

Attuatori Pneumatici

Gli **attuatori pneumatici** sono organi che compiono un lavoro meccanico usando come vettore di energia **l'aria compressa** con indubbi vantaggi in termini di pulizia, antideflagranza, innocuità e insensibilità alle variazioni di temperatura.

Al contrario dei sistemi oleodinamici, non si possono raggiungere pressioni elevate (max 10 bar) né si possono sviluppare grandi forze. Il maggior limite è costituito dalla **comprimibilità dell'aria** che rende impossibile controlli in posizione.



L'aspetto di un attuttore pneumatico a moto lineare è quello di un cilindro con un pistone che scorre dentro di esso esistono anche attuatori con moto rotativo limitato (cilindri rotativi) ed attuatori con moto rotativo continuo (avvitatori, trapani ecc.).

Attuatori Pneumatici

I cilindri pneumatici sono generalmente usati in applicazioni a due posizioni tra gli arresti di fine corsa e per evitare carichi d'urto di solito incorporano un dispositivo d'ammortizzamento interno.

I principali vantaggi degli attuatori pneumatici sono:

- economicità
- disponibilità (ampia gamma di configurazioni disponibili per il montaggio),
- semplicità
- sicurezza (sistema protetto da limitazione interna delle forze),
- resistenza
- rapidità

Gli svantaggi sono invece:

- lunghezza di corsa limitata (problemi di stabilità)
- la mancanza di rigidità nel conservare le posizioni di fine corsa se il pistone non è bloccato
- controllo di velocità poco preciso

Le prestazioni dei sistemi di attuazione ad aria compressa sono fortemente influenzate dalla comprimibilità dell'aria. Ciò in particolare è la causa della scarsa rigidità nel controllo di posizione. Tuttavia, quando l'obiettivo principale è la regolazione della forza questi sistemi trovano largo impiego (regolazione della frizione, del rollio del veicolo, freni antiblocco).

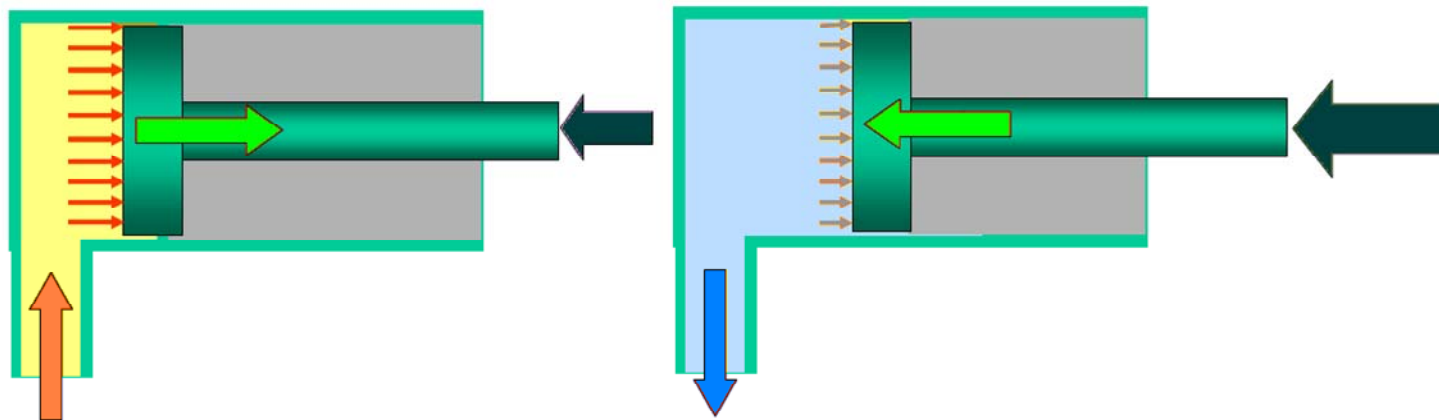
Attuatori Pneumatici

Cilindro a singolo effetto

I cilindri a semplice effetto, dispongono di una sola camera e la forza viene sviluppata in una sola direzione. Lo stelo si riposiziona per mezzo di una molla o per l'azione di una forza esterna.

