



Robotic Rapid Prototyping

Manolo Garabini, Manuel Catalano, Lorenzo Malagia, Manuel Bonilla, Carlos Rosales, Fabio Bonomo, Alessandro Settimi e Antonio Bicchi



- tradurre un'idea in un prototipo...



Di che si tratta?

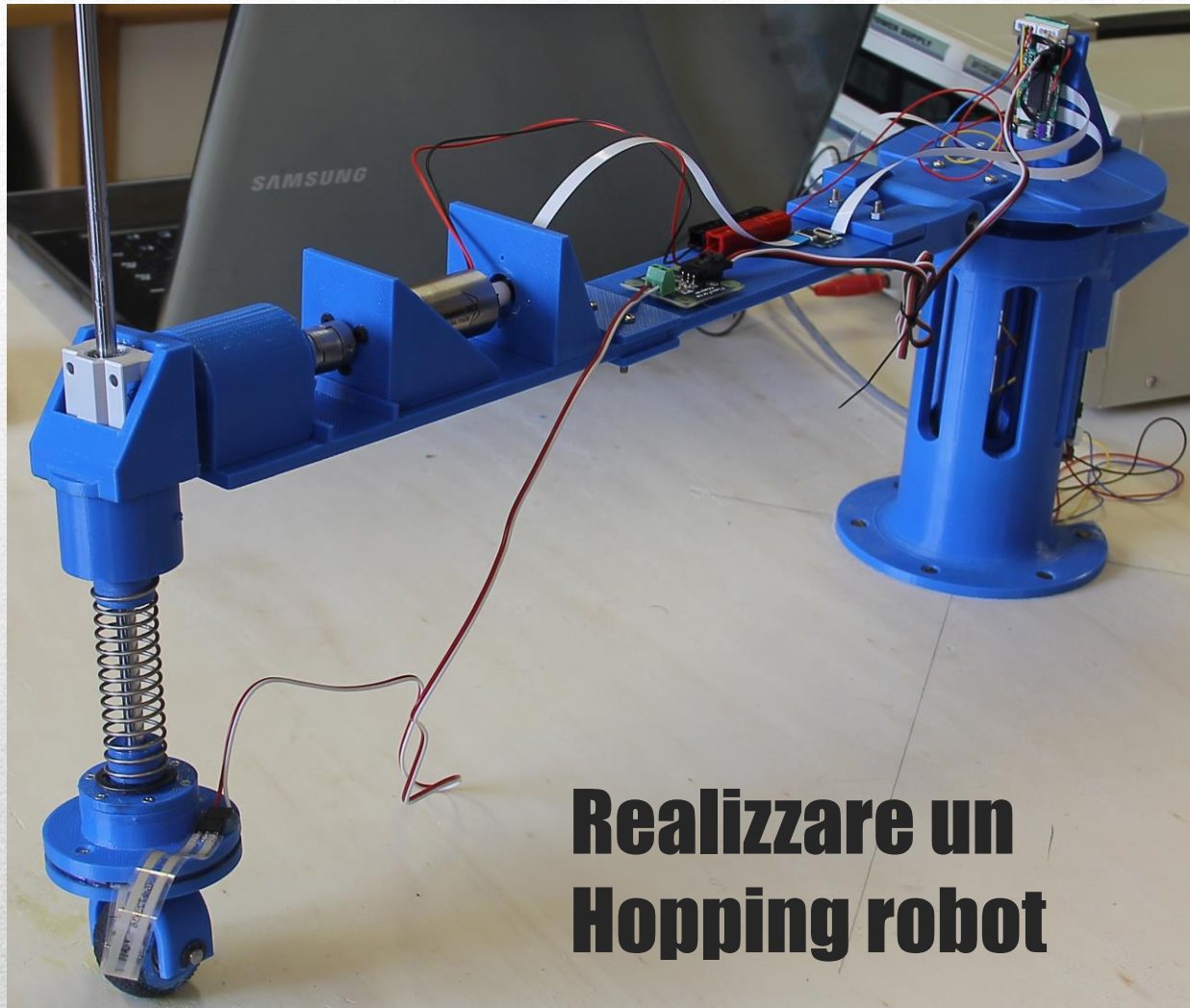




- tradurre un'idea in un **prototipo...**
- ...in tempi (e costi) **ragionevoli**



Di che si tratta?



**Realizzare un
Hopping robot**

Per esempio...

Lista della Spesa:

MECCANICA

- **Componentistica Commerciale**
 1. Cuscinetti
 2. Bulloneria
 3. Molle
 4. Guide lineari
 5. Giunti (Oldham, ...)
- **Parti personalizzate**
 1. Parti in plastica
 2. Parti in metallo

Per esempio...

Lista della Spesa:

ELETRONICA

- **Componentistica commerciale**
 1. Motori
 2. Sensori
(encoder, sensori di contatto, ...)
 3. Scheda di controllo
 4. A/D converter
 5. Cavi e connettori
 6. Alimentatore (o batteria)

Per esempio...

