

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

**Relatore:
Prof. Ferdinando Auricchio**

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

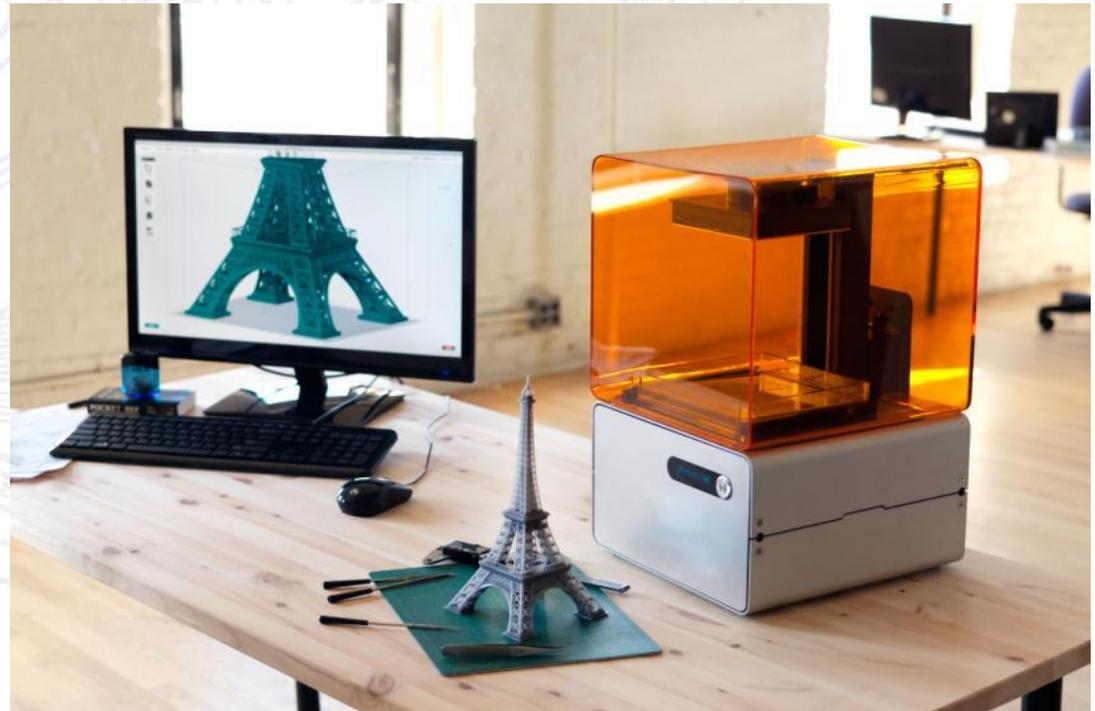
➤ Creazione di oggetti **strato per strato**

➤ **Funzionamento:**

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

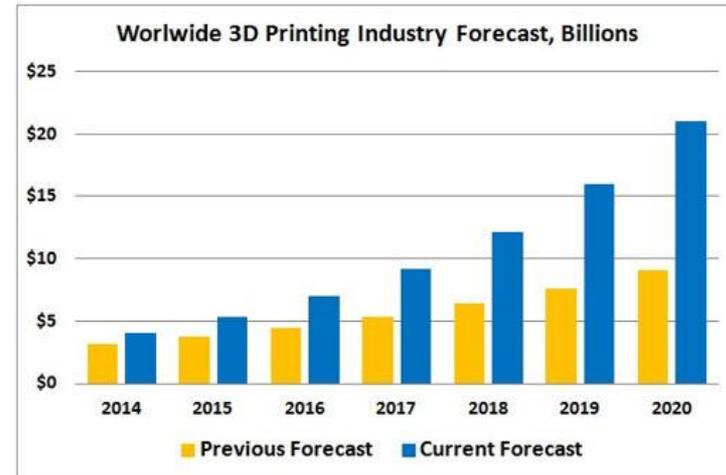
➤ **Differenze nelle tecniche di stampa**

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



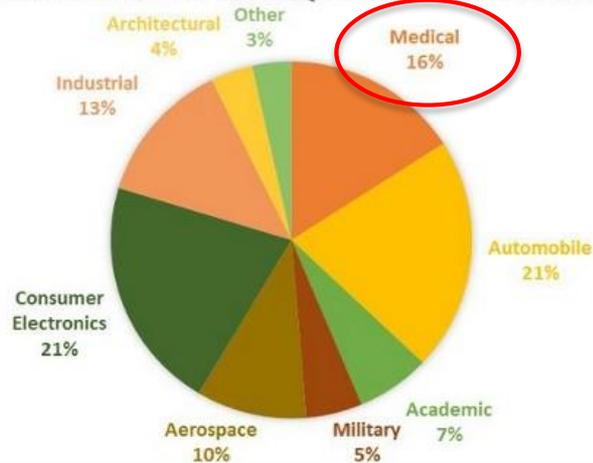
Stampa 3D: un mercato in continua espansione

- **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



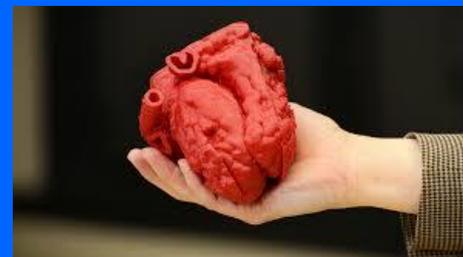
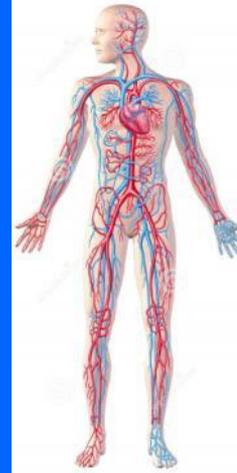
Wohlers report 2013

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

Review della letteratura

Metodo:

