



## Applicazioni della stampa 3D in ambito cardiovascolare: review della letteratura

**Relatore:  
Prof. Ferdinando Auricchio**

**Dario Sesenna  
A.A. 2014/2015**

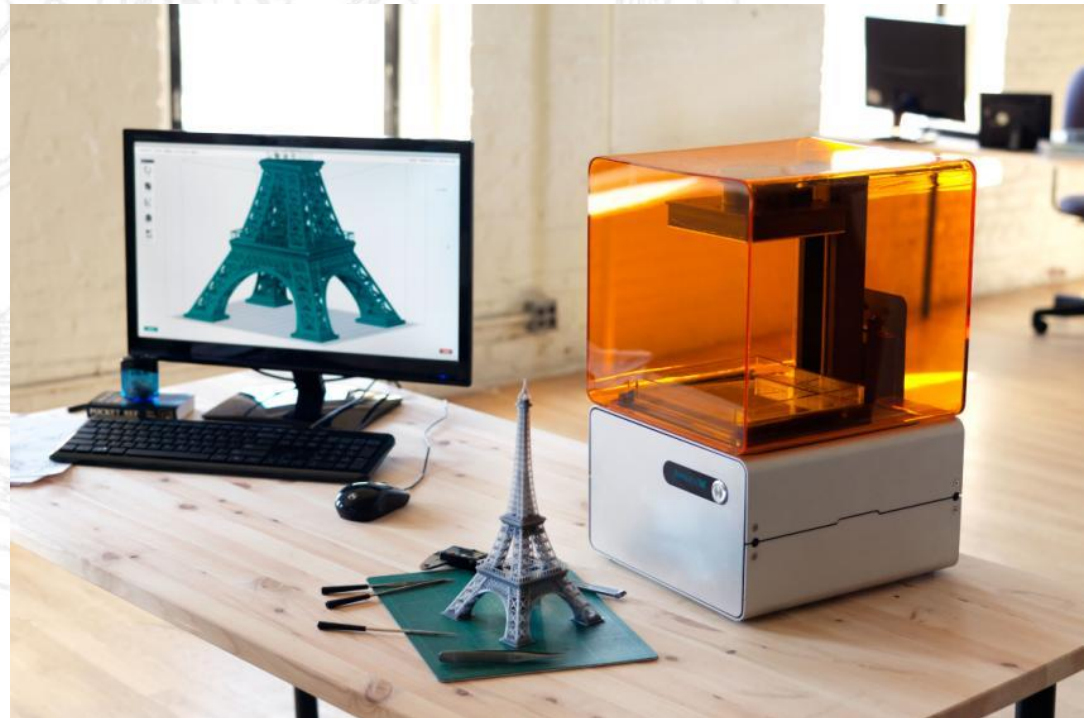
➤ Creazione di oggetti **strato per strato**

➤ **Funzionamento:**

- Utilizzo di un file 3D inviato da un computer
- Divisione del modello in sezioni trasversali
- Stampa di una sezione sopra l'altra

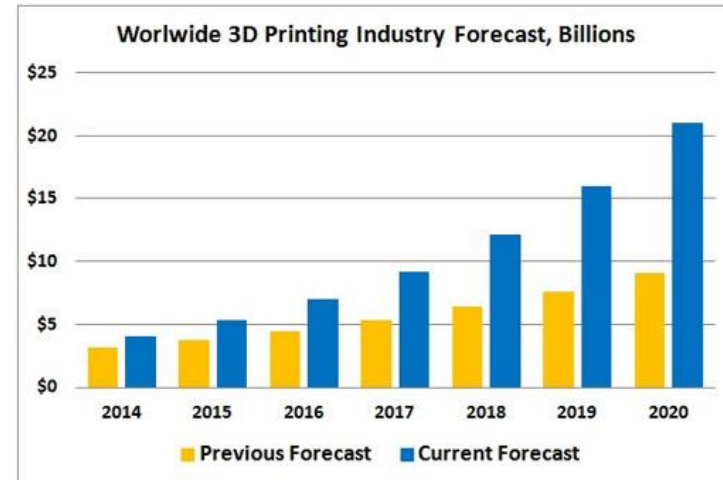
➤ **Differenze nelle tecniche di stampa**

- Estrusione di materiale
- Stereolitografia
- Polyjet printing
- ...



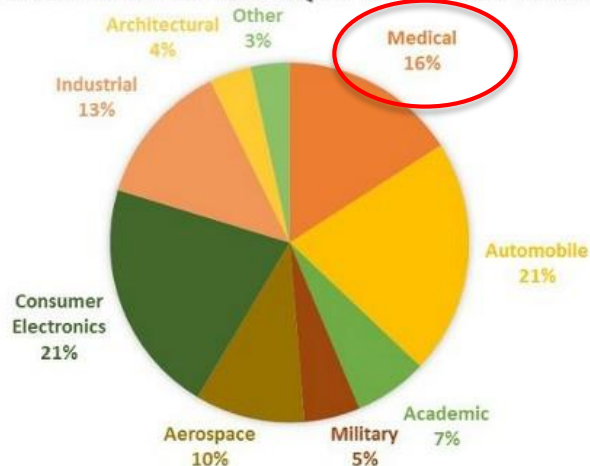
# Stampa 3D: un mercato in continua espansione

- **217,000** stampanti 3D nel 2015, **2,3 milioni** entro il 2018 (Gartner)
- **Vendite healthcare**
  - \$71,7 M nel 2013
  - \$129,3 M nel 2014 (crescita dell'80%)



Wohlers report, confronto 2013/2014

## REVENUE SPLIT OF AM EQUIPMENT CUSTOMERS



Wohlers report 2013

Grande **varietà** di applicazioni della stampa 3D:  
Focus sul campo **biomedicale**,  
in particolare sul sistema **cardiovascolare**

## Review della letteratura

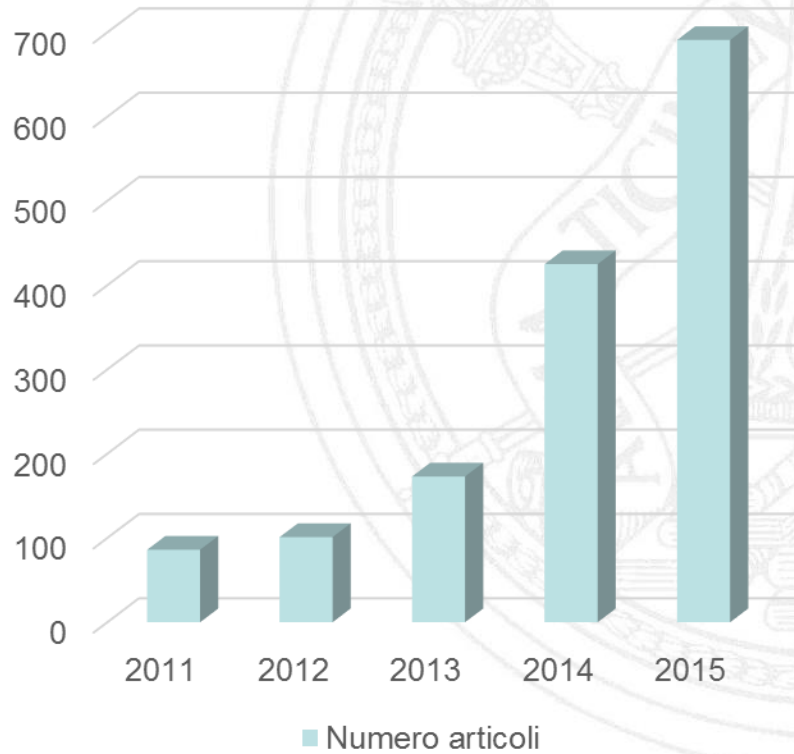
### Metodo:

- **Ricerca** di articoli su banche dati (PubMed, Scopus, etc...)
  - Maggiore importanza all'ambito **cardiovascolare**
- **Catalogazione** secondo applicazioni/distretti anatomici
- **Impieghi più diffusi/rappresentativi** per ogni distretto

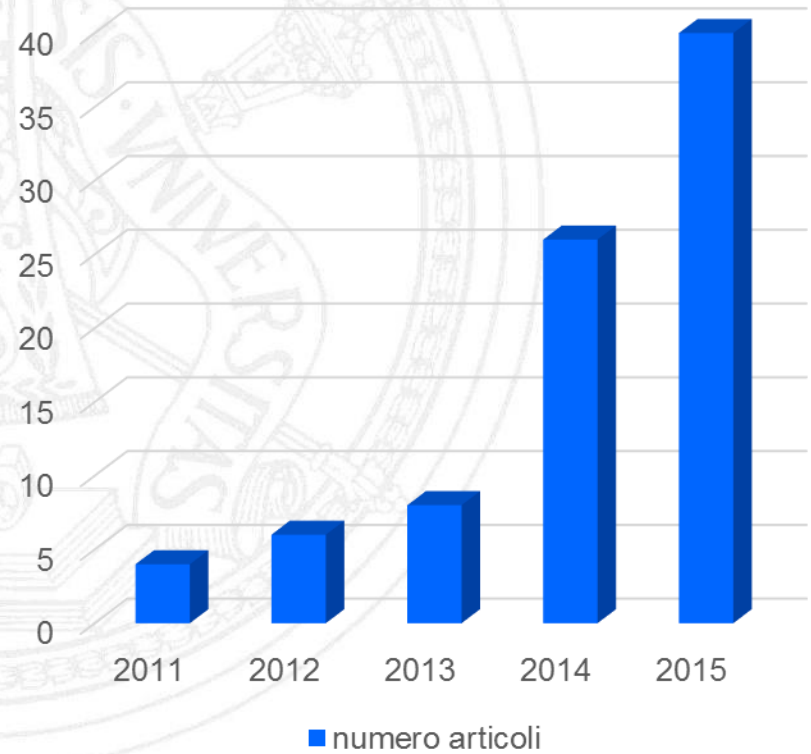


# Sviluppo degli studi

## Articoli stampa 3D in medicina



## Articoli stampa 3D in ambito cardiovascolare

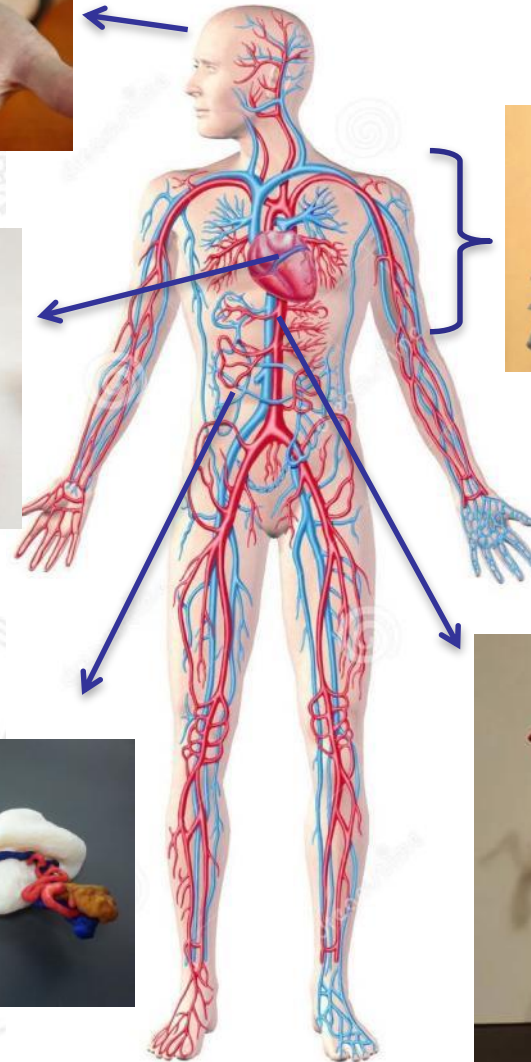
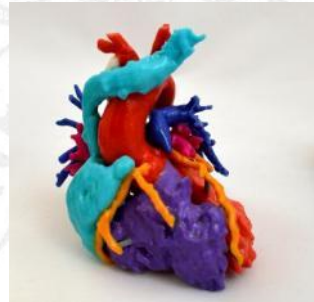


## Applicazioni cardiovascolari

- 1. Testa
- 2. Cuore
- 3. Aorta e grandi vasi

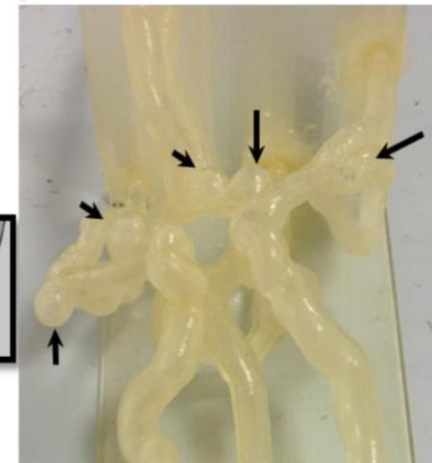
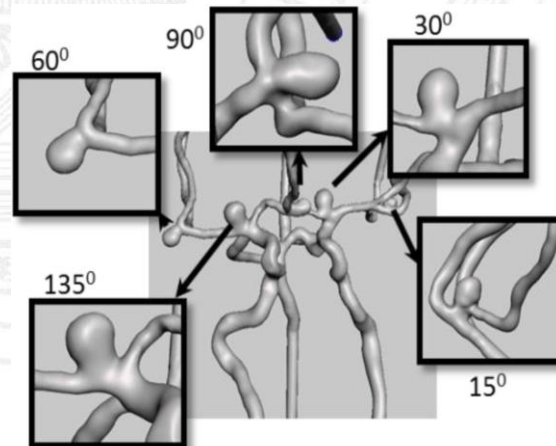
## Altre applicazioni biomedicali