Lista della Spesa:

SOFTWARE

- **Firmware**
 1. Controllo basso livello (dal PWM al PID)
 2. Comunicazione lato scheda (seriale,)
- **Librerie**
 1. Comunicazione lato computer
 2. Interfaccia con software di alto livello
- **Simulatori**
(Matlab/Simulink)



Per esempio...

Fornire gli strumenti di base per:


- scegliere
- reperire e/o costruire
- assemblare

i componenti HW and SW necessari per realizzare un prototipo di un robot

Obiettivi

Timeline

- **MECCANICA**
 - Rapid Prototyping per la Fabbricazione: Tecniche & Materiali
 - Dallo Sketch al modello
 - Dove reperire la componentistica commerciale
 - Design orientato al rapid prototyping
 - Esempi
 - **ELETTRONICA**
 - Attuatori & Sensori di Base
 - Schede di Controllo
 - Protocolli di Comunicazione
 - Esempio
 - **SOFTWARE**
 - Firmware
 - Software
 - **HW-IN-THE-LOOP**
 - Comunicazione pc-hw
 - Problematiche Soft REal-Time, HArD Real-Time
 - MATLAB/Simulink
 - Esempio: Variable Stiffness Actuators
 - **HIGH LEVEL COMPONENTS**
 - “Attuatori” & “Sensori” High level
 - Simulatori
 - Sistemi integrazione ROS/YARP
 - Video Session & (Darpa Robotics Challenge?)
-



RAPID PROTOTYPING FOR ROBOTICS

Meccanica

Rapid Prototyping per la fabbricazione

- Cos'è?
- Tecniche e materiali [immagini di macchine, Location e campioni]
 - Stereolithography (SLA)
 - Laminated Object Manufacturing (LOM™)
 - Ink Jet (PolyJet 3D Printing)
 - Selective Laser Sintering (SLS®)
 - Fused Deposition Modeling (FDM)
 - Stampanti Low-Cost
 - Stampanti Professionali

Dall'idea allo Slicing

- Dall'idea alle Specifiche
- Dalle Specifiche allo Sketch
- Dallo Sketch al Modello CAD
- Dal Modello CAD allo Slicing

Design for 3D rapid prototyping

- Elementi di modellazione CAD
 - Lo Spazio
 - Parte & Assieme
 - Operazioni di base
 - Disegno di un assemblato di base
- Misure e strumenti di misura
- Accoppiamenti di parti
- Tolleranze
- Esempi di Montaggio componenti
 - Motori
 - Riduttori (Harmonic Drive)
 - Sensori

- **Cos'è?**

Rapid Prototyping (RP) can be defined as a group of techniques used to quickly fabricate a scale model of a part or assembly using three-dimensional computer aided design (CAD) data. [efunda.com]

- **Perché?**

- Minori tempi (e costi) di sviluppo
- Minori errori
- Maggior libertà progettuale

- **Le tecniche (più popolari...)**

- Stereolithography (SLA)
- Laminated Object Manufacturing (LOM™)
- Ink Jet (PolyJet 3D Printing)
- Selective Laser Sintering (SLS®)
- Fused Deposition Modeling (FDM)



- **Il Processo**

1. Il modello CAD è convertito in formato STL (Stereo Lithography)
2. Il file .stl è suddiviso in tante “fette” (Slicing)
3. La macchina costruisce il componente “fetta dopo fetta”
4. Eventuale Post-Lavorazione



Rapid Prototyping per la fabbricazione

Caratteristiche

- Post-Lavorzione

Esposizione del componente a lampade UV per completare la polimerizzazione

- Possibilità di eseguire sottosquadri

Si, attraverso colonnine di supporto da rimuovere successivamente

- Qualità & Finitura Superficiale

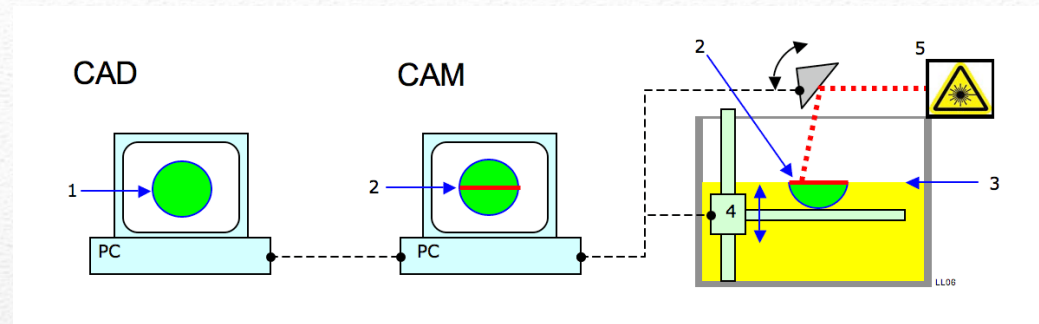
1. Tolleranza in funzione delle dimensioni dell'oggetto (da 0.001% a 0.005%)
2. Spessori minimi in mm(0.3 – 0.4 su x,y; 0.8-1 su z)

- Proprietà Materiali [www.prora.net]

1. $Y_s = 45-55$ Mpa
2. $E = 2000 - 2700$ Mpa

- Dove la trovo [servizi online]

1. www.prora.net
2. www.mecad.it
3. www.quickparts.com



1. Modello CAD
2. Software CAM che esegue lo “slicing” e controlla la macchina
3. Liquido fotosensibile che se colpito con un raggio laser solidifica
4. Meccanismo per la regolazione dell'altezza del pezzo durante la fabbricazione
5. Generatore del raggio laser



- Principio di funzionamento

Un raggio laser solidifica un liquido fotosensibile costruendo gli strati dell'oggetto. A ogni strato completato l'oggetto si abbassa per permettere la costruzione dello strato successivo.

