

### SCOPO

Investigare le caratteristiche fondamentali dei liquidi a flusso stazionario e laminare utilizzando il metodo Doppler a ultrasuoni

### > FUNZIONI

- Misurare la variazione di frequenza Doppler per diverse velocità della pompa e le cadute di pressione dei tubi di livello.
- Determinare portata di flusso, resistenze di flusso e viscosità dinamica del liquido Doppler utilizzando l'equazione di continuità, l'equazione di Bernoulli e l'equazione di Hagen-Poiseuille.
- Calcolare i numeri di Reynold per le diverse velocità del flusso e diametri dei tubi.

### RIASSUNTO

Le misurazioni dei flussi secondo il metodo Doppler a ultrasuoni vengono utilizzate per dimostrare le leggi fondamentali che regolano il flusso di liquidi nei tubi e la loro dipendenza dalla velocità del flusso e dalla geometria dei tubi. Viene esaminato il rapporto tra velocità del flusso e sezione trasversale del tubo (condizione di continuità) e tra la resistenza del flusso e il diametro del tubo (legge di Hagen-Poiseuille).

### APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Apparecchio Doppler a ultrasuoni	1022330
1	Sonda ad ultrasuoni 2MHz GS200	1018618
1	Set prismi doppler e tubi di flusso	1002572
1	Tubi montanti per misurazione della pressione	1002573
1	Liquido phantom doppler	1002574
1	Pompa centrifuga	1002575
1	Gel accoppiante per ultrasuoni	1008575

### BASI GENERALI

L'effetto Doppler nella diagnostica medica si applica nell'investigazione dei movimenti di scorrimento e strutture mobili, come diagnostica cardiologica, vasi sanguigni arteriosi e venosi, circolazione sanguigna cerebrale e controllo postoperatorio dei vasi sanguigni.

Un liquido a flusso stazionario è caratterizzato da un flusso costante di liquido in ciascun punto del sistema. Pertanto, l'equazione di continuità per due diverse aree di tubi  $A_1$  e  $A_2$  è la seguente:

$$(1) \quad A_1 v_1 = A_2 v_2 = v = \text{cost.}$$

In cui  $v_1$  e  $v_2$  sono le velocità medie nella rispettiva sezione e  $V$  la portata del flusso (volume per unità di tempo). La pressione statica in un liquido che scorre è sempre inferiore rispetto a un liquido privo di movimento e diminuisce all'aumentare della velocità del flusso (equazione di Bernoulli). Per il flusso attraverso un tubo orizzontale (senza pressione gravitazionale), la pressione  $p_0$  totale è:

$$(2) \quad p + \frac{1}{2} \rho v^2 = p_0$$

Solo in un liquido privo di attrito  $p_0$  è costante. In un flusso pertinente all'attrito, la pressione totale diminuisce in relazione alla viscosità  $\eta$ , la lunghezza  $l$ , la sezione trasversale  $A$  della regione di attraversamento e la portata del flusso  $V$ . Per i liquidi con velocità di flusso non troppo alte (flusso laminare) in tubi stretti, la legge di Hagen-Poiseuille è valida per la caduta di pressione  $\Delta p$ :

$$(3) \quad \Delta p = R V$$

$$(4) \quad R = \frac{8 l}{\pi r^4 \eta}$$

dove  $r$  è il raggio del tubo e  $l$  è la lunghezza. Questo significa che una riduzione del diametro del vaso della metà determina un aumento della resistenza del flusso a 16 volte. Secondo questo principio, i vasi sanguigni regolano la distribuzione del sangue tra le estremità e gli organi interni.

Una circolazione viene costruita a partire da 3 linee di tubi di pari lunghezza ma diverso diametro. All'inizio e alla fine di ciascuna linea è presente un punto di misurazione di pari diametro. Nelle linee dei tubi, la velocità media viene misurata per 3 diverse portate del flusso (3 diverse tensioni nella pompa centrifuga) per mezzo del prisma Doppler e FlowDop. Conoscendo le velocità di flusso misurate, è possibile determinare la portata del flusso dopo (1) e confrontarla. Nei punti di misurazione, è possibile misurare la caduta di pressione causata dalla resistenza del flusso. Calcolando la portata del flusso da (1), è possibile determinare la resistenza del flusso dopo (4) e, da qui, è possibile ottenere la viscosità dinamica del liquido utilizzando la geometria nota.

### ANALISI

Dalle portate del flusso misurate e le specifiche aree a sezione trasversale, è possibile calcolare il flusso corrispondente. Ciò è quasi equivalente, in questa configurazione sperimentale, per tutti i diametri dei tubi per le stesse impostazioni della pompa centrifuga, soddisfacendo così l'equazione di continuità. Come conseguente risultato, lo schema seguente mostra la resistenza del flusso  $R$  determinata per diversi diametri dei tubi e diversi flussi. Questo mostra la forte dipendenza dal raggio del tubo  $r$  prevista per l'equazione di Hagen-Poiseuille:

$$R \sim \frac{1}{r^4}$$

La Fig. 1 mostra che la portata del flusso viene calcolata dalla velocità misurata e l'area è quasi identica con tutti i diametri dei tubi per pari tensioni e, di conseguenza, l'equazione di continuità è soddisfatta.

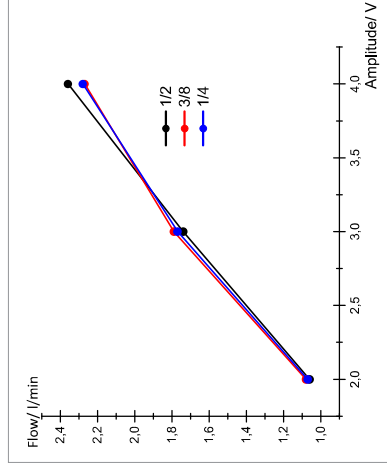


Fig. 1.: Portate del flusso per diversi diametri dei tubi

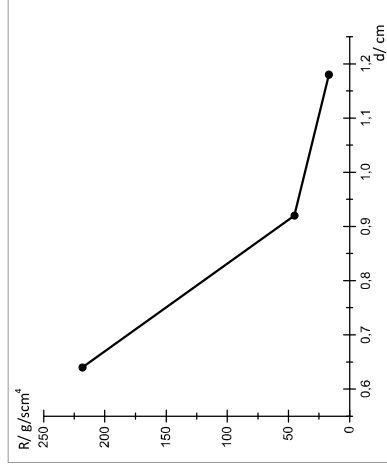


Fig. 2.: Resistenza per diversi diametri dei tubi