
Università degli studi di Pavia

Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura

Corso di laurea in Bioingegneria

CFD simulations of aorta hemodynamics: a preliminary study with Abaqus software

Analisi CFD dell'emodinamica dell'aorta: uno studio preliminare con il software Abaqus

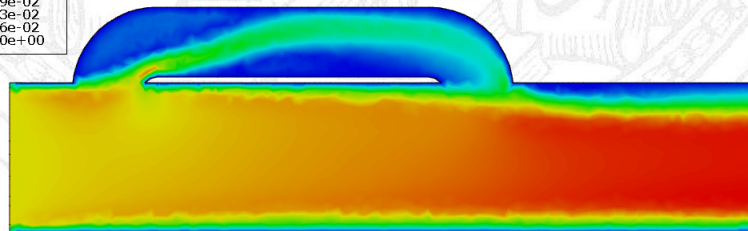
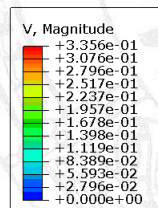
Supervisor: Prof. **Simone Morganti**

Valentina De Monte

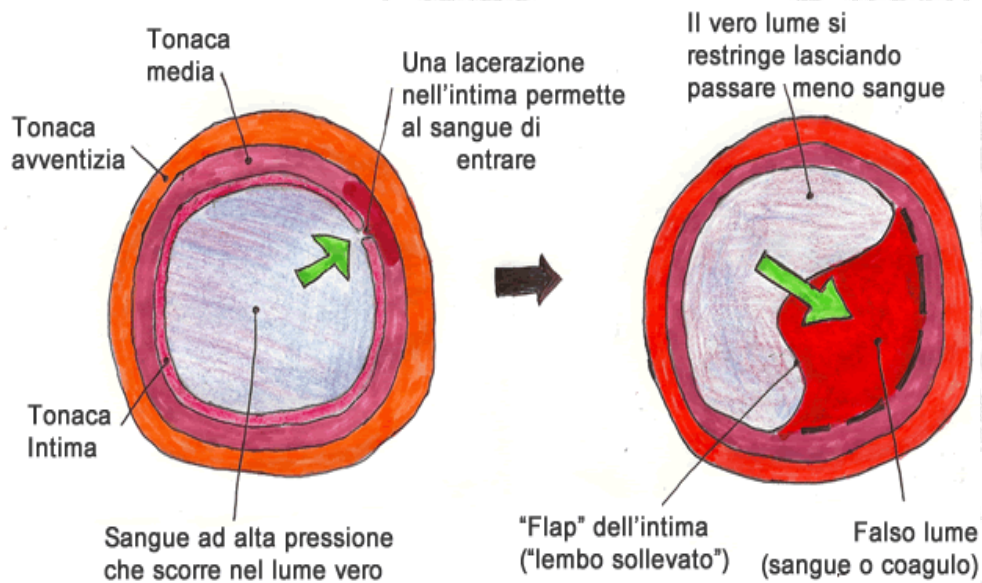
MAT 401198

Anno Accademico: 2014/2015

- **Analisi preliminari dell'emodinamica dell'aorta con il software Abaqus**
 - tutorial fluidodinamici
 - confronto con soluzione analitica di Poiseuille
- **Analisi fluidodinamiche di modelli semplificati di dissezione aortica**



Lacerazione dell'intima aortica e formazione di un falso lume



Cause

- Deterioramento parete del vaso
- Ipertensione
- Arteriosclerosi

Sintomi

- Improvviso e grave dolore toracico
- Perdita di coscienza
- Dispnea
- Sensazione di strappo o taglio

Classificazione

DEBAKEY

- Tipo I: aorta ascendente+discendente
- Tipo II: aorta ascendente
- Tipo III: aorta discendente