RP-Tecniche e materiali: Stereolithography SLA

Caratteristiche

- Post-Lavorzione

Rimuovere materiale in eccesso con strumenti per il legno.
Finitura con carta abrasiva

- Possibilità di eseguire sottosquadri

Si, attenzione alla rimozione del materiale in eccesso che può essere problematica.

- Qualità & Finitura Superficiale

Leggermente inferiore alla tecnica SLA

- Proprietà Materiali [CMT uniroma2]

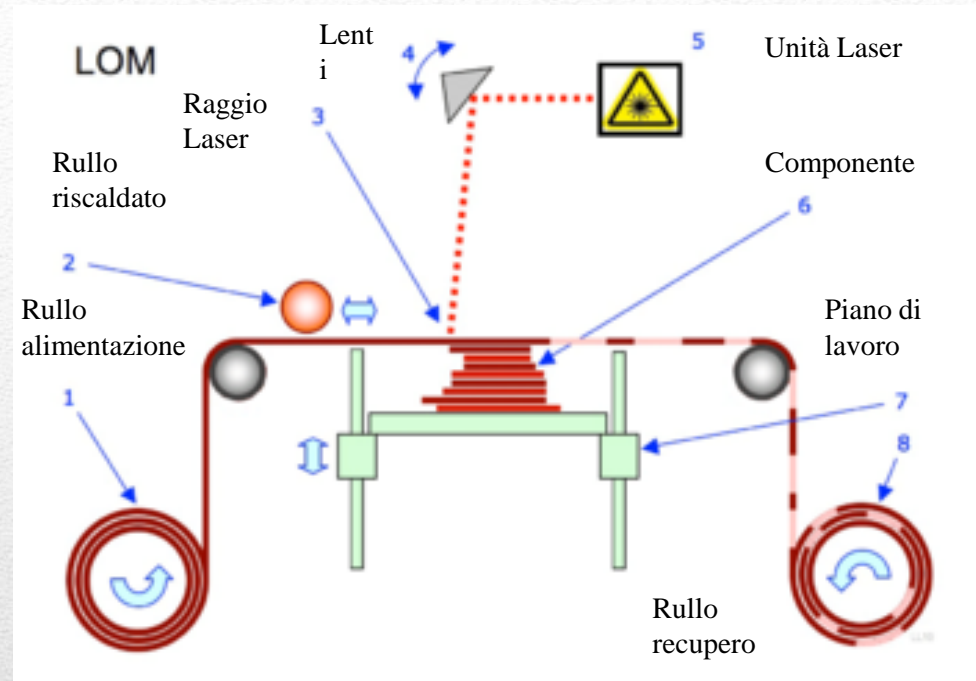
1. $U_s = 34 \text{ Mpa}$

2. $E = 392 \text{ Mpa}$

- Dove la trovo [servizi online]

1. www.quickparts.com

N.B. Poco diffusa perchè non molto veloce, può essere adatta per prototipi di grandi dimensioni



- Principio di funzionamento

Un raggio laser taglia una materiale, costituito usualmente da carta rivestita nella parte inferiore da uno strato di politene, utilizzato sotto forma di fogli. I singoli strati sono incollati tra loro. Al termine è necessario rimuovere il materiale in eccesso.



RP-Tecniche e materiali: Laminated Object Manufacturing LOM

Caratteristiche

- Post-Lavorzione

Il componente è pronto per l'utilizzo una volta finita la stampa

- Possibilità di eseguire sottosquadri

Si, supporto facilmente solubile in acqua

- Qualità & Finitura Superficiale

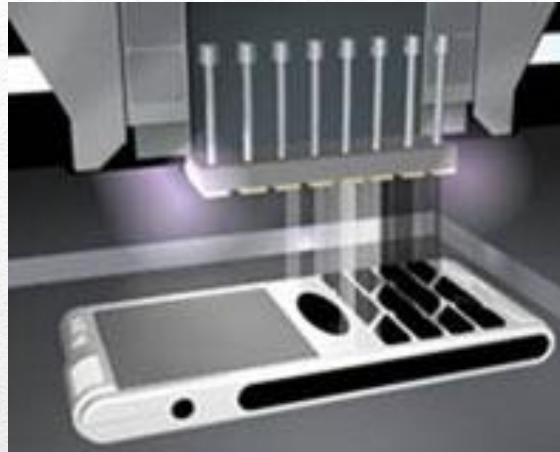
1. Tolleranza dimensionale 0.1 mm
2. Finitura superficiale molto buona

- Proprietà Materiali

Può stampare polimeri diversi (rigidi, soft, trasparenti, opachi). Al momento le caratteristiche meccaniche (Y_s max 70-80 Mpa, E max 3500 MPa) non raggiungono quelle della FDM [stratasys RGD 525]

