

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PAVIA
FACOLTA' DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E DELL'INFORMAZIONE
CORSO DI LAUREA IN BIOINGEGNERIA

**Modello di condizioni al bordo per la circolazione coronarica e analisi di
sensività**

Candidato: Francesco Accetta

Relatore: Prof. Michele Conti+-

Tutor: Eng. R. Romarowski (IRCCS Policlinico San Donato)

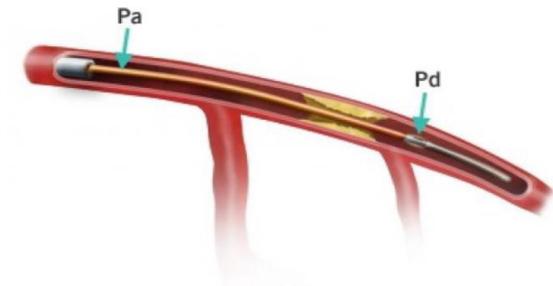
- **Stenosi:** condizione **patologica** che consiste nel restringimento di un vaso sanguigno o di un organo cavo.
 - **Cause:** congenita, alimentazione scorretta, infezioni batteriche, invecchiamento.
 - **Rischi:** ischemia, infarto, ictus.
- Non sempre necessita di intervento chirurgico.

Patient-Specific Coronary Flow Modeling



- Valutazione della **pericolosità** del restringimento:
 - Criterio **geometrico** (percentuale restringimento).
 - Criterio **fisiologico** (**FFR**, Fractional Flow Reserve).
 - **FFR**=Rapporto tra le Pressioni ai capi del tratto stenotico (Pa, Pd) oppure $Q_{stenosi}/Q_{normale}$

$$FFR = \frac{\text{Distal Coronary Pressure (Pd)}}{\text{Proximal Coronary Pressure (Pa)}} \\ \text{(During Maximum Hyperemia)}$$



- Misurare **FFR**:
 - **Angiografia**, rappresentazione, tramite tecniche di imaging, del sistema arterioso. È un metodo **invasivo**.
 - Ecodoppler, TAC o **simulazioni** tramite **modelli**, tecniche **non invasive**.

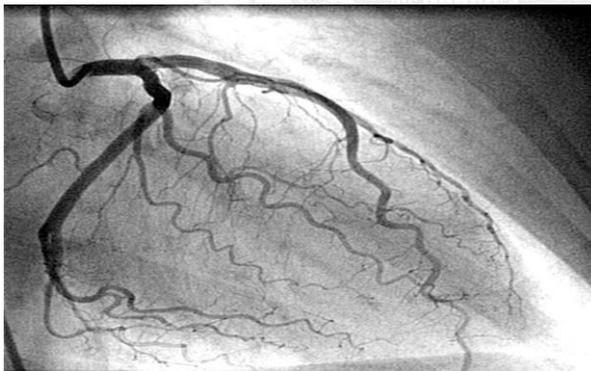
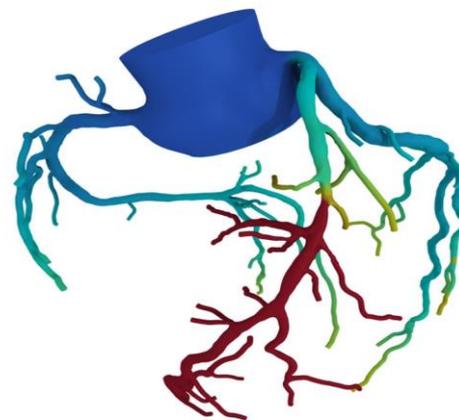
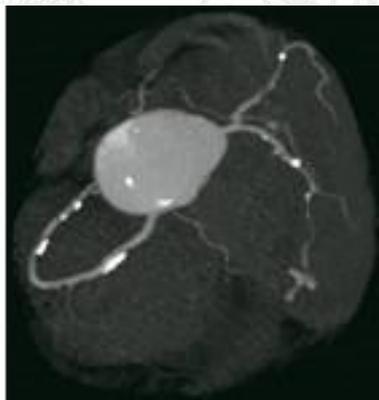


Immagine risultata da un'angiografia coronarica.

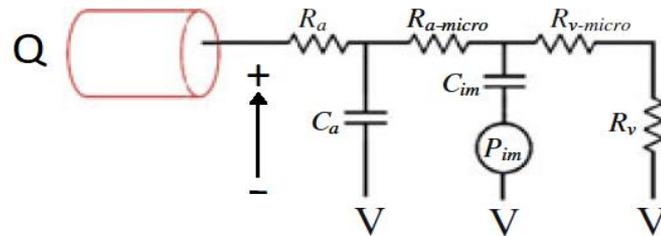
- Misura non invasiva del **FFR-CT**:
 - TAC → immagini dell'anatomia delle arterie coronarie.
 - **Valutazione del flusso con modelli 3D e simulazioni computazionali** .
 - Valutazione entità della patologia.



