

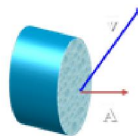
CAP 15 MISURE DI PORTATA

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad \text{Portata volumetrica}$$

$$\dot{m} = \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad \text{Portata in massa}$$

Se $\rho = \text{cost.}$ allora $\dot{m} = \rho \cdot Q$

$$Q = \int_A \vec{v} \cdot d\vec{A}$$



In un condotto $Q = \int_A \vec{v} \cdot d\vec{A} = \bar{v} \cdot A$

Con A la sezione di passaggio.



\bar{v} è la media delle
velocità pesata
dalle aree

$$\bar{v} = \frac{Q}{A} = \frac{\left[\int_A \vec{v} \cdot d\vec{A} \right]}{A}$$

Definizione della grandezza portata

Metodi a riduzione di sezione del flusso

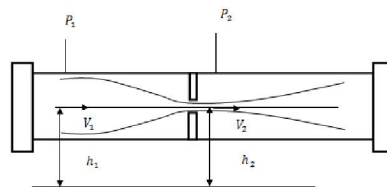
teorema di Bernoulli.

$$\Rightarrow P_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = P_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2$$

$$h_1 = h_2$$

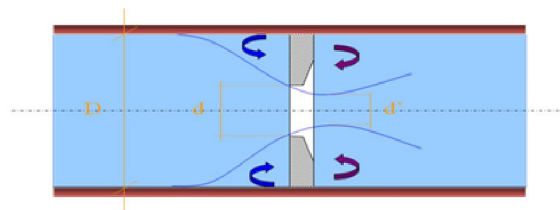
$$\Rightarrow P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2$$

$$Q = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}}} \left[\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho} \right]$$

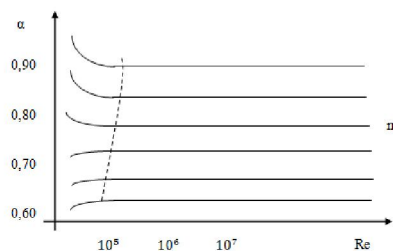


Applicazione del teorema di Bernoulli per il calcolo della portata e caduta di pressione nello strozzamento

Schema efflusso attraverso contrazione

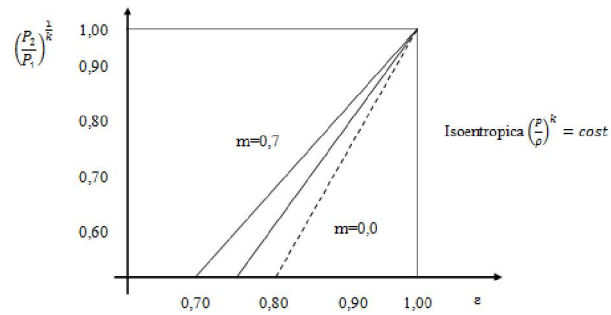


$$Q = \alpha \left(\frac{\pi}{4} d^2 \right) \left[\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho} \right]$$

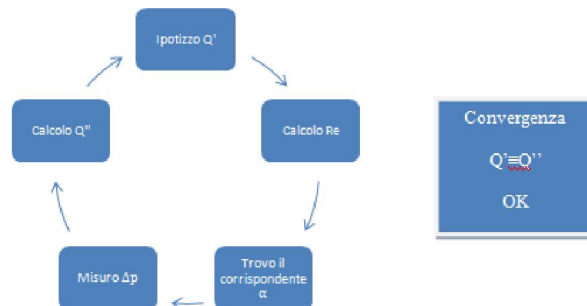


Esempio di curve sperimentali per la determinazione del coefficiente di efflusso di un particolare dispositivo di strozzamento

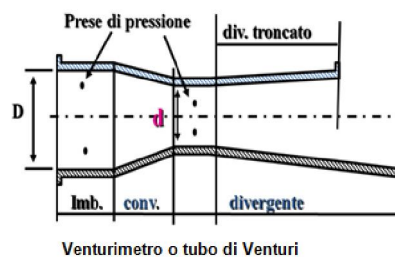
Se nel condotto è presente un gas di cui vogliamo misurare la portata dobbiamo considerare un altro coefficiente chiamato coefficiente di comprimibilità



