

MISURE DI FLUIDODINAMICA

TUBO DI VENTURI

Attenzione: Finito l'esperimento con l'acqua staccare i tubicini del sensore di pressione dal sensore e lasciarli in modo che gocciolino e si asciugano prima del prossimo uso.

INTRODUZIONE

Consideriamo un fluido incompressibile di densità ρ che scorre in un condotto di sezione variabile. La velocità media del fluido in una sezione normale al condotto è inversamente proporzionale all'area A della sezione. Considerati due punti a sezione larga A_L e stretta A_S dall'equazione:

$$R = \text{cost} = A_L v_L = A_S v_S \quad (1)$$

dove R è detta portata del condotto (o flusso del fluido) e può essere espressa in m^3/s o in litri al minuto.

Dall'equazione si ricava che se $A_S < A_L$ la velocità del fluido è $v_S > v_L$.

In base al teorema di Bernoulli la somma di altezza piezometrica, quota geometrica e altezza cinetica è costante

$$\frac{p}{\rho g} + z + \frac{v^2}{2g} = \text{cost}$$

con p pressione, z quota e g accelerazione di gravità. Se i due punti a sezione larga e stretta sono alla stessa quota $z_L = z_S$ si ha

$$(p_S/\rho) + \frac{1}{2} v_S^2 = (p_L/\rho) + \frac{1}{2} v_L^2$$

da cui si ricava

$$p_S = p_L - \frac{1}{2} \rho (v_S^2 - v_L^2) \quad (2)$$

Dall'equazione si ricava $p_S < p_L$, essendo $v_S > v_L$. Quindi la pressione nel condotto è minore dove la sezione è minore.

In conclusione, dove la sezione si restringe la velocità aumenta e la pressione diminuisce.

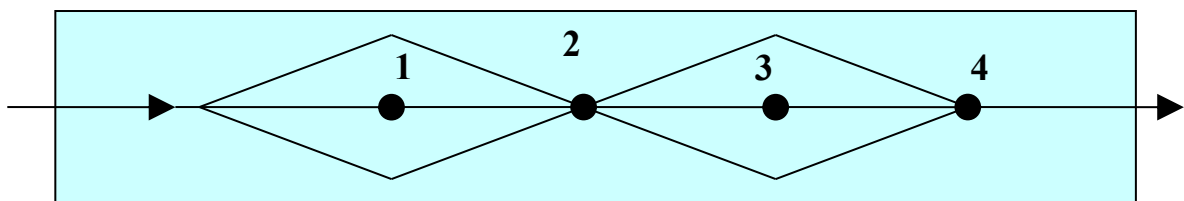
PROCEDURA SPERIMENTALE

Lo scopo dell'esperimento è verificare la legge di Bernoulli, e quindi la validità della (2), utilizzando un tubo di Venturi che è un condotto orizzontale a sezione variabile. Il tubo è posto in piano, tutti i punti sono pertanto alla stessa quota z . Per verificare la legge si devono misurare i valori di velocità e pressione del fluido che scorre nel tubo in punti del tubo a diversa sezione. Si realizza l'esperimento prima con un flusso di aria e poi con acqua.

Nell'apparato a disposizione quattro **sensori di pressione** sono posti in corrispondenza di quattro punti a sezioni alternate grandi e piccole, come in figura,

$$A_L = A_1 = A_3 = 1.99 \text{ cm}^2$$

$$A_S = A_2 = A_4 = 0.452 \text{ cm}^2.$$



MISURE CON ARIA

Collegare il tubo di gomma flessibile dell'aria compressa all'ingresso del tubo di Venturi, con interposto il flussometro (rotametro) per la misura del flusso di aria. Il flusso dell'aria deve essere regolato prima ruotando la manopola dell'aria compressa, e poi con piccoli aggiustamenti sul flussometro, tra circa 10 e 60 l/min . L'uscita del flusso d'aria dal tubo di Venturi rimane libera.

Fare attenzione alla direzione del flusso nel tubo che deve essere come è indicata nel disegno: dal punto 1 verso il punto 4.

- Collegare i quattro sensori di pressione all'interfaccia e al PC e far partire il programma di acquisizione Capstone.
- **Calibrare i sensori di pressione**, affinché **in assenza di flusso d'aria** forniscano tutti lo *stesso valore della pressione* (pressione atmosferica, osservata sul barometro del laboratorio). Calibrare simultaneamente tutti e quattro i sensori di pressione con la calibrazione ad 1 punto (aggiustamento solo dell'intercetta). Dopo aver calibrato

effettuare una presa dati per qualche secondo per verificare che i 4 sensori forniscono effettivamente lo stesso valore della pressione.

- **Far fluire l'aria nel tubo di Venturi** e misurare i valori della pressione nei quattro punti p_1, p_2, p_3, p_4 . Acquisire i dati per alcuni secondi durante i quali *il flusso rimane costante* e calcolare le pressioni medie in ciascun punto.

Contemporaneamente alla misura delle pressioni registrare il flusso d'aria R letto sul flussometro.

Usando l'equazione (1) e i valori di A_L, A_S ed R calcolare le velocità dell'aria v_L e v_S previste nei punti a sezione larga e stretta.

Ci si aspetterebbe di osservare gli stessi valori di pressione nei punti 1 e 3, entrambi a sezione larga e nei punti 2 e 4, entrambi a sezione stretta. In realtà si vedrà che le pressioni risultano diverse, a causa della perdita di pressione dovuta alla turbolenza del fluido e all'attrito nel condotto. Per determinare in modo empirico quanto vale la perdita di pressione dovuta a turbolenza e attrito, si osserva che il condotto è simmetrico rispetto al punto 2. Si può pertanto assumere che la perdita di pressione tra il punto 1 e il punto 2 sia la metà di quella che si ha tra il punto 1 e il punto 3. Si può allora determinare la perdita di pressione tra i punti 1 e 2, dovuta a turbolenza ed attrito, come la metà di quella osservata tra 1 e 3: $\Delta p = (p_1 - p_3)/2$.

