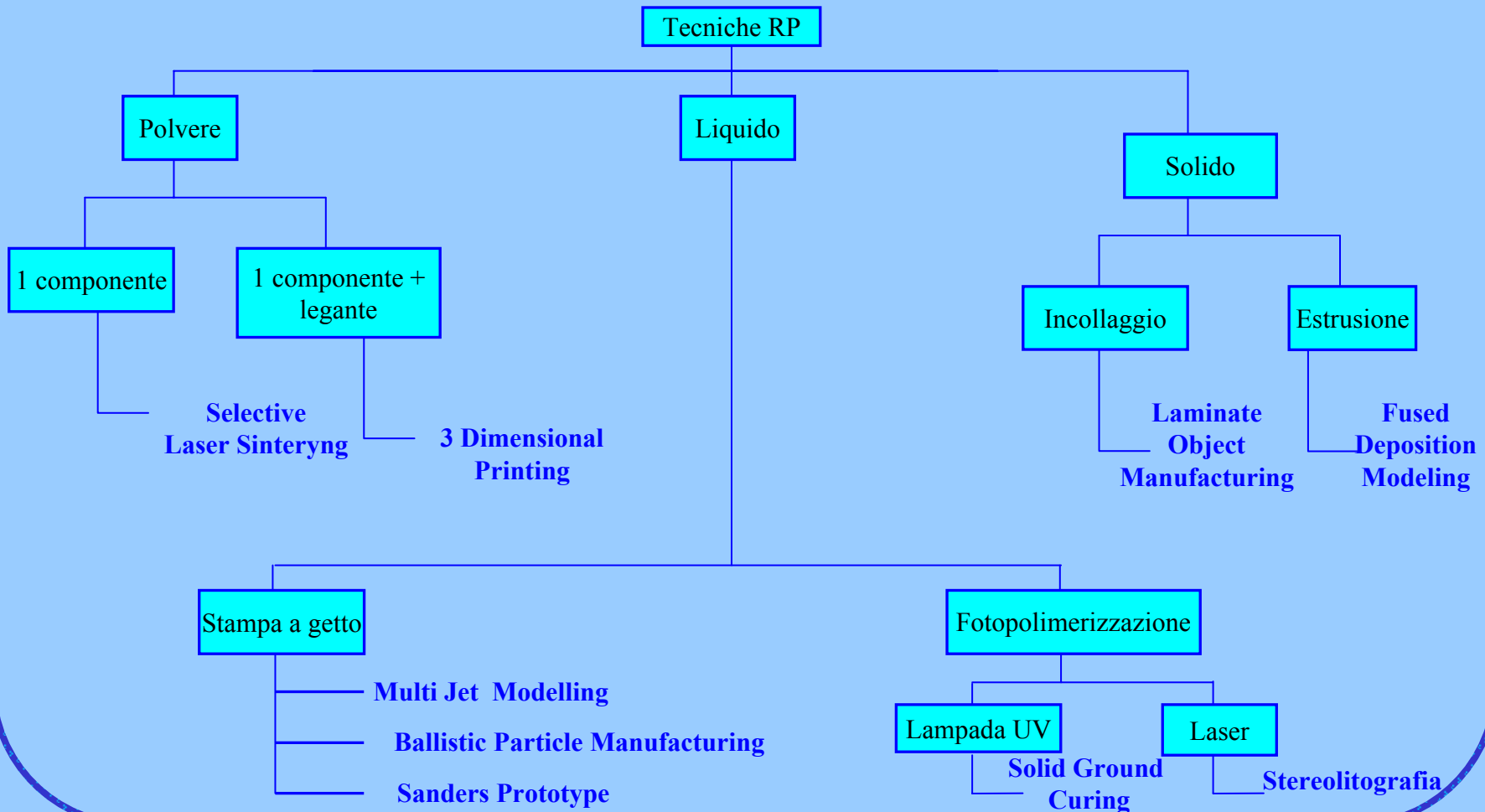


CONFRONTO

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
Totale	41	Totale	22.45



CLASSIFICAZIONE DELLE TECNICHE RP





Selective Laser Sintering

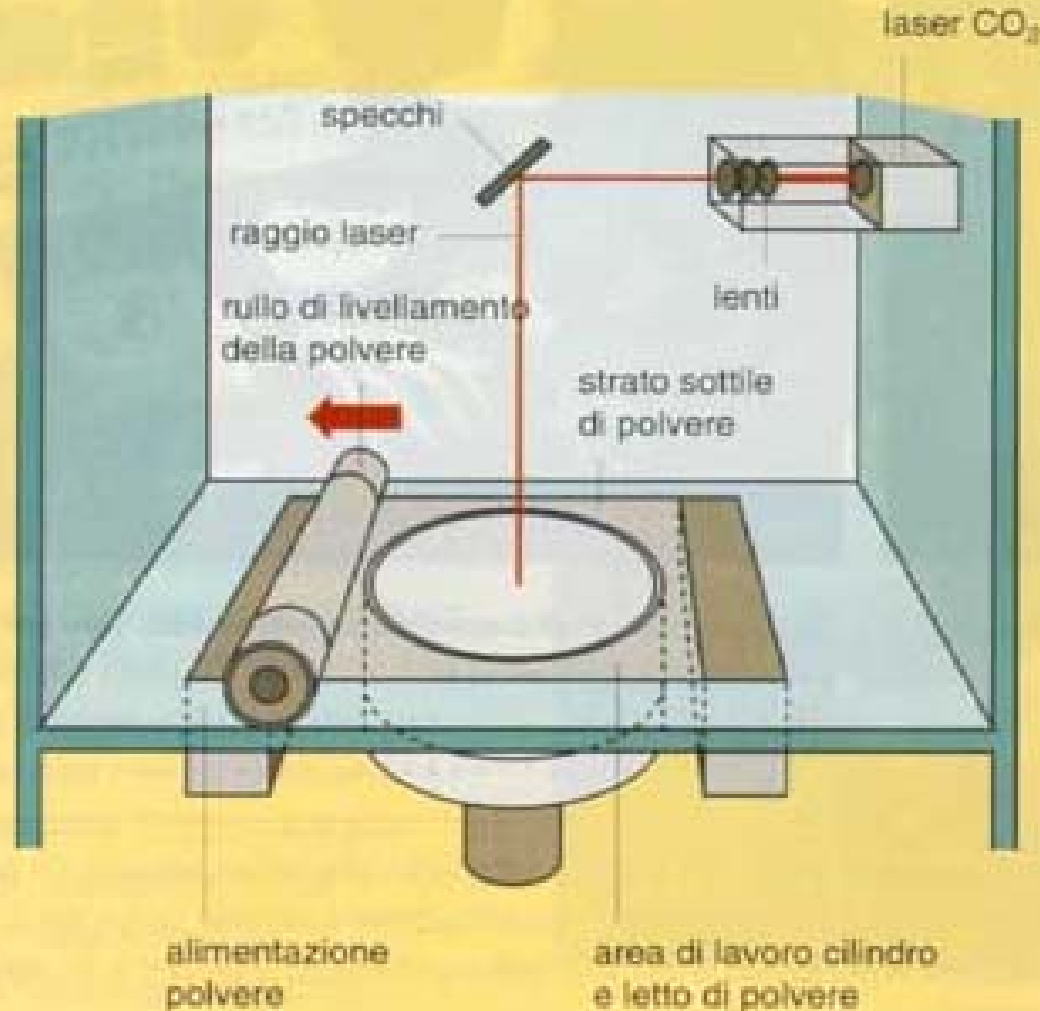
Termoplastici

Cera

Metalli

sabbia

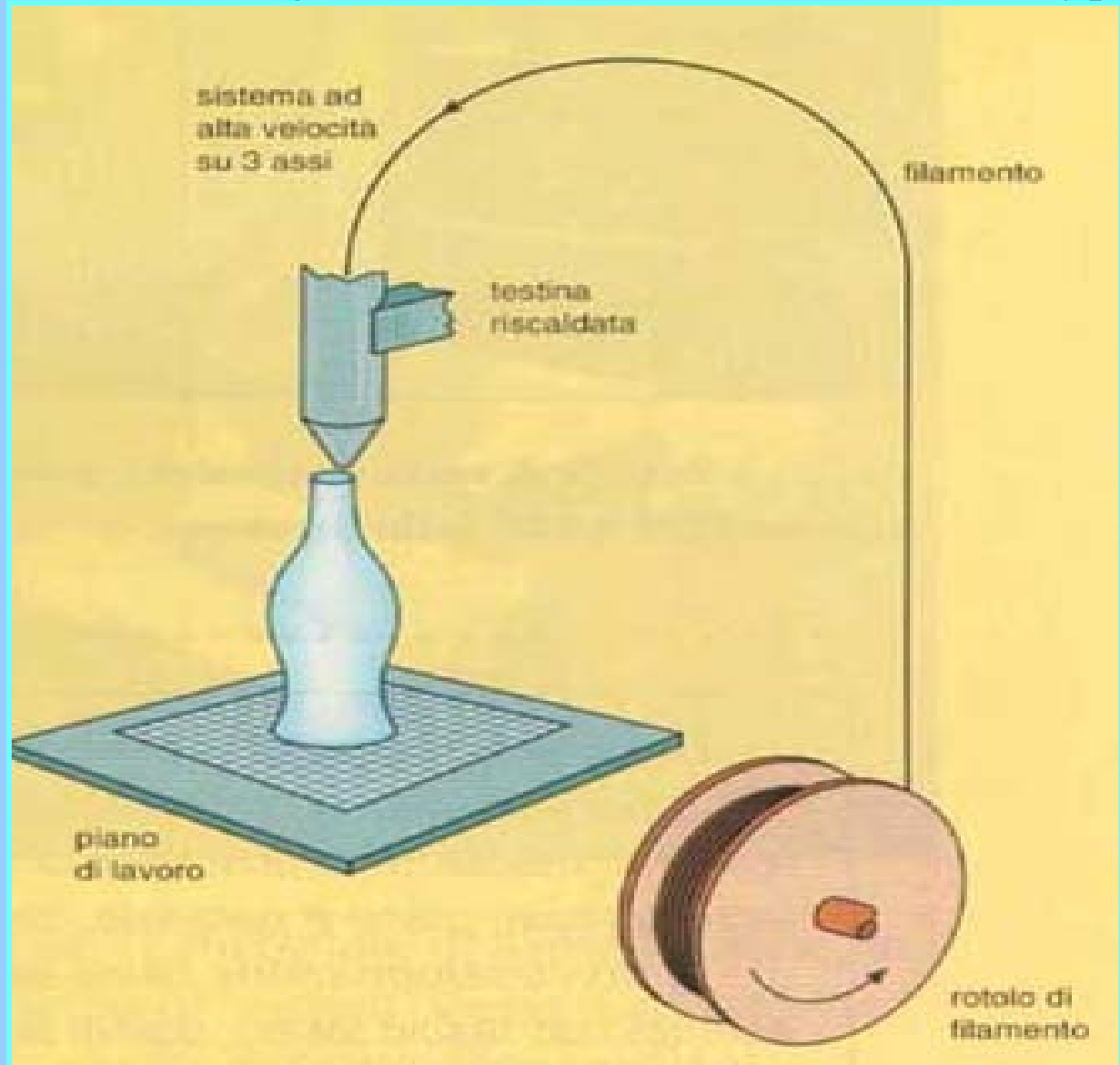
COMPONENTI DI BASE





Fused Deposition Modeling

**Materiali a
basso punto di
fusione
(per es. cera)**

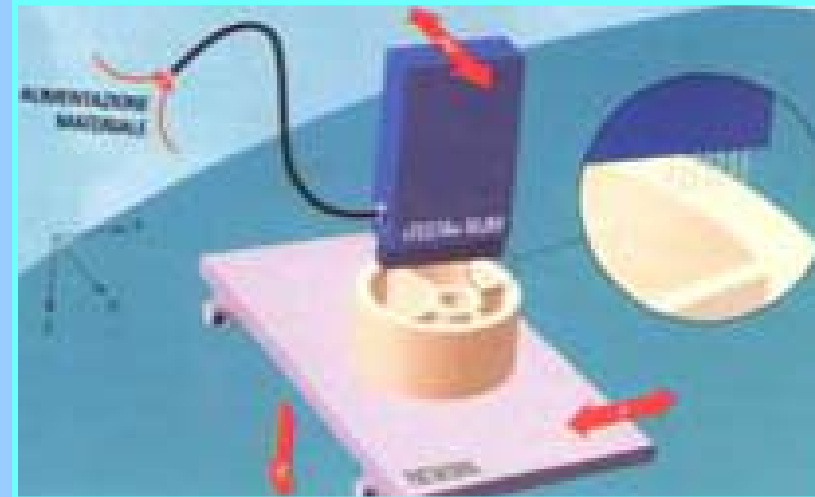




Multi jet modelling (MJM)

E' una tecnica sviluppata dalla 3D System per la costruzione di **modelli concettuali**. I modelli