

Università degli Studi di Ferrara
Facoltà di Scienze MM.FF.NN.
CdL in Tecnologie Fisiche Innovative

Progettazione CAD/CAM II

Prof. Nicola Baldanza
Prof. Michele Benedetti

Modulo III Prototipazione rapida

www.programmaquadrifoglio.it

A cosa servono i prototipi?

Si possono quindi distinguere diversi tipi di prototipo, ognuno con obiettivi e con metodologie e materiali di fabbricazione differenti:

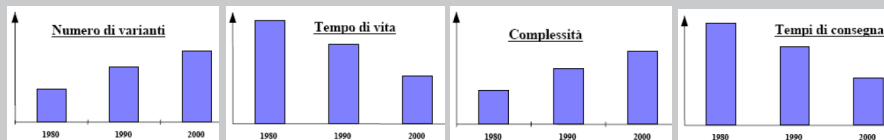
		PROTOTIPO			
CARATTERISTICHE		Concettuale	Funzionale	Tecnico	Preserie
	Obiettivi	<ul style="list-style-type: none"> - Verifiche di progetto - Valutazioni di stile - Valutazioni ergonomiche - Valutazioni di costo 	<ul style="list-style-type: none"> - Valutazione delle prestazioni con test funzionali (ad es. test aerodinamici e fluidodinamici) - Prove di assemblaggio 	<ul style="list-style-type: none"> - Verifiche di durata e di rispondenza alle normative di sicurezza - Certificazioni - Ottimizzazione delle tecnologie di produzione 	<ul style="list-style-type: none"> - Valutazione finale del prodotto - Produzione in piccole e medie serie
	Tecnologia di fabbricazione	Non rilevante	Non rilevante	Simile al reale	Definitiva
	Materiale	Simile a quello reale dal punto di vista estetico	Simile al reale	Molto simile al reale	Definitivo

Prototipi nel passato

Da sempre disegnatori, inventori e progettisti hanno avuto l'esigenza di comunicare e valutare le loro idee prima di tradurle in pratica

Soprattutto prima dell'avvento dei vari software di modellazione tridimensionale, si poteva fare affidamento solo su disegni bidimensionali, quindi il prototipo era essenziale per riuscire ad effettuare importanti osservazioni ed analisi su progetti in corso

La realizzazione dei prototipi era affidata ad artigiani e modellisti, era una fase molto lunga e costosa rispetto all'intera vita del prodotto; ciò non è più compatibile con le trasformazioni che il mercato ha subito negli ultimi anni



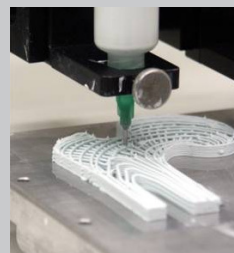
Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Prototipazione rapida

La prototipazione rapida (PR) è una tecnologia innovativa e relativamente recente che consente di realizzare oggetti, a prescindere dalla loro complessità costruttiva, partendo da una loro descrizione matematica al CAD tridimensionale

Le tecniche di lavorazione tradizionali, operano per asportazione di materiale, ottenendo la forma voluta da un blocco, o per deformazione/formatura, ed in questo caso sono richieste attrezzature correlate alla forma che si vuole ottenere

Le varie tecniche di PR si basano sul concetto di accrescimento, cioè una progressiva aggiunta di materiale su strati successivi; la PR è detta anche Layer Manufacturing



Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Breve storia della PR

- **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 RP
- **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 Cubital, DTM, EOS, Helysys, Stratasys con tecnologie alternative alla stereolitografia
- **1994:** La Sanders commercializza la prima macchina RP avente un costo inferiore a 100.000\$
- **1996:** La 3D System e la Stratasys introducono sul mercato i modellatori concettuali da destinare all'ufficio tecnico
- **dal 1996 ad oggi:** diffusione in tutto il mondo di nuove tecniche RP

Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Fasi del processo di PR

Esistono svariate tecniche di produzione, ma tutti i processi di prototipazione rapida seguono le seguenti cinque fasi:

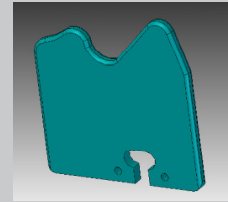


Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Fasi del processo di PR

1. Descrizione CAD dell'oggetto

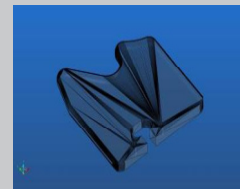
Questa fase richiede un software CAD con idoneo sistema per rappresentare i volumi. Occorre che le tolleranze del sistema di rappresentazione siano molto ristrette: si richiede infatti di scendere sotto 0.001 mm



2. Conversione del modello CAD in formato .STL

Per ragioni di consistenza il prodotto CAD viene convertito in un formato standardizzato per i tutti processi PR. Questo formato ha tipicamente estensione .STL. La superficie esterna del solido è scomposta in un insieme di triangoli elementari (il cui numero è tanto maggiore quanto meglio si vogliono approssimare le superfici) e per ciascun triangolo il file raccoglie le coordinate di tutti i vertici e le direzioni delle normali al piano del triangolo.

Il file .STL viene elaborato dalla macchina in modo da orientare correttamente il pezzo e generare i supporti, che sono fondamentali, in quanto permettono di ancorare il modello in costruzione all'area di lavoro e di supportare eventuali sottosquadri



Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative – UNIFE

Fasi del processo di PR

3. Slicing

Questa è la fase in cui tutto il modello, compreso di supporti, viene diviso in una serie di strati paralleli, generalmente di spessore variabile tra 0.05 e 0.5 mm. Lo slicing può essere uniforme, se le sezioni sono di spessore costante, o adattativo, se queste variano in funzione della curvatura superficiale. In particolare, triangoli più piccoli sono richiesti per rappresentare superfici curve e quando si è in prossimità di bordi



4. Processo fisico di accrescimento

È questo il vero e proprio oggetto della prototipazione rapida. Durante questa fase la macchina, basandosi sul file .STL, procede con la costruzione dei vari strati (a seconda della tecnologia utilizzata) fino ad arrivare all'oggetto finale



Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative – UNIFE

Fasi del processo di PR

5. Finitura del prodotto

La fase comprende operazioni manuali quali la pulizia del prodotto, i post-trattamenti e le post-lavorazioni. I primi devono essere fatti necessariamente per poter utilizzare i prototipi (ad es. la rimozione dei supporti), le seconde invece sono operazioni mirate a migliorare l'aspetto dell'oggetto (ad es. verniciatura)



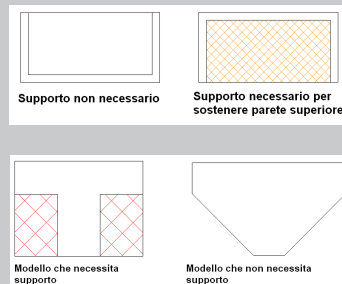
Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Accorgimenti e inconvenienti

- Occorre verificare la chiusura e la connessione delle varie superfici del modello prima di generare il file STL, per non incorrere nel cosiddetto "cracking", cioè la generazione errata di strutture che non hanno un senso fisico (ad es. piani non chiusi o linee staccate dalle superfici)



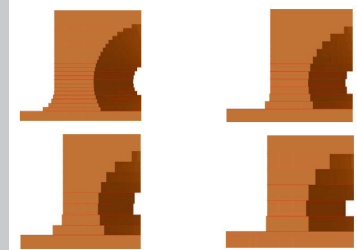
- La scelta dell'orientamento più adeguato da dare al modello all'interno della macchina condiziona le proprietà del pezzo finito e i tempi di lavorazione. Il modello risulta più debole nella direzione di accrescimento, la sua rugosità aumenta in corrispondenza di superfici curve o inclinate rispetto al piano di lavoro e la macchina impiega più tempo per creare un pezzi molto alti



Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Accorgimenti e inconvenienti

