

## 16.4.2 Boccaglio

Se si fa a meno della parte divergente del tubo di Venturi, il risultato è il **boccaglio** della *Figura 16.10*. È questo uno strumento più semplice del tubo di Venturi e può essere installato tra le flange del condotto; il risultato, cioè la misura della portata, è lo stesso, ma ottenuto a spese di una maggiore perdita di carico.

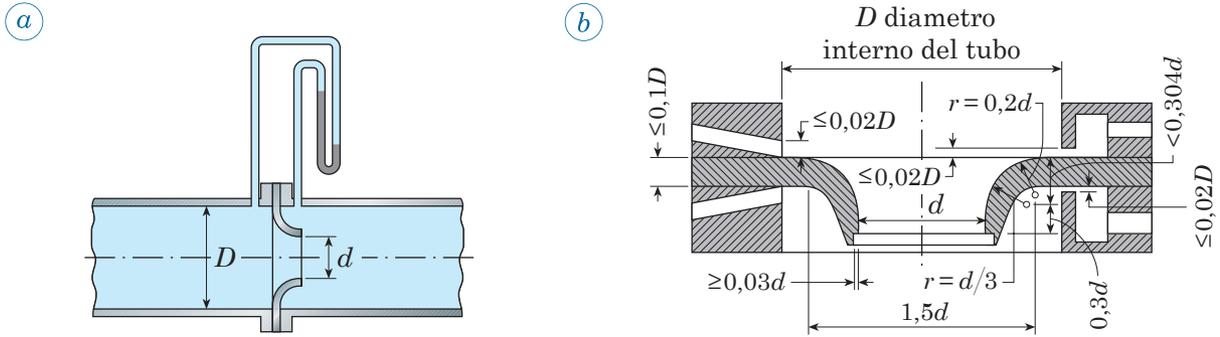


Fig. 16.10 - Boccaglio:

a) Schema con indicati i diametri  $d$  dell'area di gola  $a$  e del condotto  $D$  in cui è inserito il boccaglio. La portata del boccaglio dipende dall'altezza  $h$  (*Figura 16.9*) attraverso il *coefficiente di flusso*  $K$ :

$$\dot{V} = Ka \sqrt{2gh} \quad 16-11$$

b) Dimensioni unificate secondo l'ISO (Organizzazione internazionale delle norme).

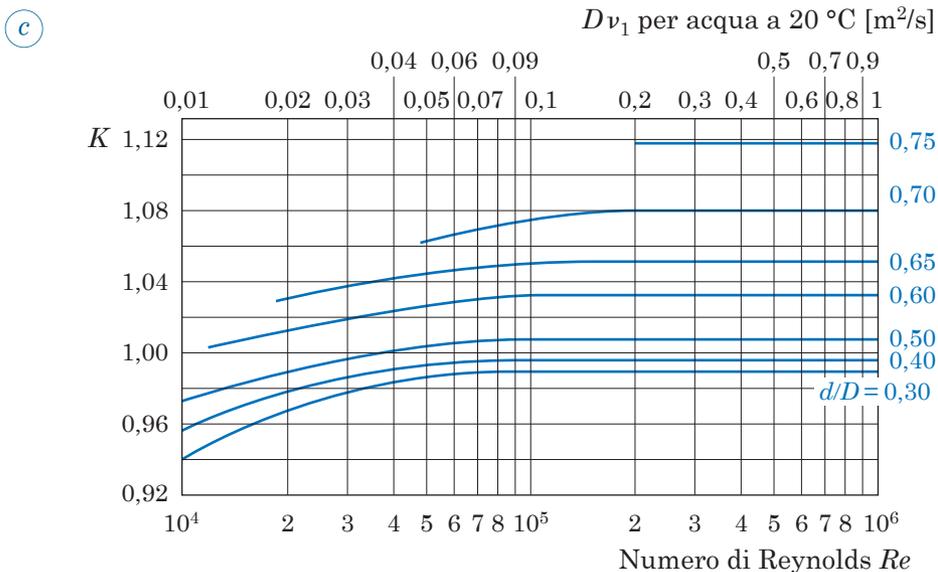


Fig. 16.10-c - Coefficiente di flusso  $K$  per il boccaglio della *Figura 16.10-b*. Per comodità, il numero di Reynolds  $Re$  viene calcolato facendo riferimento alle proprietà della sezione di ingresso e non all'area di gola. In alto è riportata una scala con il prodotto del diametro per la velocità nel condotto  $Dv_1$  da utilizzarsi solo nel caso in cui il fluido che scorre all'interno del tubo sia acqua.