vengono generati impiegando una tecnica simile a quella della **stampa a getto d'inchiostro**, aggiungendo, però la terza dimensione, mediante lo spostamento lungo l'asse Z della piattaforma di lavoro. Le fasi del processo sono:

- ❖ La testina viene posizionata sopra la piattaforma di lavoro
- ❖ La testina genera il primo strato depositando materiale durante il movimento in direzione X
- ❖ La piattaforma si riposiziona sull'asse Y e la testina continua a muoversi sull'asse X per completare lo strato
- ❖ La piattaforma si abbassa e inizia la deposizione dello strato successivo
- ❖ Il processo continua strato dopo strato fino al completamento del modello
- ❖ Terminato il processo di costruzione si provvede all'eliminazione dei supporti e il modello può essere immediatamente utilizzato.



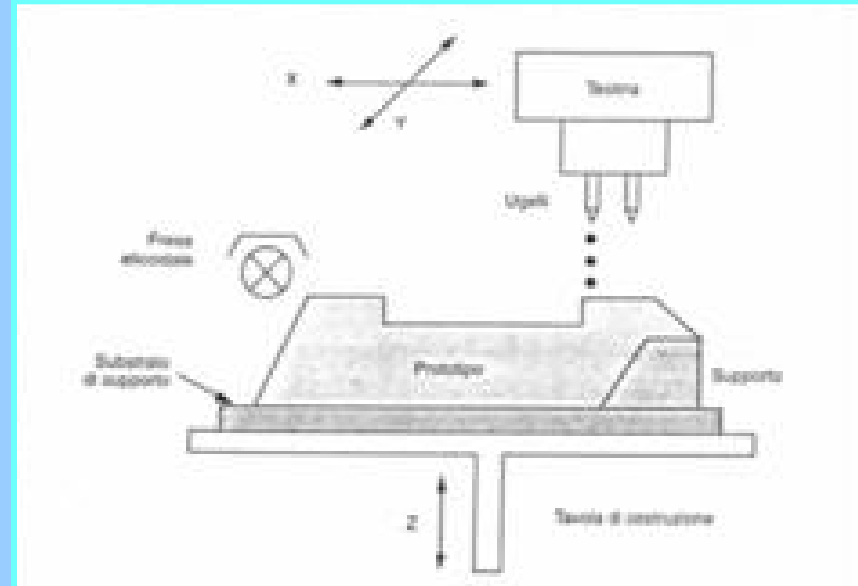
Il materiale utilizzato è un termopolimero non tossico, con aspetto simile al sapone.



Sanders Prototype inc (SPI)

Il principio di funzionamento è quello del **plotter a getto di inchiostro liquido-solido con asse Z separato**. Come in tutti i sistemi RP l'oggetto viene costruito su di una piattaforma che scende di una quantità pari allo spessore di uno