- 4. Chirurgia toracica
- 5. Chirurgia addominale
- 6. Distretti ortopedici vari



## Trattamento di aneurismi cerebrali

- Stampa di modelli 3D di vasi con aneurismi
  - **Material jetting** (Objet Eden260V, Stratasys)
  - Oggetti 260x260x200 mm
  - Spessore strato: 16 micron
- **Materiali:**
  - VeroClear: rigido e trasparente, con grande stabilità dimensionale, ideale per parti dettagliate
  - TangoPlus : elastico e semitrasparente, simil-gomma con eccezionale allungamento a rottura
- **Utilizzi dei modelli:**
  - Dimensionamento dispositivi
  - Pianificazione e simulazione dell'intervento



M.Russ et al, Treatment planning for image-guided neuro-vascular interventions using patient-specific 3D printed phantoms, Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng, 2015

## Grande numerosità degli studi (18 articoli)

Due filoni della letteratura

Stampa di modelli **rigidi**

Stampa di modelli **flessibili**

**Vat photopolymerization (5)**

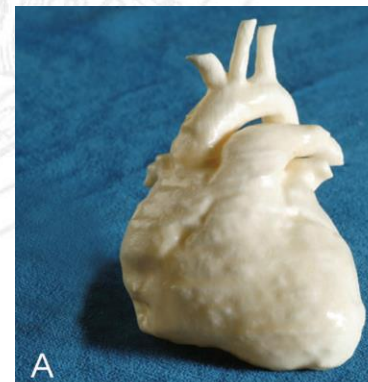
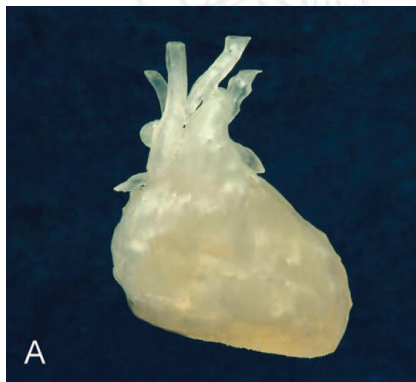
**Material Jetting (6)**

Modello **estetico**

Utili per capire l'**anatomia**  
e nel **planning** dell'intervento

Modello **funzionale**

Utili per **simulazioni** di interventi  
e studio della **fluidodinamica**





# Cuore: malattie cardiache strutturali (1)

Stampa di modelli **rigidi**

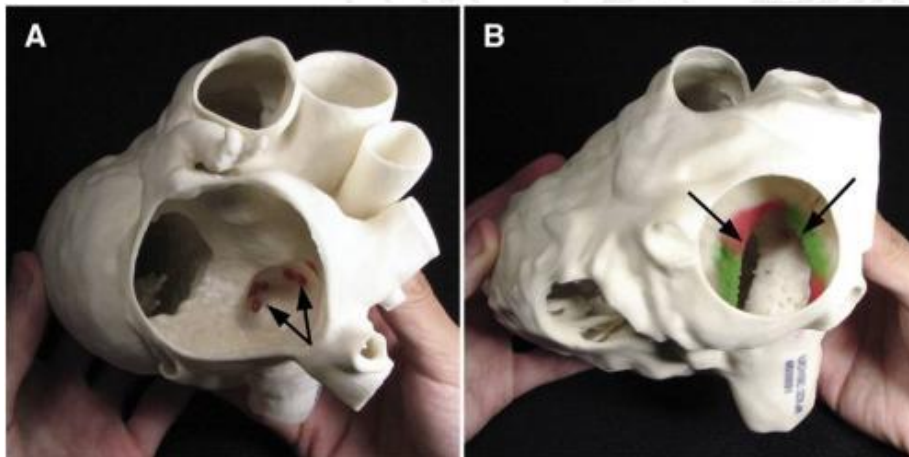
**Binder jetting**

Modello **estetico**

Utili per capire l'**anatomia**  
e nel **planning** dell'intervento

**Zprinter 450** (Z Corporation)

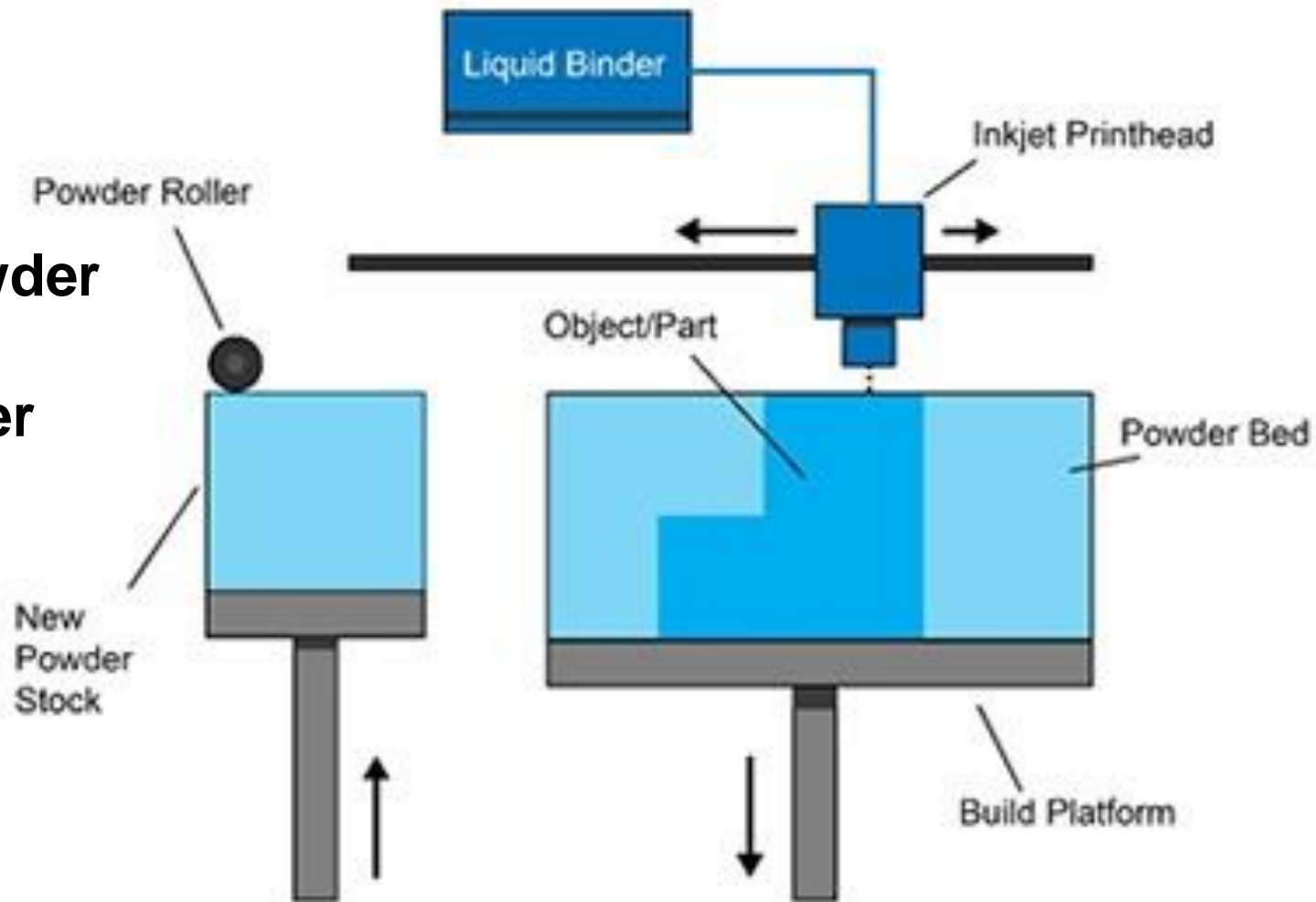
- Oggetti 203x250x203 mm
- Spessore dello strato: 0,089 - 0,102 mm
- Modelli **opachi**, anche **colorati**
- Possibilità di stampare modelli flessibili
  - In questo caso i materiali non riproducono le caratteristiche dei tessuti