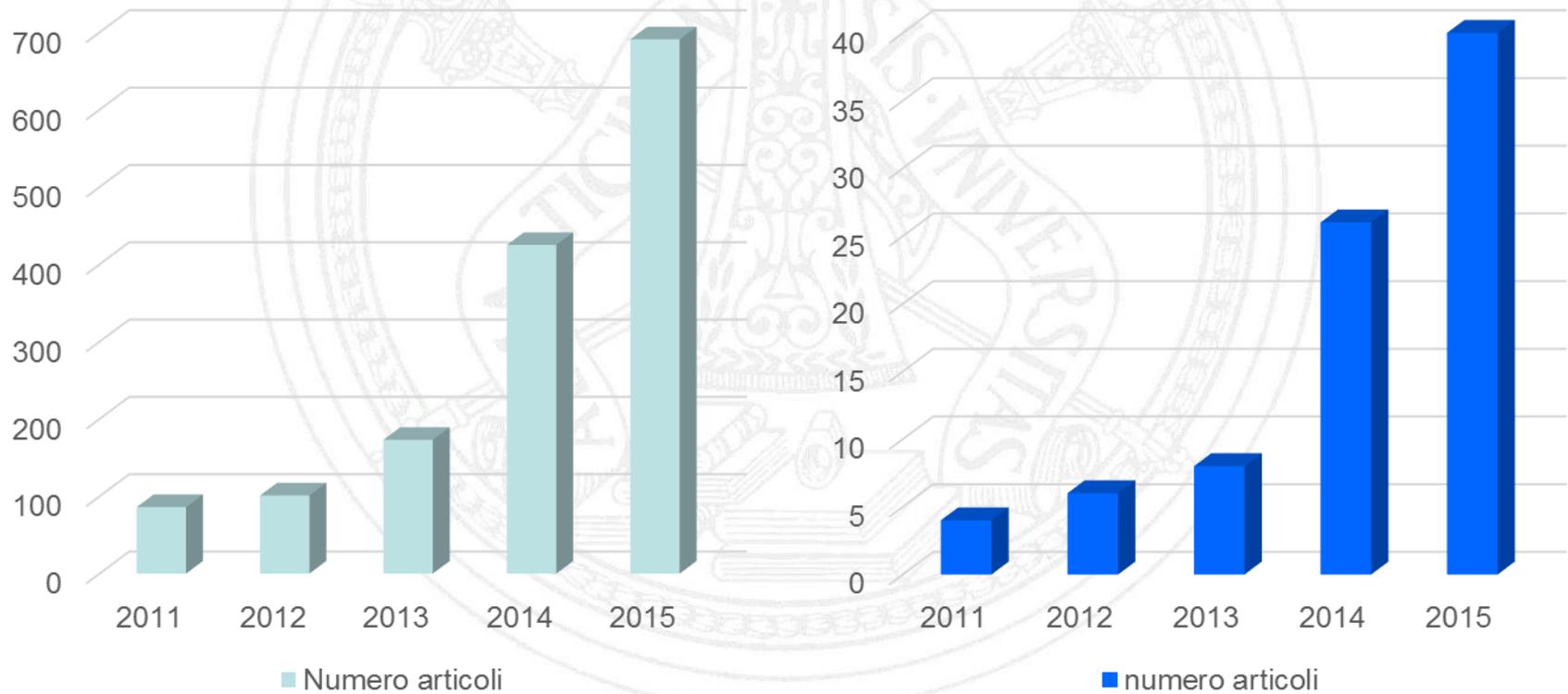
- **Ricerca** di articoli su banche dati (PubMed, Scopus, etc...)
 - Maggiore importanza all'ambito **cardiovascolare**
- **Catalogazione** secondo applicazioni/distretti anatomici
- **Impieghi più diffusi/rappresentativi** per ogni distretto



Sviluppo degli studi

Articoli stampa 3D in medicina

Articoli stampa 3D in ambito cardiovascolare

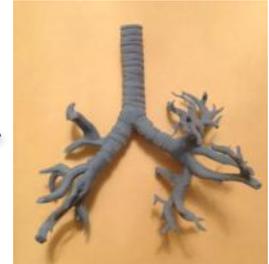
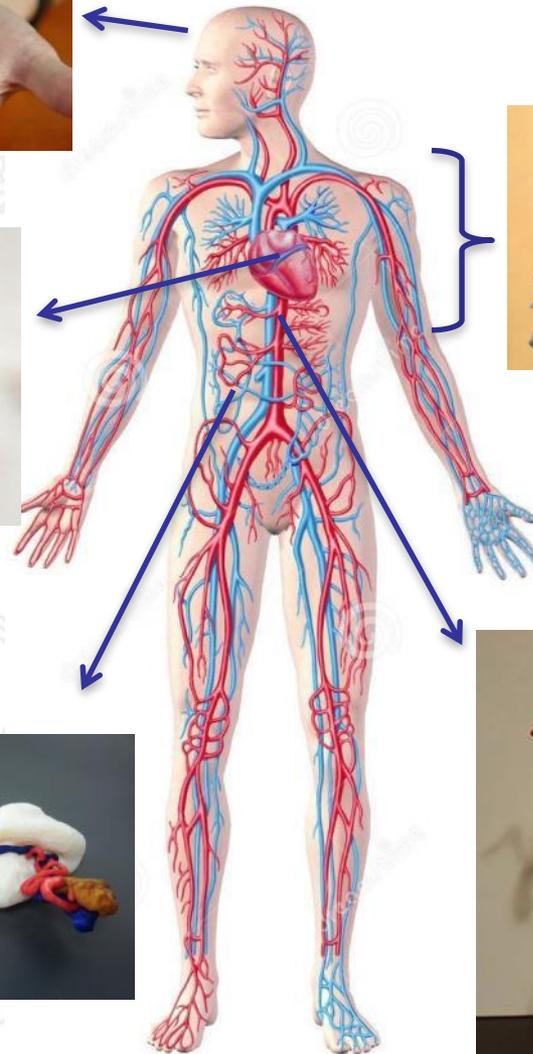
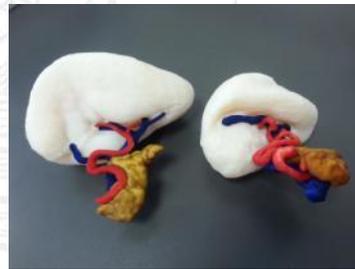
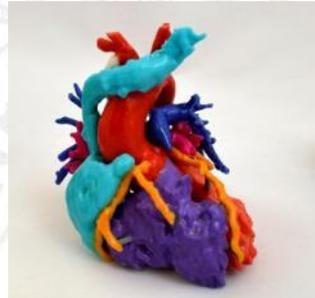