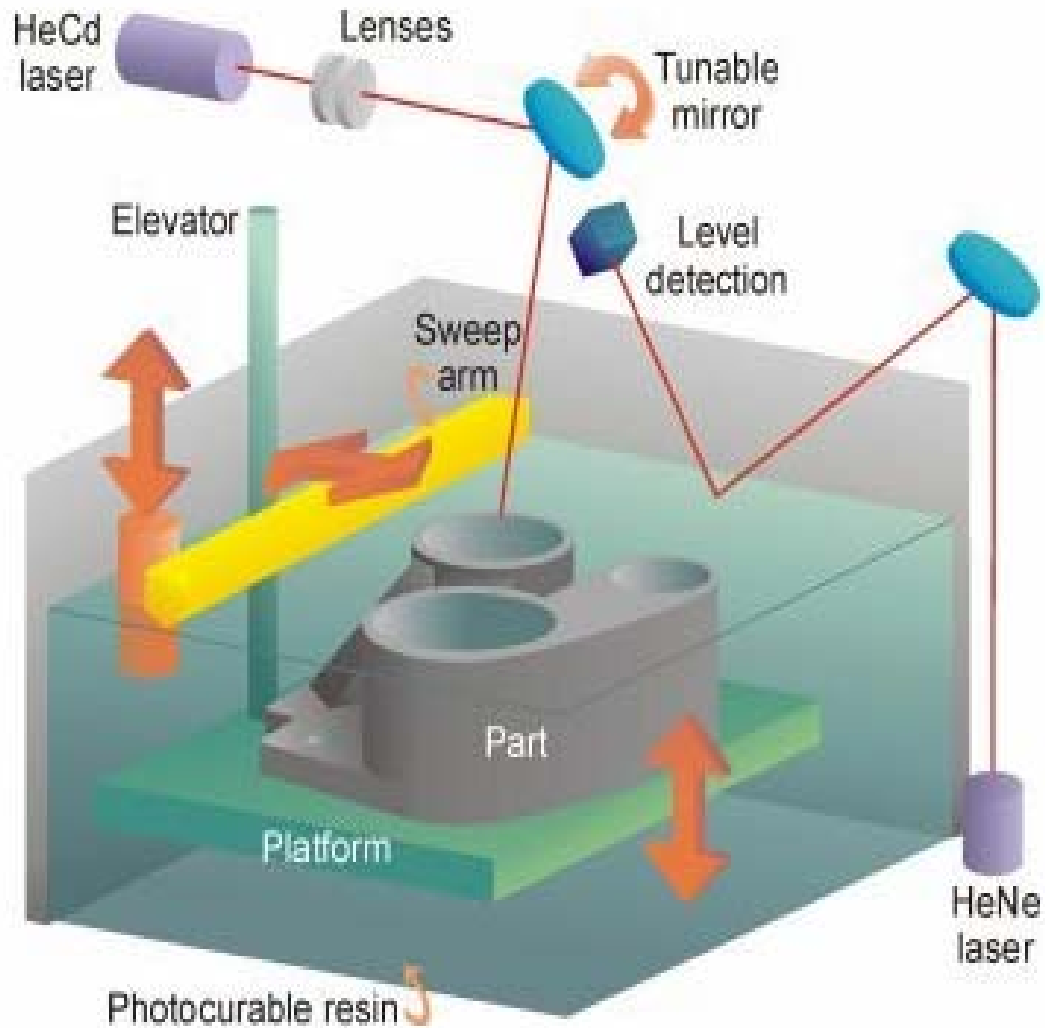
strato dopo la deposizione del materiale. Il processo impiega due testine a getto movimentate nel piano X-Y: **la prima deposita il materiale termoplastico di costruzione e la seconda la cera di supporto**. Il polimero termoplastico, allo stato liquido in uscita dalla testina, solidifica rapidamente dopo il contatto con lo strato precedentemente deposto. A questo punto, la seconda testina deposita, ove richiesto, la cera di supporto per sostenere le parti a sbalzo e cavità del modello durante la costruzione. Completato lo strato, un **dispositivo di spianatura** regola la dimensione lungo l'asse Z eliminando l'eccesso di materiale per formare una superficie liscia ed uniforme su cui depositare lo strato successivo. **Al termine della costruzione il materiale di supporto può essere evacuato mediante immersione in solvente**.



Non è da considerarsi una vera macchina di RP, ma piuttosto una grossa fotocopiatrice capace di realizzare oggetti tridimensionali, necessari per la verifica concettuale di un disegno.