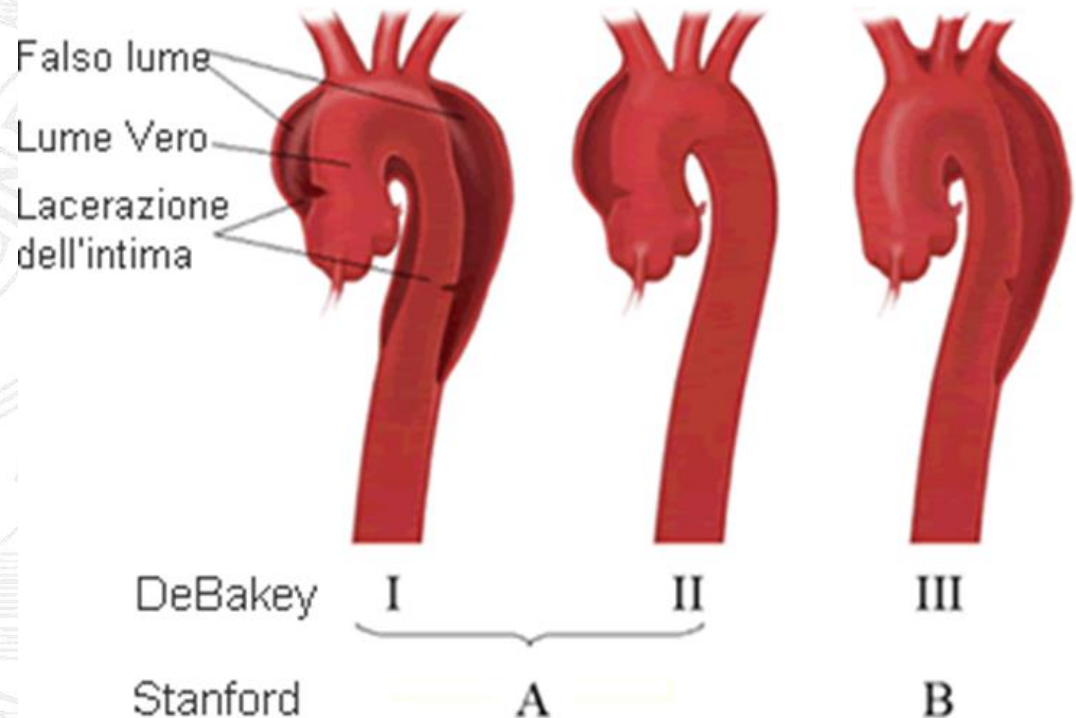
STANFORD

- Tipo A: aorta ascendente
- Tipo B: aorta discendente

Fattori di rischio

- Ipertensione
- Aneurisma
- Sindrome di Marfan

Anatomia e Classificazione della Dissezione Aortica



MODELLI IN VIVO

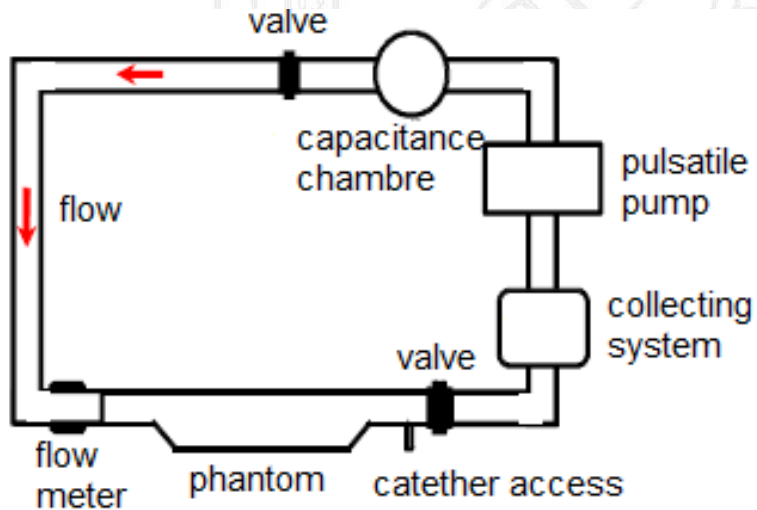
- Fujii (2000)

Riproduzione dissezione nei maiali

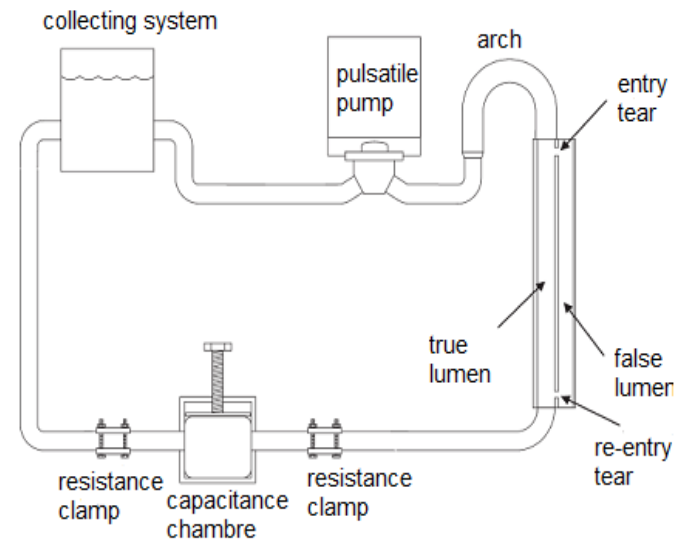
MODELLI IN VITRO

- Tsai (2007)
- Rudenick (2012)

Costruzione apparati sperimentali in laboratorio



Circuito di Rudenick (2012)

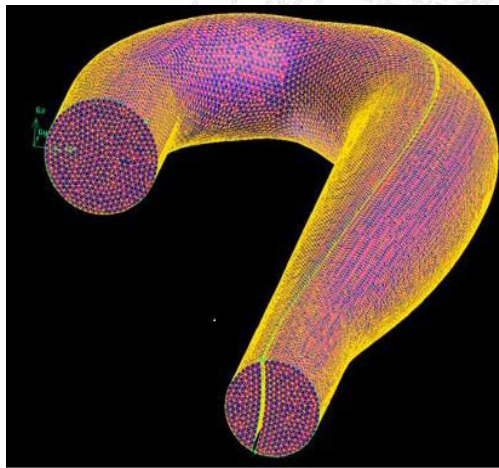


Circuito di Tsai (2007)