M.S.Kim et al., Use of rapid prototyping in the care of patients with structural heart disease, Trends Cardiovasc Med, Elsevier Inc., 2008

## Binder Jetting

- Material: **powder**
- Curing: **binder (glue)**



# Cuore: malattie cardiache strutturali (2)

Stampa di modelli **flessibili**

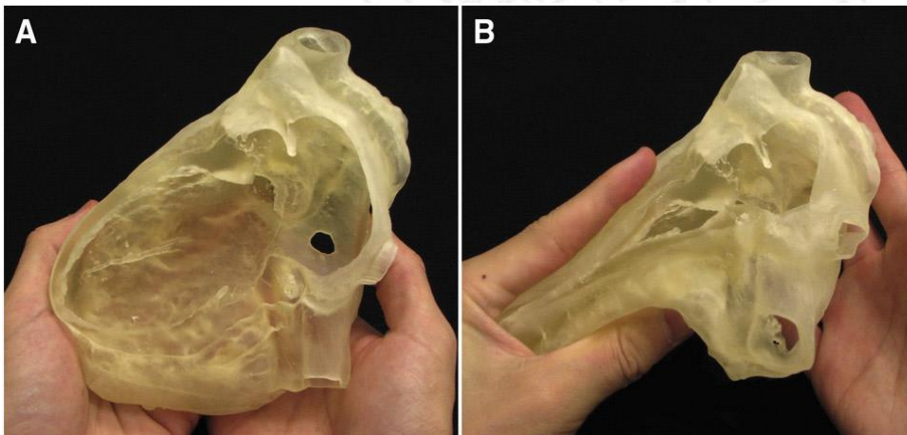
Stampanti della linea **Objet**  
**(Stratasys)** + materiale  
**TangoPlus**

**Material jetting**

Modello **funzionale**

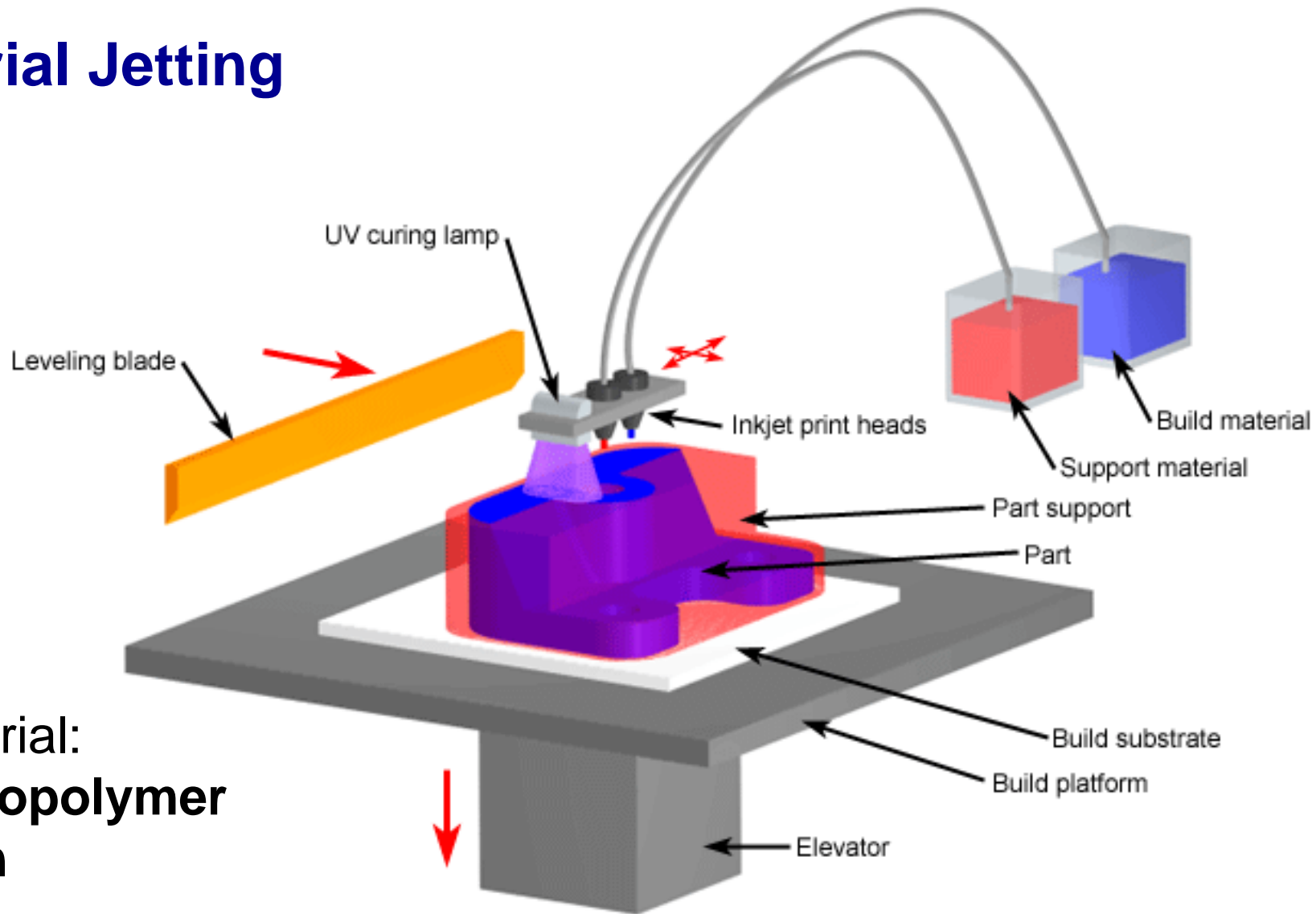
Utili per **simulazioni** di interventi

- Modelli più fedeli alle caratteristiche dei tessuti
- **Flessibili** ma non duraturi
- Possibilità di stampare **materiali diversi** contemporaneamente



M.S.Kim et al., Use of rapid prototyping in the care of patients with structural heart disease, Trends Cardiovasc Med, Elsevier Inc., 2008