• Per quanto riguarda la fase di slicing, bisogna tenere presente che è un'operazione importante per la riuscita del pezzo finito: lo spessore delle slice influisce sulla precisione e sulla finitura superficiale del modello. Esso presenterà un effetto "a gradini" più o meno evidenti e quindi differenti altezze degli strati corrisponderanno a differenti risultati finali, in particolare per le superfici curve. È il cosiddetto effetto "staircase", riducibile diminuendo lo spessore delle "fette" il più possibile, tenendo presente che le macchine hanno comunque una certa sensibilità sotto la quale non possono andare (esempio diametro del filo nella tecnica FDM)



• Nei casi in cui non si possano evitare filetti ci sono alcune valide soluzioni:

1. creare una sede aperta sul fianco del modello per infilare un dado, in modo da sfruttare il filetto del commerciale (molto più resistente)
2. utilizzare le boccole autofilettanti

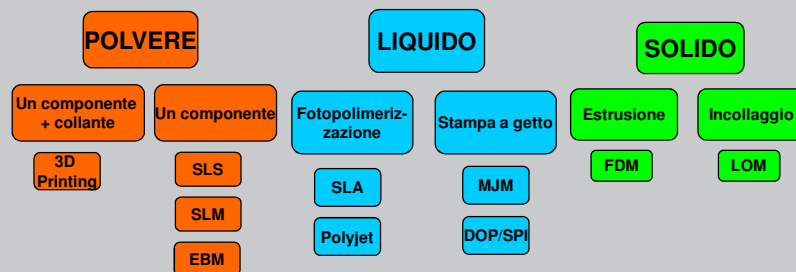


Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative – UNIFE

Tecniche di prototipazione

Si hanno diversi tipi di processo che si distinguono sia per il principio fisico utilizzato per l'accrescimento, sia per il tipo di materiale che si utilizza. Considerando il tipo di materiale si hanno i seguenti processi:

- a polvere
- a liquido
- a solido



Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative – UNIFE

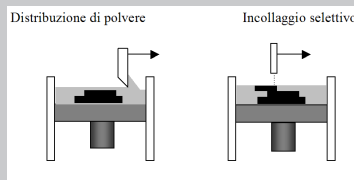
Processi a polvere

3D printing

Tecnica lanciata e brevettata dal M.I.T. Di Boston

Consiste nel distribuire sul piano d'appoggio situato sull'elevatore uno strato di polvere e nel spianarlo con un rullo, il quale ha anche il compito di togliere la polvere in eccesso. Inizia poi la fase analoga alla stampa a getto d'inchiostro: viene spruzzato del collante nei punti dove dovrà crearsi il prototipo. Una volta asciutto, l'elevatore si abbassa e viene ripetuto il procedimento per lo strato successivo di polvere

Non si ha la necessità di progettare dei supporti (la polvere supporta gli sbalzi), ma necessita di più post-trattamenti: dev'essere trattato sia termicamente che chimicamente per migliorarne le caratteristiche. E' utilizzato con polveri metalliche, ceramiche e di cellulosa



Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative – UNIFE

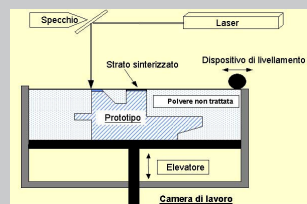
Processi a polvere

Selective Laser Sintering (SLS)

Tecnica lanciata e brevettata dal Università del Texas

Ogni strato del modello è ottenuto sinterizzando, con apporto di energia termica concentrata, parti di un sottile velo di polvere, costituito da materiale termoplastico. L'energia termica è fornita da un laser il cui raggio scansiona la superficie scaldando in maniera selettiva solo i punti richiesti

La camera viene tenuta ad una temperatura prossima a quella di fusione per limitare la potenza del laser e ridurre le deformazioni. I materiali impiegati sono polveri silicee, policarbonato, poliammidi polvere di metallo rivestito



Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative – UNIFE

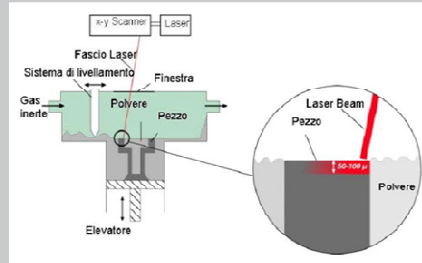
Processi a polvere

Selective Laser Melting (SLM)

E' molto simile alla Selective Laser Sintering dalla quale si differenzia per i materiali usati che sono polveri metalliche o di leghe metalliche (senza elementi bassofondenti aggiuntivi)

Necessita di una densità di energia molto più elevata per portare a fusione la polvere che si traduce nell'esigenza di una sorgente laser a elevata potenza ed una atmosfera inerte

Il vantaggio è quello di ottenere un elemento massivo ad elevata densità, con caratteristiche metallurgiche identiche a quelle dei particolari realizzabili con i processi di produzione convenzionali



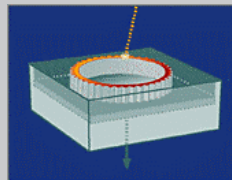
Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Processi a polvere

Electronic Beam Melting (EBM)

Fa uso, al pari della SLM, di polveri metalliche integrali senza bassofondenti. In questo caso, però, la polvere è portata a fusione da un fascio di elettroni altamente energetico e nella camera di lavoro viene praticato il vuoto, per evitare l'ossidazione del materiale. Essendo il fascio di elettroni più potente del laser, questa tecnica può essere utilizzata anche con metalli alto fondenti come il titanio

L'azienda svedese Arcam, titolare del brevetto, ha immesso sul mercato macchinari Multi-Beam, i quali con più fasci di elettroni velocizzano ancora di più una tecnica già rapida alla nascita. Oggi, l'Electron Beam Melting è tra le cinque e sei volte più veloce delle tecniche SLS e SLM.



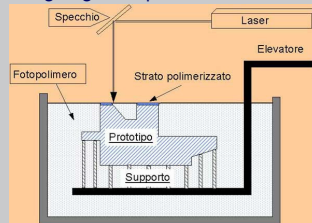
Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Processi a liquido

Stereolitografia (SLA)

E' stato il primo sistema di PR ed è uno tra i più noti ed utilizzati. Si basa sulla polimerizzazione di un liquido per effetto di una luce laser

Una resina liquida è contenuta in una vasca ed un fascio laser viene focalizzato sulla sua superficie secondo traiettorie definite. La luce laser innesca una reazione chimica a catena che porta alla solidificazione della resina nei punti colpiti. Una volta completato uno strato, l'elevatore si abbassa per consentire al polimero liquido di ricoprire la sezione costruita, poi si rialza e rimane più basso di un passo rispetto allo strato precedente; il processo continua fino al completamento del prototipo. Il laser non solidifica l'intera sezione del modello, ma solo il profilo e alcune linee che congiungono il perimetro esterno con l'interno, creando una struttura a nido d'ape



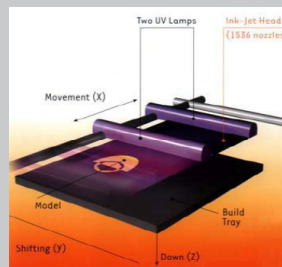
Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Processi a liquido

Polyjet

è basato sulla stampa a getto di un fotopolimero ed è molto utilizzato per la costruzione di oggetti complessi

Una testina di stampa multiugello trasla e depone in modo selettivo il materiale sul piano di supporto, contemporaneamente lo strato viene completamente solidificato da una coppia di lampade ad ultravioletti, posizionate dietro la testa di stampa e solidali ad essa. Ultimato uno strato, la tavola di costruzione si abbassa della quantità necessaria e il processo riprende fino al completamento del pezzo



Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

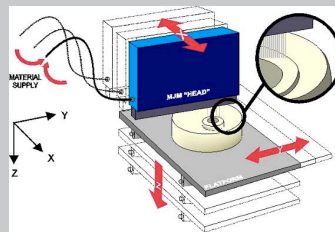
Processi a liquido

Multi Jet Modelling (MJM)

questo metodo è concettualmente molto simile al funzionamento di una normale stampante a getto d'inchiostro. Una testina viene posizionata sulla piattaforma di lavoro e deposita il materiale allo stato liquido, effettuando traslazioni lungo gli assi x e y ; una volta terminato uno strato, la piattaforma si abbassa lungo l'asse z e il processo continua in questo modo

L'"inchiostro" solidifica abbastanza rapidamente dopo essere stato depositato

Questa tecnica è molto veloce e poco costosa, ma i prototipi realizzati possono essere solo concettuali per le loro scarse proprietà meccaniche resistive.



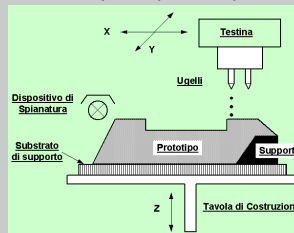
Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Processi a liquido

Drop on demand (DOP) o Sanders Prototype Inc. (SPI)

molto simile alla MJM, consiste nel depositare dove necessario, tramite due testine a getto separate movimentate nel piano x - y , due materiali diversi: quello di costruzione e quello di supporto; entrambi solidificano rapidamente al contatto con il materiale precedentemente depositato

La grande peculiarità di questa tecnica è il fatto che, oltre al processo additivo, ne utilizza anche uno sottrattivo, in quanto, una volta completato uno strato del modello, interviene un dispositivo di spianatura (una fresa elicoidale) che asporta il materiale in eccesso, permettendo così la realizzazione di prototipi molto precisi



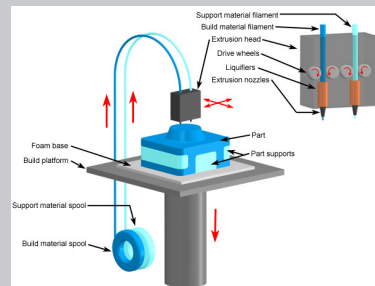
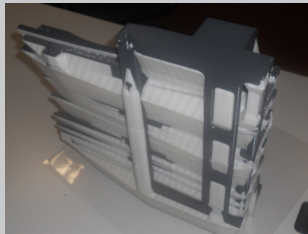
Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Processi a solido

Fused Deposition Modelling (FDM)

Questa tecnica fa uso di barrette e fili di diversi materiali che vengono svolti ed alimentano un ugello. Qui la sostanza viene portata alla temperatura di fusione, spinta all'esterno e depositata nei punti richiesti; la testa dell'ugello si muove nel piano e questo si muove lungo la verticale. I supporti vengono generati automaticamente dal software e il modello non necessita di post-trattamenti

Utilizza principalmente policarbonato ed ABS



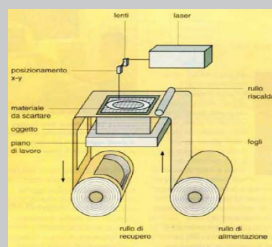
Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Processi a solido

Laminated Object Manufacturing (LOM)

Il sistema permette la produzione di modelli per successiva sovrapposizione di strati di diversi materiali

Ogni strato del modello è costituito da fogli sottili, precedentemente rivestiti di resine termoplastiche, che vengono incollati l'uno sull'altro. I fogli sono trascinati da rulli di alimentazione e vengono posati sullo strato precedente, dopo di che un rullo caldo ammorbidisce la resina per favorire l'incollaggio. Successivamente un laser taglia gli strati secondo la forma voluta e spezzetta la parte esterna dei fogli. L'oggetto ha l'aspetto esterno e la consistenza di un compensato



Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Vantaggi della PR

Vantaggi strategici:

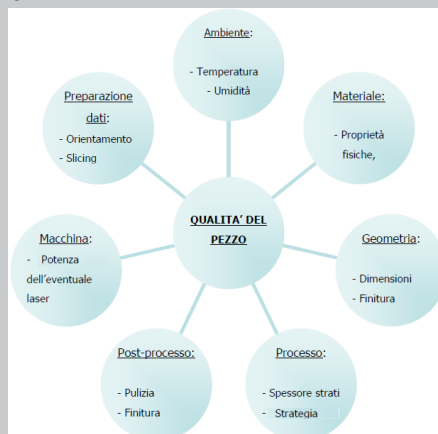
- Riduzione tempi e costi di sviluppo di un progetto
- Riduzione tempi di modifica
- Riduzione del time to market
- Maggiore competitività
- Maggiore flessibilità
- Individuazione preventiva di eventuali errori

Vantaggi di produzione:

- Possibilità di realizzare più oggetti contemporaneamente
- Produzione facilitata per oggetti complessi
- Possibilità di ridurre le attrezzature
- Produzione anche individuale e in piccole serie

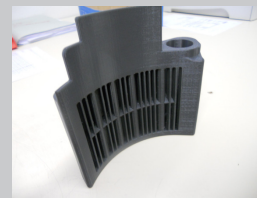
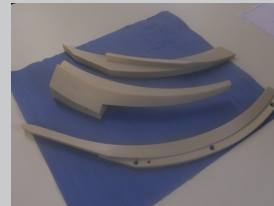
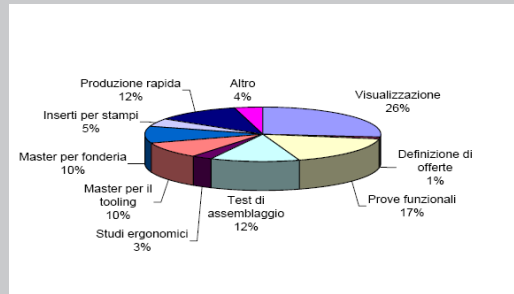
Fattori che influenzano la qualità

Sono molti i fattori che hanno influenza sulla qualità finale del prototipo, e sono rappresentati nello schema che segue:



Campi di impiego

La prototipazione rapida è stata introdotta in numerosi settori, quali ad esempio l'industria automobilistica, aeronautica ed aerospaziale, elettronica, elettrotecnica



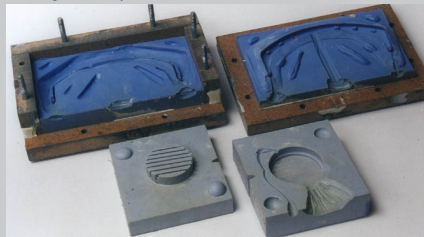
Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Ulteriori applicazioni

Rapid tooling

Conosciuto anche come “attrezzaggio rapido”, è un insieme di tecniche mirate alla costruzione in tempi brevi di attrezzature destinate alla realizzazione della pre-serie in alternativa agli stampi fresati. La fabbricazione di questi “tools” con le tecniche tradizionali, è estremamente lenta e costosa

I processi di rapid tooling si dividono in due categorie: i processi indiretti (attualmente i più diffusi) e quelli diretti. I primi si propongono di ottenere con la PR un modello da cui creare poi lo stampo, mentre i secondi utilizzano la PR (in particolare SLA, SLS e FDM) per fabbricare direttamente gli stampi stessi



Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Ulteriori applicazioni

Rapid casting

Utilizza la PR per la produzione di modelli a perdere per processi di fusione a cera persa



Rapid manufacturing

Con questo termine si intende la possibilità di realizzare particolari finiti e funzionali attraverso tecniche di prototipazione rapida, senza l'impiego di utensili e attrezzature. Questa attività rappresenta ovviamente per le aziende produttrici un fattore di fondamentale importanza, soprattutto in termini di riduzione del time to market e di flessibilità

Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative – UNIFE

Parole chiave

- ☐ Differenti prototipi
- ☐ Differenti tecniche
- ☐ Slicing
- ☐ Evoluzione continua
- ☐ Componenti definitivi

Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative – UNIFE