- **Obiettivo: Modello di circolazione coronarica** che riassume e misura adeguatamente le forme d'onda di flusso e pressione sanguigna, al fine di avviare una **analisi di sensitività** e vedere, a seguito di eventuali errori di misura, come si modifica il flusso o la pressione.

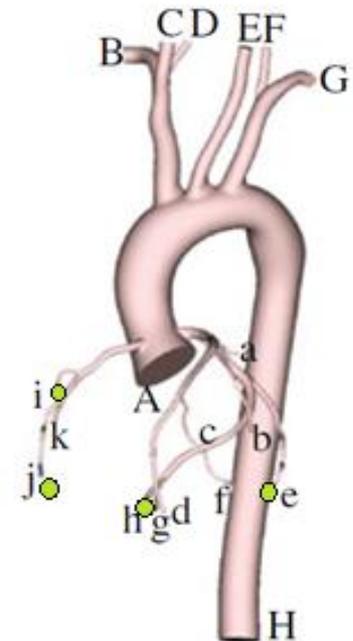
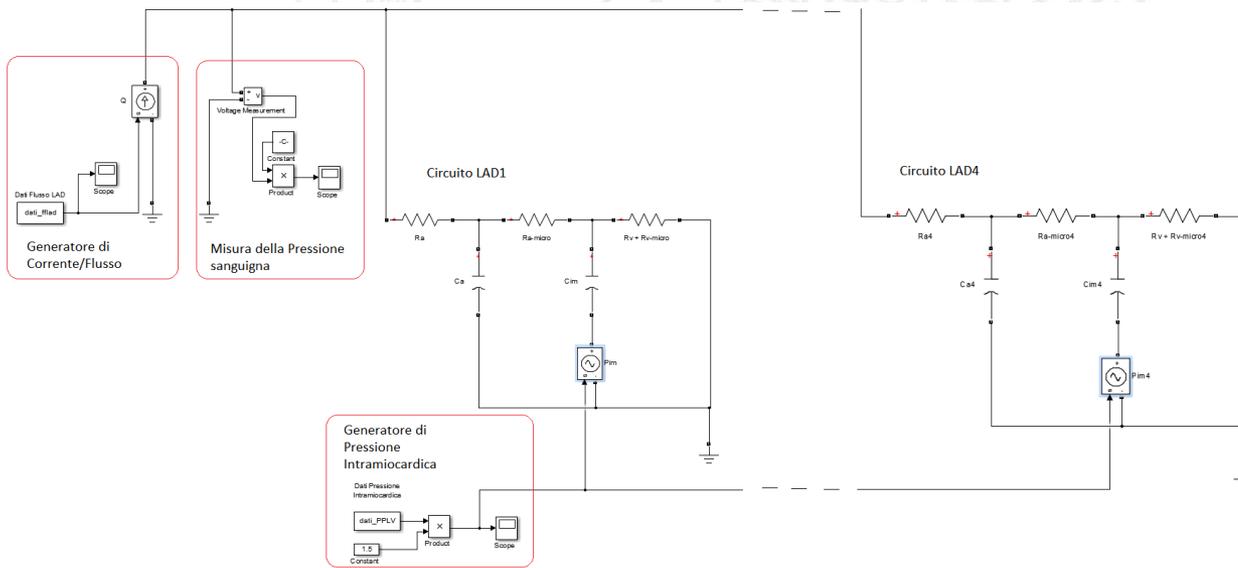
➤ Il circuito sviluppato è il seguente:

