

## **Impianti endovascolari: dalla simulazione dell'impianto alla stampa 3D**

**Paolo Gianmaria Testa**

*Laureando*

*Supervisor* **PhD. Michele Conti**

*Co-supervisor* **Ing. Stefania Marconi**

15 Luglio 2014

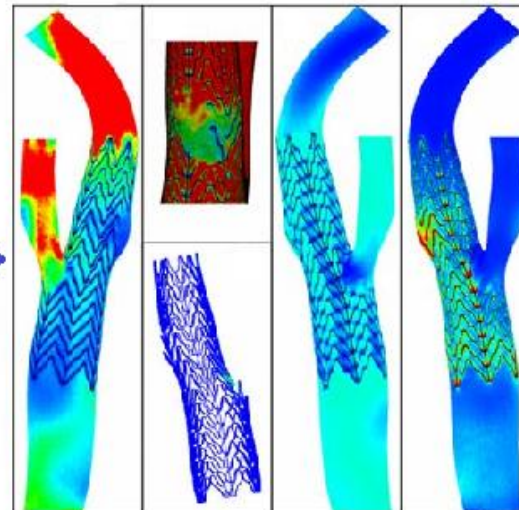
---

# Obiettivo

Da immagini tomografiche

Attraverso  
La simulazione

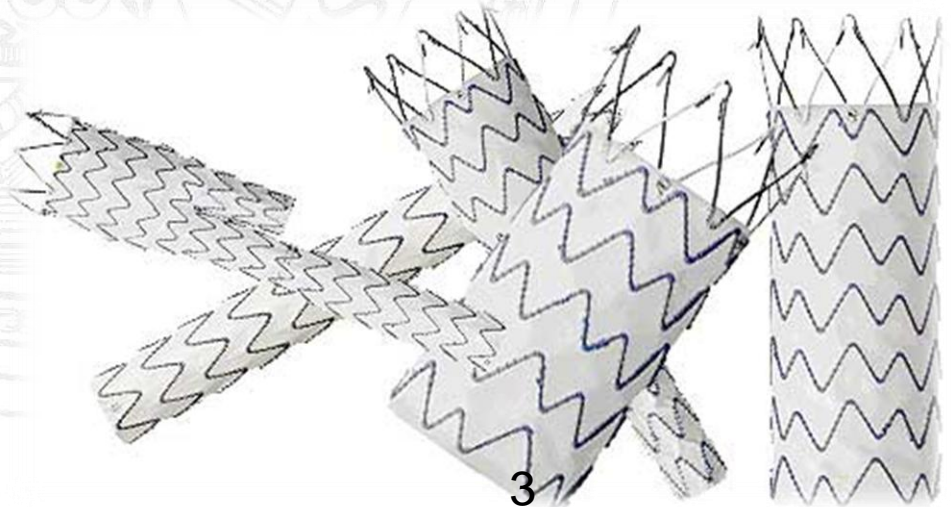
Ottenere  
Modello reale



**Stampare modello 3D di un impianto  
di stent self-expanding in arteria carotide**