Applicazioni cardiovascolari

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

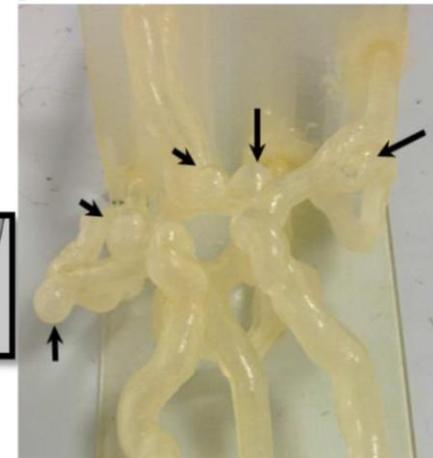
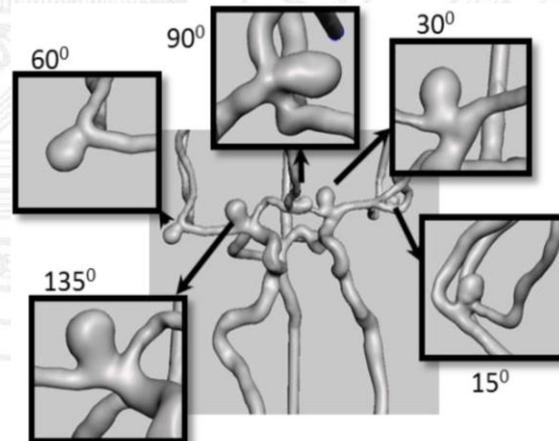
Altre applicazioni biomedicali

- 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)

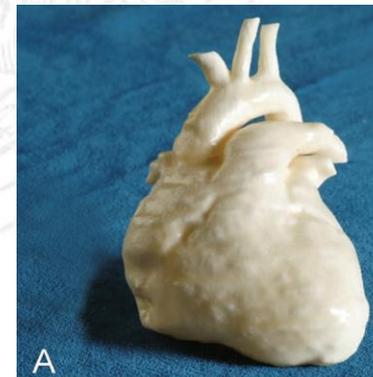
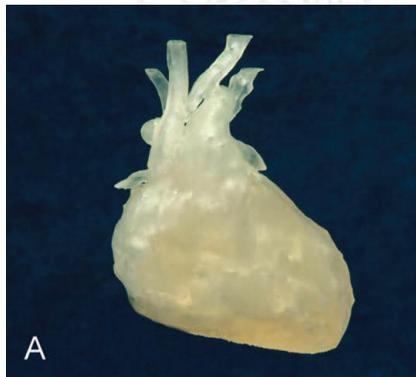
Material Jetting (6)

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**

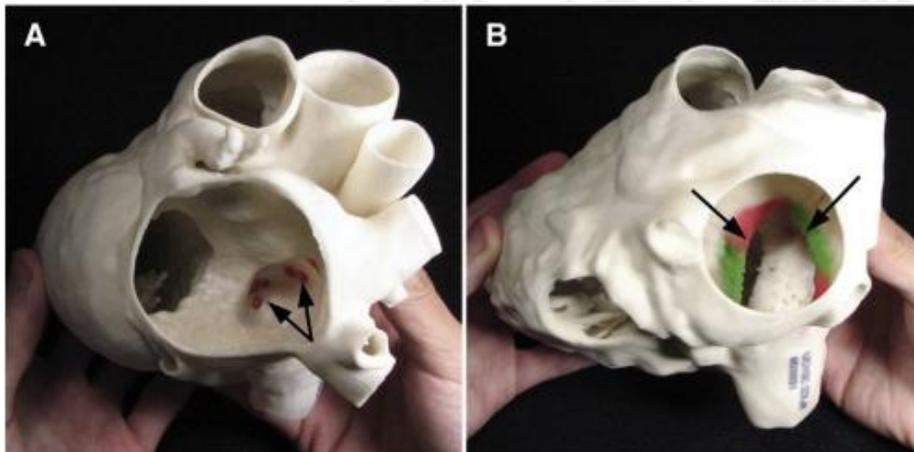
Binder jetting

Modello **estetico**

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

Zprinter 450 (Z Corporation)