a-k: Coronary outlets - coupled to lumped parameter coronary vascular model

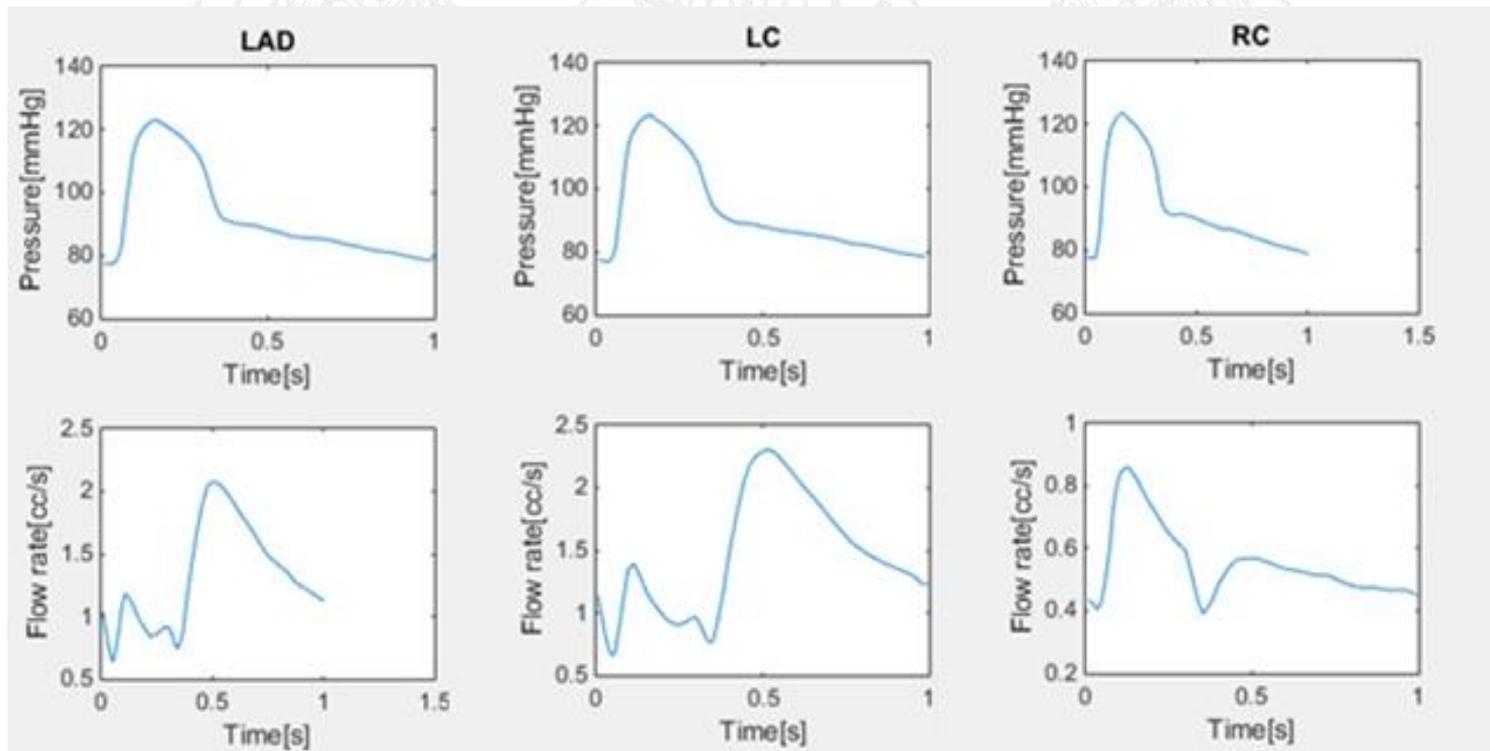


- **R_a** , Resistenza arteria coronaria.
 - **R_{a_micro}** , Resistenza della microcircolazione dell'arteria coronaria.
 - **R_v ed R_{v_micro}** , Resistenze venose.
 - **C_a e C_{im}** , valori di capacitanza (compliance) dell'arteria coronaria. Capacità dei vasi sanguigni di **dilatarsi e restringersi** sotto effetto della pressione sanguigna.
 - **P_{im}** , pressione intramiocardica.
- I valori di Resistenza e Capacità sono disponibili in letteratura.

- Il circuito verrà collegato ad ogni singola arteria coronaria (**condizioni al bordo**).
- Prendendo in esame un gruppo di arterie coronarie (per es. LAD), il circuito verrà ripetuto per quante sono le arterie che formano il gruppo (4). Le reti risultanti verranno poi collegate in parallelo per la disposizione delle arterie coronarie.

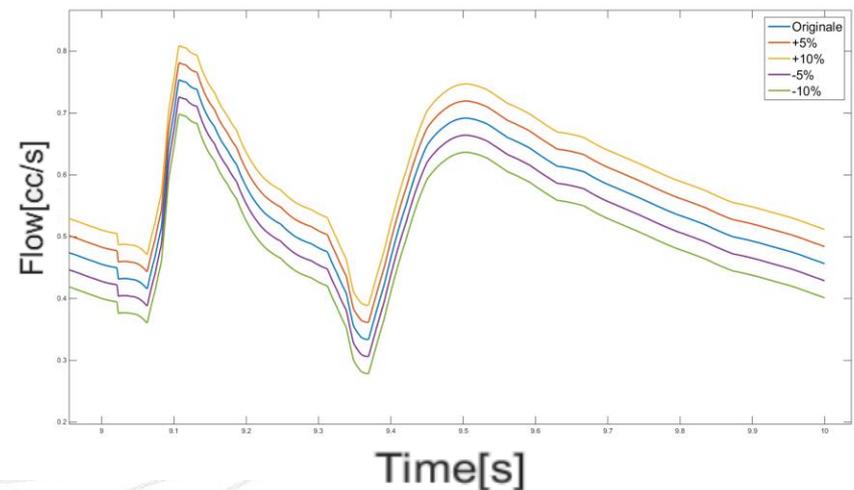
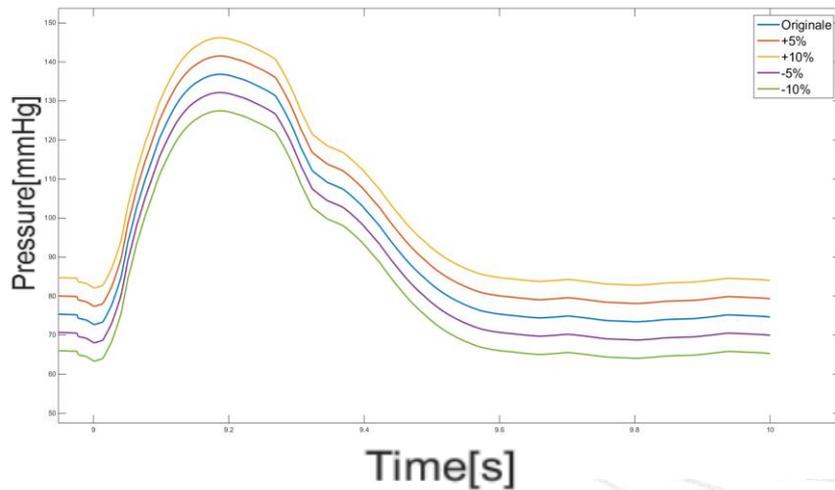


