



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

DIPARTIMENTO INGEGNERIA E ARCHITETTURA

Prof. Ing. Gianni Pedrizzetti, PhD

Corso di BIOFLUIDODINAMICA – Laurea Magistrale in Ingegneria Clinica.

## PROGRAMMA DEL CORSO (9CFU)

### A. ELEMENTI INTRODUTTIVI

#### 1. Concetti di base:

Definizioni generali, natura corpuscolare, schema di continuo e leggi che governano la meccanica. Materiali solidi, elasticità. Materiali fluidi, viscosità. Cenni di anatomia umana e fisiologia del sistema cardiovascolare. Microcircolazione e circolazione nei grandi vasi: trasporto e diffusione. Altri tipi di moto fluido di rilevanza clinica. Analisi dimensionale, numeri puri.

#### 2. Statica dei fluidi

Equazioni integrali e differenziali della statica. Distribuzione della pressione, carico piezometrico. Misura della pressione. Forze su superfici piane. Esempi. Forze su superfici curve. Esempi.

#### 3. Cinematica

Richiami: operatore Nabla, teoremi di Gauss e di Stokes. Descrizione Lagrangiana e Euleriana. Suddivisione del moto fluido in traslazione, rotazione e deformazione, linee di corrente e traiettorie. Teorema del trasporto.

### B. LEGGI DI CONSERVAZIONE

#### 4. Conservazione della massa

Equazioni integrali di conservazione della massa. Equazione di continuità per le correnti. Equazione di continuità in forma differenziale e suo significato.

#### 5. Conservazione della quantità di moto

Equazioni integrali di conservazione della quantità di moto. Equazioni di conservazione della quantità di moto per le correnti. Equazioni differenziali di conservazione della quantità di moto. Equazione di Cauchy. Equazioni costitutive per il sangue, modello Newtoniano. Equazioni di Navier-Stokes, condizioni al contorno e fluidi ideali. Definizione di correnti rettilinee.

#### 6. Conservazione dell'energia (Bernoulli)

Teorema di Bernoulli per i fluidi ideali, velocità Torricelli, foronomia. Il concetto del tubo di Pitot e le misure emodinamiche. Utilizzo del bilancio di Bernoulli per il calcolo delle perdite di pressione valvolari. Perdite di energia localizzate ed estensione del teorema di Bernoulli in presenza di fenomeni dissipativi. Correzione del teorema di Bernoulli per correnti.

### C. METODI ELEMENTARI: MOTO PREVALENTEMENTE UNIDIREZIONALE

#### 7. Moto unidirezionale in condotti rettilinei

Concetto di strato limite; moto che incontra una superficie piana e moto di una superficie piana. Sviluppo dello strato limite all'ingresso di un condotto. Moto piano uniforme e stazionario: scorrimento, tra due pareti. Moto in un vaso circolare, profilo di Poiseuille. Moto pulsante in un vaso circolare; numeri di Reynolds, Womersley, Strouhal; differenze del moto tra vasi grandi e vasi piccoli.

#### 8. Elementi di turbolenza

Cenni preliminari di turbolenza. Equazioni di Reynolds. Moto mediamente unidirezionale nei pressi di una parete. Leggi di resistenza per moto turbolento in condotti circolari.

#### 9. Moto quasi unidirezionale nei grandi vasi

Bilancio di massa nei vasi con riduzione di sezione e ramificazioni. Moto in condotti curvi. Deformazione di condotti elastici. Moto in condotti elastici, celerità. Propagazione impulsi nella rete vascolare. Moto in condotti collassabili.

#### **D. METODI AVANZATI: MOTO CON SEPARAZIONE**

##### **10. Vorticità e separazione dello strato limite**

Concetto di vorticità. Decomposizione di Stokes. Strato limite come strato vorticoso. Equazione della vorticità. Separazione dello strato limite e formazione di vortici. Formazione di anelli vorticosi. Interazione tra vortici, interazione tra vortici e pareti. Instabilità del moto laminare e sviluppo di turbolenza.

##### **11. Moto separato nei grandi vasi**

Concetto del WSS. Fluidodinamica e nascita e sviluppo di arteriosclerosi. Flussi cardiovascolari con separazione dello strato limite: variazioni di sezione, biforcazioni, ramificazioni e valvole. Stenosi nelle carotidi, nelle coronarie. Conseguenze, soluzioni terapeutiche, soluzioni chirurgiche. Fluidodinamica e aneurismi. Aneurismi aortici ed addominali: nascita, sviluppo. Conseguenze, soluzioni terapeutiche, soluzioni chirurgiche.

##### **12. Meccanica Cardiaca I**

Anatomia del cuore, camere, valvole e l'importanza del ventricolo sinistro. Il ciclo cardiaco elettromeccanico. Fasi dinamiche di deformazione, flussi volumetrici, pressioni. Moto fluido all'interno del cuore. Formazione di vortici. Scomposizione del moto fluido in termini di transito. Forze dinamiche intraventricolari. Fluidodinamica di patologie cardiache: ischemia, scompenso.

##### **13. Meccanica Cardiaca II**

Valvola aortica: condizioni naturali e patologiche. Stenosi, insufficienza e rigurgito; conseguenze, soluzioni terapeutiche, soluzioni chirurgiche, valvole artificiali. Flusso transmitrale: condizioni naturali e patologiche. Stenosi, insufficienza e rigurgito; conseguenze, soluzioni terapeutiche, soluzioni chirurgiche, valvole artificiali. Malformazioni cardiache. Tetralogia di Fallot.

#### **TESTI DI CONSULTAZIONE:**

- Pedrizzetti G. *An Introduction to Fluid Mechanics for Cardiovascular Engineering*. Lecture Notes, 2018.
- Rubenstein DA, Yin W, Frame MD. *Biofluid Mechanics: An introduction to fluid mechanics, macrocirculation, microcirculation* – 2nd ed. Acad Press, 2015.
- Kundu PK, Cohen IM, Dowling DR. *Fluid Mechanics* - 5th ed. Acad Press, 2012.
- Caro CG, Pedley TJ, Schroter RC, Seed WA. *The Mechanics of the Circulation* - 2nd ed. Cambridge Univ Press, 2012.
- Kheradvar A, Pedrizzetti G. *Vortex formation in the Cardiovascular System*. Springer, 2012.