



## 01 - Concetti base di pneumatica

- La pressione ed il vuoto
- Legge Boyle/Mariotte
- Legge Gay-Lussac
- Caratteristiche di flusso
- Coefficienti "C" e "b"
- Coefficiente Kv
- Portata nominale Q.Nn

## PRESSIONE

La pressione è il rapporto tra una forza e la superficie sulla quale essa agisce

$$P = \frac{F}{S}$$

Unità di misura del sistema internazionale:  $P = \frac{N \text{ (Newton)}}{m^2} = Pa \text{ (Pascal)}$

Essendo il Pa un'unità molto piccola si preferisce utilizzare il bar: **1bar= 10<sup>5</sup>Pa (100kPa)**

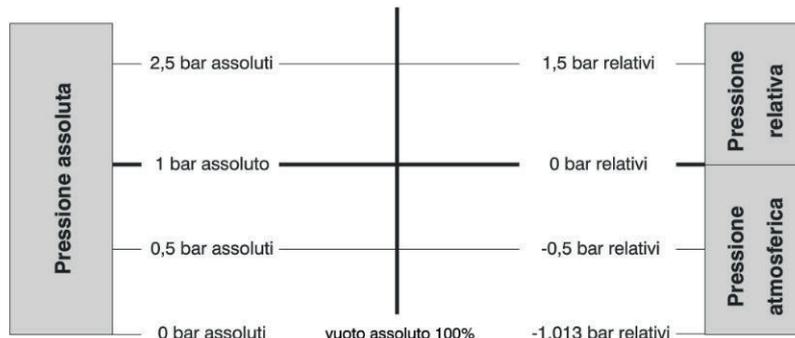
(per le tabelle di conversione della pressione in altre unità di misura, vedi sezione 3).

**Pressione atmosferica:** è la pressione che l'aria presente nell'atmosfera esercita sulla superficie terrestre.

A 20°C, col 65% di umidità, sul livello del mare, la pressione atmosferica corrisponde a 1,013 bar e varia al variare dell'altitudine. Nei calcoli tale valore viene approssimato ad 1 bar senza considerare l'altitudine.

**Pressione relativa:** è la pressione che viene rilevata dagli strumenti nei circuiti pneumatici.

**Pressione assoluta:** è la somma delle pressioni atmosferica e relativa (utilizzata per il calcolo del consumo dei cilindri)



## VUOTO

È inteso come uno spazio o un volume chiuso privo di materia. Si ha vuoto quando il valore di pressione è inferiore a quello atmosferico e si definisce vuoto assoluto quando la pressione assoluta e quella atmosferica sono pari a zero

Unità di misura: viene espresso come pressione negativa in varie unità di misura: bar, Pa, Torr, mmHg, % di vuoto.

Campo di impiego: - fino al 20% di vuoto per ventilazione, raffreddamento, pulizia

- dal 20% al 99% "Vuoto Industriale" per sollevamento, manipolazione ed automazione
- oltre 99% "Vuoto di Processo" per laboratori, lavorazione di microchip, rivestimenti con deposito molecolare ...

## LEGGE DI BOYLE E MARIOTTE

A temperatura costante, il volume di un gas perfetto, racchiuso in un recipiente, è inversamente proporzionale alla pressione assoluta.

Perciò, per una determinata quantità di gas, il prodotto tra volume e pressione assoluta è costante:

$$P1 \times V1 = P2 \times V2 = P3 \times V3 = \text{ecc.}$$

## LEGGE DI GAY-LUSSAC

- a **pressione** costante

$$V1:V2 = T1:T2$$

il volume di una determinata quantità di gas

è direttamente proporzionale alla **temperatura \***

- a **volume** costante

$$P1:P2 = T1:T2$$

la pressione di una determinata quantità di gas

è direttamente proporzionale alla **temperatura\***

(\* in gradi assoluti Kelvin: 0°C=273°K)

In base a tutto questo si desume che **per riempire** ad esempio **la camera di un cilindro sono necessari tanti litri d'aria quanti ne contiene la camera stessa moltiplicati per la pressione** (a temperatura costante)