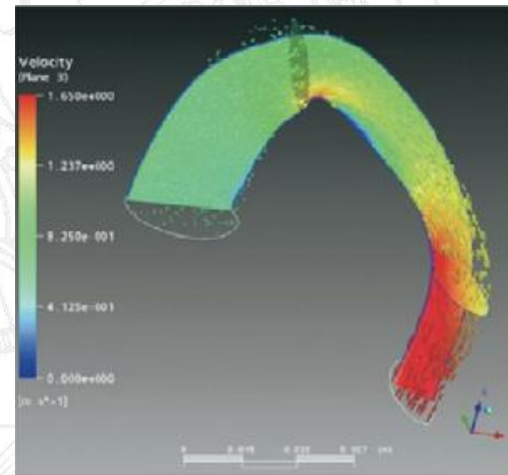
MODELLI IN SILICO

- Fan (2010)
- Naim (2011)
- Tang (2012)
- Karmonik (2011)

Simulazioni computational fluid dynamics (CFD)



Tang (2012)



Naim (2011)

VALIDAZIONE

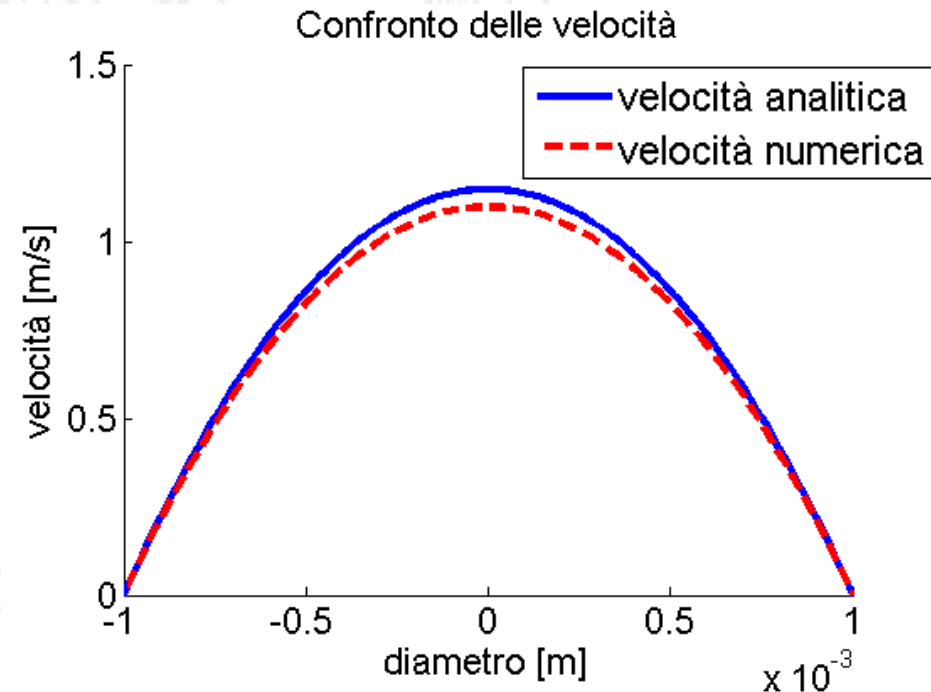
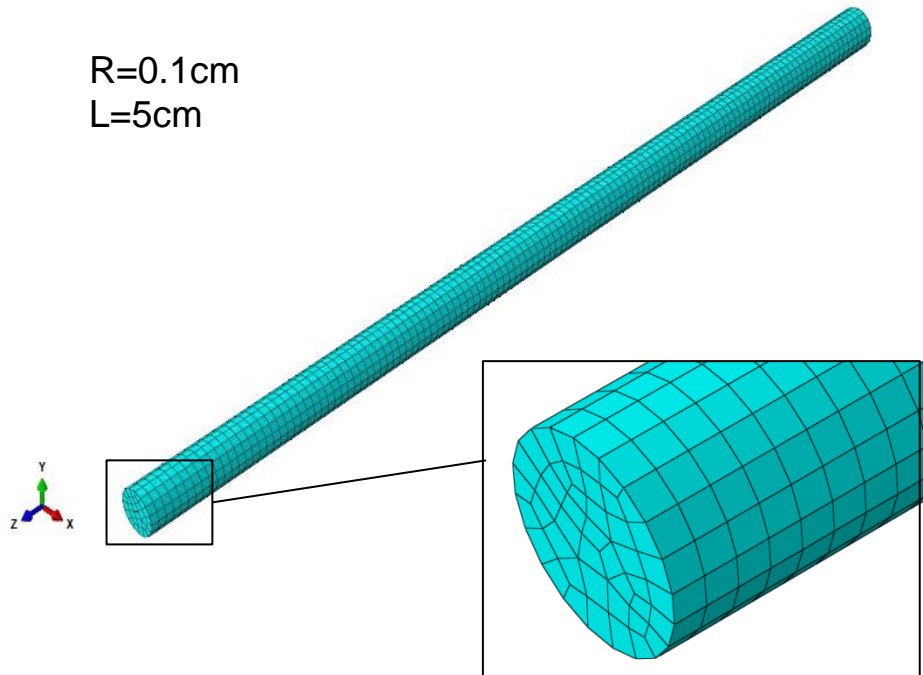
- Rudenick
- Soudah (2013)