## Material Jetting



- Material: **photopolymer resin**
- Curing: **UV light**

Stampa di modelli **rigidi**

**Vat photopolymerization**

Modello **estetico**

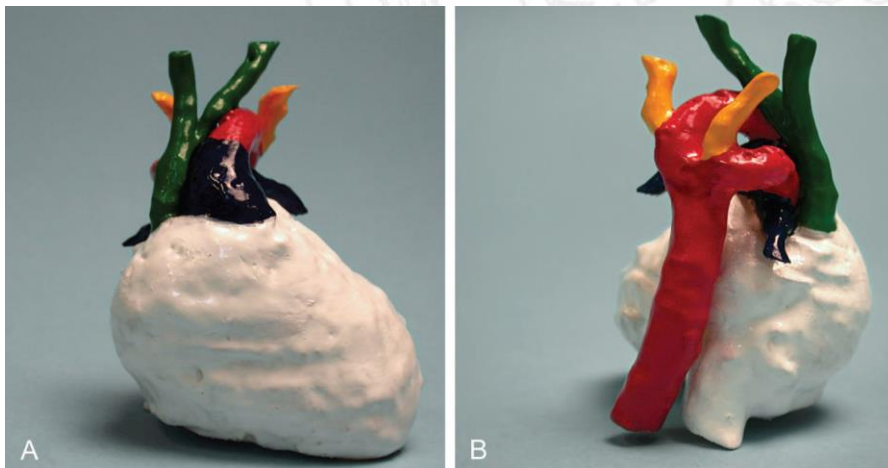
Utili per capire l'**anatomia**  
e nel **planning** dell'intervento

➤ Stampante: SLA 250/30A, 3D  
Systems

➤ Oggetti 250x250x250 mm

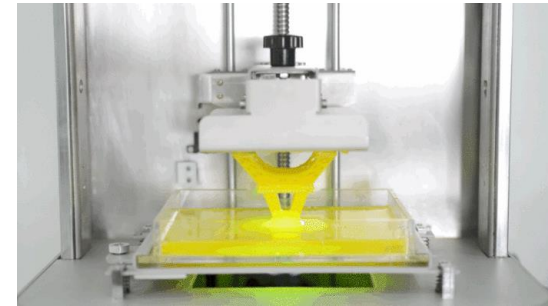
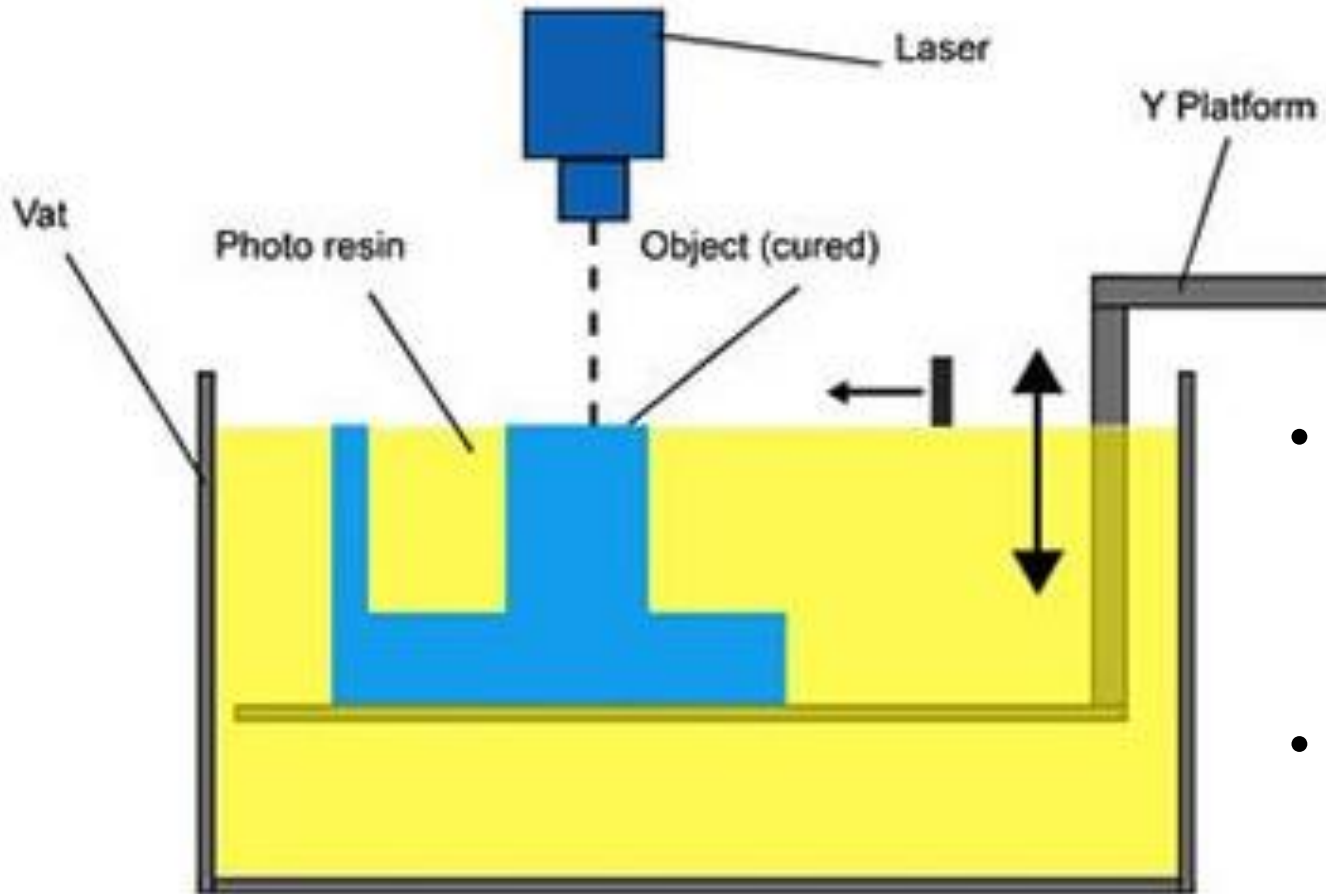
➤ Stampa di strati di 0.1 mm

➤ Resina fotosensibile  
solidificata da laser e indurita  
in forno UV



A.M.Noecker et al., Development of patient-specific three-dimensional pediatric cardiac models, ASAIO Journal, 2006