Un'eventuale variazione della temperatura che si verificasse durante la fase di riempimento, non cambierebbe sostanzialmente il valore ottenuto (V·P) perché se fra la temperatura dell'aria di rete e la temperatura dell'aria nel cilindro vi fossero 20°C di differenza si avrebbe, applicando la legge di GAY e LUSSAC:

- ipotesi di camera di cilindro con volume 100 l.
- temperatura aria di rete 30°C a 6 bar di pressione
- temperatura aria nel cilindro 10°C (finale)

$$V1:V2 = T1:T2$$

$$100:V2 = 273+30:273+10$$

$$V2 = \frac{100 \times 283}{303} = 93,4l.$$

Allo stesso modo per la pressione:

$$P1:P2 = T1:T2$$

$$6:P2 = 273+30:273+10$$

$$P2 = \frac{6 \times 283}{303} = 5,6 \text{ bar}$$

In tutti e due i casi come si vede si ha una variazione in meno soltanto del 6,6%.

Per il calcolo del consumo d'aria in litri al minuto di un cilindro, vedi sezione 8

## Caratteristiche di flusso

Ogni cilindro, per esercitare determinate spinte ed eseguire le corse nel tempo richiesto, necessita di determinate portate che attraversano la valvola di comando.

Occorre quindi conoscere le leggi del flusso delle valvole, ossia le relazioni esistenti tra pressioni, cadute di pressione e portate, per verificare che una valvola sia in grado di fornire, alla pressione di alimentazione prefissata, il flusso richiesto dal cilindro con una caduta di pressione ammissibile.

Per queste verifiche non è sufficiente il riferimento alla filettatura dei raccordi esterni delle valvole, ma è necessario avere dei dati funzionali precisi.

Questi dati vengono presentati in maniera diversa, secondo varie norme e vari metodi sperimentali di misura, e consistono soprattutto in coefficienti numerici che devono essere riferiti a opportune formule che approssimano il flusso delle valvole.

Per capire il significato di queste formule occorre esaminare qual'è l'andamento del flusso nelle valvole pneumatiche.

Si supponga di avere una valvola alimentata con una pressione assoluta a monte  $P_1$  costante e di collegare l'utilizzo della valvola ad un regolatore di flusso.

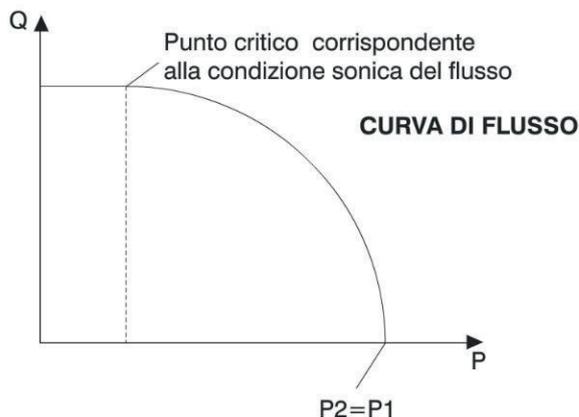
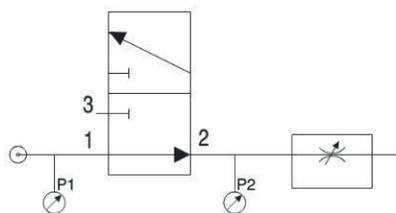
### Condizione iniziale: regolatore di flusso chiuso

- portata nulla ( $Q=0$ )
- pressione a valle uguale alla pressione a monte ( $P_2=P_1$ )

**Condizioni intermedie - regolatore di flusso in apertura**  
aprendo progressivamente il regolatore di flusso si avrà un calo della  $P_2$  e un aumento della portata fino ad un punto critico oltre il quale, pur aprendo ulteriormente il regolatore di flusso, la portata resta costante. il punto critico corrisponde alla condizione sonica del flusso.

### Condizione finale - regolatore di flusso completamente aperto

- portata massima (rimasta costante dal punto critico)
- pressione a valle  $P_2=0$



Alla variazione della  $P_1$  le curve mantengono lo stesso andamento e si spostano in campi di portata superiori o inferiori a seconda se la  $P_1$  cresce o cala. Nel secondo caso potrebbe mancare il tratto orizzontale col flusso della valvola che non raggiunge il punto critico. Il tratto che maggiormente interessa nell'uso corrente le valvole pneumatiche è il tratto subsonico antecedente il raggiungimento delle condizioni critiche del flusso. Di questo tratto vengono date diverse espressioni che approssimano l'andamento effettivo e che consentono di esprimere in modo semplice il flusso, usando coefficienti sperimentali.