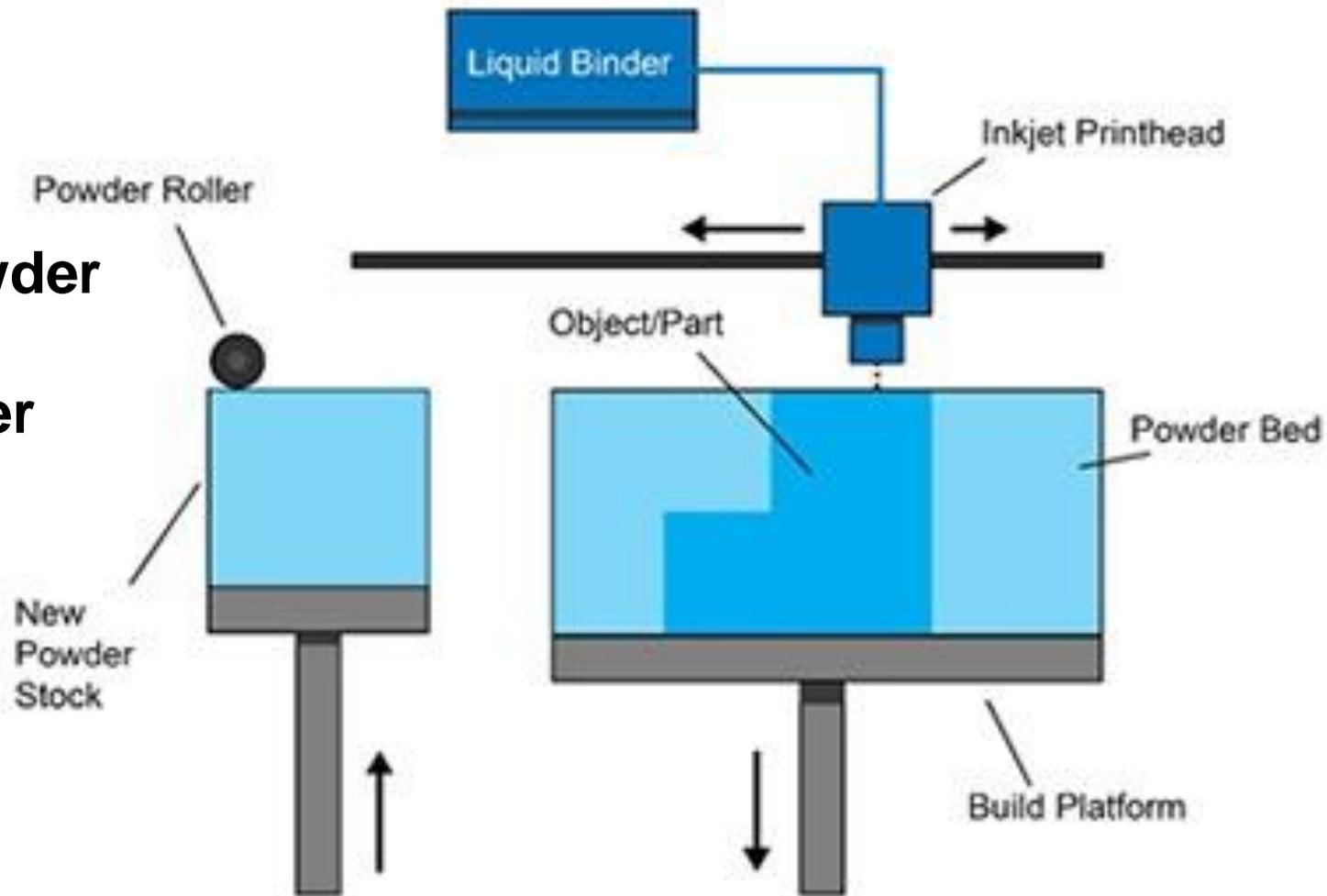
- Oggetti 203x250x203 mm
- Spessore dello strato: 0,089 - 0,102 mm
- Modelli **opachi**, anche **colorati**
- Possibilità di stampare modelli flessibili
 - In questo caso i materiali non riproducono le caratteristiche dei tessuti



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**

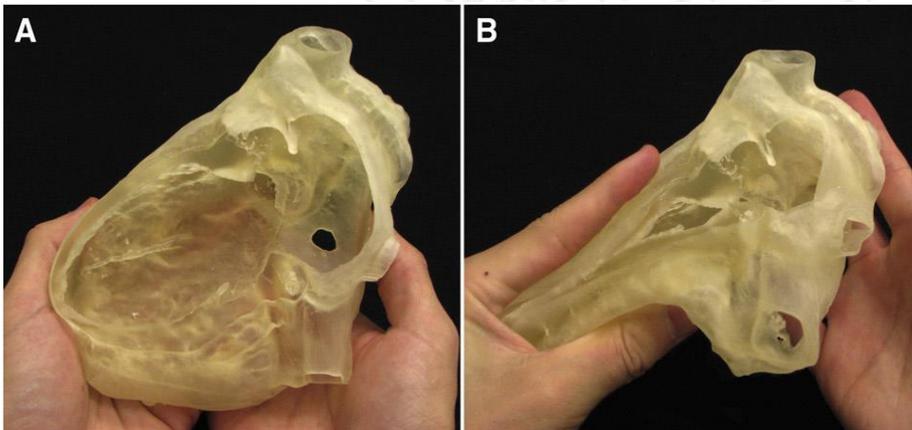
Stampanti della linea **Objet**
(Stratasys) + materiale
TangoPlus