# Cos'è un impianto di protesi endovascolare?

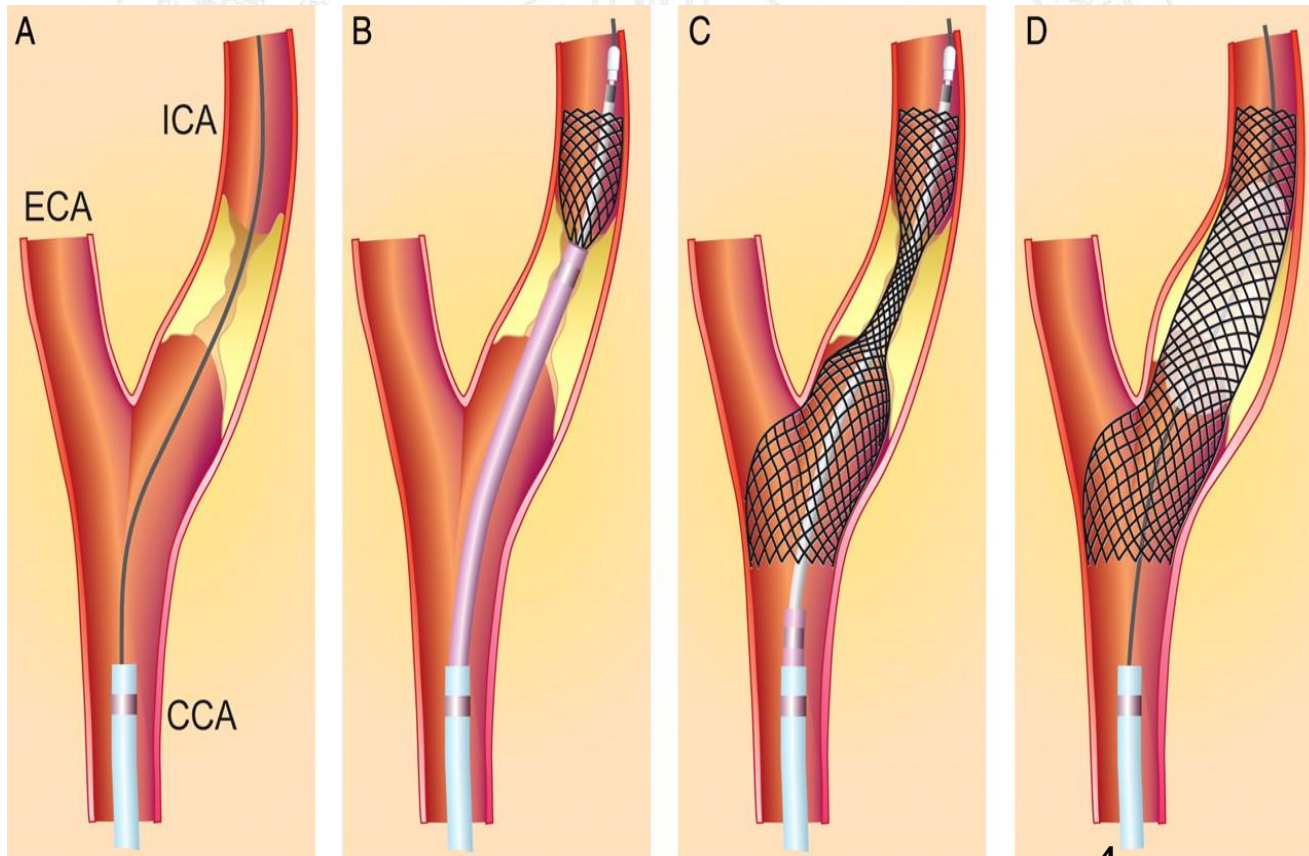
- **Protesi endovascolare:** dispositivo medico costituito da un'**impalcatura metallica** la cui destinazione sia l'interno di un vaso sanguigno (es. l'aorta) e che possa essere di supporto ad un tubo di **tessuto** sintetico.
- **Stent:** struttura metallica, destinata ad organi a lume, di solito cilindrica e a maglie.
- Stent usati in diverse patologie non solo di tipo cardiovascolare:
  - **aneurismi**
  - **stenosi**
  - **aterosclerosi, ecc.**