- Dove la trovo [servizi online]

1. www.quickparts.com
2. www.stratasys.com
3. Istituto Italiano di Tecnologia - IIT



- Principio di funzionamento

Uno strato di fotopolimero liquido è stampato su di un piano di costruzione. Successivamente lo strato viene polimerizzato con lampade a raggi UV. Uno dopo l'altro gli strati vanno a creare il prototipo. Una volta finito il modello può essere utilizzato direttamente. Stampa anche un gel di supporto



RP-Tecniche e materiali: Ink Jet – PolyJet 3D Printing

Caratteristiche

- Post-Lavorzione

Eventuale finitura da effettuarsi con infiltrazioni di cera o verniciatura con resina epossidica

- Possibilità di eseguire sottosquadri

Si

- Qualità & Finitura Superficiale

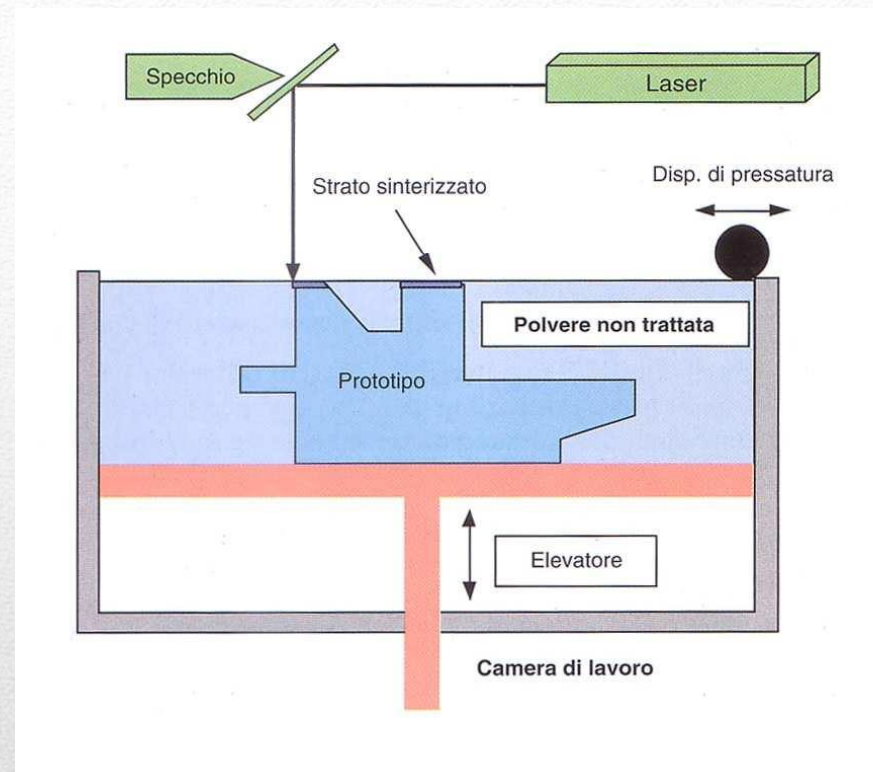
1. Precisione dimensionale 0.25 mm
2. Spessori strato in mm (0.08 – 0.5)

- Materiali

Cera, Policarbonato, Metalli (Acciaio, Alluminio, Titanio) (come caratteristiche meccaniche si arriva a Y_s 1000 Mpa e E 110 Gpa per un titanio), True-Form (polvere per prototipi con ottima finitura superficiale)

- Dove la trovo

1. IIT
2. www.quickparts.com



- Principio di funzionamento

Uno strato di polvere viene depositato dal rullo e pressato sull'elevatore. La camera è mantenuta in atmosfera inerte e a temperatura prossima a quella di fusione della polvere per minimizzare l'energia richiesta dal Laser e il cambiamento di volume indotto dal cambiamento di fase. Il laser "sinterizza" la polvere creando il layer. Il raffreddamento è lento per evitare distorsioni.

RP-Tecniche e materiali: Selective Laser Sintering SLS

- Principio di funzionamento

Un filamento di materiale termoplastico viene fuso e, attraverso un ugello (dotato di movimento x e y), viene depositato su di un piano in modo da formare il layer uno strato del componente. Una volta completato lo strato il piano su cui poggia il componente che si sta costruendo scende dello spessore di un layer e l'ugello depone il materiale per lo strato successivo.