Material jetting

Modello **funzionale**

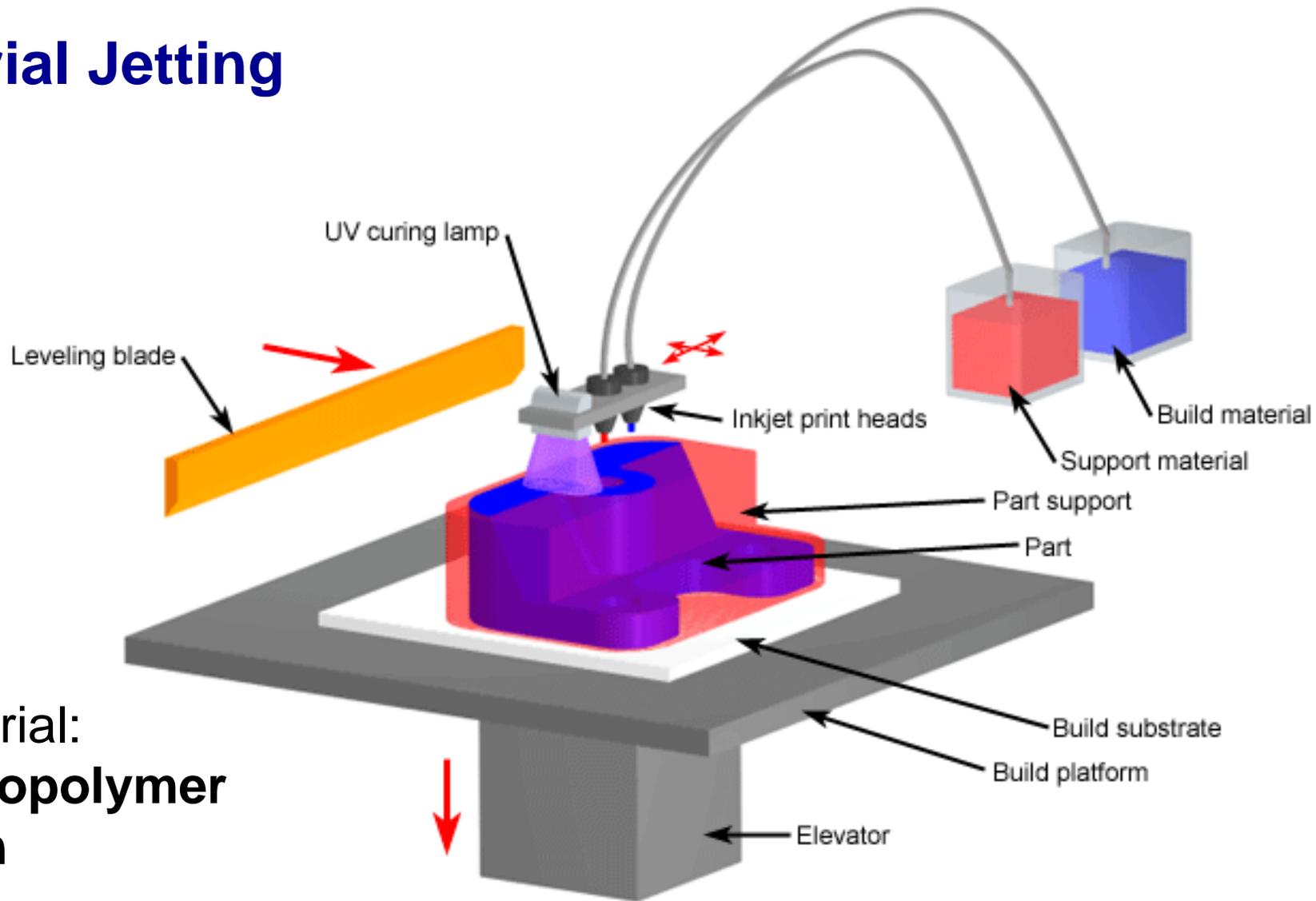
Utili per **simulazioni** di interventi

- 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**

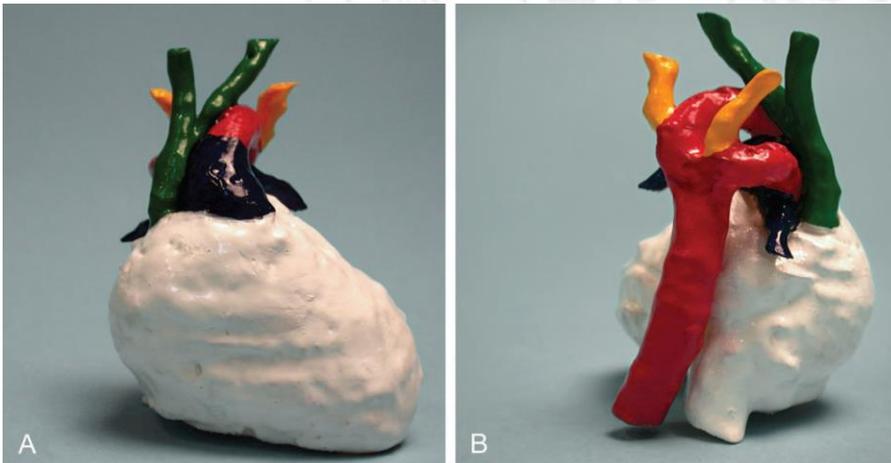
Utili per capire l'**anatomia**
e nel **planning** dell'intervento

➤ Stampante: SLA 250/30A, 3D
Systems

➤ Oggetti 250x250x250 mm

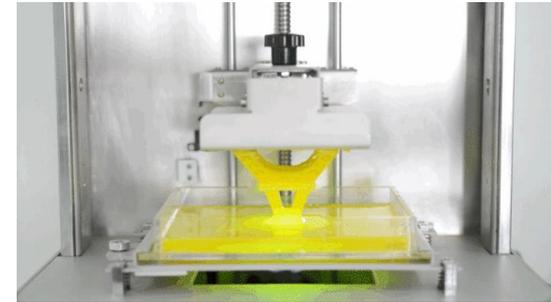
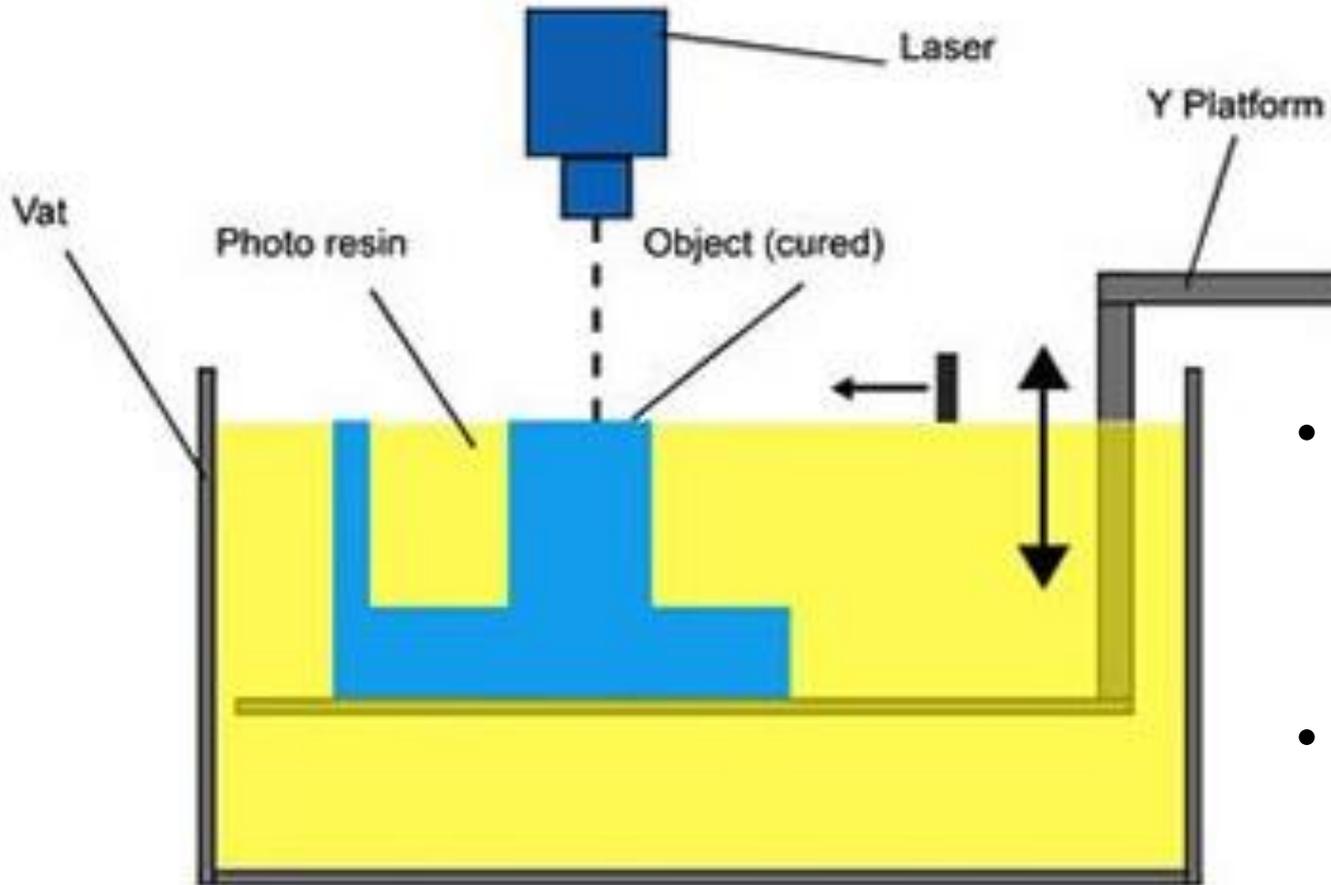
➤ Stampa di strati di 0.1 mm