Si può quindi utilizzare Δp per correggere il valore di pressione misurato nel punto 2. Si ottengono pertanto i valori della pressione corrispondenti alle sezioni stretta e larga come

$$\begin{aligned} p_L &= p_1 \\ p_S &= p_2 + \Delta p = p_2 + (p_1 - p_3)/2 \\ p_L - p_S &= p_1 - p_2 - \Delta p \end{aligned} \quad (3)$$

A questo punto il valore della differenza di pressione tra la sezione larga e quella stretta misurato coi sensori di pressione può essere confrontato con quello previsto dalla legge di Bernoulli (eq.2):

$$(p_L - p_S)_{\text{Bernoulli}} = \frac{1}{2} \rho (v_S^2 - v_L^2) \quad (4)$$

dove ρ è la densità dell'aria e v_L e v_S sono le velocità determinate precedentemente a partire dalla misura del flusso.

Per ciascun valore del flusso scelto si ripetono più volte le acquisizioni dati e si calcolano i valori medi di $p_L - p_S$ dalle misure di pressione (eq. 3) e dalla misura del flusso (legge di Bernoulli, eq. 4), e le incertezze corrispondenti a ciascuno dei due termini.

- **Si confrontino tra loro le misure e si verifichi se $p_L - p_S = (p_L - p_S)_{\text{Bernoulli}}$.**
- **Si ripetano le misure e i confronti per diversi flussi di aria.**

Partendo dalle relazioni (1) e (2) si può anche scrivere:

$$p_L - p_s = R^2 \frac{\rho}{2} \left(\frac{1}{A_s^2} - \frac{1}{A_L^2} \right) \quad (5)$$

Poiché la densità dell'aria e le sezioni sono delle costanti, le misure di pressione raccolte per diversi valori del flusso R possono essere usate per verificare la dipendenza della differenza di pressione $p_L - p_s$ da R.

Costruire un grafico per $p_L - p_s$ in funzione di R^2 . Interpolare le misure con una retta. Confrontare i valori dei parametri ottenuti della retta con i valori previsti.

N.B. Invece di utilizzare le misure di pressione nei punti 1 e 2 si può ripetere il confronto si usando come punto di riferimento iniziale $p_L = p_3$ e come punto a sezione stretta il punto 4, correggendo $p_s = p_4 + \Delta p$.

MISURE CON ACQUA

Per effettuare le misure con acqua si utilizza un secchio riempito di acqua di rubinetto (non distillata) e una pompa immersa nell'acqua. Si collega l'ingresso del tubo di Venturi con un tubo di gomma flessibile proveniente dalla pompa e si collega l'uscita del tubo di Venturi ad un altro tubo flessibile di gomma che riporta l'acqua al secchio per la raccolta dell'acqua (dove è inserita la pompa).

Si deve regolare la tensione di alimentazione della pompa (tra circa 4-8 V) in modo da mantenere un flusso regolare di acqua nel tubo.

Prima di iniziare le misure di pressione si deve fare attenzione che non ci siano bolle d'aria all'interno del tubo di Venturi, eventualmente eliminare le bolle inclinandolo leggermente il tubo di Venturi. Si deve anche *fare estrema attenzione a che l'acqua non entri nel sensore di pressione attraverso i tubicini del sensore*, a questo scopo è meglio posizionare il sensore di pressione un poco *rialzato* rispetto il tubo di Venturi.

- **Calibrare i sensori di pressione con il tubo pieno di acqua ferma**, affinché in assenza di flusso d'acqua forniscano tutti lo stesso valore della pressione, procedendo in modo analogo a quanto fatto per l'aria.

- **Si fa fluire l'acqua** nel tubo di Venturi e si misurano i valori della **pressione** nei quattro punti, in funzione del tempo. Bastano alcuni secondi di raccolta dati, in condizioni di flusso regolare.

- **Per misurare il flusso dell'acqua** si utilizza lo stesso circuito dell'acqua con la stessa tensione di alimentazione della pompa ma inserendo il tubo flessibile invece che nel tubo di Venturi in una bottiglia in cui si raccoglie l'acqua. Si raccoglie d'acqua per un

tempo t (misurato col cronometro) e si determina il flusso (es. in litri al minuto) pesando la bottiglia sulla bilancia. Si pesa prima la bottiglia vuota per fare la tara.

- Si procede in tutto come per le misure fatte con l'aria, arrivando a confrontare la misura della differenza di pressione $p_L - p_S$ ottenuta dai sensori di pressione con quella calcolata dall'equazione di Bernoulli a partire dai valori di ρ (densità dell'acqua), v_L e v_S .
- Si ripetono le misure più volte. Il flusso dell'acqua può essere variato cambiando la tensione di alimentazione della pompa.

OSSERVAZIONI

L'equazione di Bernoulli assume il fluido ideale che scorre in regime laminare. Quando la velocità varia nei diversi punti della sezione del tubo, per attriti interni o la presenza di attriti o notevoli variazioni di forma nel condotto, si possono instaurare turbolenze e si ha il passaggio da regime laminare a vorticoso. Per un condotto cilindrico di raggio r , il parametro critico, adimensionale, detto numero di Reynolds è dato da

$$\mathcal{R} = \frac{\rho v r}{\eta}$$

con ρ , v , η rispettivamente densità, velocità e viscosità del fluido. Calcolare il numero di Reynolds per i parametri del proprio esperimento per valutare quanto ci si è avvicinati al regime vorticoso, previsto per $\mathcal{R} \gtrsim 1200$.