# CAS: Carotid Artery Stenting (I)

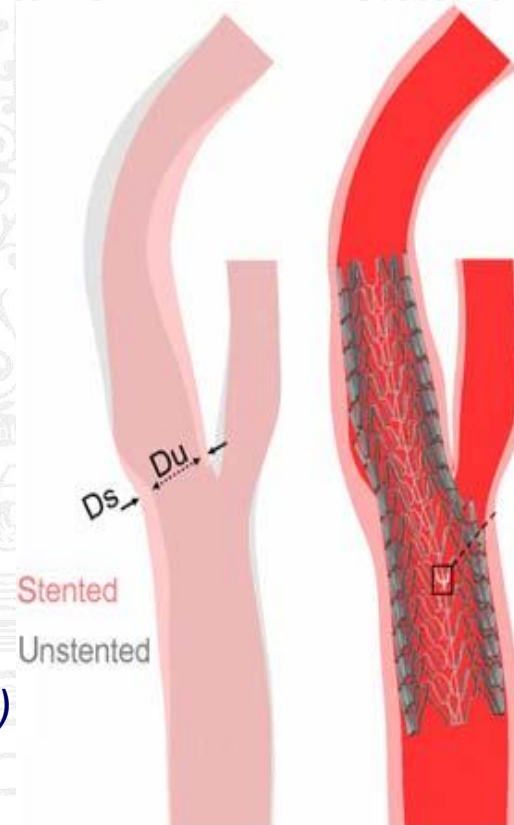
- In Vivo

## Procedura chirurgica tradizionale



# CAS: Carotid Artery Stenting (II)

- **In Silico**
  - **Problema clinico:** CAS porta complicazioni post intervento:
    1. Re-stenosi del vaso
    2. Formazione di trombi
  - **Esigenza Biomeccanica:**  
Espandere lo stent all'interno del lume
  - **Tipologie usate:**
    1. Elementi Finiti
    2. Fluida Dinamica
- (University of Pavia & Ghent University)*

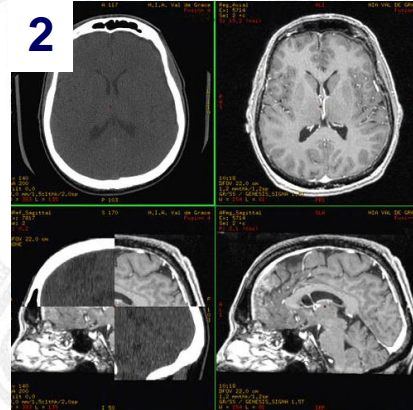


# Simulazione dell'impianto

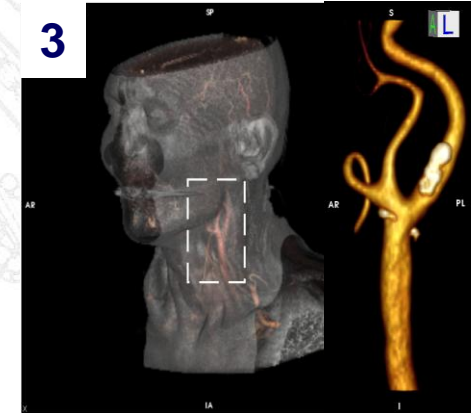
Angiografia TC  
testa-collo



Immagini Dicom  
(serie di fette planari)

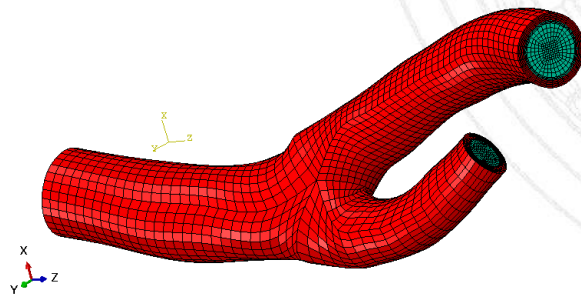


Ricostruzione 3D  
(Export file STL)