### Esempio 16.8 Portata e perdita di carico con un boccaglio

Un boccaglio avente un diametro  $d = 77$  mm viene installato in un tubo di acciaio di diametro  $D = 154$  mm, in cui scorre dell'acqua, dando luogo a una differenza di pressione equivalente a un'altezza  $h = 145$  cm di colonna d'acqua. Determinare la portata  $\dot{V}$ .

#### SOLUZIONE

La portata dell'acqua misurata dal boccaglio è per la **16-11** data da:

$$\dot{V} = K\alpha \sqrt{2gh}$$

Il coefficiente di flusso del boccaglio  $K$  è funzione del numero di Reynolds  $Re$ , come mostrato dalla *Figura 16.10-c*. Questo a sua volta è funzione della velocità  $v_1$ , dell'acqua che può essere determinata solo conoscendo la portata  $\dot{V}$ . Ma la portata è proprio la grandezza che dobbiamo calcolare. Occorre allora procedere per tentativi prendendo un primo valore di  $K$ , che dovrà poi essere aggiornato in funzione del valore della portata. Noto il rapporto tra il diametro del boccaglio  $d$  e il diametro del tubo  $D$ :

$$\frac{d}{D} = \frac{77 \text{ mm}}{154 \text{ mm}} = 0,5$$

andiamo a prendere, in questo primo tentativo,  $K$  sulla parte piatta della curva caratterizzata da  $d/D = 0,5$  dalla *Figura 16.10-c* ( $K = 1,005$ ).

Il valore dell'area  $\alpha$  del boccaglio è:

$$\alpha = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times (0,077 \text{ m})^2}{4} = 0,00466 \text{ m}^2$$

$$\dot{V} = 1,005 \times 0,00466 \text{ m}^2 \sqrt{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 1,45 \text{ m}} = 0,025 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ricaviamo adesso la velocità  $v_1$  relativa alla sezione del tubo di area

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times (0,154 \text{ m})^2}{4} = 0,0186 \text{ m}^2$$

utilizzando l'equazione di continuità:

$$\dot{V} = v_1 A \Rightarrow v_1 = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{0,025 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0186 \text{ m}^2} = 1,3 \text{ m/s}$$

Con il prodotto

$$Dv_1 = 0,154 \text{ m} \times 1,3 \text{ m/s} = 0,2 \text{ m}^2/\text{s}$$

entriamo, trattandosi di acqua, direttamente nel diagramma della *Figura 16.10-c* dall'alto senza calcolare il numero di Reynolds posto in basso sulle ascisse. Il valore  $Dv_1 = 0,2 \text{ m}^2/\text{s}$  si trova sulla parte piatta del diagramma, quando cioè il coefficiente del boccaglio  $K$  non varia più all'aumentare del numero di Reynolds. In queste condizioni il valore di  $K$  è uguale a quello che avevamo fissato in primo tentativo e non deve essere aggiornato.

### 16.4.3 Diaframma

Un **diaframma**, come quello della *Figura 16.11-a* può essere utilizzato come strumento di misura della portata nello stesso modo del tubo di Venturi e del boccaglio. Può anche essere posto alla fine del condotto in modo tale che il fluido venga scaricato come un getto libero. La portata  $\dot{V}$  misurata dal diaframma è espressa ancora dall'equazione **16-11** che avevamo introdotto per il boccaglio. La *Figura 16.11-c* riporta i valori del coefficiente  $K$  del diaframma normalizzato, mostrato nella *Figura 16.11-b*.

La differenza principale tra il diaframma, da un lato, e il boccaglio o il venturimetro, dall'altro lato, è che, mentre per questi due, a causa del condotto convergente che precede la sezione di gola, non vi è contrazione della vena fluida e quindi l'area di gola  $a$  coincide con l'area minima della vena, nel caso del diaframma al contrario l'area della sezione contratta della vena (indicata con il diametro  $d'$  nella *Figura 16.11-a*) è inferiore all'area  $a$  della gola del diaframma e oltre tutto può mutare di posizione al variare delle condizioni di impiego del diaframma.