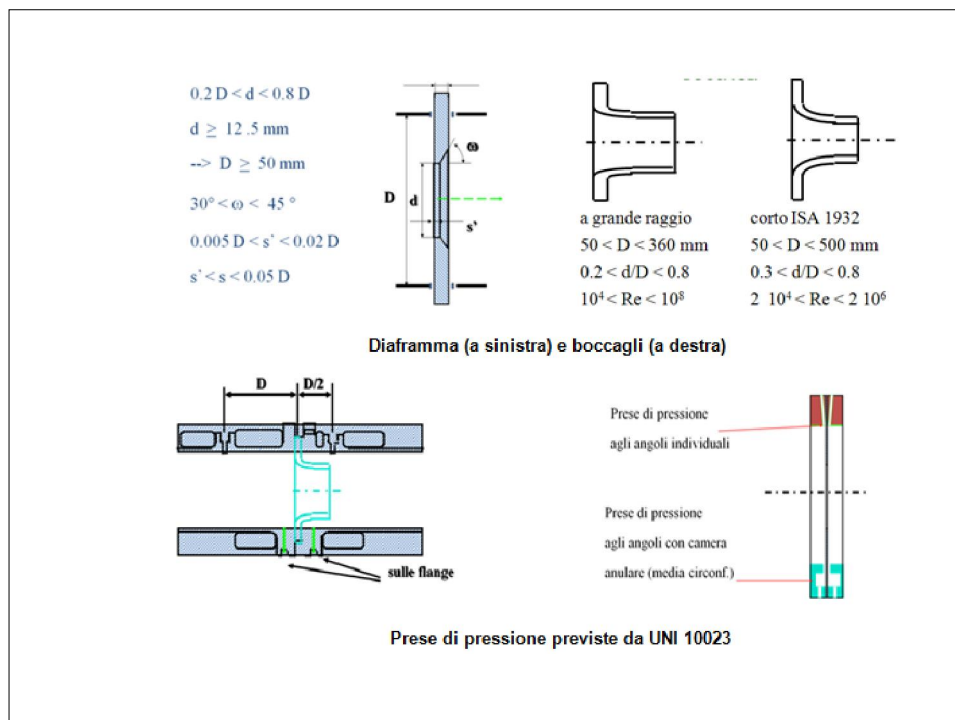
Curve per la determinazione di ε



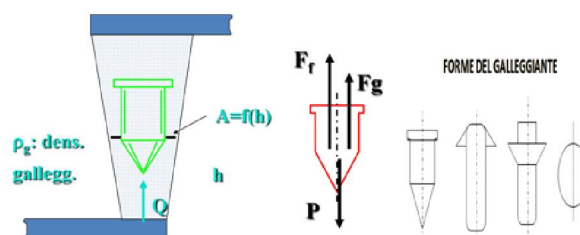
Processo iterativo per la misura della portata con metodi a riduzione di sezione



Venturimetro o tubo di Venturi



Dispositivi a strozzamento variabile: rotametri



Funzionamento del rotametro e forme del galleggiante usate

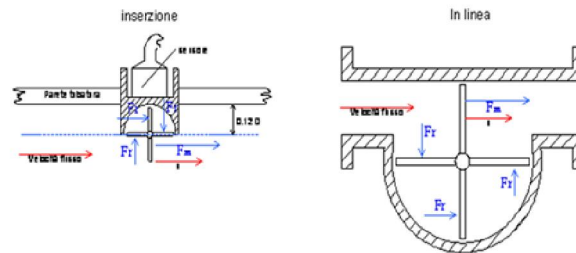
$$F_f + F_g = P \quad \rho V g + \rho \frac{u^2}{2} A_f C_d = \rho g V$$

$$u = \sqrt{\frac{\rho_0 g V - \rho g V}{\rho A_f C_d}} = \sqrt{\frac{2 g v (\rho_0 - \rho)}{\rho A_f C_d}} \quad Q = A u = \frac{C_d (A_t - A_f)}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_t - A_f}{A_t}\right)^2}} \sqrt{2 g V \frac{w_f - w_{ff}}{A_f w_{ff}}}$$

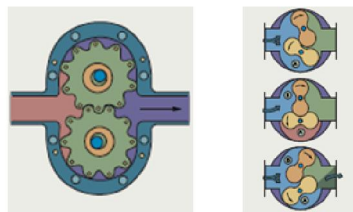
- C_d = coefficiente d'efflusso
- A_t, A_f = area del tubo e del galleggiante
- g = accelerazione di gravità
- V = volume del galleggiante
- w_f, w_{ff} = peso specifico del galleggiante e del fluido