- **Le forme d'onda/ingresso** del circuito (flusso o pressione):
 - disponibili in letteratura
 - Web Plot Digitizer → Matlab
- Risultato delle forme d'onda campionate ed importate in Matlab:



Scenario dell'analisi di sensitività e Workflow

- Ambito ospedaliero: **misure non sempre robuste**. Con l'analisi di sensitività possiamo capire quanto questi errori impattano sul risultato finale e, con le dovute considerazioni, prendere delle decisioni.
- Analisi di sensitività: **pressione e flusso sanguigno medio**.
 - incremento e decremento del 5% e del 10% della media.

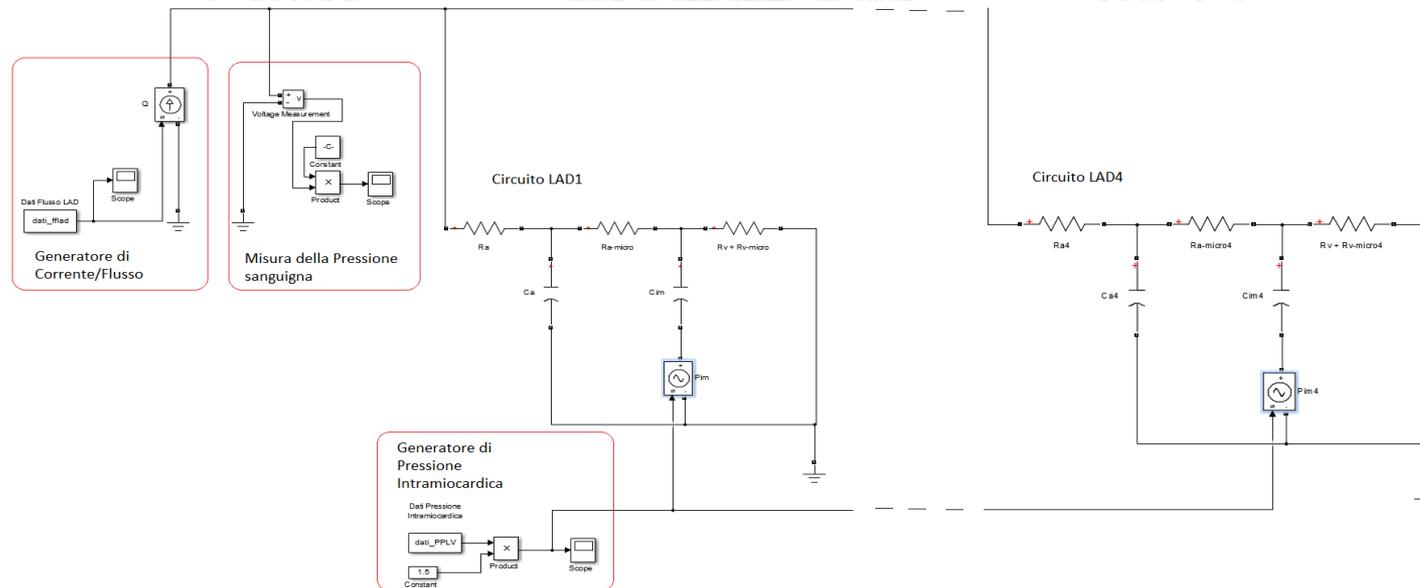


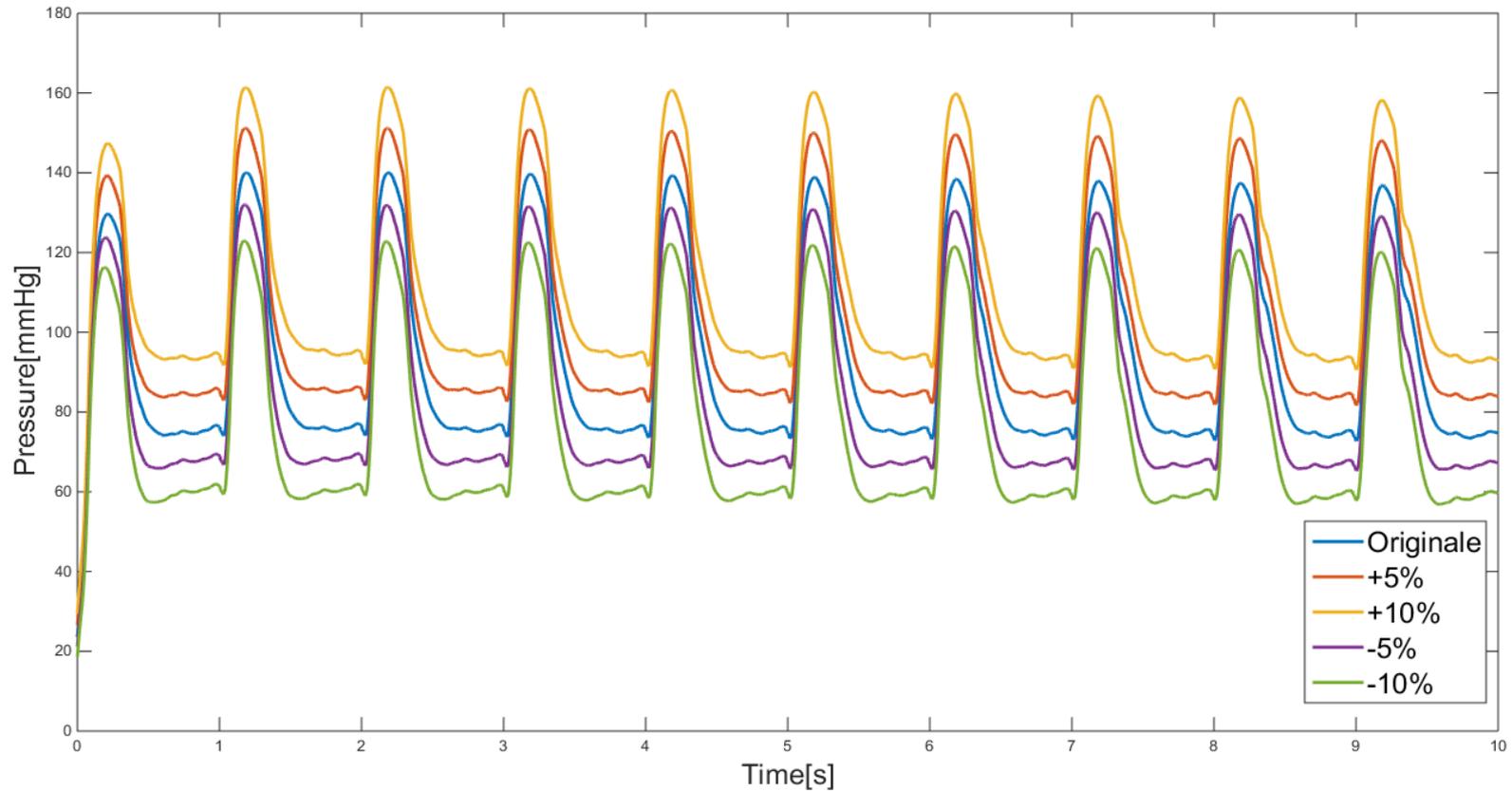
Workflow: Derivazione Resistenze variate

- **Resistenza totale media variata** del gruppo delle arterie coronarie: rapporto tra pressione media originale ed il flusso variato di $\pm 5/10\%$
 - Contrario: risultati simili.
- **Fattore F** = Resistenza media variata/Resistenza media originale. Si ottiene un **rapporto di variazione** tra la forma d'onda originale e quella variata (stesso per il flusso).
- **F * Resistenza Totale originale delle RCA = nuova Resistenza totale variata**
- **F* Resistenza Totale singola RCA = nuova resistenza variata singola RCA**

Analisi di sensitività - Workflow (2)