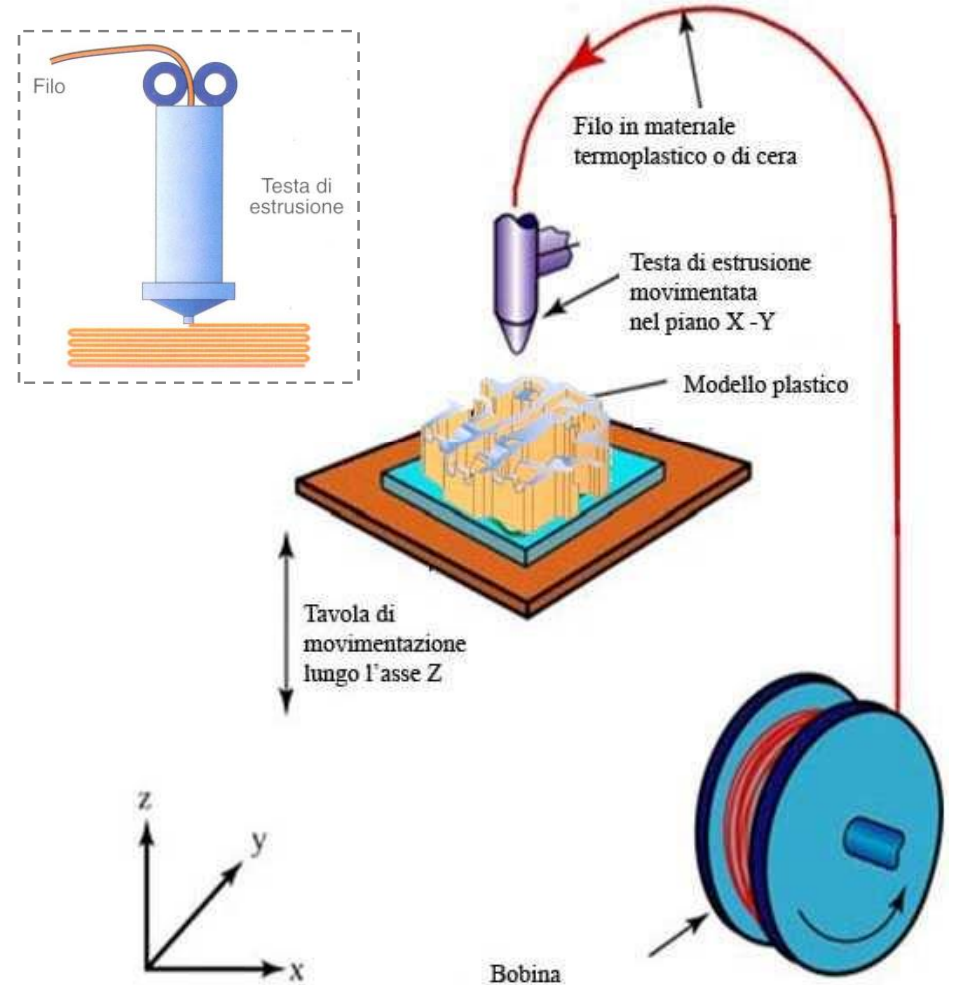
- Post-Lavorzione

Il componente è pronto per l'utilizzo. Sciogliere il supporto richiede un tempo variabile in base alla quantità di supporto.

Possono essere eseguite post-lavorazioni per migliorare finitura superficiale e tolleranze dimensionali

- Qualità & Finitura Superficiale

La finitura superficiale non è elevatissima, la tolleranza dimensionale è circa 0.1 mm



RP-Tecniche e materiali: Fused Deposition Modeling FDM

Stampanti Low-Cost

- Supporto

Al momento non ci sono stampanti low-cost in commercio dotate di supporto

- Materiali

Materiali termoplastici (PLA e ABS).
Per stampare ad alte temperature (ABS) è consigliabile avere piano e camera riscaldati

- Costo

Basso a partire da 700 €

- Dove la trovo

Centro Piaggio
FabLab



Ultimaker



RepRap
Galileo Next

RP-Tecniche e materiali: Fused Deposition Modeling FDM

Stampanti Professionali

- Supporto

Si, solubile in soda, permette la massima libertà nel design di componenti con sottosquadri.

- Materiali

Termoplastici (PLA ABS Policarbonato) si arriva a Y_s superiori a 100 Mpa.

- Costo

Per avere la stampa del supporto con ABS (termoplastico con Y_s ca 50 MPa) a partire da 30 k€