Confronto risultati in vitro e computazionali

Primo obiettivo. Confronto tra velocità numerica e analitica

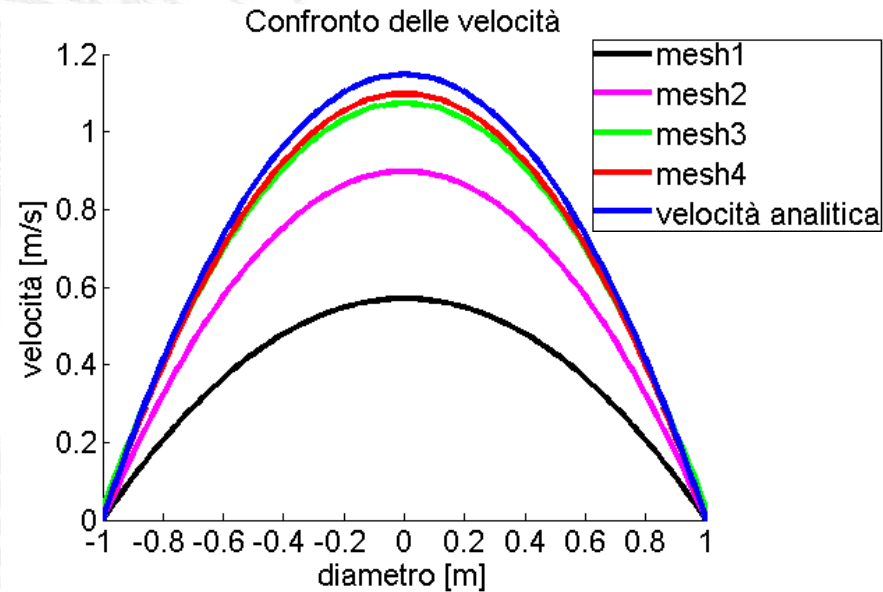
Velocità analitica (flusso di Poiseuille): $u_{an} = \frac{2Q}{\pi R^2} \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$

Velocità numerica: ricavata dai risultati della simulazione CFD effettuata con Abaqus



Analisi di convergenza. Confronto della velocità numerica ricavata dall'analisi CFD con Abaqus con 4 mesh diverse

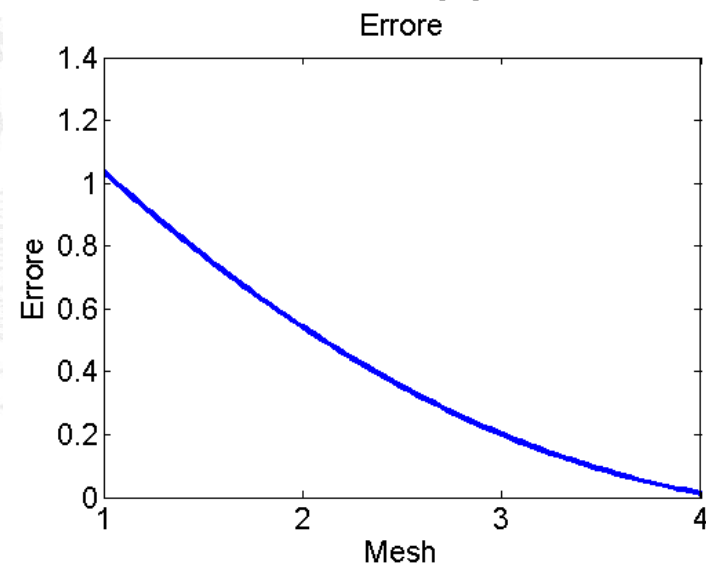
Mesh	# Elem. Sezione	Errore	Durata (min)
1	4	1,011	1
2	12	0,616	2
3	28	0,124	12
4	156	0,038	190