➤ 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**

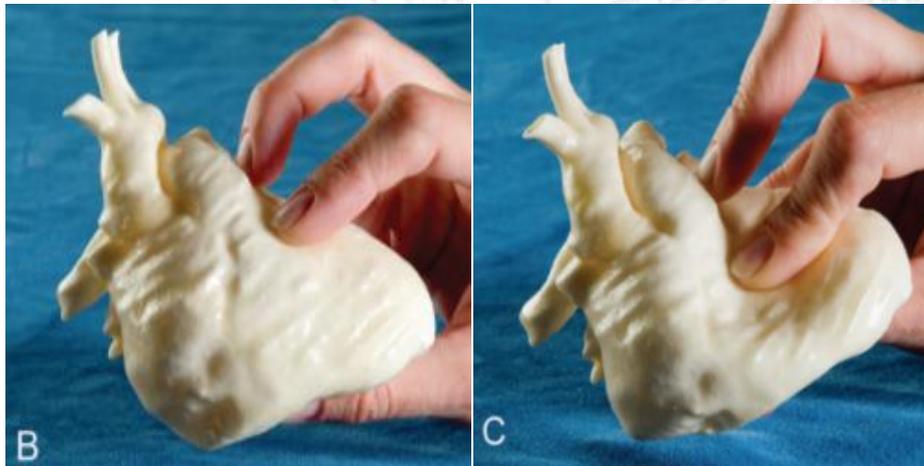
Example: **Stereolithography**

Stampa di modelli **flessibili**

Binder jetting

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

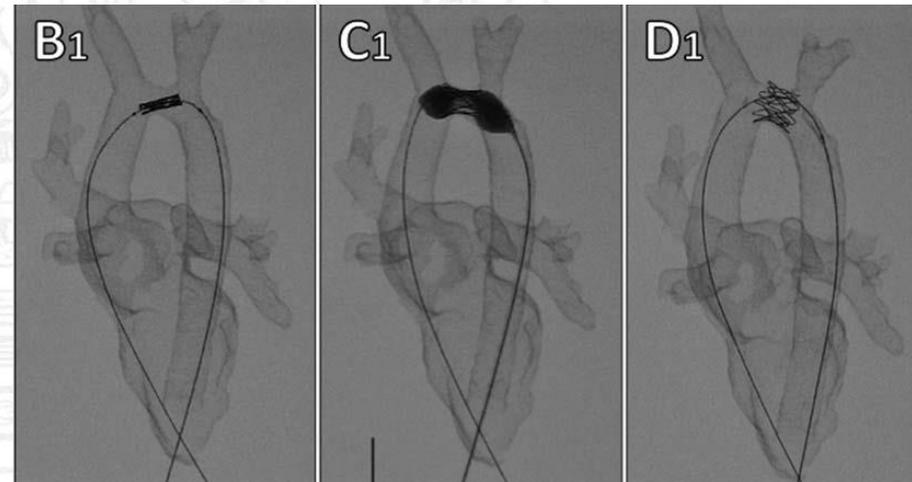
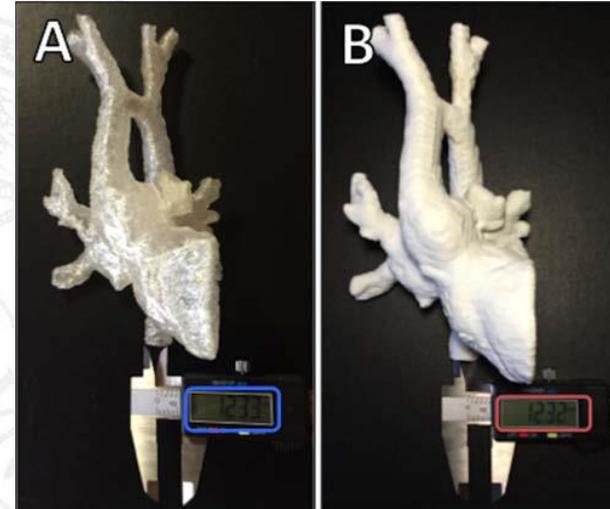
- Stampante: **Zprinter 310**
- Oggetti 203x254x203 mm
- Spessore strato:
0.089-0.203mm
- Il modello in gesso viene
infiltrato o ricoperto con
materiali elastomerici per
ottenere modelli flessibili



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

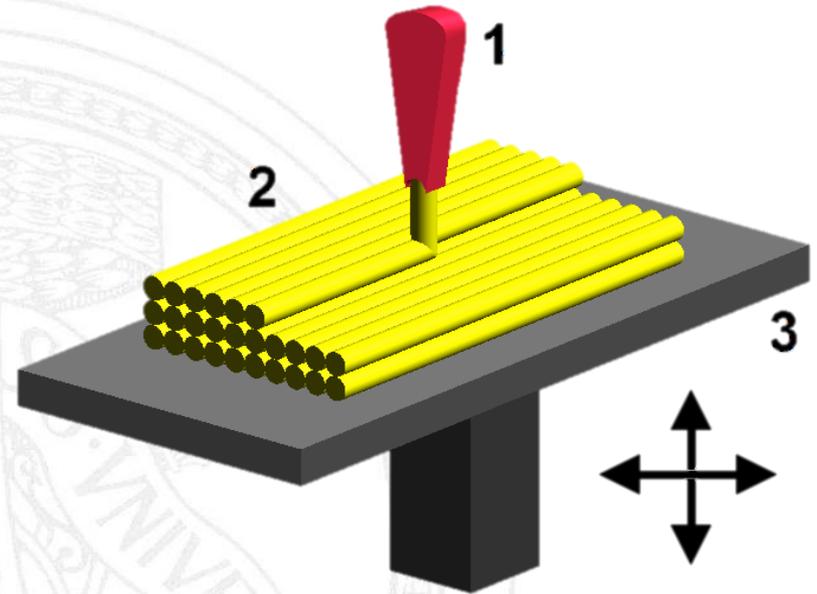
Uso di modelli 3D per pianificare lo stenting aortico