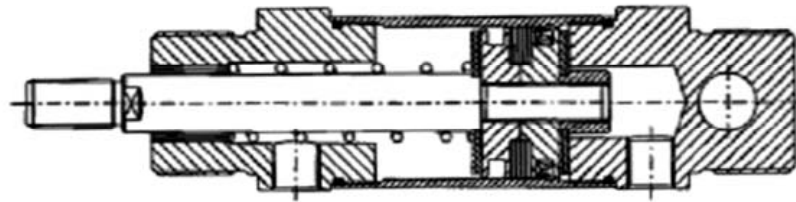
L'immissione del fluido in pressione nella camera genera una pressione sulla parete dell'organo mobile. Quando tale pressione supera la risultante dei carichi resistenti l'organo mobile comincia a muoversi e tende accelerare. Dopo una fase iniziale di accelerazione, se si raggiunge una condizione di equilibrio tra spinta motrice e carichi resistenti, si passa ad una fase di moto a regime.

Per riportare l'organo mobile nella posizione iniziale, bisogna eliminare la spinta del fluido, che viene scaricato in atmosfera, ed applicare una forza esterna per riposizionare l'organo mobile.

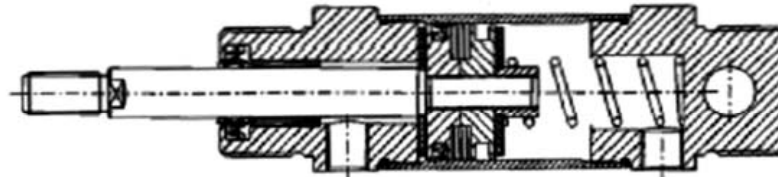


Attuatori Pneumatici

Un cilindro a semplice effetto si dice **in spinta** se l'aria compressa agisce sulla camera priva dello stelo o **in trazione** nel caso in cui l'aria compressa agisce sulla camera che racchiude lo stelo.



S.E. IN SPINTA



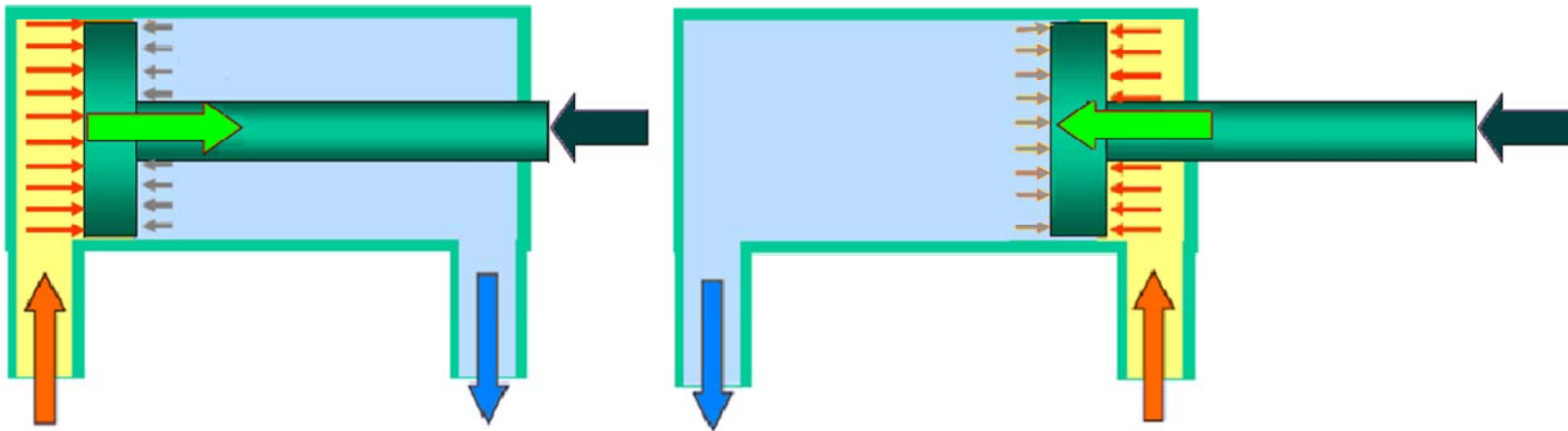
S.E. IN TRAZIONE

Attuatori Pneumatici

Cilindri a doppio effetto

I cilindri a doppio effetto dispongono di **due camere** in cui fare agire alternativamente il fluido in pressione, in modo da sfruttare la spinta del fluido sia durante la corsa di lavoro, sia durante quella di riposizionamento