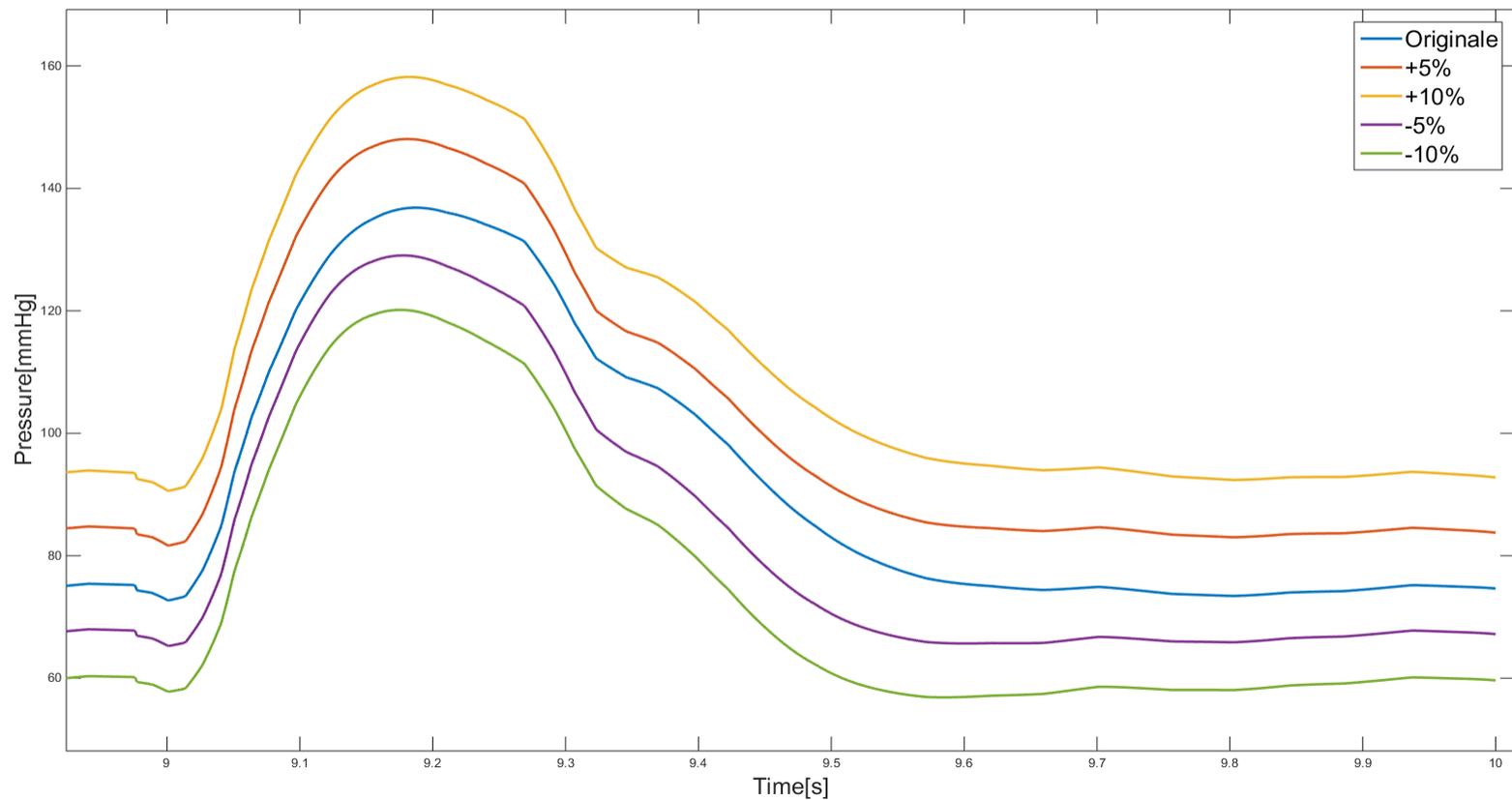
- Con la proporzione $R_a : R_{a_micro} : R_{v_tot} = 0.32 : 0.52 : 0.16$ si ricavano le nuove resistenze R_a , R_{a_micro} , R_{v_tot} , variate del $\pm 5/10\%$.