Errore
$$e_i = \frac{|u_{num}^i - u_{an}^i|}{u_{num}^i}$$

Errore totale
$$e \sim \sum_{i=1}^N \frac{e_i}{N}$$

dove N è il numero di elementi della mesh



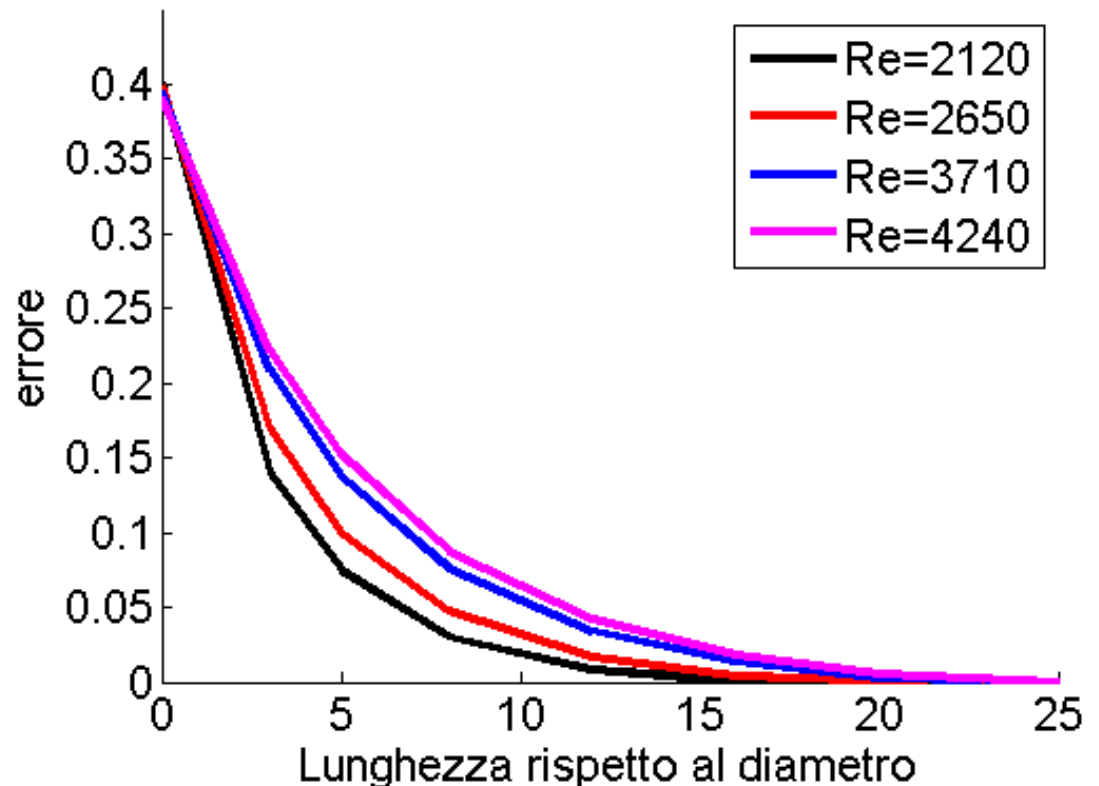
Effetto del numero di Reynolds.

Numero di Reynolds: $Re = \frac{\rho u D}{\mu}$

Mantenendo fissa la mesh (#4) si fa variare la velocità e si calcola l'errore tra la velocità a una distanza xD rispetto a quella ottenuta a $25D$