$$Q = K (A_t - A_f)$$

Dispositivi volumetrici, contatori



Misuratori di portata volumetrici

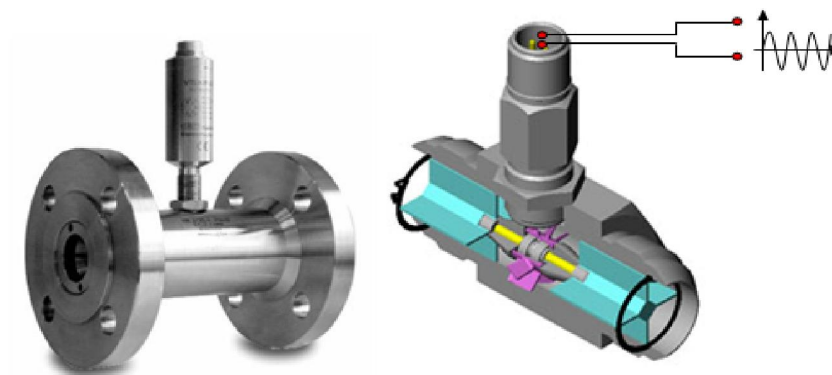


Contatori a ruote dentate e a lobi

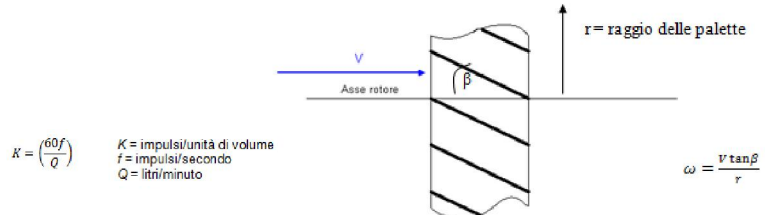


Misuratore di portata volumetrico ad inserzione (destra) e in linea (a sinistra)

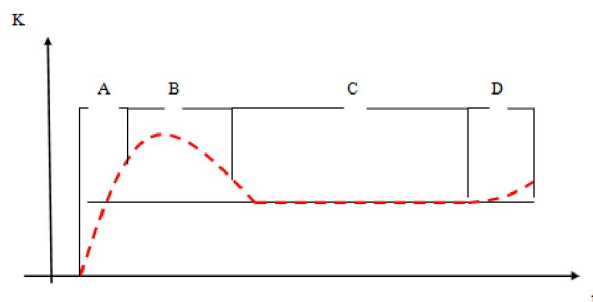
Misuratori a turbina



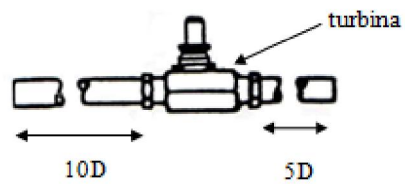
Misuratore di portata a turbina



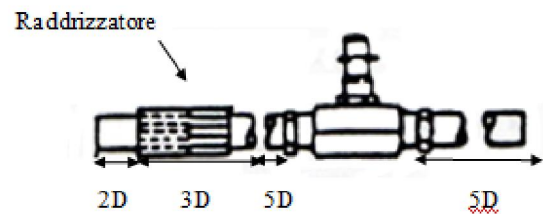
- β = angolo formato tra la pala e la direzione del vettore di velocità del flusso
- r = raggio delle palette del rotore



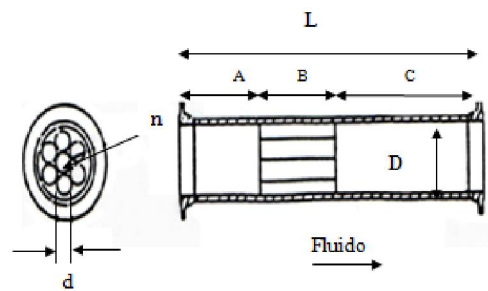
Variazione del valore di K al variare della frequenza degli impulsi



Schema di montaggio di una turbina secondo norma API 2534



Schema tipico d'installazione del raddrizzatore



L lunghezza del raddrizzatore ($\approx 10 D$ minimo)

A lunghezza a monte ($\approx 2-3 D$)

B lunghezza tubi convogliatori ($\approx 2-3 D$)

C lunghezza a valle ($\approx 5 D$)

D diametro nominale tubazione

N numero tubi convogliatori (almeno 4)

d diametro nominale tubi convogliatori (B/d almeno 10/1)

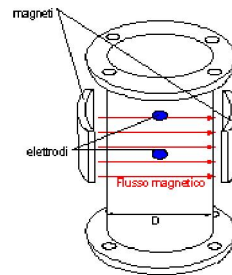
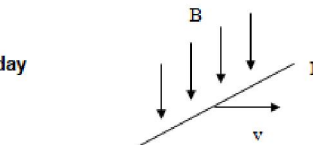
Installazione del raddrizzatore di filetti fluidi.