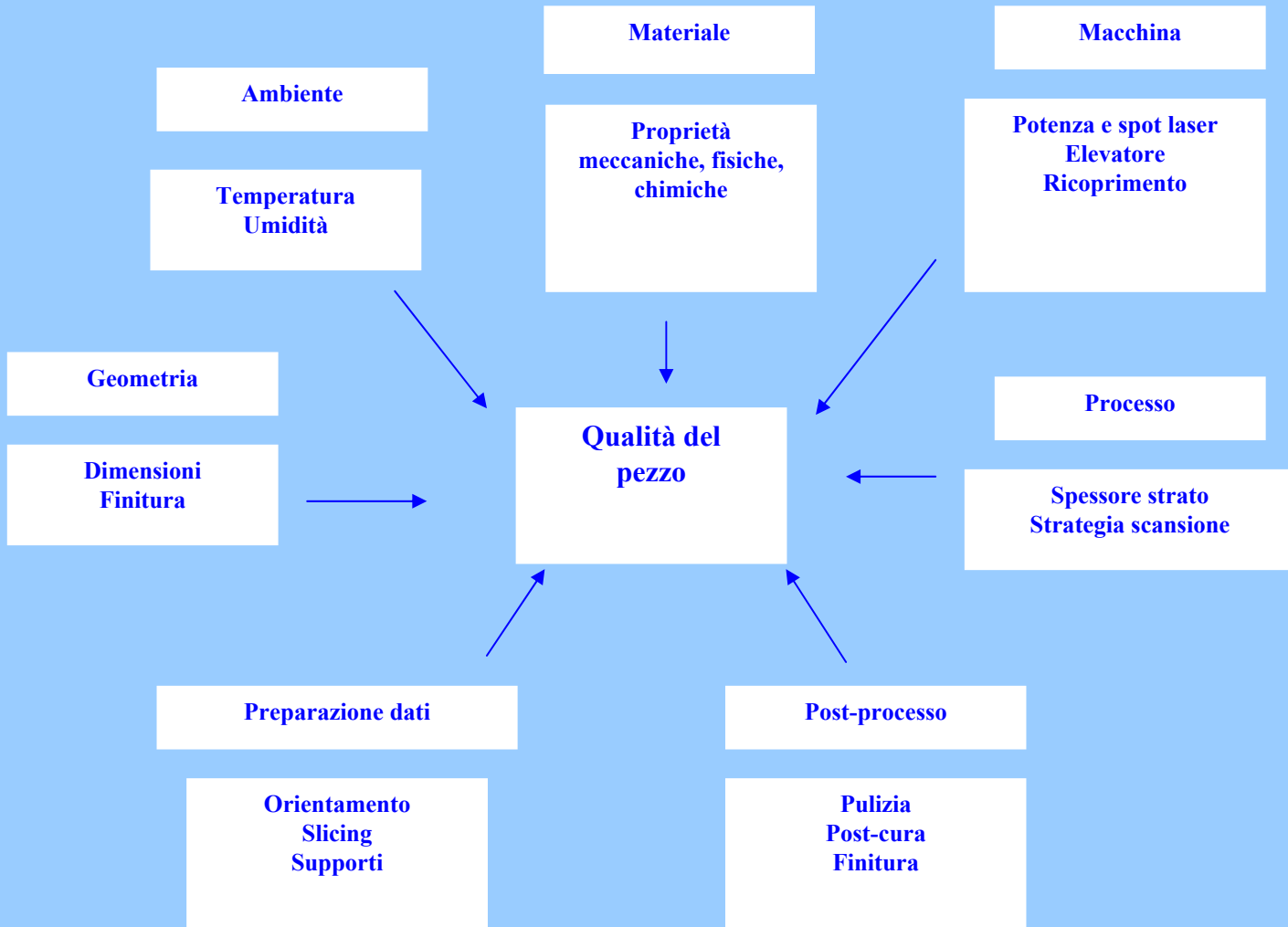


Stereolitografia



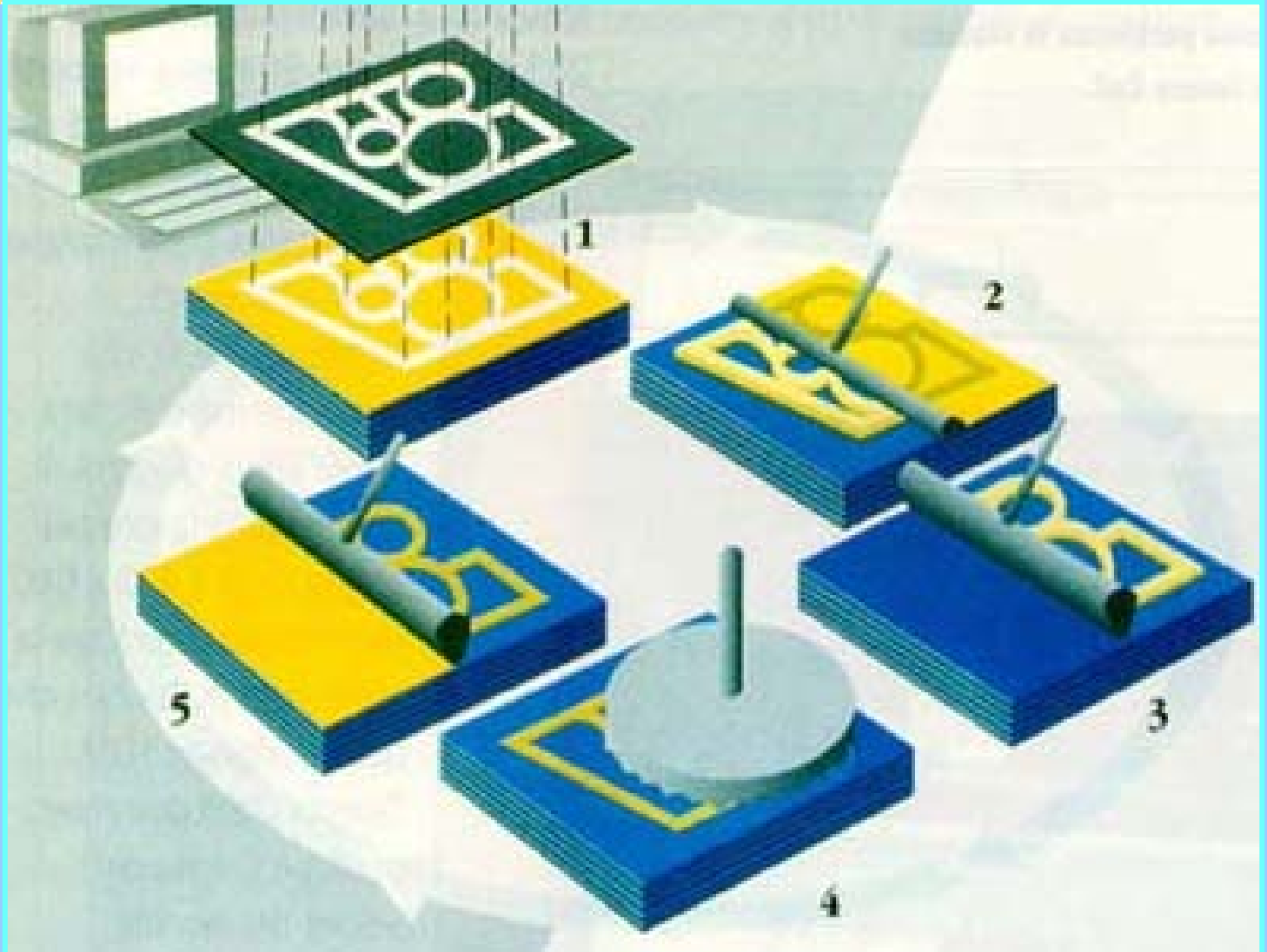


Fattori che influenzano la qualità del prototipo





Solid Graund Curing





TECNICHE EMERGENTI

Accanto ai sistemi industriali consolidati per la prototipazione rapida, stanno emergendo nuove macchine, quali i **modellatori concettuali** e i **sistemi di precisione**, destinate a coprire determinati segmenti di mercato.

I **modellatori concettuali** sono da destinarsi all'ufficio tecnico per essere utilizzati nelle primissime fasi del ciclo di sviluppo del prodotto, ancora prima di una prototipazione accurata. Essi devono garantire economicità e velocità di modellazione, per rendere disponibile al progettista l'elemento fisico in scala per le prime verifiche concettuali.