## Vat Photopolymerization



- Material: **photopolymer resin**
- Curing: **UV laser**

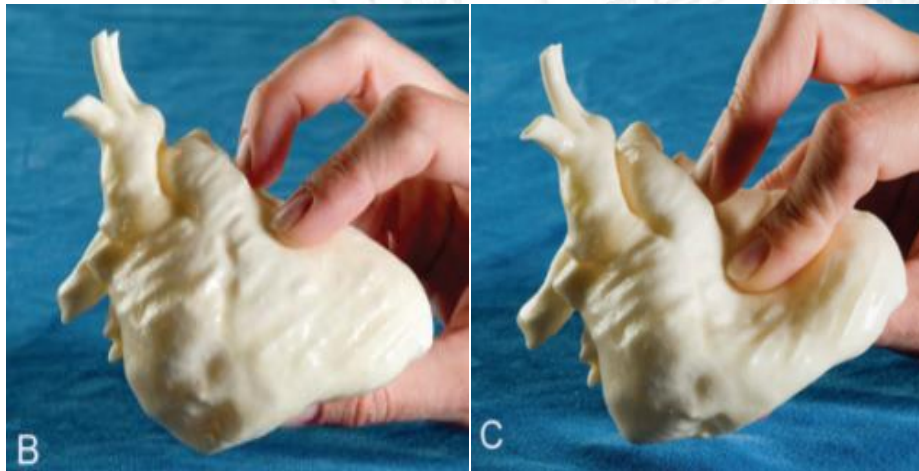
Example: **Stereolithography**

Stampa di modelli **flessibili**

**Binder jetting**

Modello **funzionale**  
Utili per **simulazione** di  
interventi

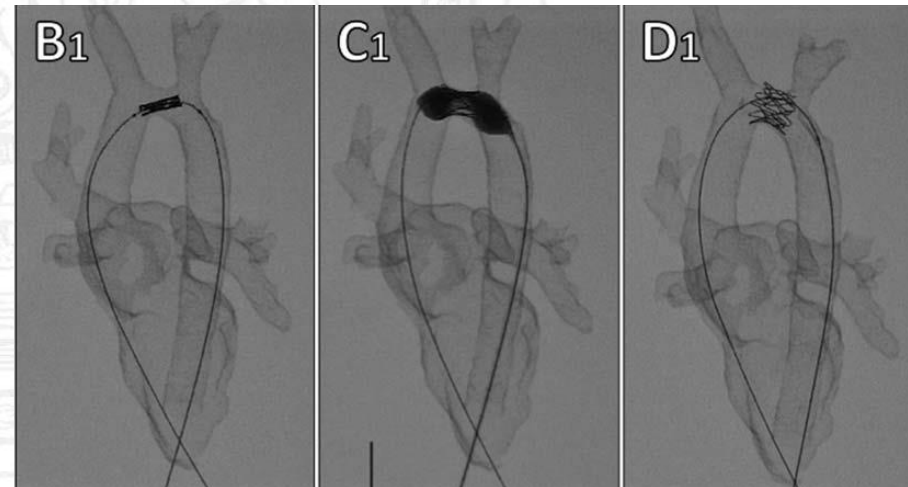
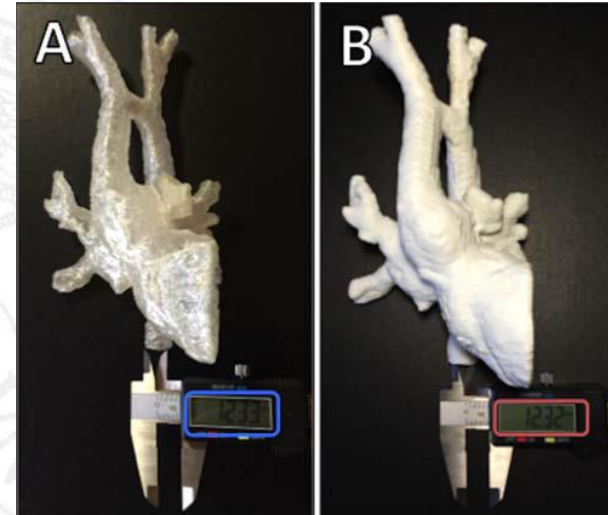
- Stampante: **Zprinter 310**
- Oggetti 203x254x203 mm
- Spessore strato:  
0.089-0.203mm
- Il modello in gesso viene  
**infiltrato o ricoperto** con  
materiali elastomerici per  
ottenere modelli flessibili



A.M.Noecker et al., Development of patient-specific three-dimensional pediatric cardiac models, ASAIO Journal, 2006

## Uso di modelli 3D per pianificare lo stenting aortico

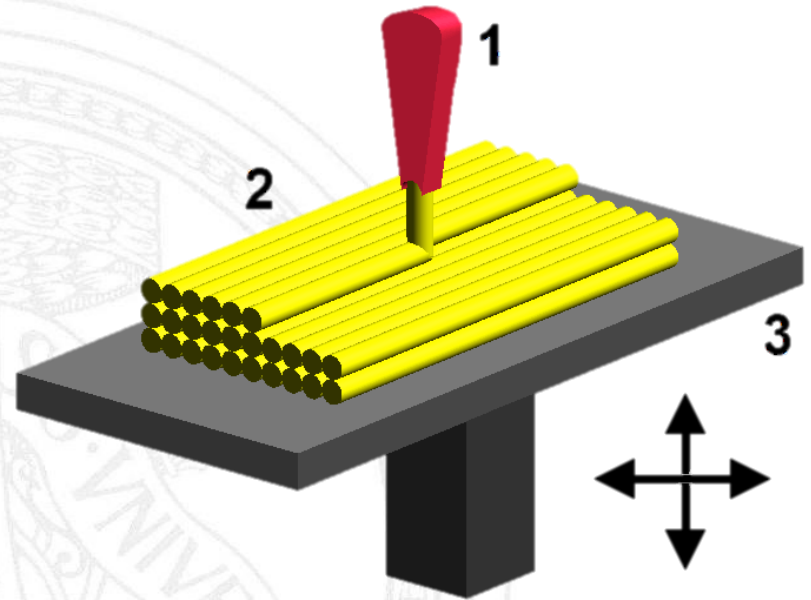
- Stampa di **due modelli** dell'aorta
  - **Tecnica: FDM** (Fused Deposition Modeling), deposizione di strati di materiale fuso
  - **Materiali: PLA** (rigido, trasparente, lucido), **Filaflex** (flessibile, opaco)
- Uso del modello **flessibile** per la **simulazione** dell'intervento



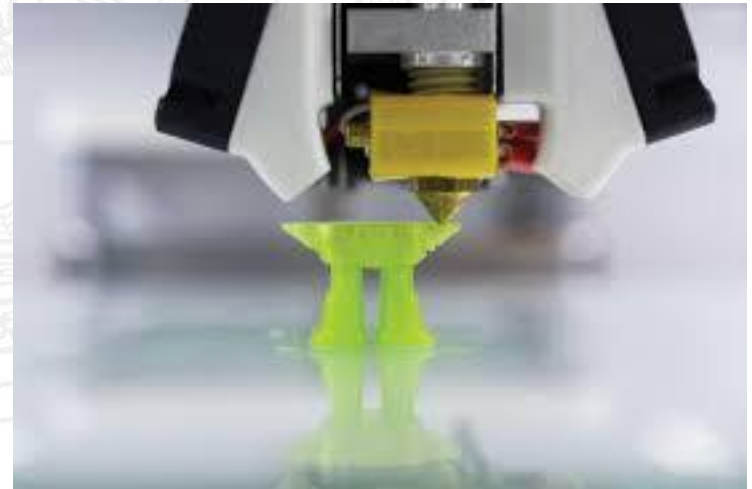


# 3D printing options: Material Extrusion

- Material:  
**thermoplastic  
filament**
- Curing:  
**temperature  
gradient**