Flussimetri elettromagnetici

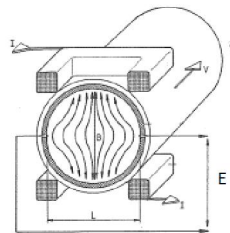
B = intensità del flusso di campo (Wb/m²)
 l = lunghezza del conduttore (m)
 v = velocità del conduttore (m/s)

$$E = Blv$$

Legge di Faraday



Misuratore di portata elettromagnetico



Un misuratore di portata elettromagnetico montato su una condotta

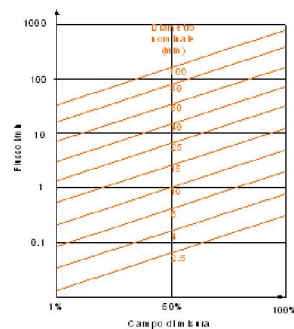
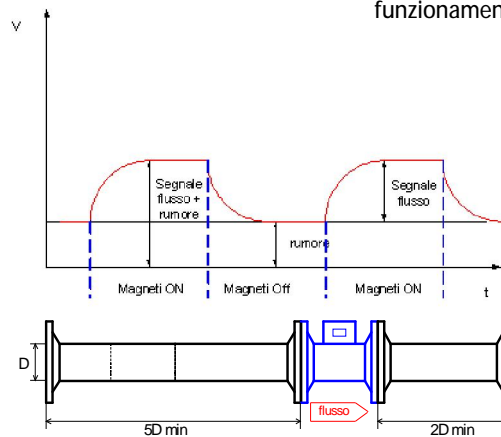


Diagramma per la determinazione del diametro del misuratore di portata elettromagnetico

Misuratori di portata magnetici alimentati in AC e DC

Alimentando le bobine in AC, la tensione che si genera in uscita ai capi degli elettrodi risulterà a sua volta alternata.

Alimentano invece le bobine in DC il campo magnetico continuo è commutato in onda quadra tra il valore di funzionamento e lo zero

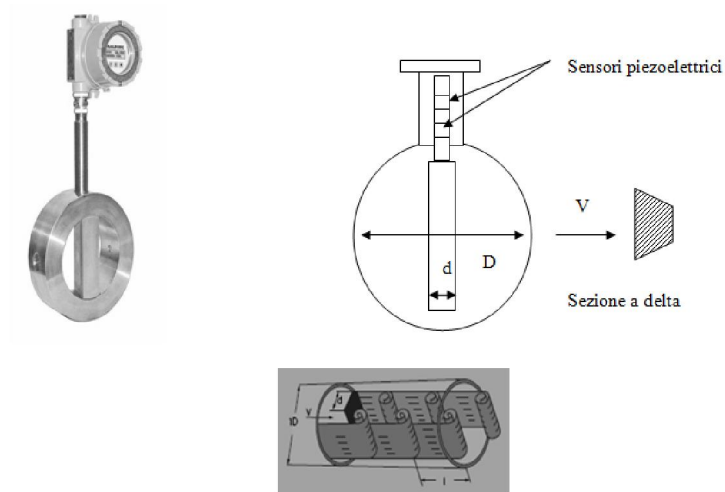


Misuratori di portata a vortice

Questi misuratori sfruttano il fenomeno del distacco dei vortici a valle di un corpo solido

$$f = \frac{(N_{st} \cdot V)}{d}$$

V = velocità del fluido
 d = dimensione caratteristica del corpo da cui avviene il distacco
 N_{st} = numero di Strouhal, determinato sperimentalmente



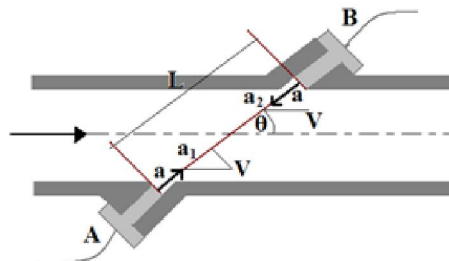
Misuratore di portata a distacco di vortici