Errore $e_i = \frac{|u_{xD}^i - u_{25D}^i|}{u_{25D}^i}$

Variazione del numero di Reynolds



Secondo obiettivo. Analisi di modelli di dissezione semplificati

Geometria

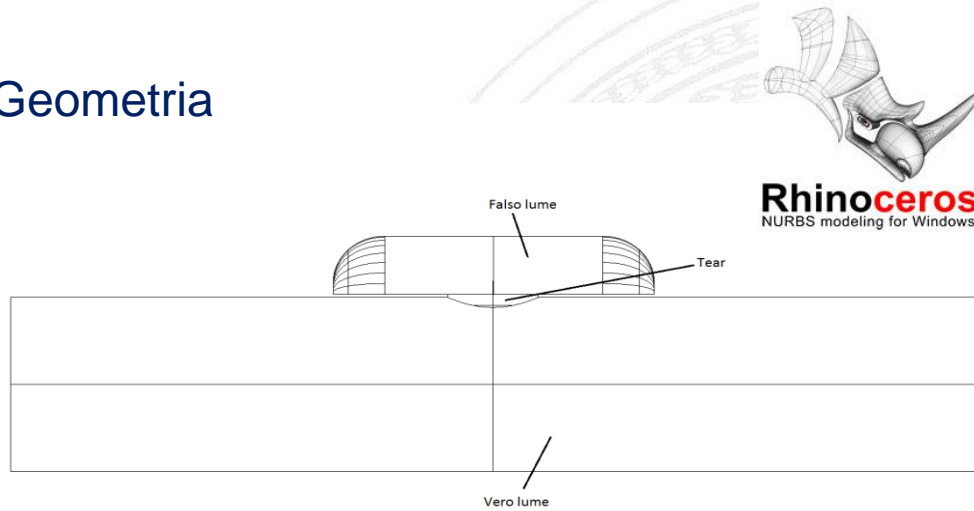
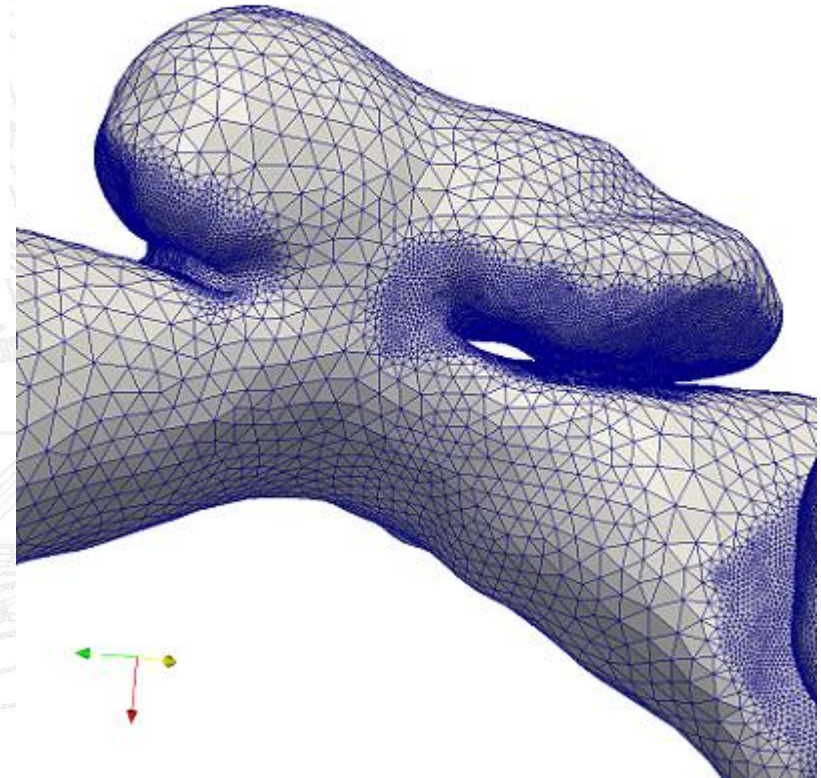
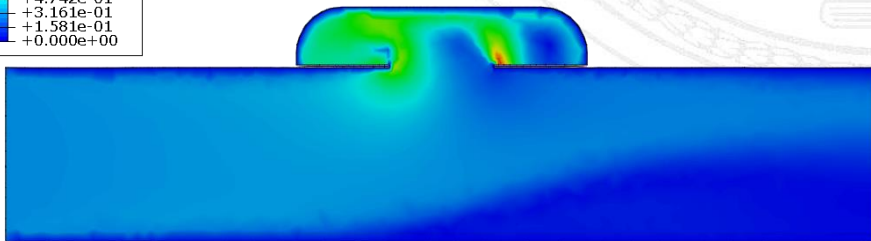
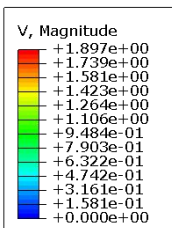


Immagine reale



Risultato della simulazione (velocità)

Re=2385



Un secondo modello di dissezione

Geometria

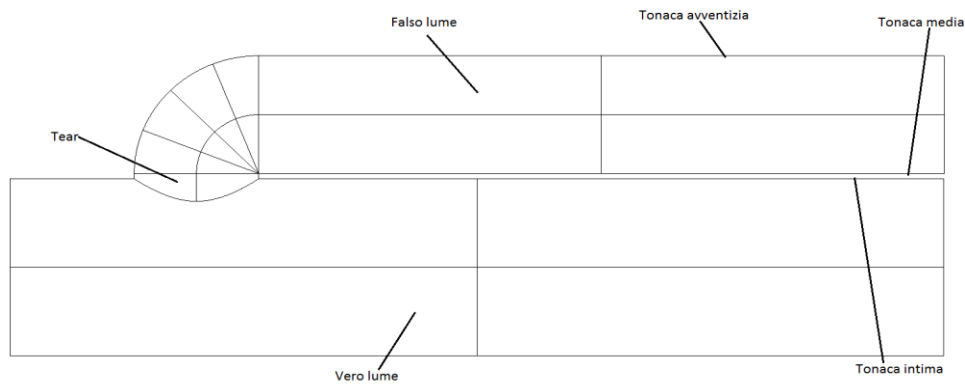
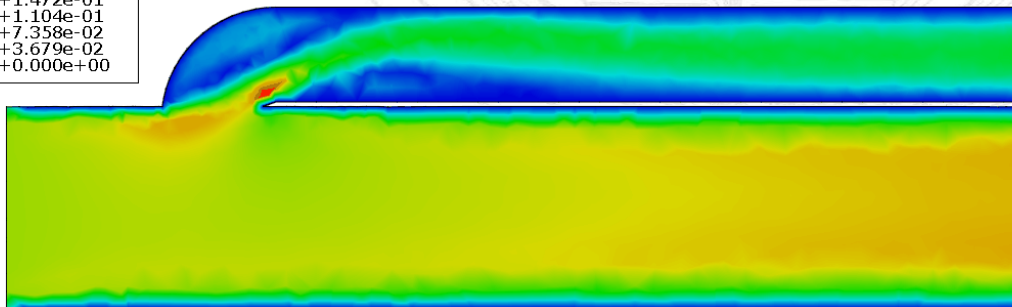
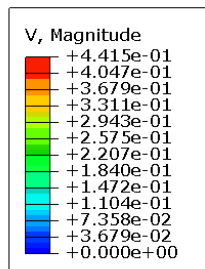