- 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

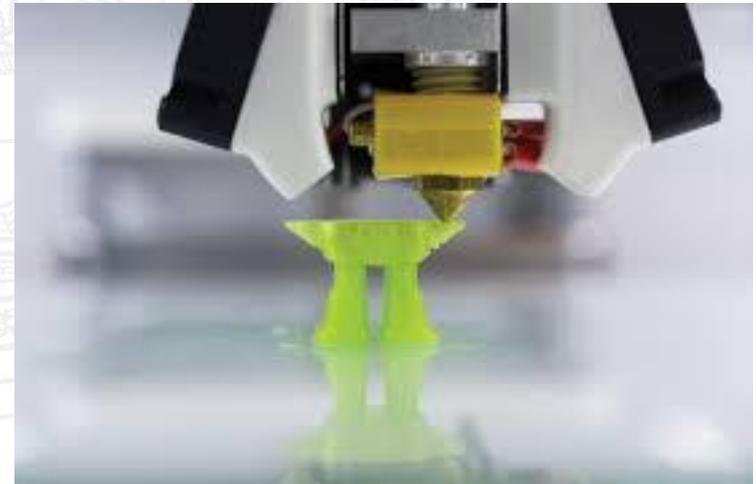


3D printing options: Material Extrusion

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

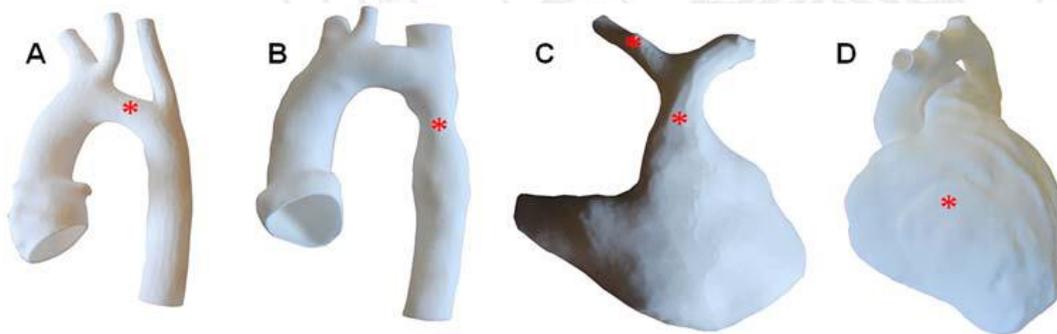
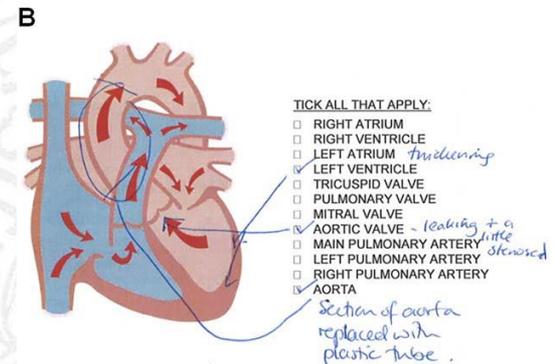
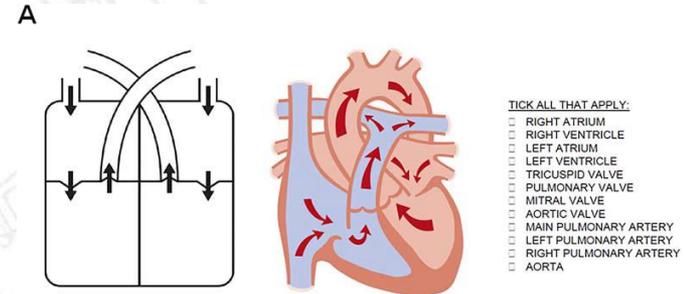


Fused deposition modeling (FDM)