## COEFFICIENTI DI VALVOLA "C" e "B"

La raccomandazione CETOP RP50P (ripresa dalla normativa ISO 6358) fornisce un'espressione della portata in base a due coefficienti sperimentali:

- la conduttanza **C**
- rapporto critico delle pressioni **b**.

**Conduttanza  $C = Q^*/P_1$**  è il rapporto tra la portata massima  $Q^*$  e la pressione assoluta di ingresso  $P_1$  in condizioni di flusso sonico e con una temperatura dell'aria di 20°C.

**Rapporto critico  $b = P^*/P_1$**  è il rapporto tra la pressione assoluta di uscita  $P_2$  e la pressione assoluta di ingresso  $P_1$  per cui il flusso diventa sonico.

La formula che rappresenta un'approssimazione di tipo ellittico della relazione che intercorre tra pressione e flusso, è la seguente:

$$Q_N = C \cdot P_1 \cdot K_t \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{r-b}{1-b}\right)^2} \quad [1]$$

dove:  $Q_N$  ( $\text{dm}^3/\text{s}$ ) è la portata riferita alle condizioni normali corrispondenti a 1,013 bar e 20°C;

$C$  ( $\frac{\text{dm}^3}{\text{s} \cdot \text{bar}}$ ) è la conduttanza della valvola

$P_1$  (bar) è la pressione assoluta di alimentazione;

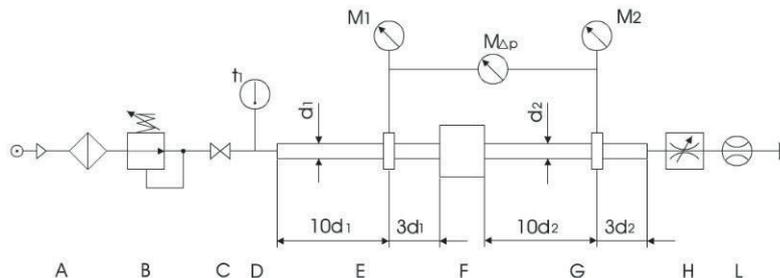
$r$  è il rapporto tra le pressioni di valle e di monte ( $P_2/P_1$ );

$b$  è il rapporto critico delle pressioni;

$k_t = \sqrt{293/T_1}$  è un fattore correttivo che tiene conto della temperatura assoluta di ingresso  $T_1$ ;

$T_1 = 273 + t_1$  (°K) è la temperatura assoluta ( $t_1$  è la temperatura in °C).

La determinazione sperimentale dei coefficienti  $C$  e  $b$  della valvola si effettua con aria compressa secondo procedure standardizzate e utilizzando il circuito di prova riportato di seguito.



Circuito di prova CETOP

- A Sorgente aria compressa filtrata.
- B Riduttore di pressione per la regolazione della pressione di monte  $P_1$ .
- C Valvola di intercettazione.
- D Misuratore della temperatura di ingresso  $t_1$ , situato in una zona in cui il flusso abbia bassa velocità.
- E Tubo di misura della pressione a monte.
- F Valvola di prova.
- G Tubo di misura della pressione a valle.
- H Regolatore di flusso per variare la pressione di valle  $P_2$ .
- L Misuratore di flusso.
- $M_1, M_2$  Strumenti di misura della pressione rispettivamente di ingresso e di uscita.
- MDP Strumento di misura della caduta di pressione nel caso in cui  $P_1 - P_2 < 1$  bar.

In particolare, per la misura della pressione a monte e a valle della valvola occorre utilizzare tubi di misura previsti dalle norme, le cui dimensioni variano in funzione degli attacchi filettati della valvola, ed in cui i punti di misura delle pressioni sono in una posizione ben precisa in funzione del diametro interno del tubo.