Immagine reale

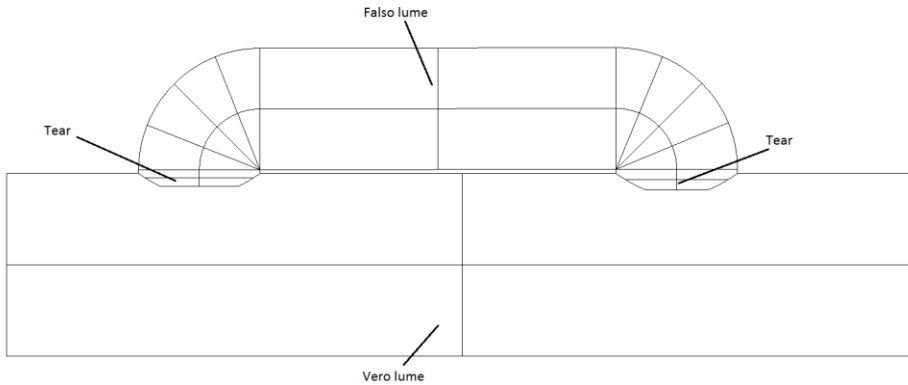


Risultato della simulazione (velocità)

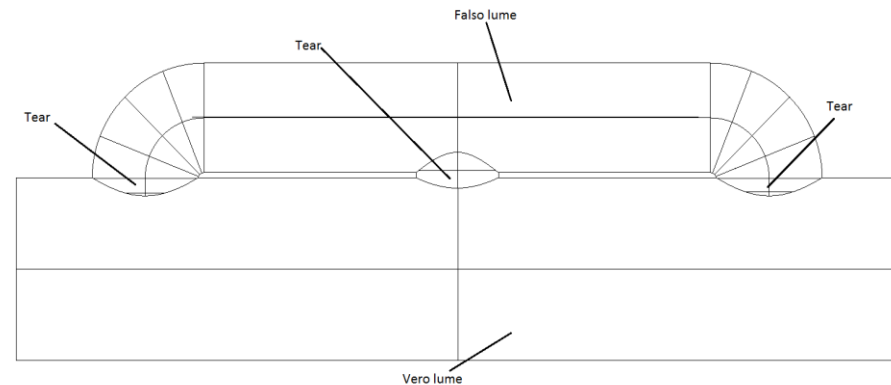


Modelli con più entry tears

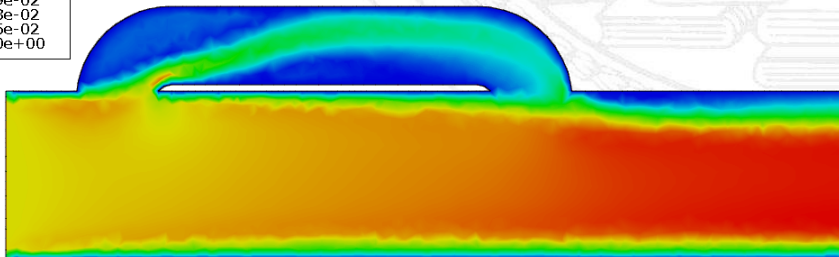
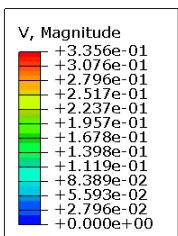
Geometria



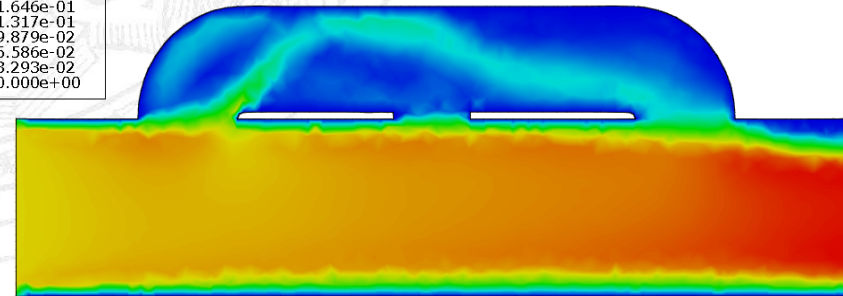
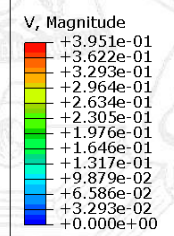
Geometria



Risultato della simulazione (velocità)