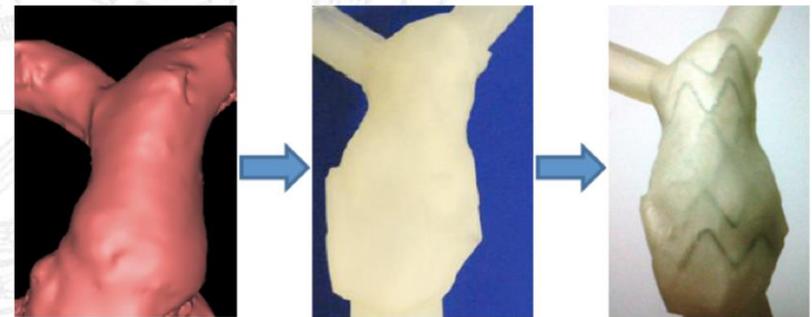
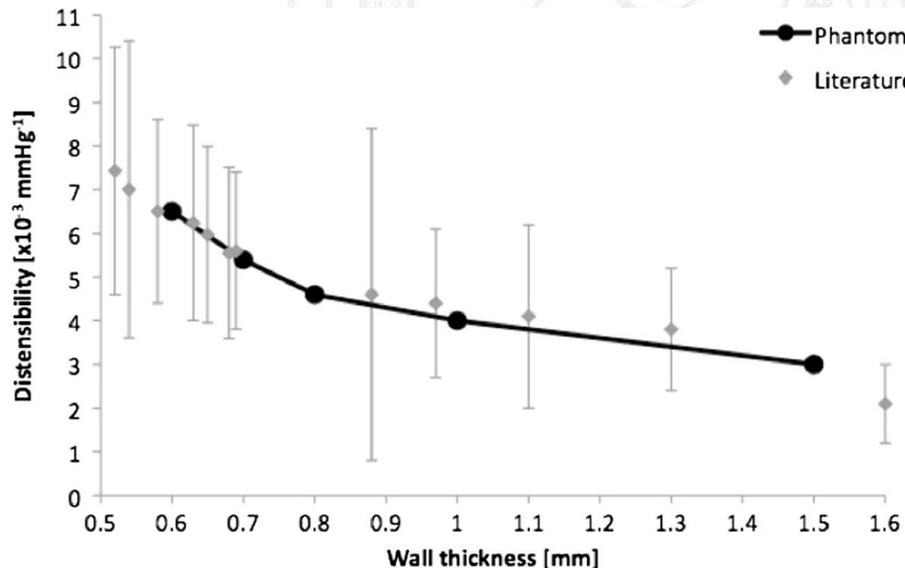
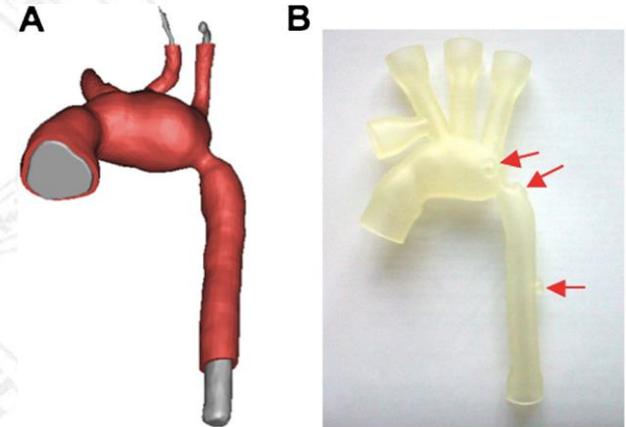
Vantaggi dell'uso di modelli

- 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®

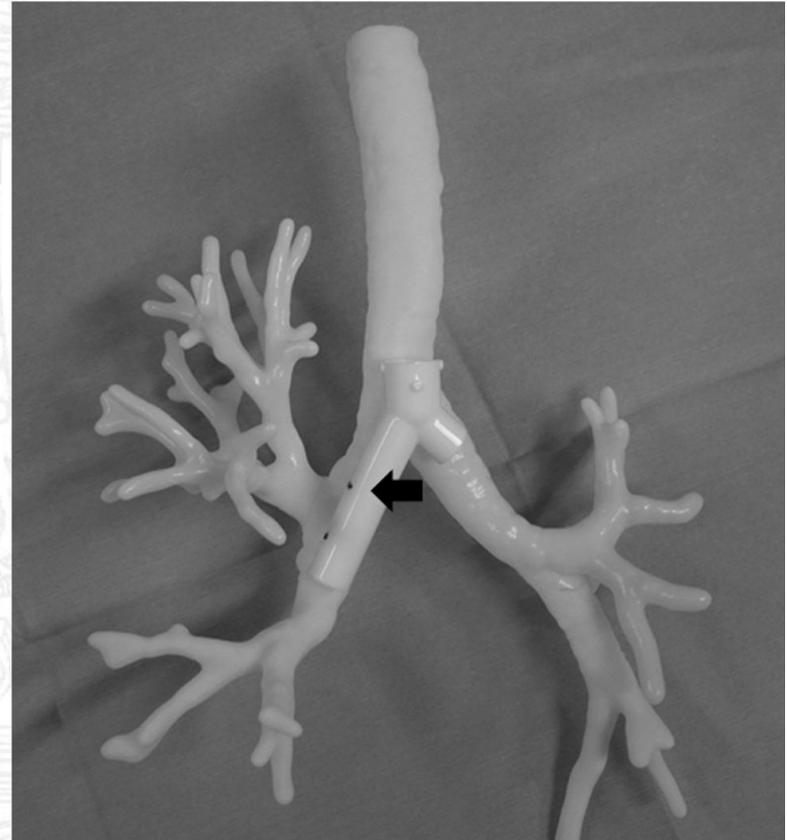
- Creazione di modelli dell'aorta con diverso spessore
 - **Material Jetting**
 - Objet Eden 500V
 - Strati 16 micron, oggetti 500x400x200 mm
- Studio della distensibilità del materiale
- Conclusioni: il materiale è adatto per modellizzare le **arterie** umane



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

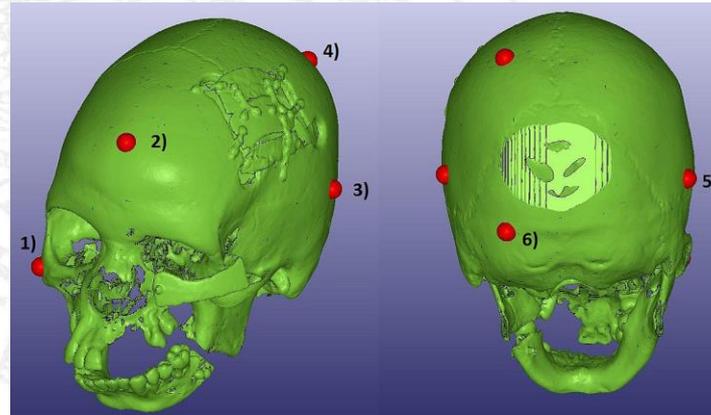
- Stampante **Objet 30 Pro**, Stratasys
 - Stampa di oggetti 300x200x160 mm
 - Uso di un **fotopolimero** bianco, **rigido**
 - Spessore strato: 28 micron (16 per materiale VeroClear)
- Consulto preoperatorio con la famiglia del paziente
- Uso nella preparazione dell'intervento e come guida per il chirurgo



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
Material Jetting (Objet Eden 350 V & VeroWhite FullCure 830)	0.016 mm	0.20 ± 0.13 mm 0.20 ± 0.14 mm
Laser sintering (EOSINT P380 & SLS2200)	0.15 mm	0.93 ± 0.38 mm 0.93 ± 0.41 mm
Binder jetting (Zprinter 450 & ZP 150)	0.09 mm	0.77 ± 0.51 mm 0.80 ± 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.)