La conduttanza  $C$  si determina con l'espressione seguente, misurando la portata critica  $Q^*$  che attraversa la valvola per una pressione di monte  $P_1$  costante e superiore a 3 bar assoluti e per una temperatura dell'aria d'ingresso  $T_1$ .

$$C = \frac{Q^*}{P_1 \cdot K_t} \quad [2]$$

Il rapporto critico delle pressioni  $b$  si determina tenendo presente la seguente espressione:

$$b = 1 - \frac{\Delta P}{P_1 \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{Q'}{Q^*} \right)^2} \right]} \quad [3]$$

Per una assegnata pressione  $P_1$  costante, si misura la portata  $Q'$  corrispondente ad una caduta di pressione  $DP = P_1 - P_2 = 1 \text{ bar}$ .

Per determinare il rapporto critico  $b$ , si utilizza l'espressione [3] perché sperimentalmente non è agevole rilevare con precisione la pressione  $P_2^*$  per cui il flusso diventa sonico.

Sia il valore della conduttanza  $C$  sia quello del rapporto critico  $b$  vengono ricavati come media tra i dati sperimentali di numerose prove. L'espressione [1] si utilizza, noti i coefficienti  $C$  e  $b$  le condizioni operative della valvola ( $P_1, P_2, T_1$ ), per calcolare il flusso quando il regime è subsonico  $P_2 > b \cdot P_1$ .

Nelle condizioni soniche,  $P_2 \leq b \cdot P_1$ , l'espressione [1] si semplifica e la portata massima è ricavabile dalla:

$$Q^* = C \cdot P_1 \cdot k_t \quad [4]$$

## COEFFICIENTE IDRAULICO $K_v$

Il coefficiente idraulico permette di calcolare la portata di un liquido, che attraversa una valvola, utilizzando la seguente relazione:

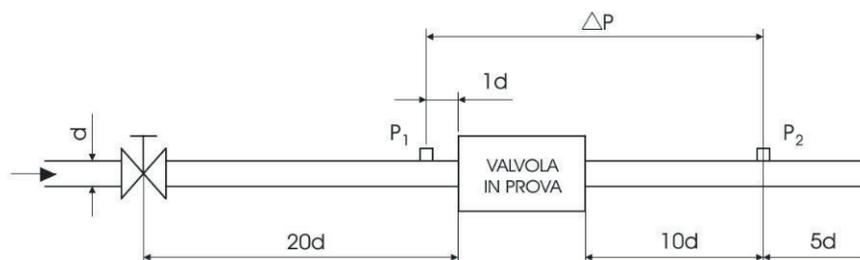
$$Q = K_v \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} \quad (\text{l/min}) \quad [5]$$

dove:

- $Q$  è la portata di liquido in l/min
- $\Delta p$  è la caduta di pressione attraverso la valvola in bar ( $P_1 - P_2$ )
- $\rho$  è la densità del liquido in  $\text{Kg/dm}^3$
- $K_v$  è il coefficiente idraulico in  $\frac{\text{l}}{\text{min}} \left( \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3 \cdot \text{bar}} \right)^{1/2}$

Con queste unità il coefficiente di flusso  $K_v$  rappresenta la portata di acqua in litri al minuto che attraversa la valvola con una perdita di carico 1 bar.

Per la misura si utilizza un circuito standardizzato di seguito in cui le prese di pressione sono piazzate in posizioni fisse che sono in funzione del diametro interno  $d$  del tubo (Norma VDE/VDI 2173).



### Circuito idraulico

In alcuni casi la portata viene misurata in  $\text{m}^3/\text{h}$  a cui corrisponde un  $K_v$

in questo caso per ottenere il  $K_v$  in  $\frac{\text{l}}{\text{min}} \left( \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3 \cdot \text{bar}} \right)^{1/2}$  basta moltiplicare il valore di  $K_v$  in  $\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \left( \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3 \cdot \text{bar}} \right)^{1/2}$

per il coefficiente numerico 16,66.

L'utilizzo del coefficiente idraulico  $K_v$  è perfettamente idoneo a definire la portata di liquidi, mentre fornisce valori approssimati nel caso di aria compressa.

Il trasferimento dal caso idraulico a quello dell'aria può essere però fatto tenendo conto della variazione di densità e con l'ipotesi che il passaggio di aria produca gli stessi effetti di quello dell'acqua, con analoghe perdite e contrazioni del flusso.