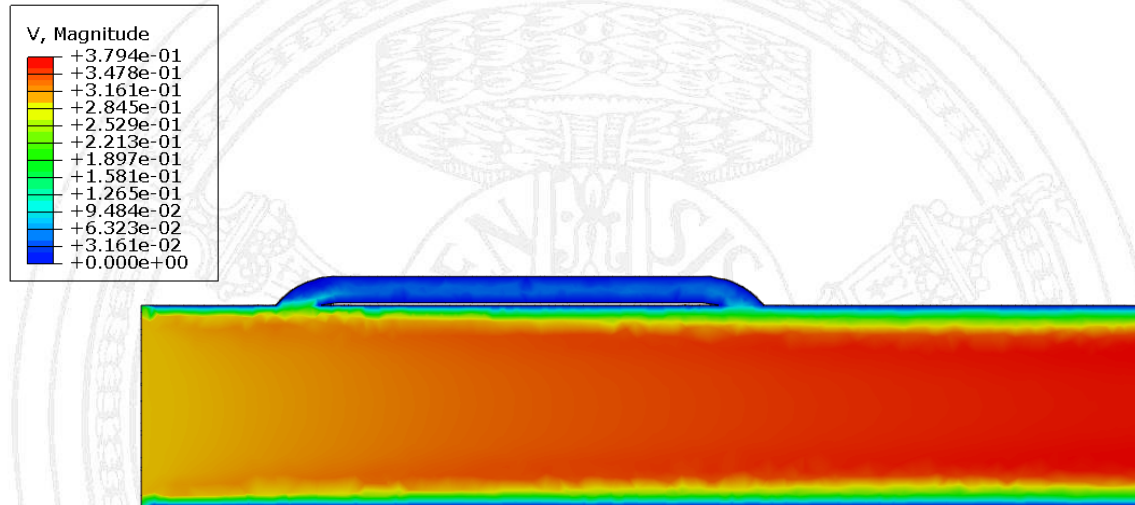


Risultato della simulazione (velocità)

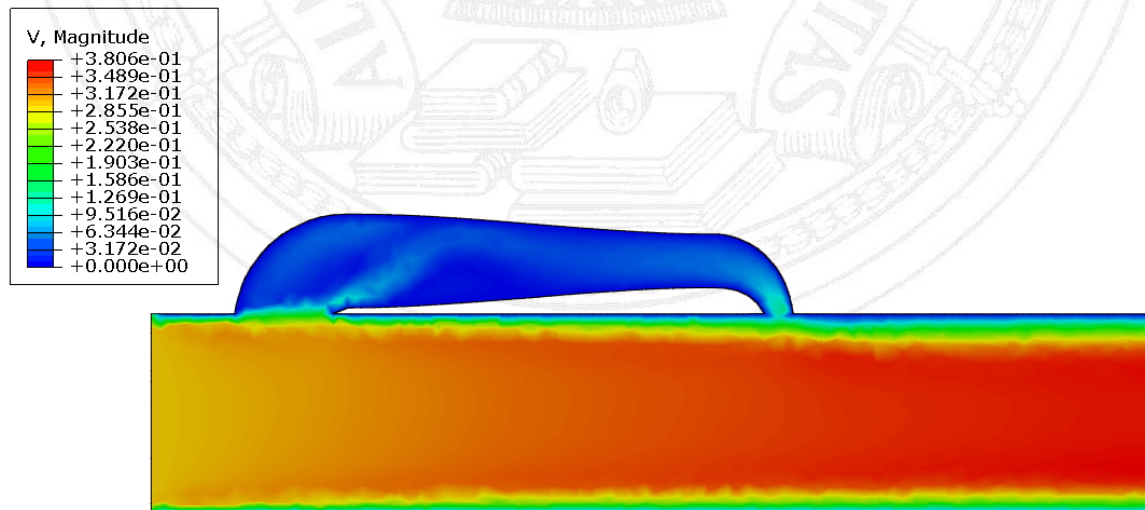


Alcuni esempi di altri modelli simulati

Riduzione della grandezza del falso lume



Riduzione della grandezza del re-entry tear



Conclusioni

Analisi preliminari:

- **Confronto tra velocità analitica e numerica:** tra le due rimangono delle differenze dovute alle approssimazioni effettuate
- **Variazione del numero di elementi della mesh:** aumentando la raffinatezza della mesh diminuisce l'errore ma aumentano i tempi computazionali
- **Effetto del numero di Reynolds:** aumentando la velocità (e quindi Reynolds) il flusso si sviluppa più tardi

Modelli di dissezione: anche se con geometrie semplificate è stato possibile studiare l'emodinamica della dissezione e l'effetto della variazione di alcuni parametri

Sviluppi futuri

- **Validazione dei modelli:** confronto dei dati provenienti dai modelli in silico con quelli da esperimenti in-vitro
- **Geometrie realistiche:** basare le geometrie su immagini provenienti da TAC
- **Condizioni al contorno più realistiche:** dare in ingresso profili di velocità parabolici e imporre in uscita delle resistenze fluidodinamiche
- **Analisi FSI (Fluid Structure Interaction):** passare da analisi CFD (pareti rigide) ad analisi FSI (pareti deformabili)