Misuratori di portata ad ultrasuoni

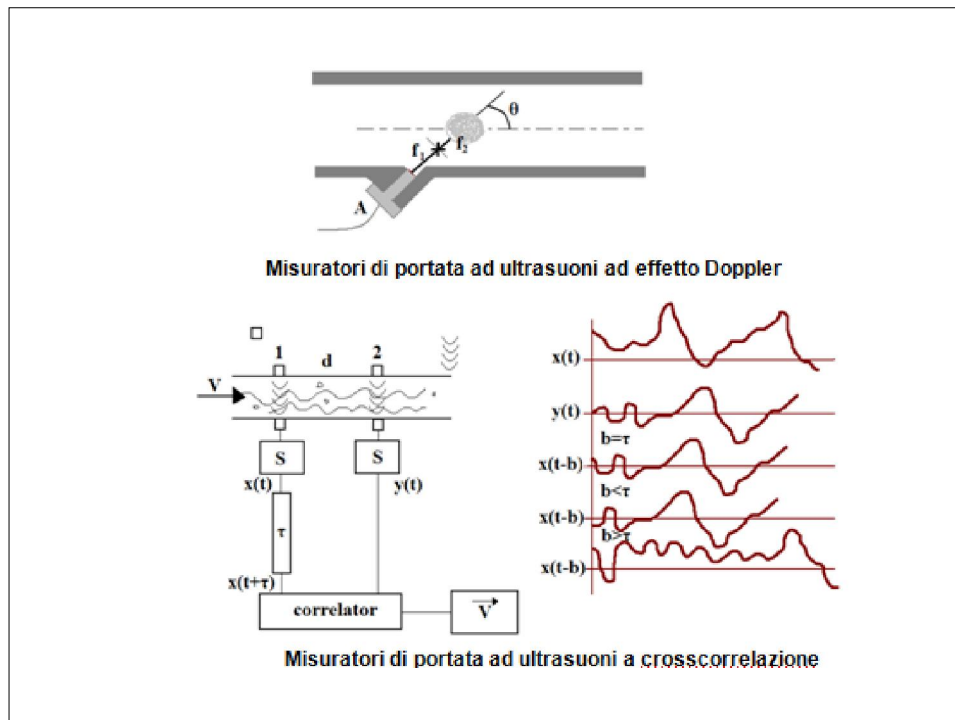


Misuratori di portata ad ultrasuoni sono strumenti di nuova generazione che sfruttano le proprietà dei fluidi di propagare onde sonore causate da disturbi di pressione di piccola entità. Esistono due metodi che sfruttano il principio sopra esposto:

- **misuratori a tempo di transito** confrontano i tempi di transito del fluido in equicorrente e controcorrente; tali misuratori lavorano su fluidi puliti.
- **misuratori ad effetto Doppler** sono utilizzati su fluidi con particelle in sospensione, sono in grado di rilevare la variazione della frequenza del segnale emesso ad opera della velocità delle particelle presenti nel fluido.



Misuratore di portata ad ultrasuoni a tempo di transito



Misuratori di portata termici

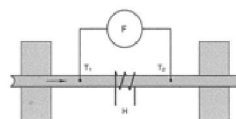
Sfruttano il principio secondo il quale il raffreddamento di un filo riscaldato ed immerso in un fluido è proporzionale alla velocità del fluido stesso.



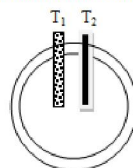
$$I^2 R = h A (T_w - T_f)$$

$$h = C_0 + C_1 \sqrt{V}$$

I = corrente nel filamento
 R_w = resistenza del filamento
 T_w e T_f = temperatura del fluido e del flusso
 h = coefficiente di scambio termico del filo
 A = area di scambio

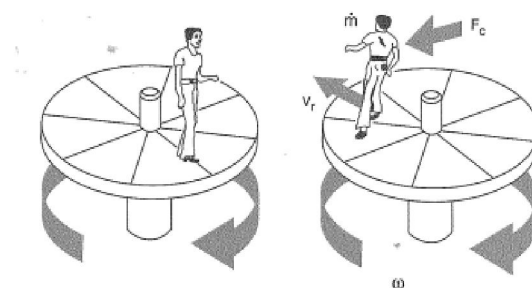


Principio dei misuratori di portata termici



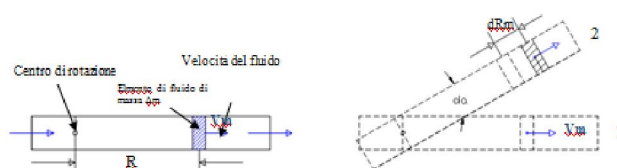
Misuratori di portata termici con due sensori uno riscaldato e uno no

Misuratori di portata massica: misuratore a effetto Coriolis

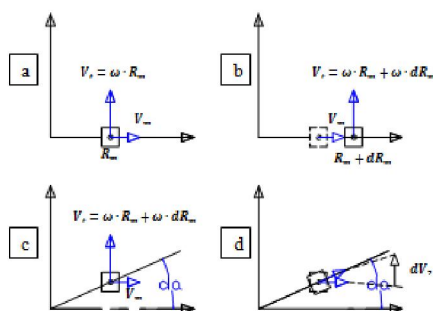


le forze che agiscono su porzioni di fluido (dm) dotato di velocità (V) relativa al tubo e in rotazione con velocità angolare (ω) assumono la forma:

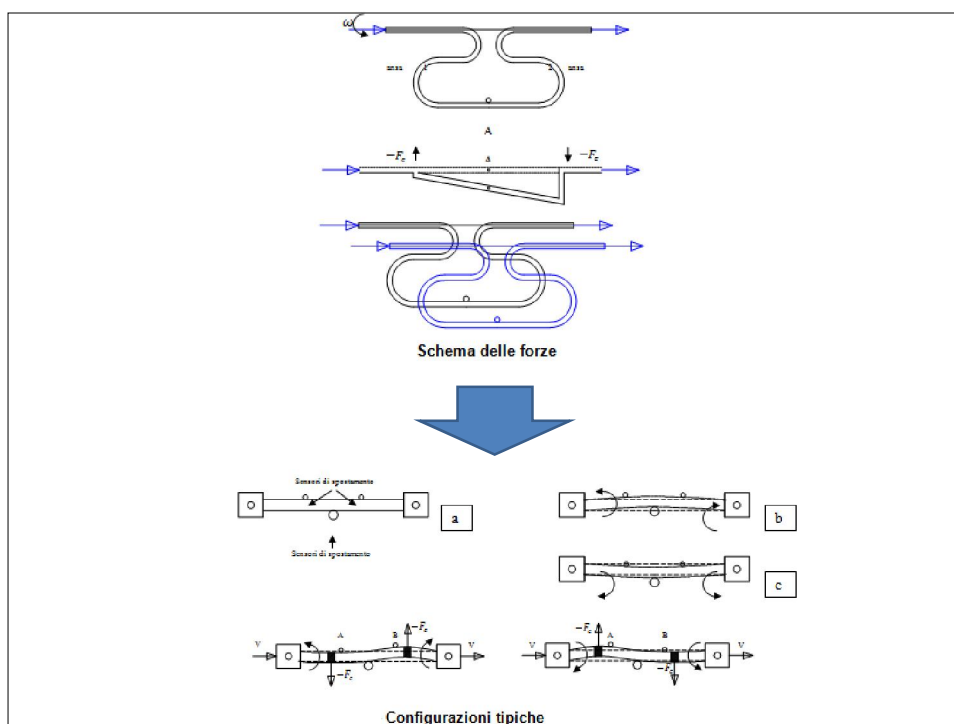
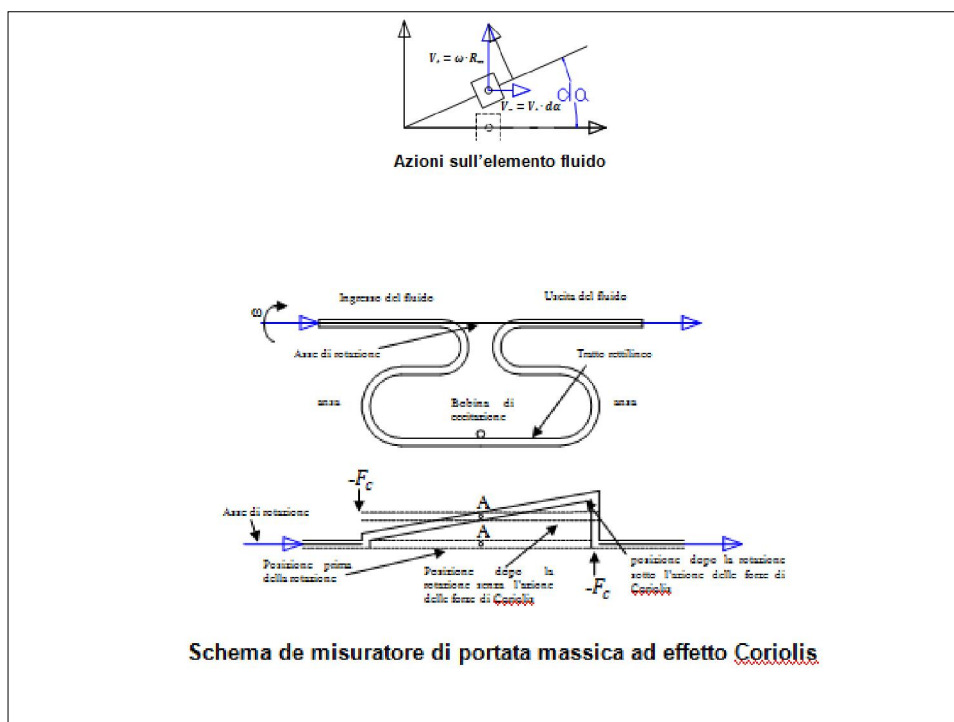
$$\vec{F} = -2 \int dm \vec{V} \wedge \vec{\omega}$$