Mentre i coefficienti di portata  $C$  del venturimetro e  $K$  del boccaglio sono praticamente coincidenti con i coefficienti di velocità  $C_v$ , il coefficiente di portata  $K$  del diaframma risente sia del valore del coefficiente di velocità  $C_v$ , sia del coefficiente di contrazione  $C_c$ , in genere inferiore a uno. È per questo motivo che l'andamento del coefficiente  $K$  del diaframma (*Figura 16.11-c*) è completamente diverso da quello del coefficiente  $K$  del boccaglio (*Figura 16.10-c*). Ad alti  $Re$ , il  $K$  del diaframma è costante così come avveniva per il boccaglio ma, al diminuire del numero di Reynolds, si osserva un aumento di  $K$  con un massimo che cade, a seconda del rapporto  $d/D$ , in un intervallo di  $Re$  compreso tra 200 e 600. Abbassandosi il numero di Reynolds, infatti, aumenta l'azione viscosa che porta a una diminuzione nel coefficiente di velocità  $C_v$ , e a un aumento del coefficiente di contrazione  $C_c$ . Quest'ultimo predomina sul primo fino a raggiungere un valore prossimo a uno ( $C_c \approx 1$ ), come nel caso del boccaglio. Da qui in avanti l'ulteriore diminuzione del numero di Reynolds fa diminuire  $K$  in quanto il coefficiente di velocità  $C_v$  continua a diminuire come nel caso del boccaglio.

Il merito principale del diaframma consiste nel fatto che può essere installato in un condotto con il minimo di problemi e di spesa. Lo svantaggio principale è la maggiore resistenza per attrito e quindi la maggiore perdita quando confrontato con un tubo di Venturi oppure con un boccaglio.

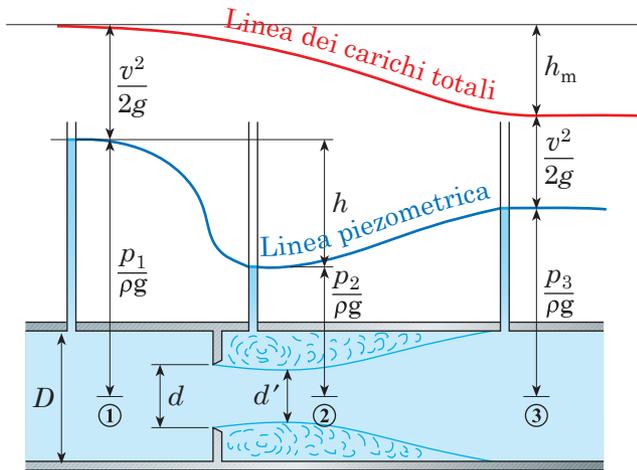


Fig. 16.11-a - Diaframma inserito in un condotto.

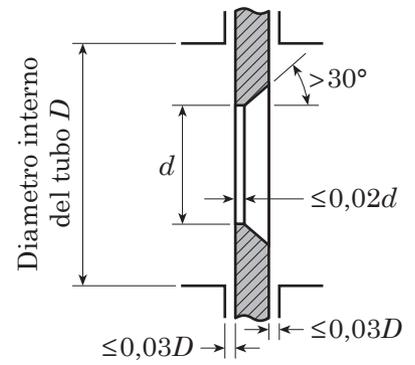


Fig. 16.11-b - Dimensioni tipiche di un diaframma.

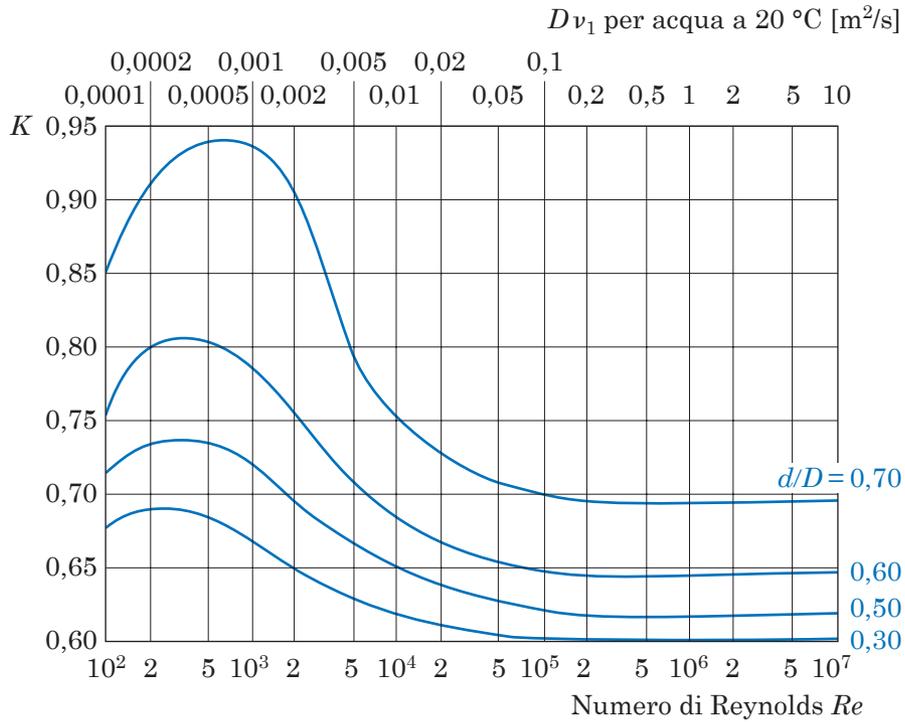
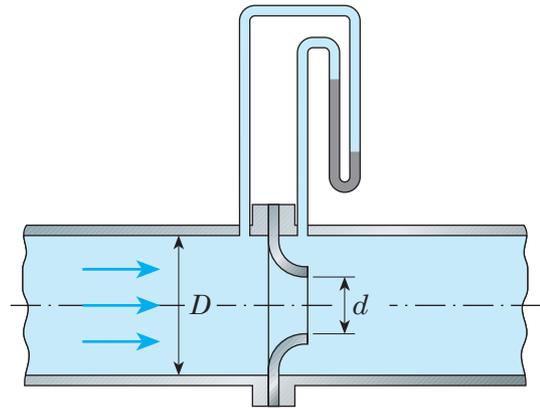