Si possono pertanto ricavare espressioni valide per l'aria compressa che utilizzano gli stessi coefficienti di flusso  $K_v$  misurati con l'acqua.

Tra le varie formule, che forniscono la portata  $Q_N$  in volume normale che attraversa una valvola per una  $P_1$  assoluta di ingresso costante al variare della  $P_2$  assoluta di valle, si riporta la seguente:

$$Q_N = 28,6 \cdot K_v \sqrt{P_2 \cdot \Delta P} \cdot \sqrt{\frac{T_n}{T_1}} \quad [6]$$

- dove:
- $Q_N$  è la portata in volume in l/min;
  - $K_v$  è il coefficiente idraulico in  $\frac{l}{min} \left( \frac{kg}{dm^3 \cdot bar} \right)^{1/2}$
  - $T_n$  è la temperatura assoluta in riferimento;
  - $T_1$  è la temperatura assoluta di ingresso in °K;
  - $P_2$  è la pressione assoluta di valle in bar;
  - $\Delta P$  è la caduta di pressione  $P_1 - P_2$  in bar.

L'equazione [6] è valida fino a un valore di  $\Delta P = \frac{P_1}{2}$  ossia per  $P_2 = \frac{P_1}{2}$

Per il valore  $P_2$  inferiori si assume una portata costante corrispondente a quella sonora  $Q^*_N$  data dall'espressione:

$$Q^*_N = 14,3 \cdot K_v \cdot P_1 \sqrt{\frac{T_n}{T_1}} \quad [7]$$

## PORTATA NOMINALE $Q_{Nn}$

La portata nominale è il flusso in volume (riferito alle condizioni normali) che attraversa la valvola con una pressione relativa a monte  $P_1 = 6$  bar (7 bar assoluti) e con una caduta di pressione di 1 bar, corrispondente ad una pressione relativa di valle  $P_2 = 5$  bar (6 bar assoluti).

Abitualmente la portata nominale viene data in l/min e può essere facilmente ricavata dalla curva sperimentale di flusso tracciata per una pressione di monte di 6 bar relativi. La portata nominale può essere utile per una prima valutazione delle prestazioni di valvole diverse, ma è direttamente utilizzabile solo se le condizioni di impiego sono prossime a quelle suddette. Per poter paragonare valvole le cui prestazioni sono date con coefficienti diversi si possono utilizzare delle formule di passaggio.

Noti i coefficienti C e b il corrispondente valore di portata nominale si può ricavare dall'espressione:

$$Q_{Nn} = 420 \cdot C \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{0,857 - b}{1 - b} \right)^2} \quad [8]$$

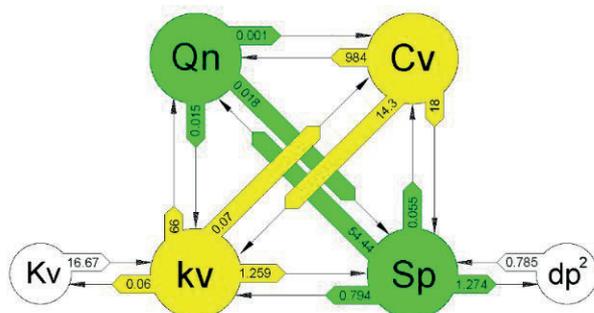
dove:  $Q_{Nn}$  è in l/min e C in  $\frac{dm^3}{s \cdot bar}$

La relazione tra il coefficiente idraulico  $K_v$  e il corrispondente valore di portata nominale è la seguente:

$$Q_{Nn} = 66 K_v$$

dove:  $Q_{Nn}$  è in l/min e  $K_v$  in  $\frac{l}{min} \left( \frac{kg}{dm^3 \cdot bar} \right)^{1/2}$  [9]

Tavola conversioni



<b>Qn</b>	Portata nominale	l/min
<b>kv</b>		l/min
<b>Kv</b>	Coefficiente idraulico	m³/ora
<b>Cv</b>		galloni USA/min
<b>Sp</b>	Sezione nominale di passaggio	mm²
<b>dp²</b>	Diametro² nominale di passaggio *	mm²

\* per ricavare il diametro dp (mm) eseguire la radice quadrata di dp²