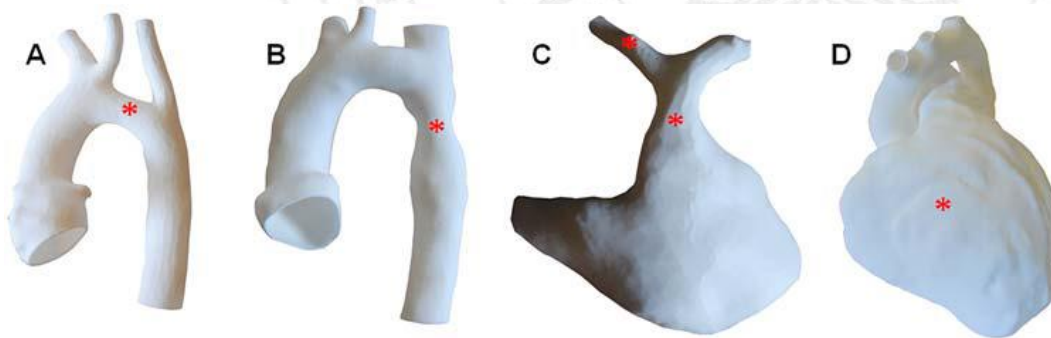
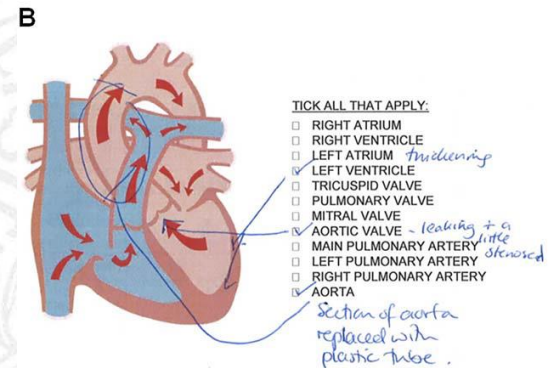
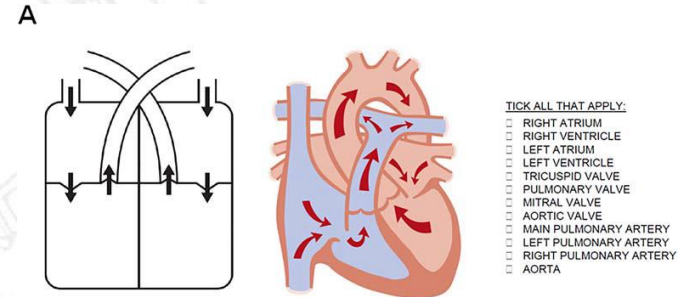


**Fused deposition modeling (FDM)**



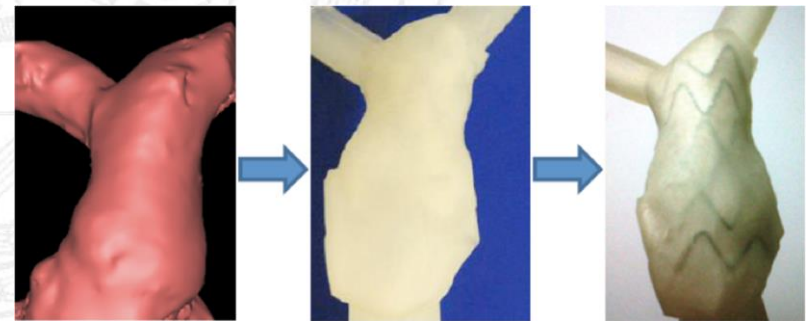
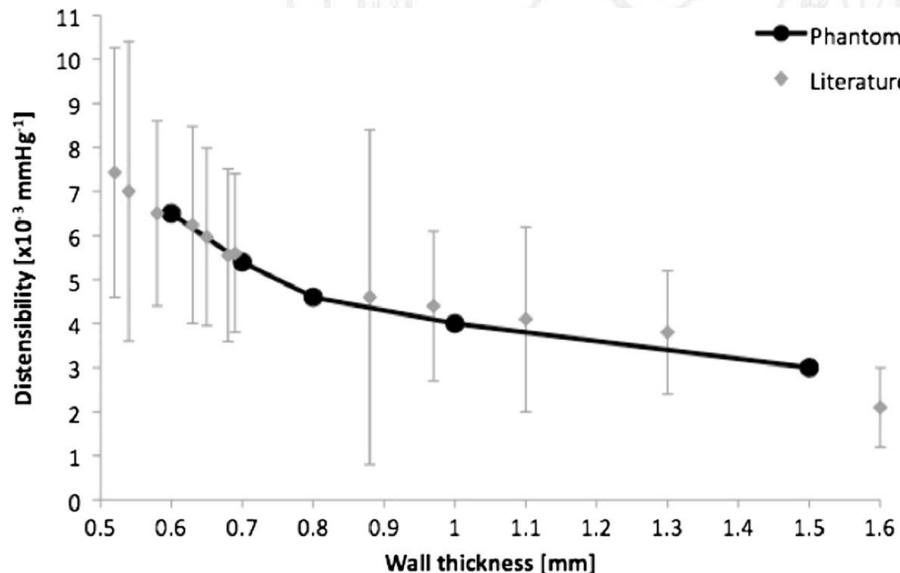
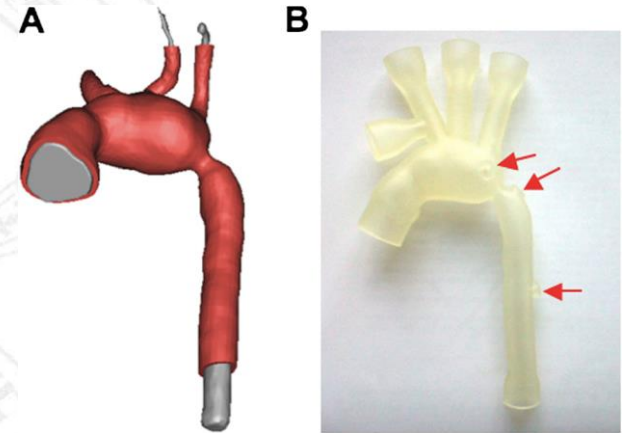
# Vantaggi dell'uso di modelli

- Divisione dei pazienti in due gruppi: model group e control group
- Creazione di modelli
  - **Selective Laser Sintering**
  - **EOSINT P360 (Electro Optical Systems)**
  - **Nylon bianco**
- Compilazione di questionari da parte dei genitori dei pazienti
- Valutazione dell'utilità dei modelli: come sono migliorate le conoscenze?