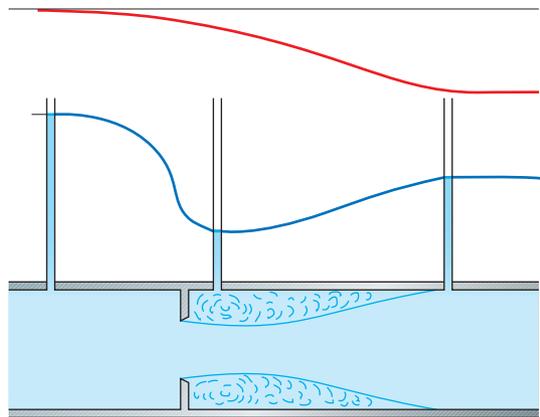
Fig. 16.11-c - Coefficiente di flusso  $K$  per il diaframma di *Figura 16.11-b*.

## SINTESI

Il *boccaglio* è più semplice del tubo di Venturi perché, essendo sprovvisto della parte divergente, può essere installato tra le flange del condotto. La semplicità viene però ottenuta a spese di una maggior perdita di carico del Venturi per l'assenza del diffusore.



Nel Venturi e nel boccaglio, a causa della presenza del convergente che precede la sezione di gola, l'area di gola coincide con l'area minima della vena. Nel *diaframma*, al contrario, l'area della sezione contratta della vena è inferiore all'area della gola del diaframma.



## ESERCIZI

**16.15** - Calcolare la portata  $\dot{V}$  misurata da un boccaglio di diametro  $d = 90$  mm; il boccaglio è installato in un tubo di acciaio di diametro  $D = 150$  mm, in cui scorre dell'acqua, e dà luogo a una differenza di pressione equivalente a un'altezza  $h = 2,71$  m di colonna d'acqua. Seguendo il procedimento illustrato nell'*Esempio 16.8*, si assuma, in prima approssimazione, un coefficiente  $K$  del boccaglio sulla parte piatta della curva della *Figura 16.10-c* e poi lo si controlli entrando nella figura con il valore del prodotto  $Dv_1$ .

Si chiede infine a quale valore del numero di Reynolds  $Re$  corrisponda tale prodotto.

$$K = 1,032; \\ \dot{V} = 0,0478 \text{ m}^3/\text{s}; \quad Re = 400.000$$

**16.16** - Calcolare per l'acqua il valore del fattore  $Dv_1$ , utilizzato nella *Figura 16.10-c*, in funzione del numero di Reynolds  $Re$ , che varia da 10.000 a 600.000. Si assuma una massa volumica  $\rho_{\text{acqua}} = 1000 \text{ kg/m}^3$  e un coefficiente di viscosità  $\mu_{\text{acqua}} = 0,001 \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$ .

$Re$	$1 \times 10^4$	$1 \times 10^4$	$4 \times 10^4$	$6 \times 10^4$	$8 \times 10^4$	$1 \times 10^5$	$2 \times 10^5$	$4 \times 10^5$	$6 \times 10^5$	$8 \times 10^5$	$1 \times 10^6$
$Dv_1$	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00

## VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

17. Il Venturi è costituito da due parti: la prima convergente e la seconda divergente (il diffusore). Il boccaglio è più semplice del tubo di Venturi perché non ha ..... Ciò comporta però una perdita di carico .....
18. Nello strumento che misura la portata, la posizione dell'area minima della vena del fluido:
- a) coincide con l'area di gola nel Venturi;
  - b) si trova a monte dell'area di gola nel boccaglio;
  - c) si trova a valle dell'area di gola nel diaframma.