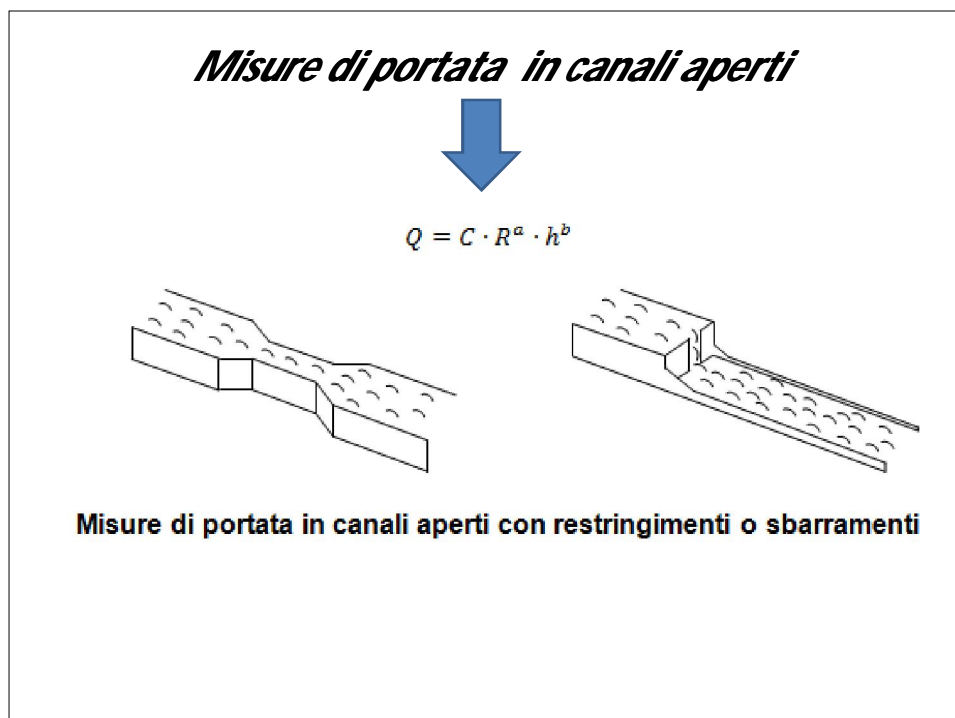
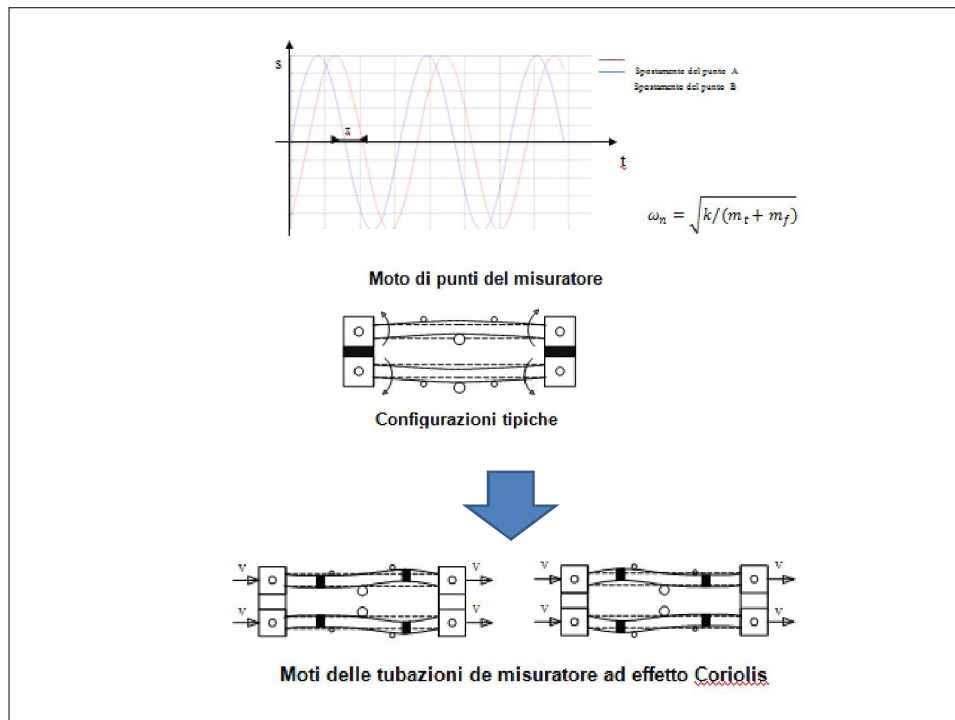


Un tubo in cui il fluido scorre a velocità V_m , rotante attorno al centro di rotazione e la situazione dopo un dt di tempo



Azioni sull'elemento di fluido





Considerazioni generali sui criteri di scelta



La scelta di un misuratore di portata per una tipica applicazione va condotta tenendo conto dei seguenti fattori:

- Condizioni del fluido.
- Prestazioni della misura.
- Costo del misuratore.

| Tipo di misuratore | Diametro tubazione (mm) | Applicabilità | | | | | Precisione max Splice (bar) | Temperatura max Splice (°C) | Precisione Splice (%) | Numero di Reynolds (Max) |
|---|-------------------------|---------------|-----|--------|--------|------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------|
| | | Liquidi | Gas | Vapori | Pulvis | Gas-Vapori | | | | |
| Diaframma a tronco conico e segella corpo | >50 | X | (X) | (X) | X | (X) | 500 | 500 | 1 a 2 | >2500 |
| Diaframma a quarto di cono | >25 | X | (X) | X | X | (X) | 500 | 500 | 2 a 5 | >500 |
| Diaframma a tronco conico | >25 | X | (X) | X | X | (X) | 500 | 500 | 2 a 5 | >500 |
| Diaframma incorporato | >12,5 | X | | X | X | X | 500 | 500 | 2 a 5 | >1000 |
| Diaframma a cono fisso | >100 | (X) | X | | (X) | | 500 | 500 | 2 a 5 | >10000 |
| Diaframma sganciato | >100 | (X) | X | | (X) | | 500 | 500 | 2 a 5 | >10000 |
| Bocaglio corto (SA 105) | >50 | X | (X) | | X | | 500 | 500 | 1 a 2 | >20000 |
| Bocaglio a grande raggio | >50 | X | (X) | | X | | 500 | 500 | 2 a 5 | >10000 |
| Venturimetro classico | >50 | X | (X) | | X | | 500 | 500 | 1 a 2 | >100000 |
| Venturimetro capillari | >75 | X | (X) | | X | | 500 | 500 | 2 a 5 | >100000 |
| Pilot classico | >100 | X | | (X) | X | (X) | 500 | 500 | 2 a 4 | Qualsiasi |
| Pilot speciali | >25 | X | | | X | | 500 | 500 | 1 a 2 | >10000 |
| A pellicola | >15 | (X) | X | X | (X) | X | 500 | 200 | 2 a 5 | >50 |

Limiti applicativi dei diversi elementi primari di misura

| Tipo di misuratore | Diametro tubazione (mm) | Applicabilità | | | Precisione max tipica (bar) | Temperatura max tipica (°C) | Numero di Reynolds (Re) | Campo di lavoro (2) | Precisione tipica (%)(3) | Requisiti di base |
|-------------------------------|-------------------------|---------------|-----|--------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|
| | | Liquidi | Gas | Vapori | | | | | | |
| A dispositivo di strozzamento | >50(5) | X | X | X | 500 | 500 | >2500(3) | 4-5:1 | 1 a 2 | 1/4" da 1/2" (20-50MPa) |
| Atubo di Pilot classico | >100 | X | X | X | 500 | 500 | Qualsiasi | 4-5:1 | 2 a 5 | Base (2-20MPa) |
| Ad area variabile | 3-150 | X | X | X | 40(100) | 200(400) | 200(400) | 10 a 1 | 2 a 5 | Base (5-10MPa) |
| Magnetici | >3 | X(4) | | | 200 | 200 | >10000 | 20 a 1 | 0,5(5) | Nulla |
| A vortici | 25-200 | X | X | X | 100 | 200(400) | Qualsiasi | 15 a 1 | 0,75(5) 1,50(6) | Base/Mezza (20-20MPa) |
| A turbina | 12,5-600 | X | X | | 400 | 150 | >10000 | 15 a 1 | 0,25(5) 0,50(6) | Base (5-20MPa) |
| Volumetrici | 5-500 | X | X | | 200 | 100 | Qualsiasi | 50-100 a 1 | 0,25(5) 0,5(6) | Alta (50-100MPa) |
| Sonici | >3 | X | X | | 200 | 200 | Qualsiasi | 10 a 1 | 10(5) | Nulla |

- (1) Campo di lavoro entro il quale il misuratore mantiene la precisione tipica: è definito dal rapporto tra la massima portata e la minima portata misurabile con la precisione specificata.
 (2) Precisione tipica del misuratore completo di trasmettitore in % del fondo scala (%F.S.).
 (3) Con dispositivi speciali è possibile scendere con diametri <12,5 mm e Red di 80: rispettivamente con diaframmi incorporati e con diaframmi a tronco conico d'ingresso.
 (4) Per liquidi conduttori con conduttività >5µS/cm (speciali >0,055µS/cm).
 (5) Precisione tipica per liquidi in % della portata misurata.
 (6) Precisione tipica per gas/vapori in % della portata misurata.

Tabella dei limiti di impiego dei principali misuratori di portata

Metodi di taratura dei misuratori di portata