## TangoPlus FullCure 930®

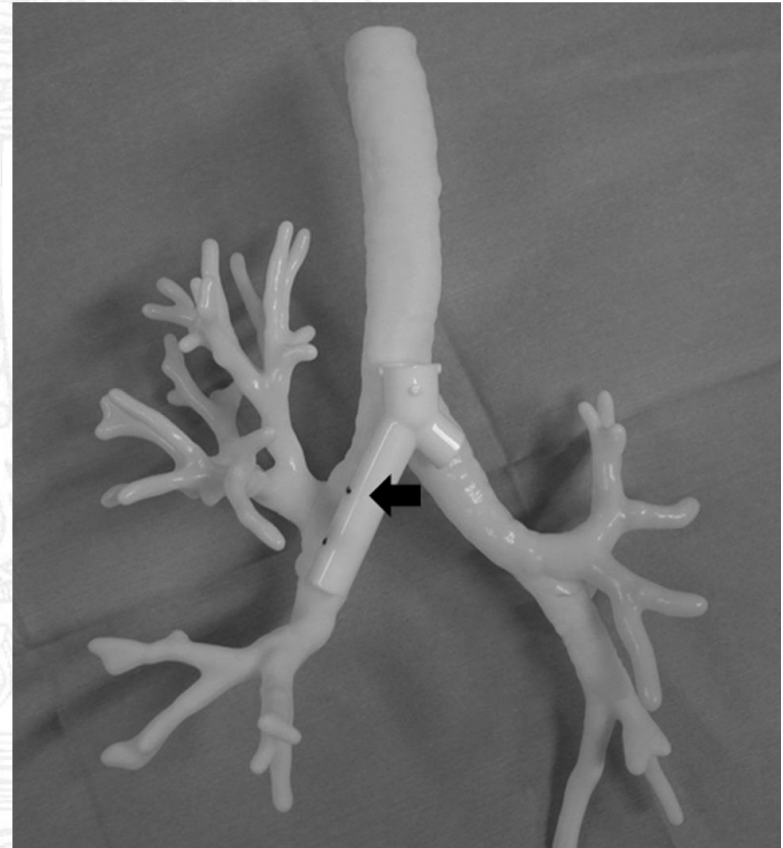
- Creazione di modelli dell'aorta con diverso spessore
  - **Material Jetting**
  - Objet Eden 500V
  - Strati 16 micron, oggetti 500x400x200 mm
- Studio della distensibilità del materiale
- Conclusioni: il materiale è adatto per modellizzare le **arterie** umane



## Supporto allo stenting delle vie respiratorie

### Material Jetting

- Stampante **Objet 260 Connex**
  - Oggetti 255x252x200 mm
  - Strati di 16 micron
- Dimensionamento dello stent basato sul modello 3D
- Utilizzo del modello per il consulto con il paziente e per l'insegnamento

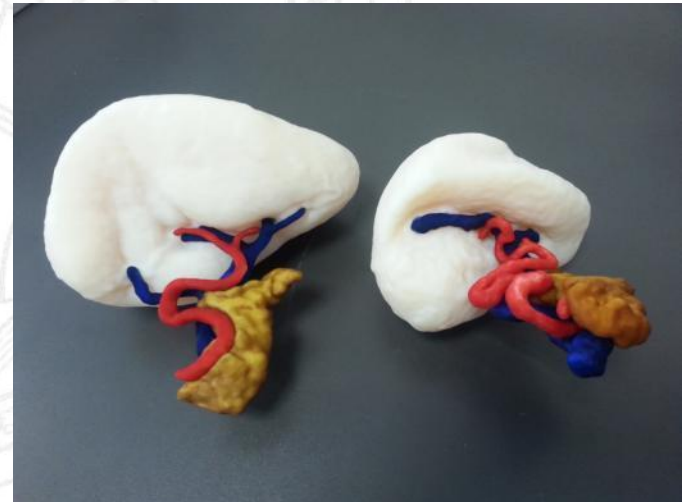


Takuro Miyazaki et al., Airway stent insertion simulated with a three-dimensional printed airway model, 2015 by The Society of Thoracic Surgeons, published by Elsevier

## Chirurgia della milza

### Material jetting

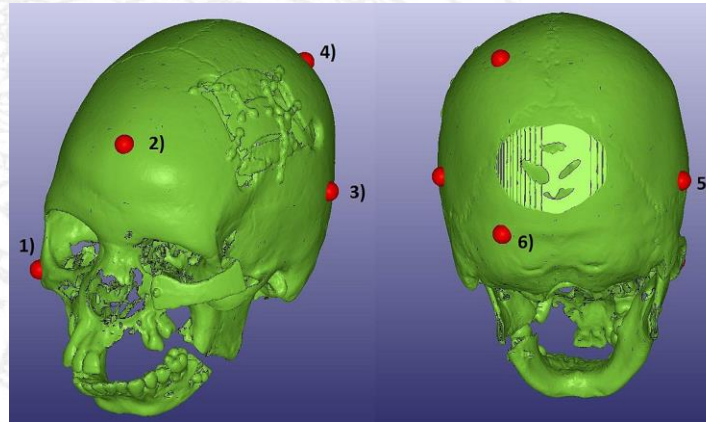
- Stampante **Objet 30 Pro**, Stratasys
  - Stampa di oggetti 300x200x160 mm
  - Uso di un **fotopolimero** bianco, **rigido**
  - Spessore strato: 28 micron (16 per materiale VeroClear)
- Consulto preoperatorio con la famiglia del paziente
- Uso nella preparazione dell'intervento e come guida per il chirurgo



# Altre applicazioni biomedicali: distretti ortopedici

## Accuratezza di diverse tecniche di stampa 3D per modelli ortopedici

- Stampa di un modello di cranio con delle piccole sfere
- Misura della posizione di ogni sferetta in un sistema di coordinate



Tecnica e materiale	Spessore strato	Errore del modello
<b>Material Jetting</b> (Objet Eden 350 V & VeroWhite FullCure 830)	0.016 mm	$0.20 \pm 0.13$ mm $0.20 \pm 0.14$ mm
<b>Laser sintering</b> (EOSINT P380 & SLS2200)	0.15 mm	$0.93 \pm 0.38$ mm $0.93 \pm 0.41$ mm
<b>Binder jetting</b> (Zprinter 450 & ZP 150)	0.09 mm	$0.77 \pm 0.51$ mm $0.80 \pm 0.53$ mm

- Nella letteratura è presente molta **descrizione delle applicazioni** della stampa piuttosto che del processo di stampa
- **Tecniche** di stampa e **materiali** scelti in base allo **scopo** del modello (estetico o funzionale)
- La tecnica più diffusa è la **material jetting** per la sua grande **versatilità** (possibilità di stampare più materiali contemporaneamente)
- **Sviluppi futuri:**
  - Studi sui materiali flessibili: quanto riproducono le caratteristiche dei tessuti?
  - Stampa di modelli complessi composti da diversi materiali a seconda della struttura (es. pareti cardiache, valvole, ecc.)