

Indice

| | |
|--|-----------|
| Prefazione | 6 |
| Simbologia | 9 |
| 1 Obiettivi del percorso | 21 |
| 1.1 Oggetto e finalità | 21 |
| 1.2 Contenuti | 23 |
| 2 Proprietà fisiche dei liquidi | 25 |
| 2.1 Incomprimibilità | 26 |
| 2.2 Viscosità | 29 |
| 2.2.1 Modello newtoniano | 32 |
| 2.2.2 Flusso di Couette | 33 |
| 2.2.3 Modelli non-newtoniani | 34 |
| 2.2.4 Modello di Bingham | 35 |
| 2.2.5 Modello biviscoso | 35 |
| 2.2.6 Misure di viscosità | 36 |
| 2.3 Turbolenza | 39 |
| 2.3.1 Rappresentazione di Reynolds | 41 |
| 2.3.2 Sforzi di Reynolds | 42 |
| 3 Il sangue | 45 |
| 3.1 Composizione | 45 |
| 3.2 Viscosità | 47 |
| 3.2.1 Modello sperimentale di Casson | 48 |
| 3.2.2 Modello di Quemada | 49 |
| 3.3 Flussi turbolenti | 51 |
| 3.3.1 Emolisi degli sforzi turbolenti | 52 |
| 4 Fluidodinamica dei liquidi semplici e flusso in condotti | 55 |
| 4.1 Equazioni di conservazione: generalità | 56 |
| 4.2 Equazioni di conservazione | 58 |
| 4.2.1 Conservazione della massa | 61 |
| 4.2.2 Conservazione della quantità di moto | 62 |
| 4.3 Flusso in condotti | 63 |
| 4.3.1 Trasformazione in coordinate cilindriche della conser- vazione della massa e della quantità di moto | 64 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.4 | Flusso in condotti rigidi a sezione uniforme e curvatura nulla | 68 |
| 4.4.1 | Flusso in regime stazionario (<i>legge di Hagen-Poiseuille</i>) | 70 |
| 4.4.2 | Flusso in regime pulsatile (soluzione di Womersley) . . | 73 |
| 4.4.3 | Flusso monodimensionale in regime non stazionario: metodo alle caratteristiche | 77 |
| 4.5 | Flusso in condotti rigidi a sezione variabile o curvi | 82 |
| 4.5.1 | Separazione del flusso | 82 |
| 4.5.2 | Flussi secondari | 85 |
| 4.6 | Flusso in condotti deformabili | 87 |
| 4.6.1 | Flusso monodimensionale in regime non stazionario: metodo alle caratteristiche | 88 |
| 5 | Modelli meccanici dei vasi e interazione dinamica fluido- struttura | 93 |
| 5.1 | Struttura dei vasi | 94 |
| 5.1.1 | Sistema arterioso | 97 |
| 5.1.2 | Sistema venoso | 98 |
| 5.1.3 | Capillari | 98 |
| 5.2 | Modelli meccanici: generalità | 98 |
| 5.2.1 | Piccole deformazioni | 100 |
| 5.2.2 | Modello elastico lineare | 103 |
| 5.2.3 | Modello viscoelastico lineare | 106 |
| 5.3 | Modelli meccanici dei vasi | 107 |
| 5.3.1 | Meccanica delle arterie | 110 |
| 5.3.2 | Meccanica delle vene | 112 |
| 5.3.3 | Modelli elastico e viscoelastico | 112 |
| 5.3.4 | Compliance | 115 |
| 5.4 | Dinamica della parete vasale nelle arterie (grandi ed intermedie) | 116 |
| 5.4.1 | Equazione di moto nel <i>independent ring model</i> | 117 |
| 5.4.2 | Modelli elastico e viscoelastico | 119 |
| 5.5 | Accoppiamento dinamico fluido-struttura nelle arterie (grandi ed intermedie) | 119 |
| 5.5.1 | Equazioni di moto del fluido e della parete, condizioni al contorno | 120 |
| 5.5.2 | Caso elastico quasi-stazionario | 121 |
| 6 | Microcircolazione | 123 |
| 6.1 | Fenomenologia | 125 |
| 6.1.1 | Effetto Fahraeus-Lindqvist e <i>skimming</i> del plasma . . | 126 |
| 6.1.2 | Effetto Fahraeus | 127 |
| 6.1.3 | Migrazione esterna delle particelle | 128 |
| 6.2 | Modelli di mesoscala | 130 |
| 6.2.1 | Fluidi immiscibili, flusso stazionario | 131 |
| 6.2.2 | Miscela di fluidi, flusso instazionario | 133 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 6.3 | Modelli a particella | 136 |
| 6.3.1 | Sospensione diluita di particelle solide | 137 |
| 7 | Modelli del sistema circolatorio arterioso | 139 |
| 7.1 | Modelli parametrici | 141 |
| 7.1.1 | Modelli a parametri concentrati | 142 |
| 7.1.2 | Modelli a parametri distribuiti | 148 |
| 7.2 | Modelli del sistema circolatorio delle grandi arterie | 150 |
| 7.2.1 | Condizioni al contorno | 152 |
| 8 | Modelli numerici | 155 |
| 8.1 | Discretizzazione del dominio spaziale | 156 |
| 8.2 | Linearizzazione delle equazioni | 159 |
| 8.2.1 | Differenze finite | 160 |
| 8.2.2 | Volumi finiti | 165 |
| 8.3 | Implementazione delle condizioni al contorno e soluzione numerica del sistema di equazioni nel dominio spaziale | 166 |
| 8.4 | Discretizzazione dell'intervallo temporale | 169 |
| 8.5 | Un esempio di applicazione | 170 |
| 9 | Patologie vascolari e dispositivi clinici: alcuni esempi | 173 |
| 9.1 | Patologie cardio-vascolari | 173 |
| 9.1.1 | Ipertensione | 174 |
| 9.1.2 | Aterosclerosi | 176 |
| 9.1.3 | Aneurisma | 178 |
| 9.1.4 | Trombosi | 179 |
| 9.2 | Dispositivi medici | 179 |
| 9.2.1 | Stent | 179 |
| 9.2.2 | Valvole cardiache | 181 |
| 9.2.3 | Dispositivi di assistenza ventricolare | 182 |
| 9.3 | Protocolli di interventi chirurgici | 182 |