I **sistemi di precisione** sono anch'essi da destinarsi all'ufficio tecnico per verifiche di progetto; sono idonei a realizzare un prototipo funzionale, con elevate precisioni e ottime finiture superficiali, tale che possa essere a sua volta utilizzato nel settore dell'attrezzaggio rapido.



Stampante 3D per ufficio tecnico

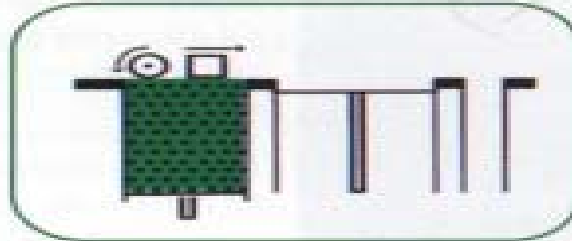
- ❖ L'introduzione di una stampante 3D offre un mezzo potentissimo per costruire un maggior numero di modelli, favorendo la creatività e l'innovazione. Tecnici e non tecnici possono realizzare le loro idee in 3 dimensioni ottenendo come risultati: migliore comunicazione, minori errori, e miglior design, al fine di poter velocizzare il ***time to market***, con conseguente impatto benefico sulla redditività nel tempo di una linea di prodotti.



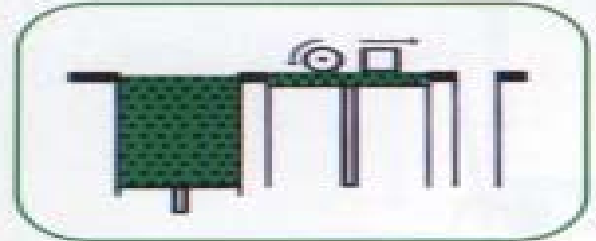


Stampante 3D, Z402(Z Corporation)

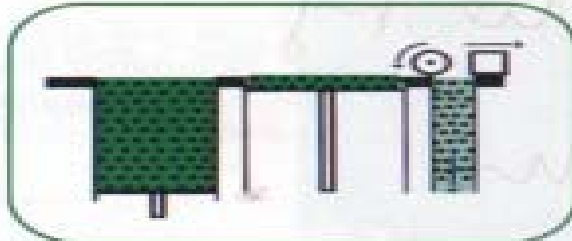
Polvere a base di amido e cellulosa che viene legata con colla liquida a base acqua



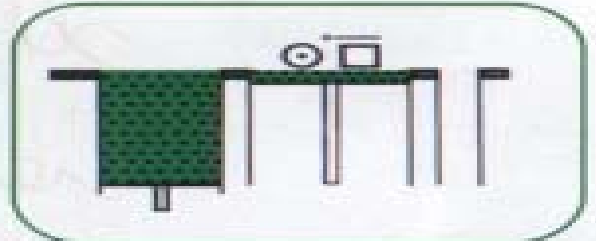
1 - Prelievo della polvere



2 - Deposito della polvere

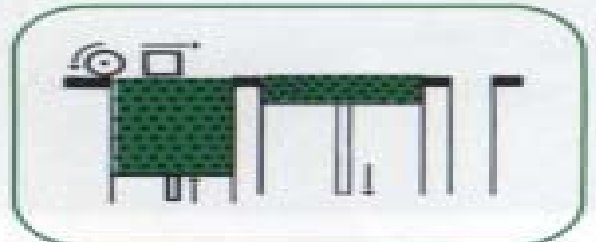


3 - Scarico della polvere in eccesso



4 - Stampa

una cartuccia deposita il legante nelle zone corrispondenti alla geometria del modello da costruire



5 - Salita del pistone di alimentazione
- Discesa del pistone di costruzione

Descrizione del processo di stampa 3D con il sistema Z402.



Prototipazione rapida per materiali ceramici

❖ Fused Deposition of Ceramics

Consiste nell'estrusione di filamenti realizzati con una sospensione legante - ceramico, a cui fa seguito un trattamento di pirolisi e sinterizzazione.

❖ Direct Ceramic Jet Printer

Le polveri ceramiche, disperse in un inchiostro, sono stampate tramite un getto dello stesso: gli ugelli hanno un diametro compreso tra i 60 e i 100 μm . Al processo seguono i trattamenti termici di pirolisi e sinterizzazione.

❖ Selective Laser Sintering

Un fascio laser lavora termicamente portando localmente a fusione il materiale; non è necessario il processo di sinterizzazione.



Prototipazione rapida per materiali ceramici

❖ Laser stereolitography

Il laser agisce nel senso di far polimerizzare una resina fotosensibile in cui è dispersa la fase ceramica. Il pezzo è sottoposto a pirolisi e sinterizzazione.

❖ Multiphase Jet Solidification

Il processo è condotto secondo quattro stadi. Nel primo avviene la miscelazione delle polveri di carburo di silicio con uno speciale legante termoplastico; nel secondo si utilizza una testina simile a quella delle stampanti ink - jet che spruzza materiale polimerico - ceramico. Nel terzo stadio si procede alla costruzione del pezzo per strati successivi. La testina si muove nelle direzioni x - y, mentre il piatto si muove nella direzione z, consentendo la costruzione degli strati. Nell'ultimo stadio si procede al lavaggio del campione e alla sua sinterizzazione.