Per ottenere la corsa di ritorno occorre invertire i flussi dalle due camere, collegando alla mandata la camera che prima era in scarico e allo scarico la camera che prima era in mandata

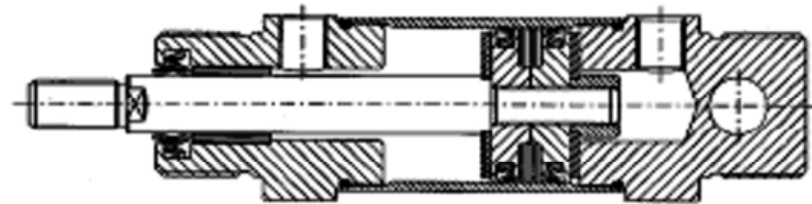


Attuatori Pneumatici

Appositi **fori** (luci) permettono l'entrata e l'uscita dell'aria.

Particolare importanza rivestono le **tenute** sottoposte a condizioni meccaniche e termodinamiche fortemente variabili.

La pressione normale di esercizio è 6-7 bar, però i cilindri possono lavorare fino ad oltre 10 bar.

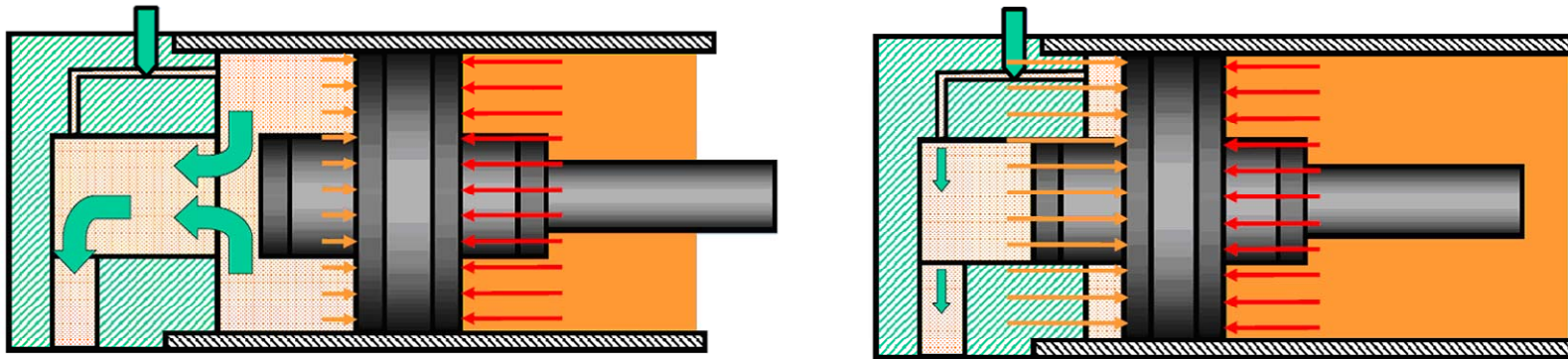


DOPPIO EFFETTO (D.E.)

Attuatori Pneumatici

Ammortizzatori interni

Durante la parte terminale della corsa il maschio si impegna in una corrispondente cavità della testata, in modo da delimitare un volume chiuso in cui avviene la compressione dell'aria intrappolata a spese della energia cinetica delle masse mobili.



Attuatori Pneumatici

Fine - corsa

Un fine-corsa è un dispositivo che segnala al sistema di controllo l'avvenuta effettuazione di un'intera corsa del pistone.