- Dove la trovo

Centro Piaggio



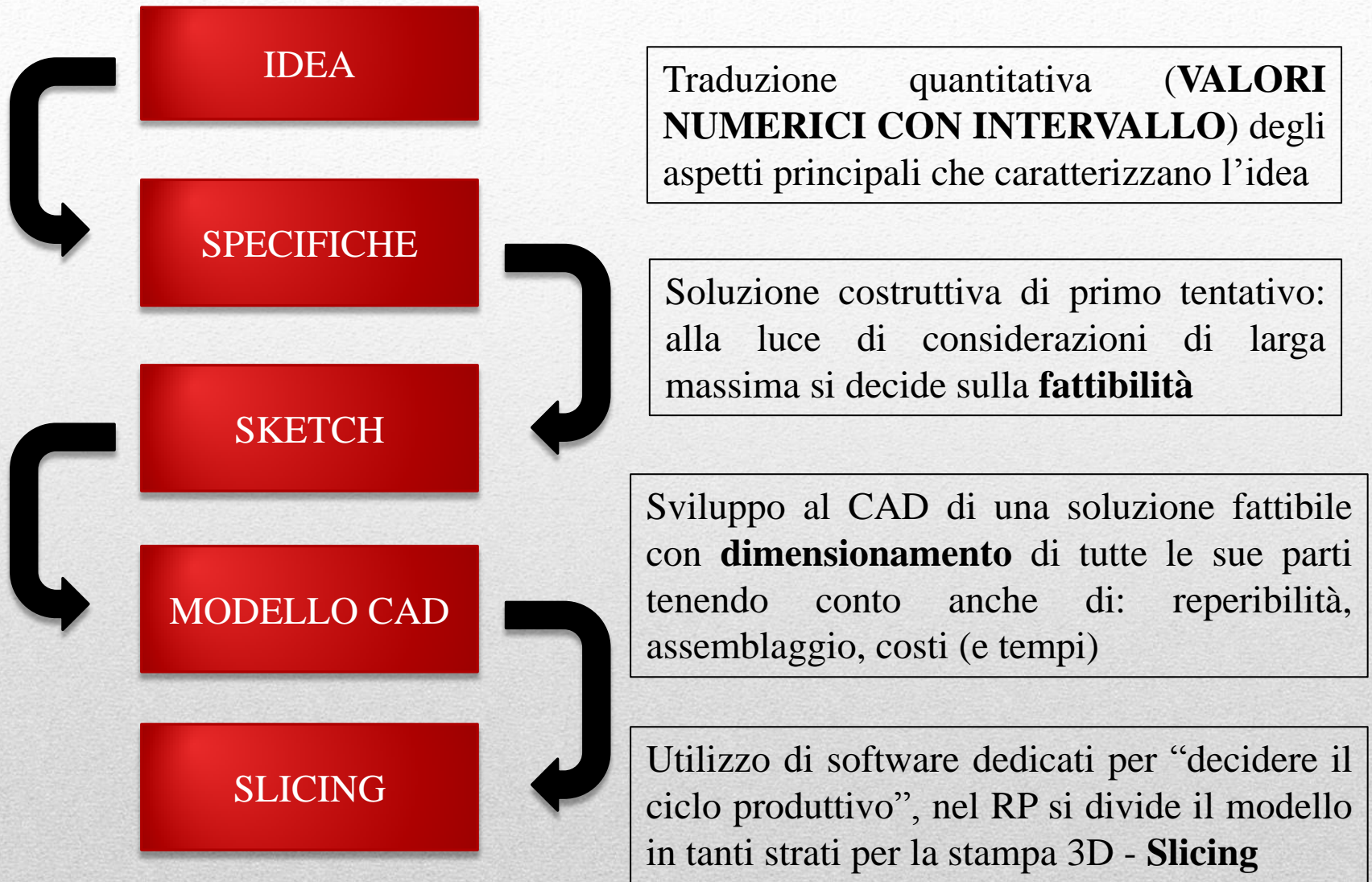
Dimension Elite

www.stratasys.com

Fortus 400



RP-Tecniche e materiali: Fused Deposition Modeling FDM



Dall'idea allo Slicing

Una volta definita grossolanamente l'idea, bisogna porsi alcune domande

- A cosa mi serve? Articolo, progettino, demo, hobby, ...
- Quanto tempo ho a disposizione per realizzare il prototipo?
- Quanto voglio che costi?

Il passo successivo è:

- Come costruisco i componenti custom? In casa, con service etc...
 - Ho le macchine necessarie per costruirli?
 - Ho tutti i componenti standard in casa?
 - Dove compro quelli che non ho?
 - Quanto tempo ho per l'approvvigionamento?
-
- La risposta a queste domande condizionerà e deve condizionare le scelte costruttive e le soluzioni adottate durante la fase di progettazione

Domande Utili durante il processo di Design

IDEA



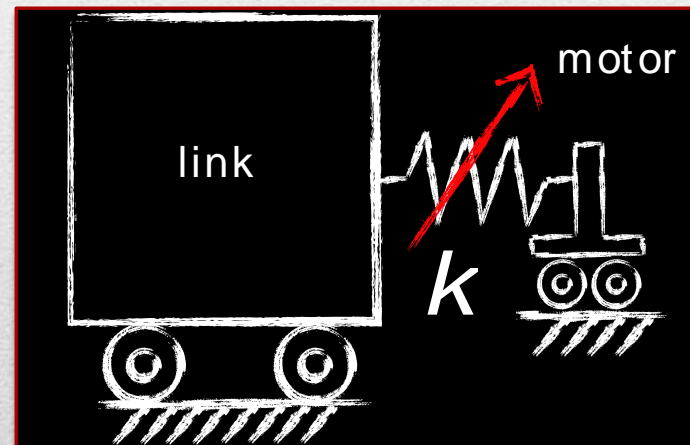
MUSCOLI PER ROBOT

Attuatori che abbiano la capacità di variare la rigidità vista all'albero di uscita come fa una coppia di muscoli agonista antagonista...

MOTIVAZIONI

- Robustezza
- Adattabilità
- Efficienza

ATTUATORI A RIGIDEZZA VARIABILE



Dall'idea allo Slicing: Esempio





IDEA

SPECIFICHE

Traduzione quantitativa (**VALORI NUMERICI CON INTERVALLO**) degli aspetti principali che caratterizzano l'idea

- Rigidezza $x_0 - y_0$ [Nm/rad]
- Coppia $x_1 - y_1$ [Nm]
- Velocità $x_2 - y_2$ [rad/s]
- Peso $x_3 - y_3$ [Kg]
- Volume $x_4 - y_4$ [m³]
- ...