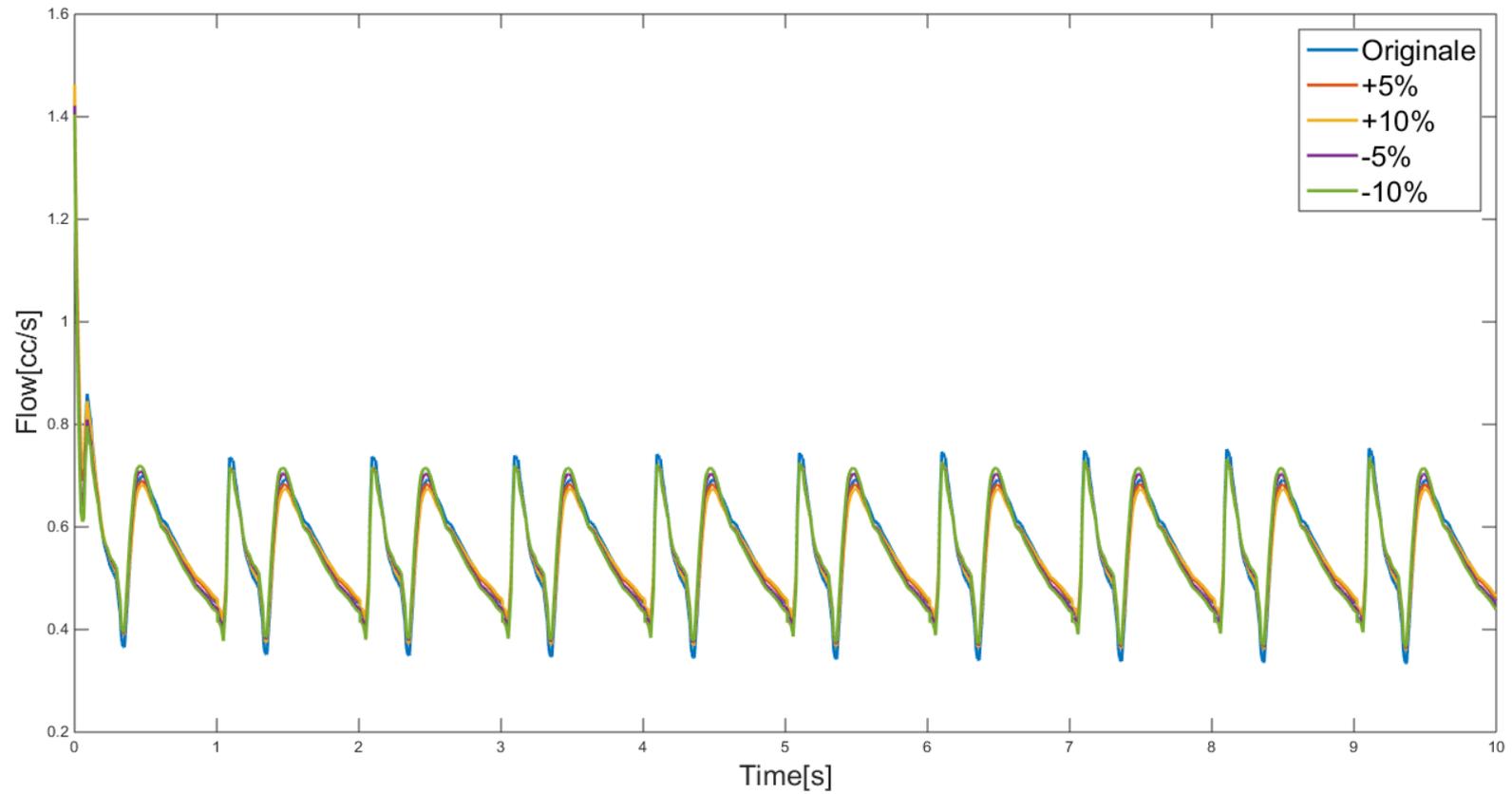


- Forma d'onda della pressione, ripetuta per 10 cicli per evitare