Si distinguono:

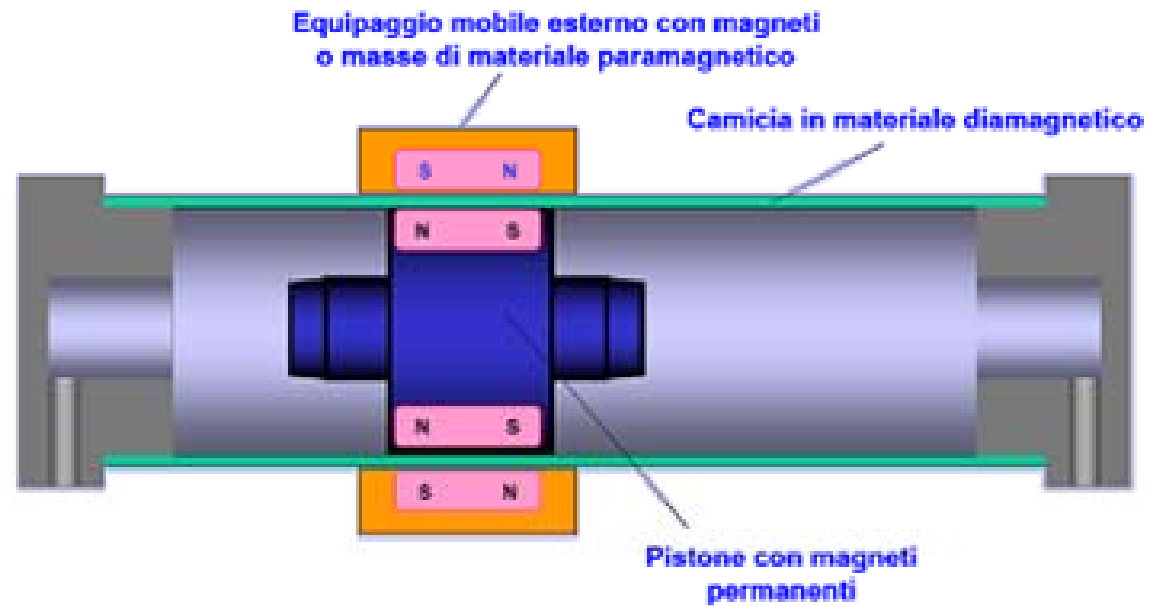
- **Fine corsa a interruttore** – Un interruttore (elettrico o pneumatico) connesso allo stelo del cilindro
- **Fine corsa magnetico** – Un magnete è connesso allo stelo ed aziona un sensore induttivo, un contatto Reed, o un sensore ad effetto Hall
- **Fine corsa virtuale** - Il segnale di fine corsa è ottenuto elaborando misure della pressione all'interno di una delle due camere del cilindro



Fine corsa magnetici
a) contatto non eccitato
b) contatto eccitato.

Attuatori Pneumatici

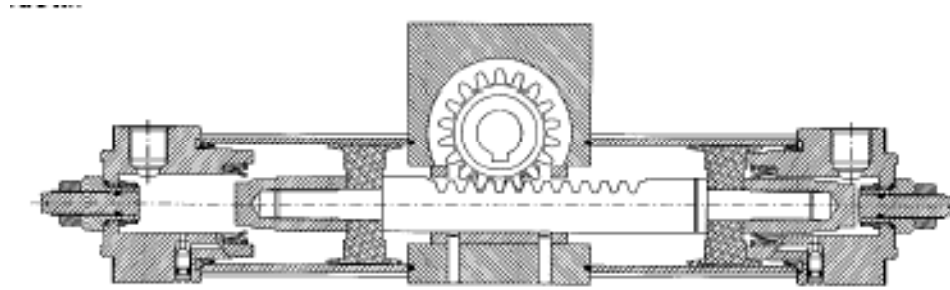
Cilindri con trasmissione della forza per via magnetica



Attuatori Pneumatici

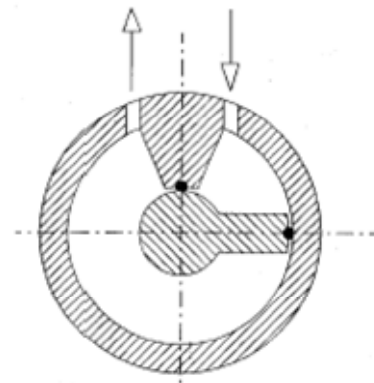
Cilindri rotativi

Se sono necessari moti rotazionali limitati è possibile trasformare il moto lineare del cilindro in moto rotativo tramite accoppiamenti elicoidali o meccanismi a ingranaggi,