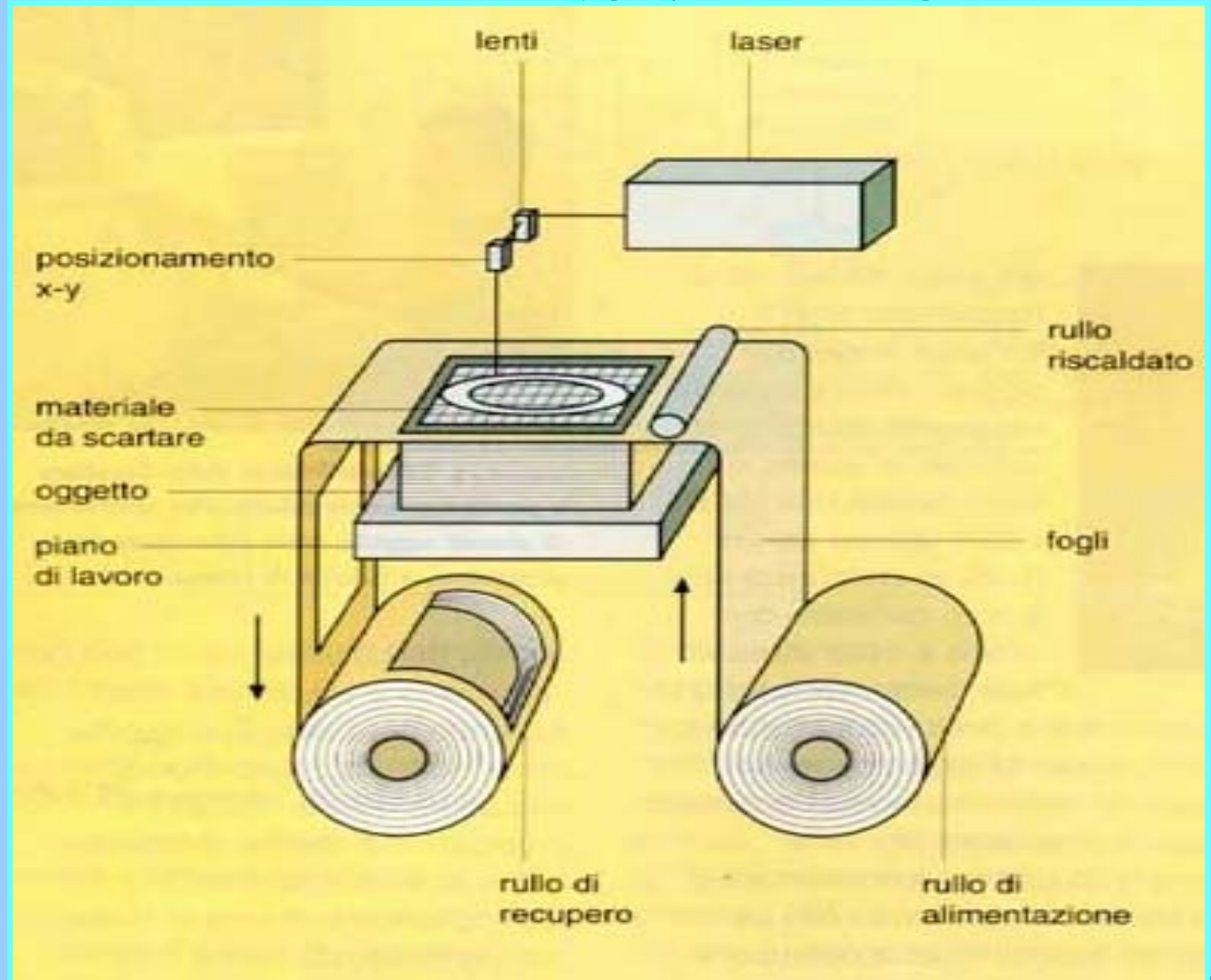
❖ Multi - Jet Modeling

In analogia al processo precedente, si utilizza una testina che esegue una scansione simile a quella utilizzata nell'ink - jet. Tale testina spruzza un materiale termopolimerico, procedendo nella costruzione per strati successivi. In questo caso la testina si muove nella direzione x ed il piatto nel piano y - z.



Laminated Object Manufacturing (LOM)

**Fogli
ceramici
termoadesivi**





Applicazioni

- ❖ **Verifica di progetto (prototipi estetici)**: è stata la prima applicazione ed è relativa alla fabbricazione di modelli che consentano una verifica immediata del progetto, senza che sia necessario lo sviluppo di attrezzature.
- ❖ **Test funzionali (prototipi funzionali)**: prevedono l'utilizzo di sistemi RP per la realizzazione di modelli da destinare a prove fluidodinamiche, di resistenza, di corretto accoppiamento tra più parti, di assemblaggio ecc...
- ❖ **Costruzione di attrezzaggi rapidi (rapid tooling, RT)**: la produzione di utensili ed attrezzature rappresenta una delle fasi più lunghe e costose nel ciclo di sviluppo di un nuovo prodotto; pertanto riduzioni di tempo in essa portano ad immediati vantaggi in termini economici.

Le potenzialità di questi nuovi processi sono enormi, ciò ha reso possibile la loro introduzione in molti ambienti industriali, spaziando da quelli tipicamente tecnici (settori dell'elettronica, della meccanica) sino a quello dei giocattoli, dei beni per la casa e per l'arredamento.



APPLICAZIONI

Tipi di industrie in cui sono stati introdotti i sistemi RP:

- **Industria automobilistica**
- **Industria aeronautica**
- **Industria aerospaziale**
- **Industria elettronica**
- **Industria elettromeccanica**
- **Industria elettrotecnica**
- **Telefonia**
- **Industria illuminotecnica**
- **Industria idraulica**
- **Industria del bianco**
- **Apparecchiature medicali**
- **Trasformazione delle materie plastiche**
- **Arte orafa**
- **Modellismo**
- **Giocattoli**



Rapid Tooling (RP)

❖ Le applicazioni industriali della prototipazione rapida, conosciute come attrezzaggio rapido, sono un insieme di tecniche mirate alla costruzione in tempi brevi di attrezzature destinate alla realizzazione della pre-serie:

- Inserti per stampi per l'iniezione della cera per ottenere modelli per microfusione
- Inserti per stampi destinati all'iniezione, soffiaggio, termoformatura delle resine termoplastiche
- Gusci per la microfusione

Una delle applicazioni più importanti è la realizzazione di **modelli e casse d'anima per la fusione in terra in tempi ridotti rispetto a quelli dei metodi tradizionali.**

L'utilizzo della RP permette la fabbricazione diretta dei modelli sacrificali eliminando la costruzione dello stampo in alluminio e riducendo i tempi di costruzione della conchiglia dalle 10 settimane ai 10 giorni (**processo quick-cast**).