i problemi del transitorio.

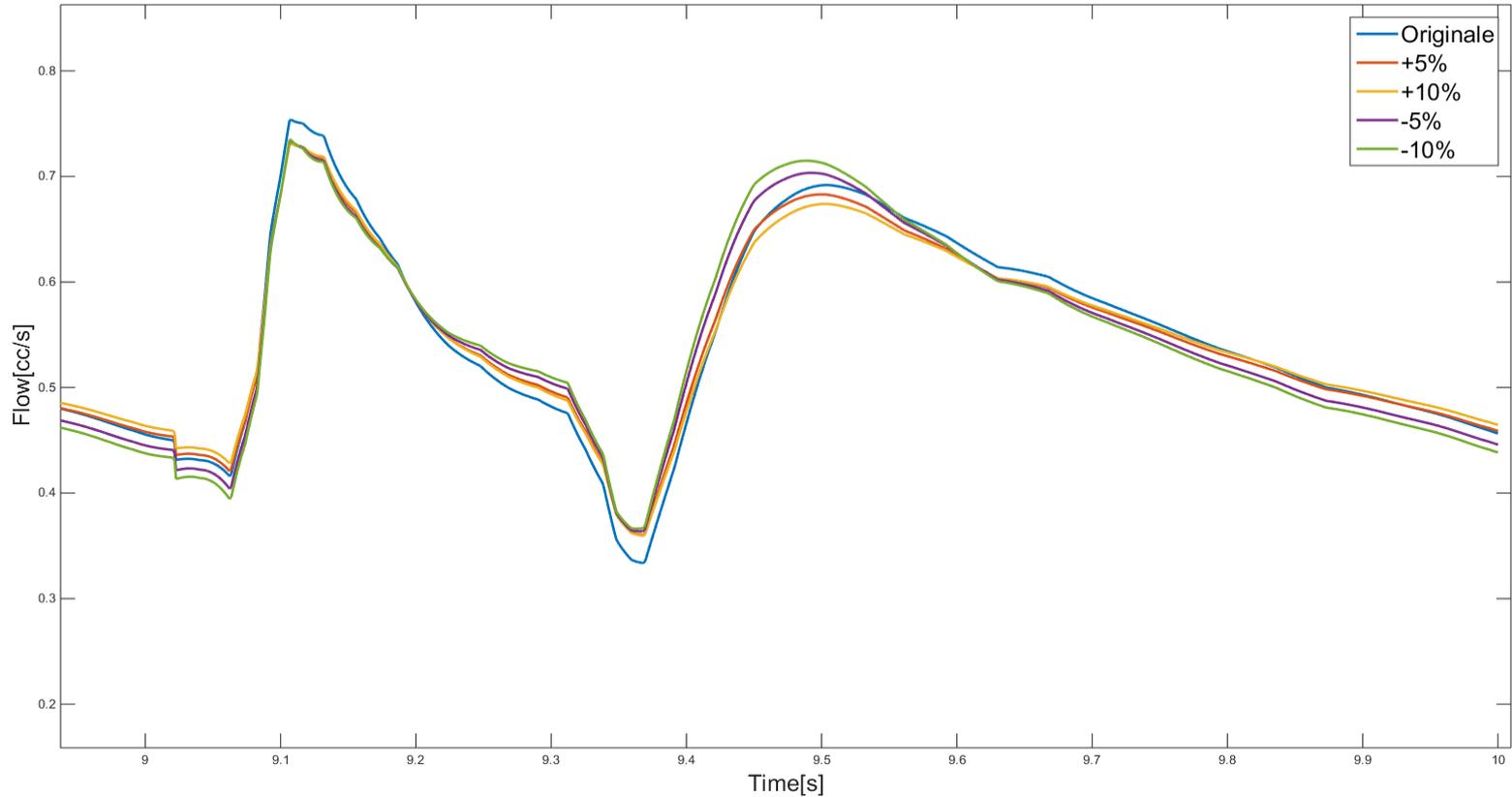
Risultati analisi di sensitività (2)