Attuatori a palette

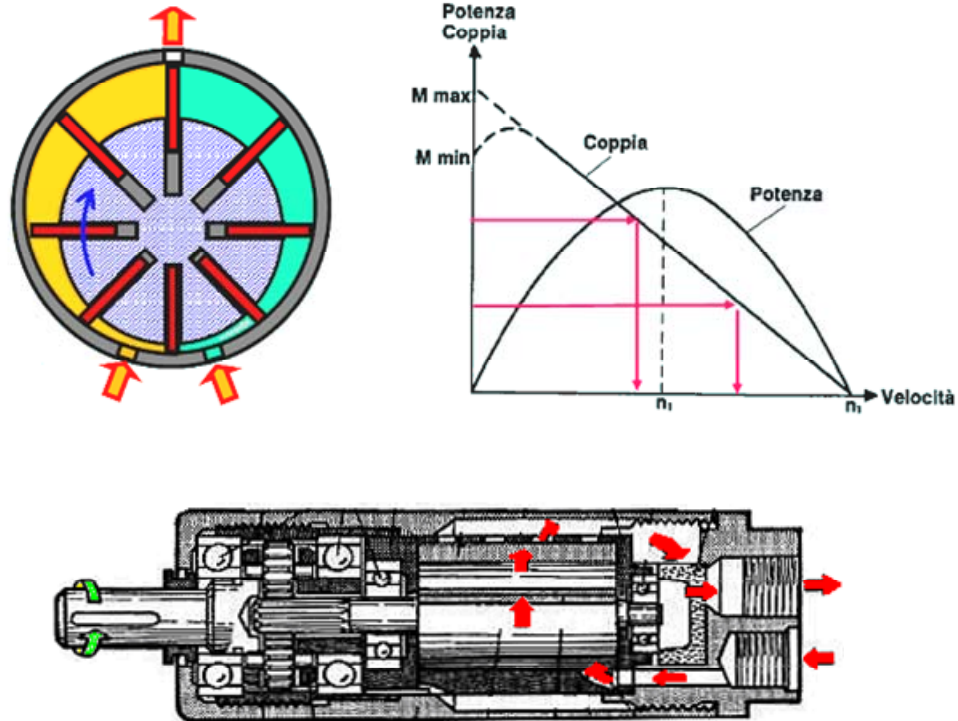
Altri attuatori pneumatici con moto rotazionale limitato sono gli attuatori a palette, costituiti da un rotore inserito in una sede cilindrica.