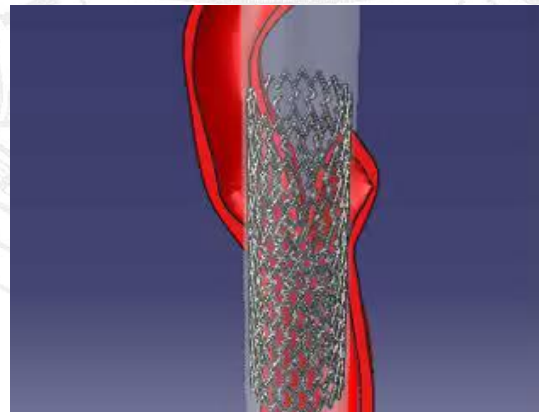
Modello vascolare

4



Simulazione

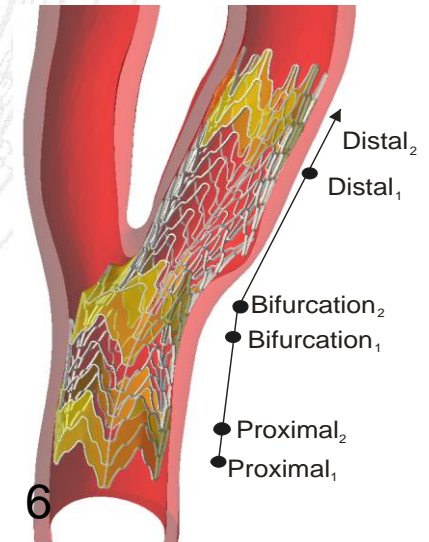
5



Abaqus

Elaborazione

6



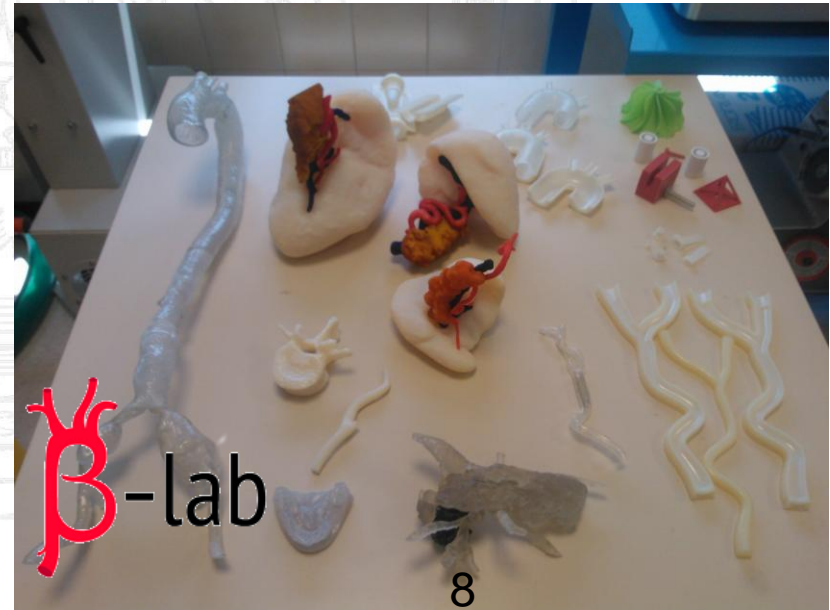
## Perché stampare in 3D? (I)

- **Diagnosi:** affiancare, quando possibile, agli esami standard risultati tangibili.
- **Decisione:** pianificare al meglio procedure di trattamento e di intervento chirurgico
- Costruzione di **protesi**.
- *Un esempio: Louisville, 10/02/14. E' stato operato con successo il cuore di un bambino di 14 mesi affetto da tetralogia di Fallot.*  
*immagini 2D → diverse opinioni*  
*modello 3D → un'unica strategia d'intervento*



## Perché stampare in 3D? (II)

- Aziende specializzate offrono servizi completi di **Prototipazione Rapida**, dall'elaborazione delle immagini mediche alla stampa del modello:
  1. Materialise (Olanda)
  2. RedEye by Stratasys (USA, Israele)
  3. ...
  4. **BetaLab** a Pavia:

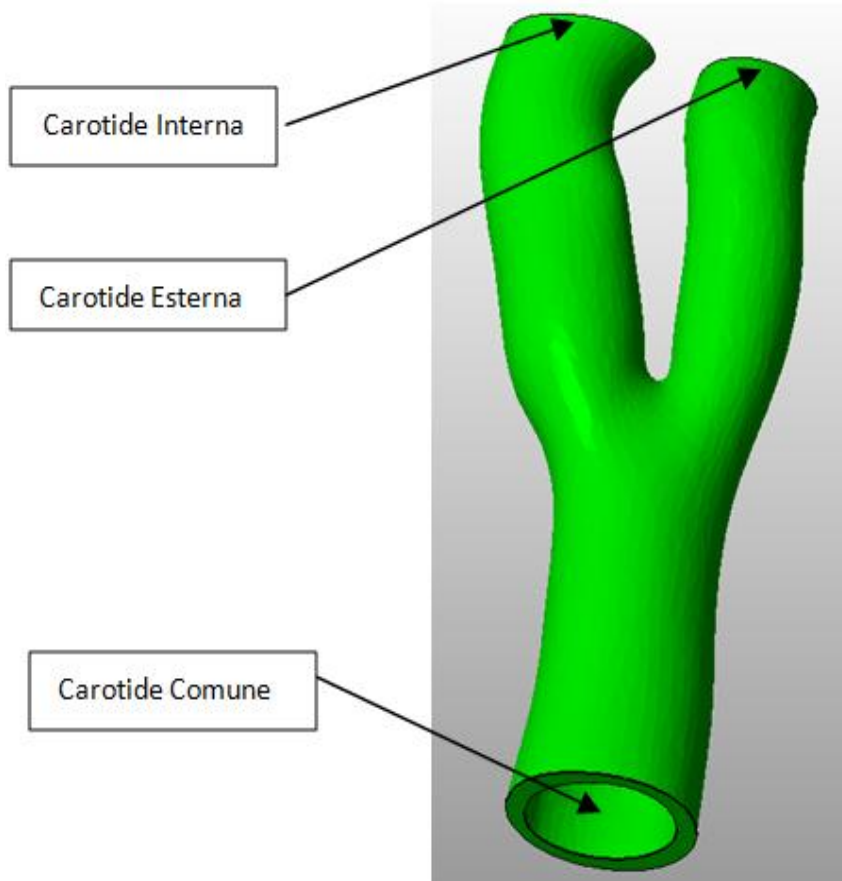




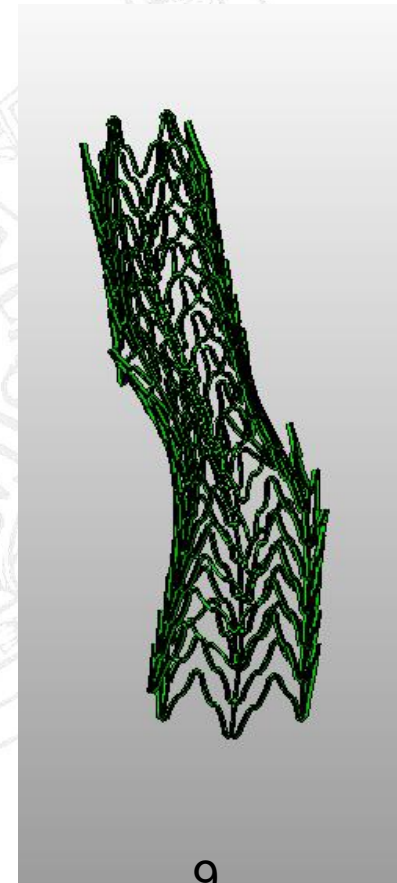
# Impianto endovascolare (I), Input

Punto di partenza per la stampa: 2 file **STL**  
(*STereoLithography interface format*) derivanti dalla simulazione

## Arteria Carotide



## Self-expanding Nitinol Stent

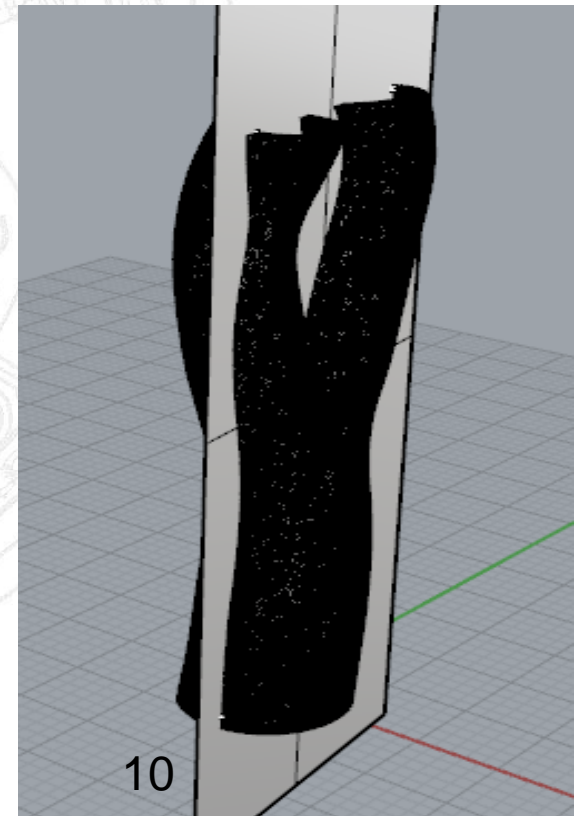


# Impianto endovascolare (II), elaborazione

- Elaborazione dei file → **Rhinoceros**.
- Per esigenze di stampa (rimozione dello strato di supporto) e per una più comprensiva e piena visualizzazione del modello:



1. Oggetti ingranditi 4X  
Dimensioni originali:  
St=180 $\mu$ m, Sw=100 $\mu$ m
2. Carotide  
divisa in  
2 sezioni  
longitudinali



# Impianto endovascolare (III), riparazione

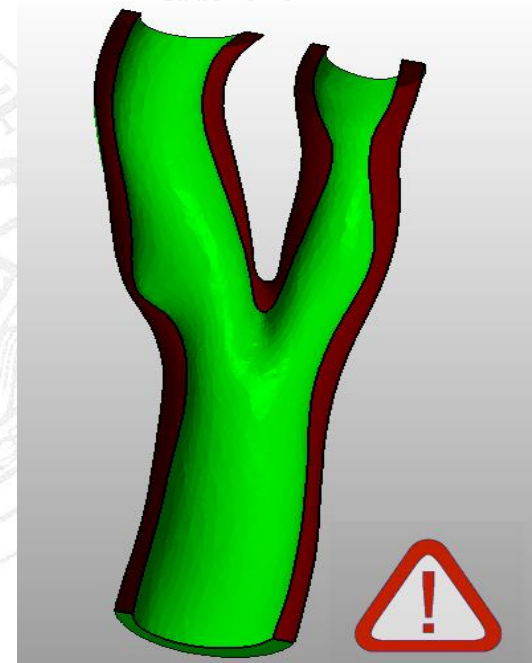
- Disegno CAD → **Errori**
- Riparazione → **Netfabb Basic.**
- Errori più frequenti:
  1. Incompatibilità regola vertice-vertice
  2. Superfici degeneri
  3. **Variabilità:**  
non rispetto della regola di Eulero  
sui poliedri:  
 $F - E + V = 2B$ .

*F = numero Superfici*

*E = numero Bordi*

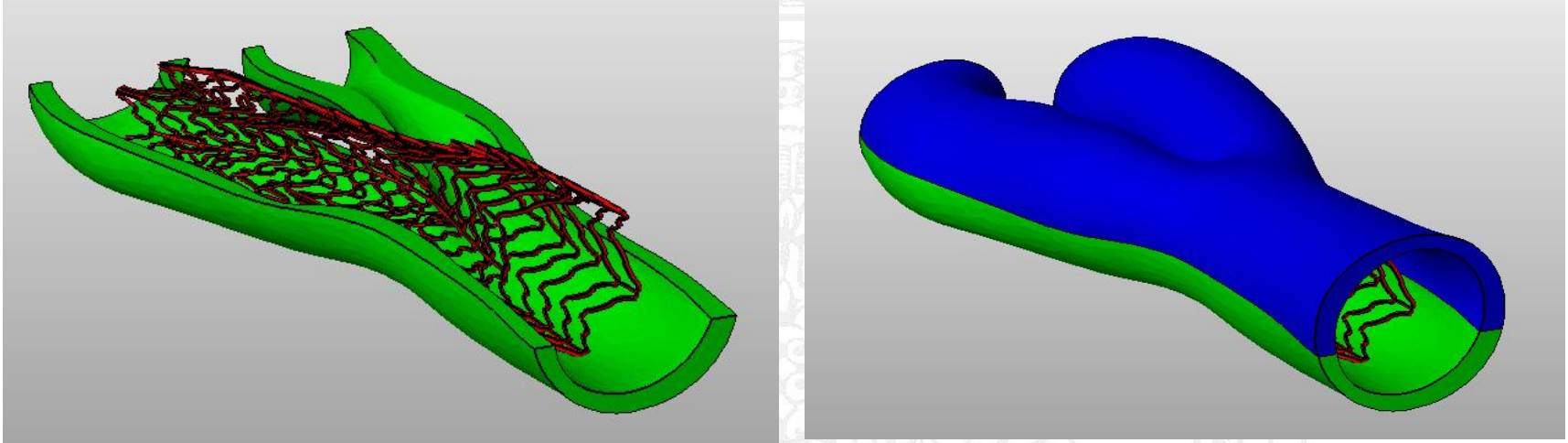
*V = numero Vertici*

*B = numero Solidi*



# Impianto endovascolare (IV), stampa 3D

- Modello virtuale per la stampa dei 3 oggetti:



- Stampante utilizzata al BetaLab:  
**Objet30Pro** (tecnologia "PolyJet" by Objet-Stratasys).
- Stampa "*layer by layer*"
- **Materiali fotopolimerici:**
  1. Supporto: FullCure®705
  2. Oggetto: VeroWhitePlus Opaque



## Problemi della stampa

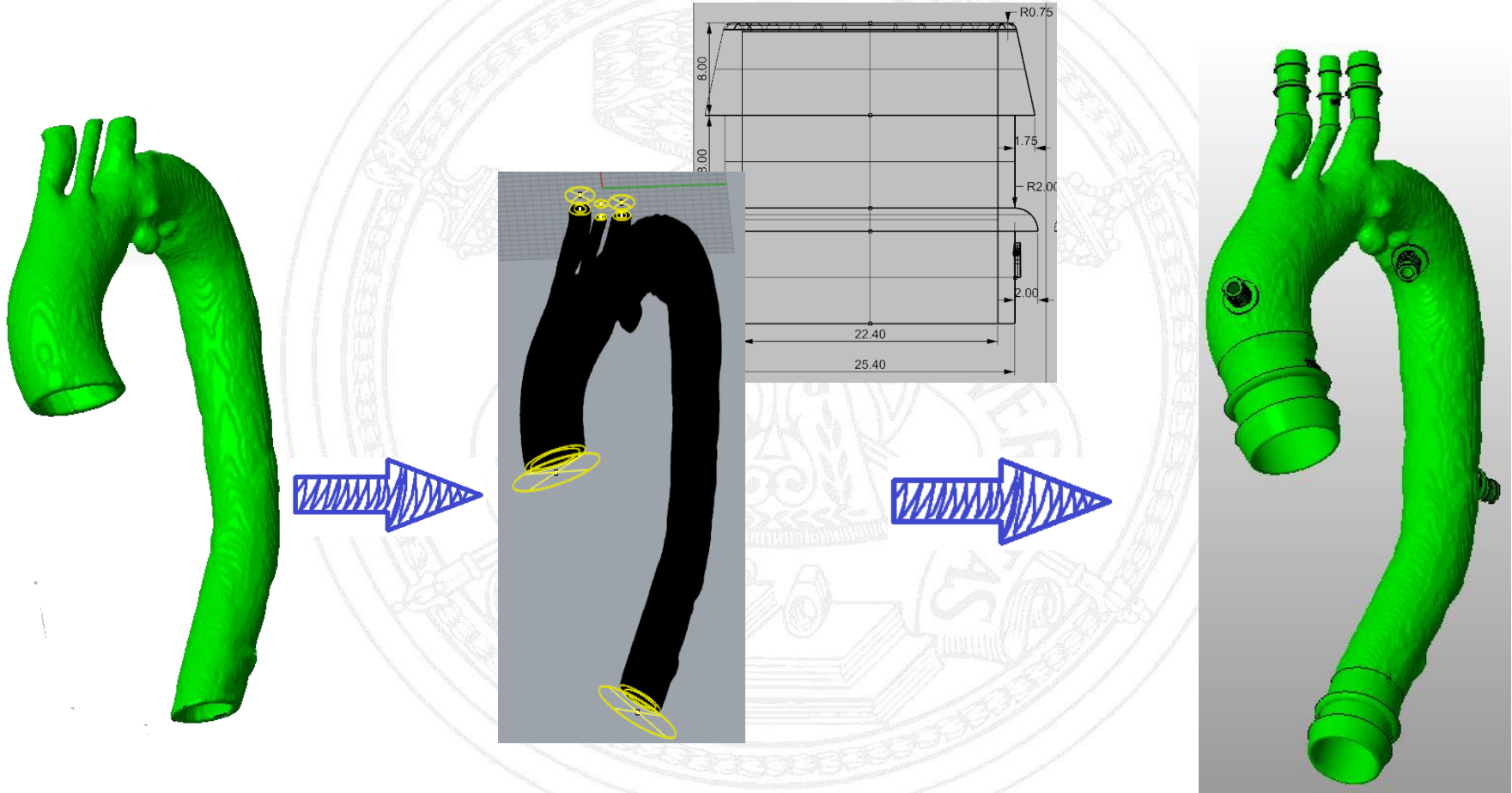
- **Eliminazione del supporto:** oggetto molto fragile!
- **Rottura irreparabile di alcune maglie**
- **Risultato comunque soddisfacente.**



- Possibile soluzione alla rottura:  
fare uso di stampanti “**selected laser sintering**” (SLS)  
che sinterizzano basi liquide.