Non tutti i materiali utilizzati nelle tecniche RP sono idonei per questo processo, perché potrebbero portare alla rottura del guscio durante la fase di riscaldamento in autoclave se la loro dilatazione prima del rammollimento fosse eccessiva. Inoltre i residui carboniosi lasciati dal modello potrebbero determinare difetti sull'elemento metallico.



Modelli in cera persa

CastForm PS è un nuovo polimero a base **polistirene** ideato per l'utilizzo in processi di fusioni in metallo. E' stato sviluppato per la produzione di modelli a perdere per il processo di **fusione a cera persa**.





Applicazioni medicali della RP

- ❖ La RP è utilizzata sempre di più in medicina con lo scopo di ridurre i tempi per la produzione di protesi, sia per ottenere un modello fisico dell'oggetto studiato (replica anatomica).
- ❖ Modelli di parti del corpo umano possono essere riprodotti con la RP servendosi di dati ottenuti tramite la tomografia computerizzata (CT, **computed assisted tomography**) o la risonanza magnetica (MRI, **magnetic resonance imaging**).
- ❖ Con le tecniche di RP è possibile riprodurre fisicamente l'ambiente in cui si andrà ad operare, potendo, così considerare tutti i rischi e le difficoltà che si potrebbero incontrare durante l'intervento.
- ❖ I modelli fisici ottenuti per RP possono essere alla base di una veloce ed accurata produzione di impianti finali, permettono di ridurre i tempi degli interventi chirurgici e forniscono ottimi risultati sia per forme che per accuratezza di lavorazione.



Prototipazione in neurochirurgia

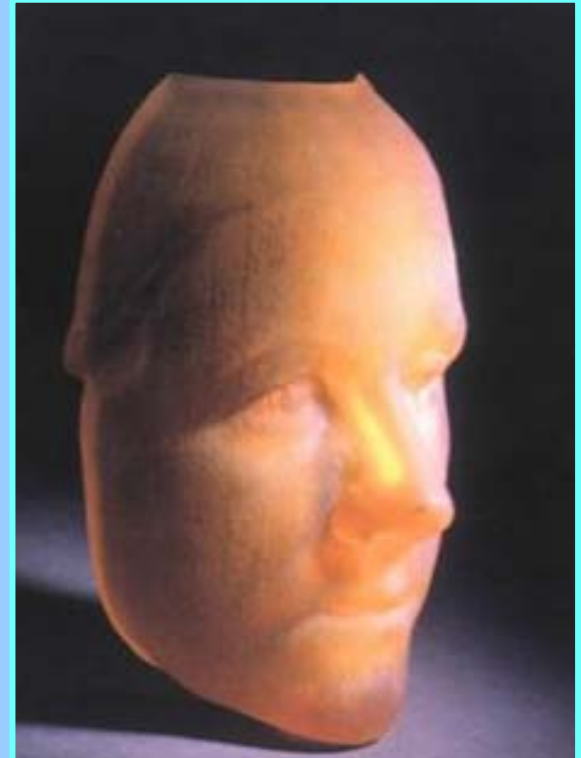
Dati tridimensionali di una tomografia (TAC) vengono elaborati con la tecnologia di prototipazione stereolitografica per ottenere un metodo personalizzato di fabbricazione di placche in titanio per la riparazione di difetti cranici. I dati rilevati con la TAC tradizionale vengono elaborati da un software di modellazione specifico per il settore medico e successivamente inviati al sistema di prototipazione.





Maschere per ustioni con la stereolitografia

Le maschere per il trattamento delle gravi ustioni facciali sono impiegate per prevenire la formazione di scorrette cicatrizzazioni dei tessuti. Gli ustionati devono portare la maschera almeno 23 ore al giorno. I metodi per produrre queste maschere sono molto complessi. La soluzione convenzionale prevede la realizzazione di uno stampo tramite l'applicazione di una maschera di gesso sul volto del paziente. Il paziente deve rimanere immobile per almeno un'ora mentre il gesso viene applicato e fatto asciugare. Successivamente, viene versato materiale plastico nello stampo in modo da formare il calco finale. Grazie alla SL è possibile ridurre notevolmente i tempi : un laser a scansione riproduce i contorni facciali del paziente in meno di 15 sec creando un calco di elevata precisione. I dati così raccolti vengono elaborati per poter essere utilizzati dalle macchine per stereolitografia, mediante le quali si produce il calco, sul quale viene steso il materiale plastico che costituirà la maschera finale.





Applicazioni varie



GLI EFFETTI SPECIALI CON LA PROTOTIPAZIONE

La tecnologia Solid Imaging della 3D Systems è stata di aiuto alla Gentle Giant Studios per finalizzare il design di una vasta gamma di modelli tridimensionali utilizzati per gli effetti speciali di diversi film televisivi o di giocattoli, compresi, ad esempio, 250 modelli della serie Guerre Stellari Primo episodio, oltre a diversi pezzi per la Disney e la Warner Brothers. Le tecnologie 3D Systems sono impiegate da Gentle Giant Studios per determinare la forma finale e le caratteristiche di un soggetto in breve tempo. Attualmente Gentle Giant Studios è dotata di due Actua 2100, una SLA 250 e due stampanti tridimensionali ThermoJet.



Il prototipo della macchina di Formula 1 Jordan pronto per le verifiche funzionali in galleria del vento.