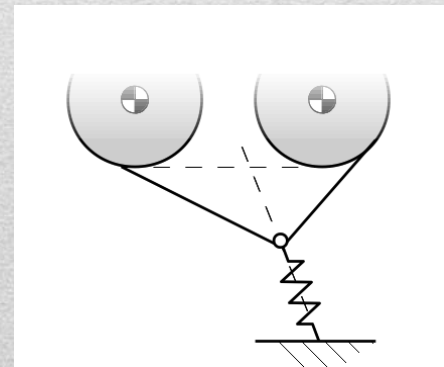
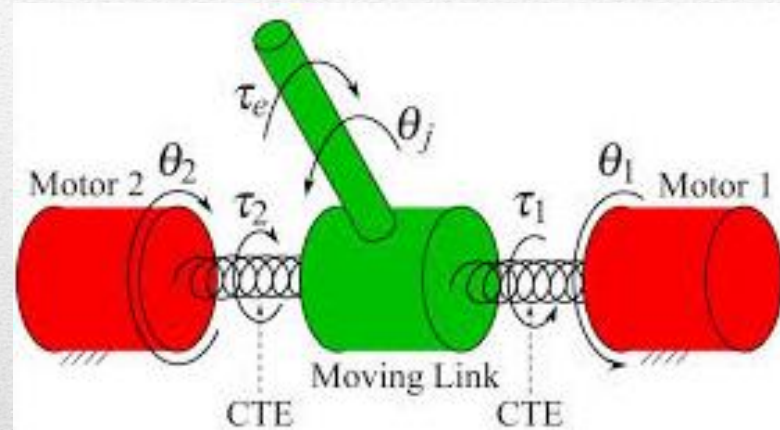
Dall'idea allo Slicing: Esempio

SPECIFICHE

SKETCH

Soluzione costruttiva di primo tentativo alla luce di considerazioni di larga massima per decidere sulla **fattibilità**

- Soluzione agonista antagonista
- Trasmissione elastica con caratteristica coppia-deformazione non-lineare