Attuatori Pneumatici

Motore rotativo a palette

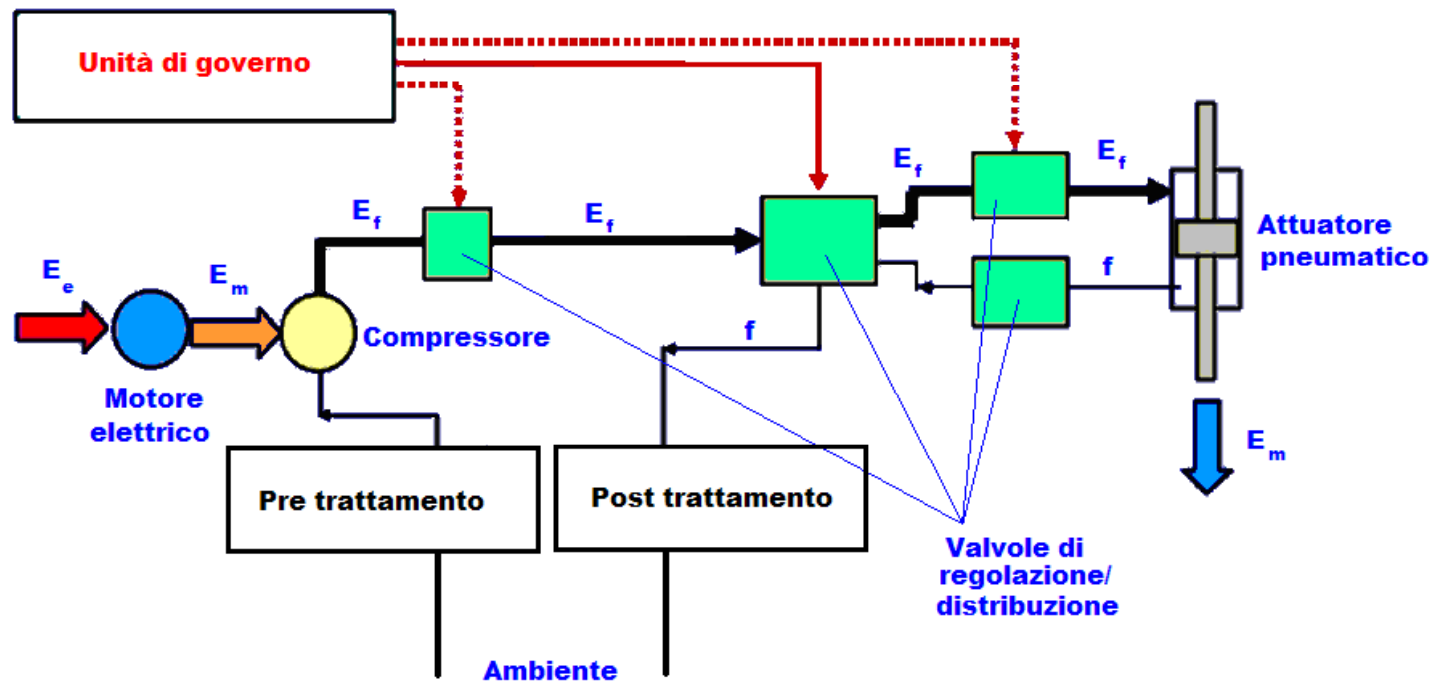
Il motore rotativo produce moto continuo in ambedue i sensi di rotazione.



Attuatori Pneumatici

Circuito pneumatico

Il circuito di un sistema pneumatico è aperto nel senso che l'aria viene prelevata e rilasciata nell'ambiente.



Attuatori Pneumatici

Valvole pneumatiche

Gli attuatori pneumatici sono controllati mediante **valvole** che regolano la pressione e la direzione del flusso d'aria. Le valvole pneumatiche possono regolare la pressione agendo sul flusso d'aria in maniera lineare, proporzionalmente ad un segnale di comando, oppure possono operare in modalità on-off.

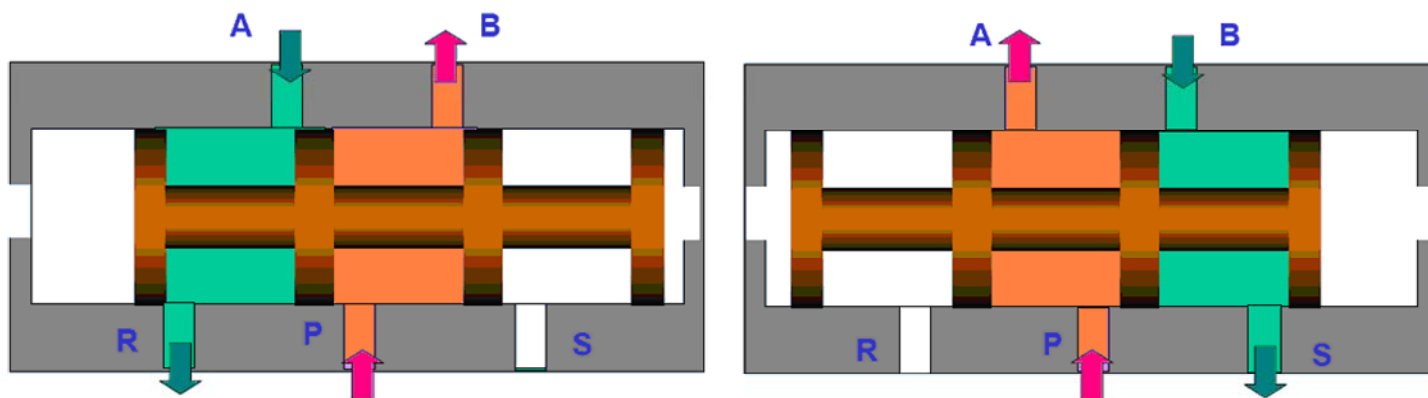
In base al meccanismo di attivazione possono essere divise in due categorie:

- **valvole a funzionamento automatico:** la funzione prevista viene svolta sotto l'azione della pressione del fluido agente nel circuito in cui il componente stesso è inserito, non è necessario un comando da parte dell'unità di governo.
- **valvole a funzionamento comandato:** la funzione prevista viene eseguita solo se viene applicato un comando generato a tale scopo dalla unità di governo.