## Ulteriori attività svolte in laboratorio (I)

1. Disegno CAD in Rhino: **attacchi idraulici patient-specific** per arco aortico e attacchi per sensori di pressione.

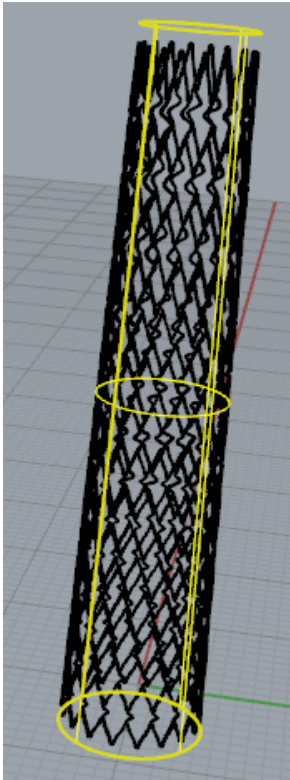


2. RhinoScripts (**Monkeys scripts** in Visual Basic):  
mesh STL → superfici CAD.

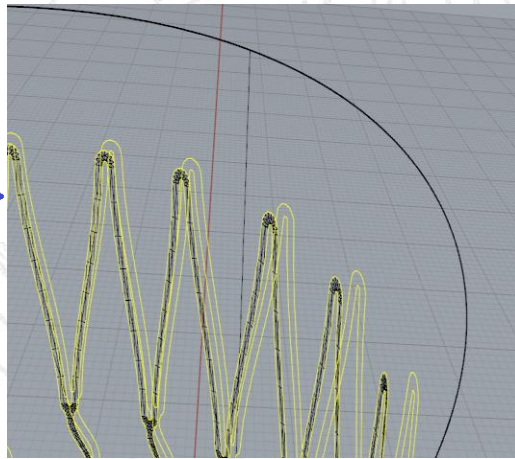
## Ulteriori attività svolte in laboratorio (II)

3. Ricavare **domini CFD** (Computational Fluid Dynamics) per studiare la perfusione del sangue nei vasi in cui vengano impiantate protesi endovascolari (...in corso)

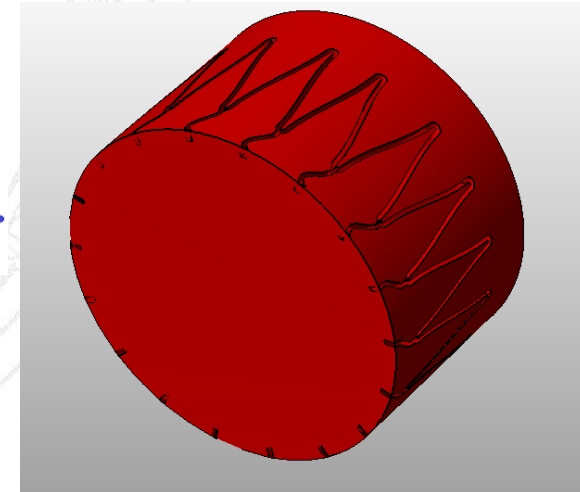
Approssimazione



Estrazione contorni e Proiezioni



Dominio di volume



# Conclusioni

---

## ■ **Acquisizione competenze:**

1. Progettazione tridimensionale
2. Prototipazione Rapida
3. Domini CFD

## ■ **Strumenti utilizzati:**

1. Rhino
2. NetFabb
3. Stampante 3D

## ■ **Sviluppi futuri:**

1. Estendere il dominio CFD a tutto il volume d'interesse
2. Provare metodi di stampa SLS



**Grazie per l'attenzione!**

**Impianti endovascolari:  
dalla simulazione dell'impianto alla stampa 3D**

**Paolo Gianmaria Testa**

*Laureando*