➤ Dettaglio di un ciclo di pressione.

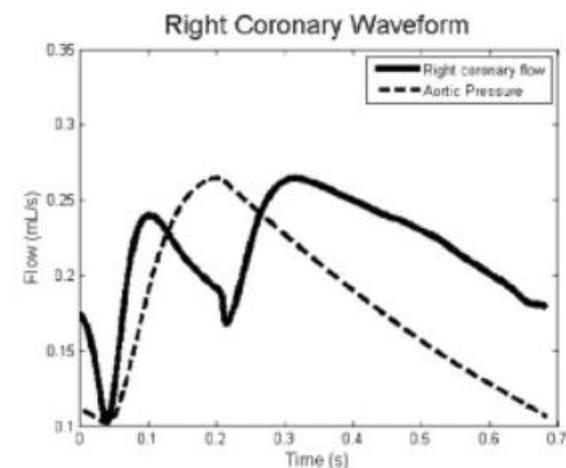
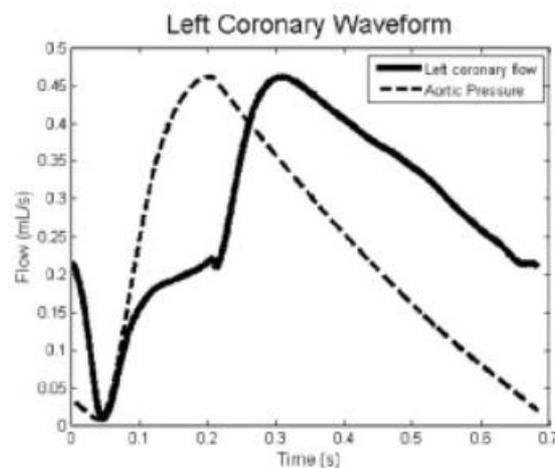


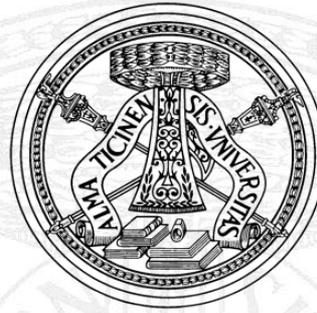
➤ Forma d'onda del flusso.



➤ Dettaglio della forma d'onda del flusso.

- Ingresso flusso: la pressione varia linearmente del **2N%** rispetto all'incremento/decremento percentuale.
 - Curve **ben distinguibili** tra loro
 - rispettano l'incremento o il decremento
- Ingresso pressione: **non c'è una relazione univoca**.
 - le curve misurate del flusso si confondono
 - incremento percentuale pressione → decremento della curva del flusso.
 - **comportamento imprevisto**.
- Come si vede dal grafico, il decremento del flusso è un comportamento che ci aspettiamo:





UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PAVIA
FACOLTA' DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E DELL'INFORMAZIONE
CORSO DI LAUREA IN BIOINGEGNERIA

**Modello di condizioni al bordo per la circolazione coronarica e analisi di
sensività**

Candidato: Francesco Accetta

Relatore: Prof. Michele Conti+-

Tutor: Eng. R. Romarowski (IRCCS Policlinico San Donato)

-
- Labview, altro software di progettazione di sistemi.
 - Analogie idraulico elettriche: in realtà la resistenza idraulica non è proprio uguale a quella vascolare: infatti essa dipende dal quadrato della portata (corrente) e non dipende linearmente da essa come nei circuiti elettrici.
 - L' equivalenza con i circuiti elettrici è tuttavia pressoché totale nel caso degli altri elementi, soprattutto per quel che riguarda le pompe
 - Possiamo usare le leggi dell'elettrotecnica perché il circuito è a parametri concentrati
 - Tipo di modello: analogico, parametri concentrati (no eq. differenziali, lunghezza circuito trascurabile)

➤ Es. Processo di validazione

Validazione