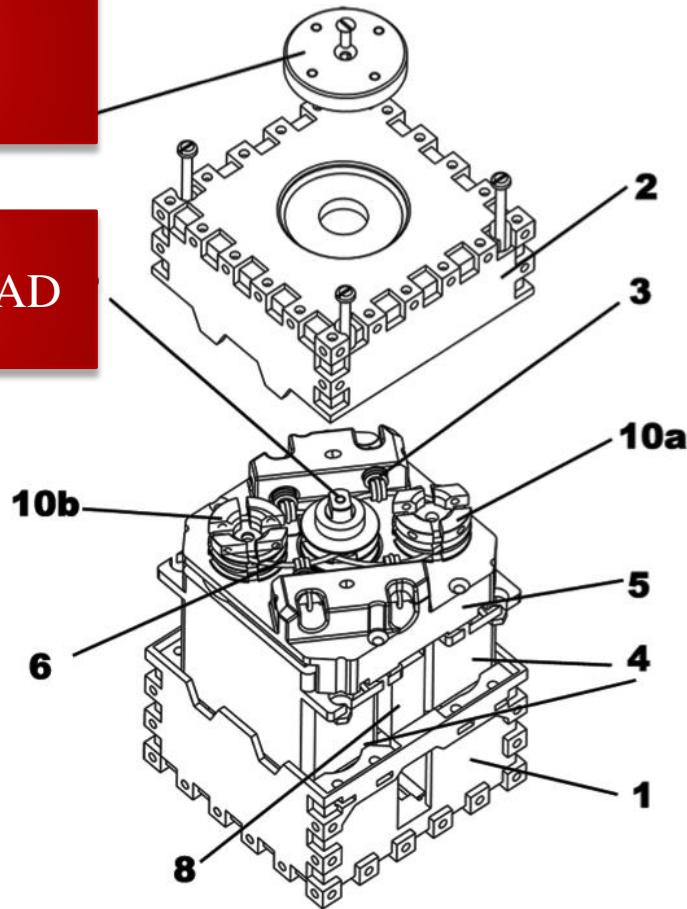
Dall'idea allo Slicing: Esempio

SKETCH

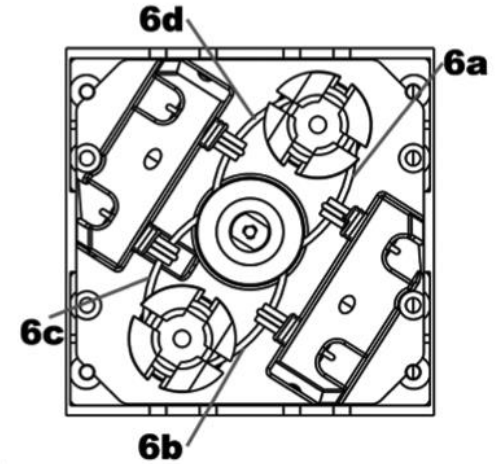
MODELLO CAD

Disegno definitivo

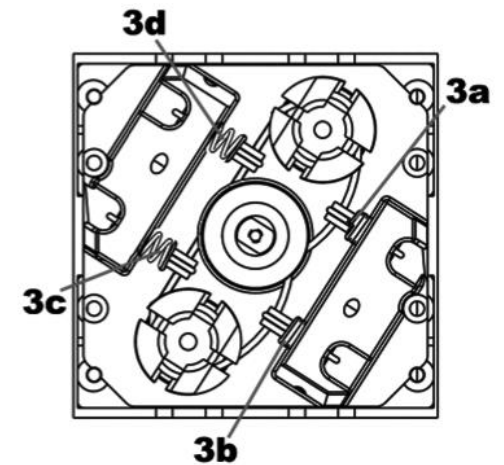
- Cuscinetti
- Bulloneria
- Spine
- Molle
- Boccole
- Parti custom plastica
- Parti custom metallo
- Cavi
- Motori
- Sensori
- Scheda di controllo
- ...



(a)



(b)



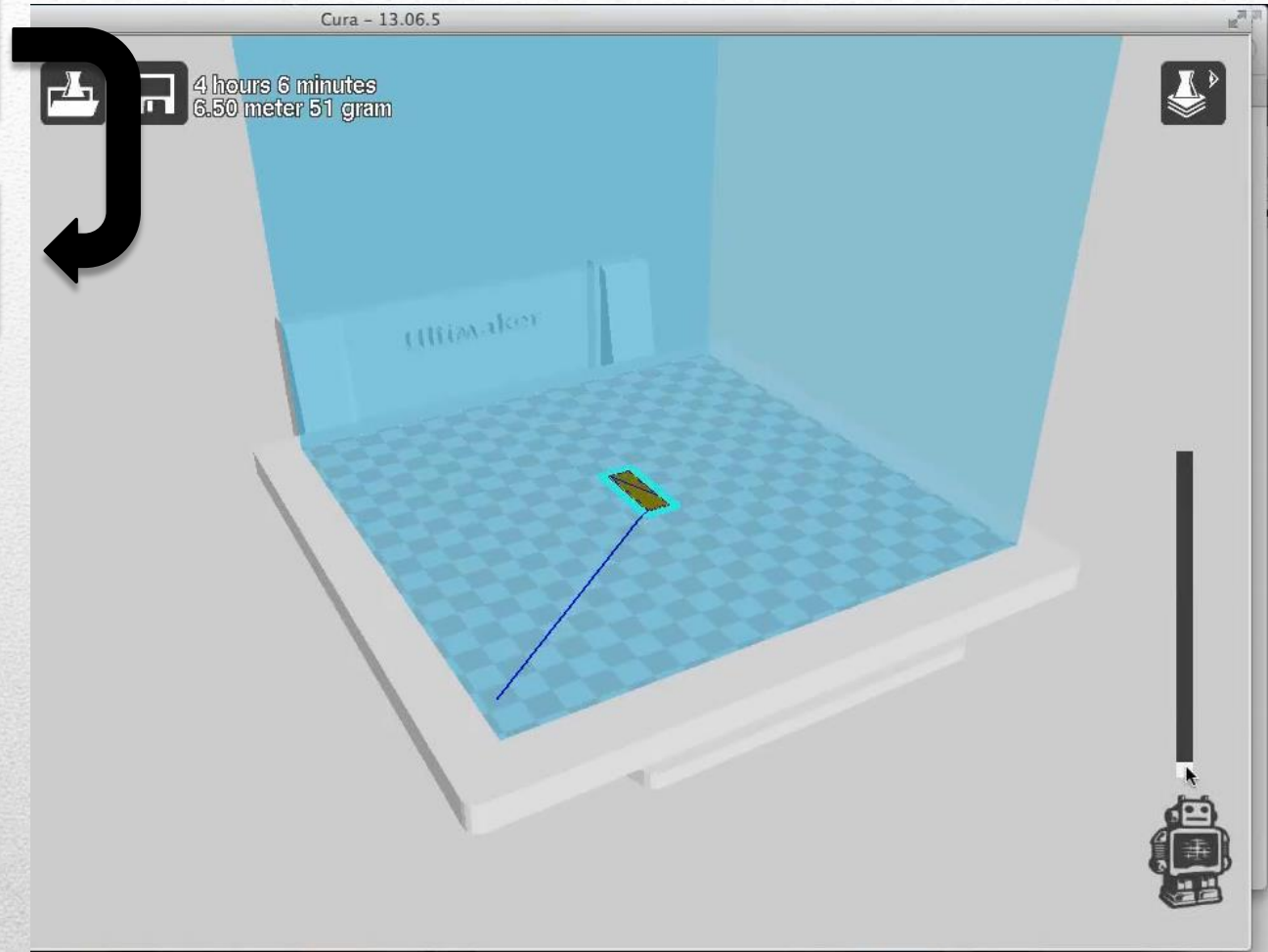
(c)

Dall'idea allo Slicing: Esempio

MODELLO CAD

SLICING

Slicing eseguito con il software CURA per stampanti 3D Low-Cost (Maker Bot)



Dall'idea allo Slicing: Esempio