Attuatori Pneumatici

Valvole di controllo direzionale

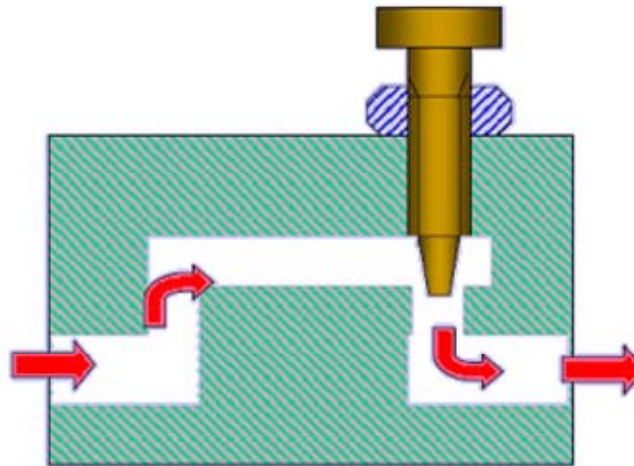
Le valvole di controllo direzionale (distributori) hanno il compito di definire il percorso del flusso di aria in ingresso ed in uscita dai vari elementi del circuito. Consentono di passare da una situazione di lavoro all'altra.



Attuatori Pneumatici

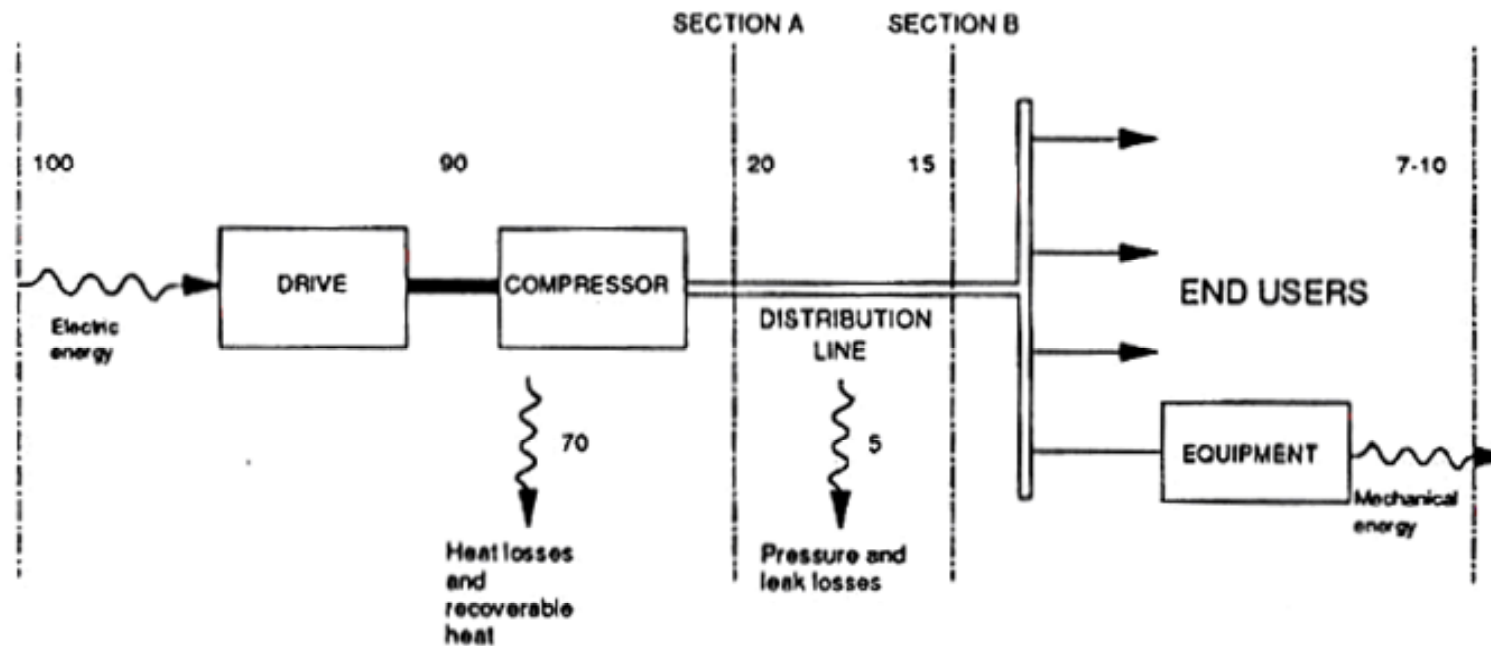
Valvole regolatrici di flusso

Le valvole regolatrici di flusso si comportano come resistenze pneumatiche regolabili. Hanno il compito di controllare la portata di fluido che attraversa un tratto di condotto.



Attuatori Pneumatici

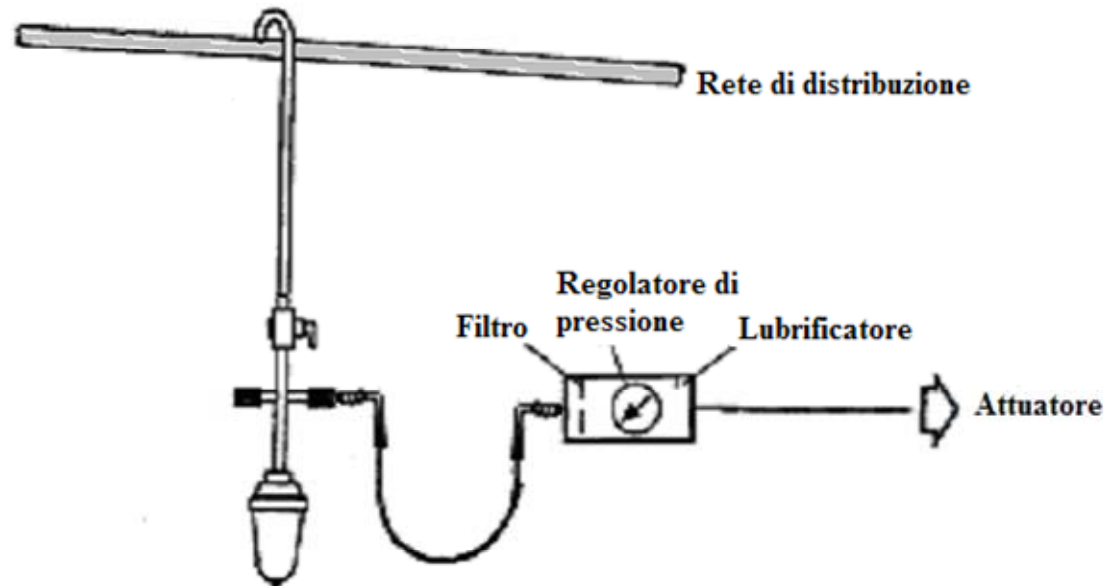
Alimentazione e distribuzione



L'aria compressa viene prodotta da un compressore azionato da un motore (elettrico o a combustione interna), immagazzinata in un serbatoio, e trasportata agli attuatori da una rete di tubazioni. Ognuno di tali elementi è sede di perdite di potenza.

Attuatori Pneumatici

Impianti Pneumatici



Il **filtro** serve ad eliminare eventuali particelle solide e l'umidità condensata. Per un corretto funzionamento degli attuatori pneumatici è infatti essenziale che l'aria sia il più possibile pura e secca.

Il **regolatore di pressione** consente di ridurre, regolare e stabilizzare la pressione dell'aria compressa a disposizione. L'aria compressa nei serbatoi e nelle reti di distribuzione è infatti soggetta continue oscillazioni di pressione che influenzano negativamente il funzionamento degli attuatori pneumatici.

Il **lubrificatore** libera durante il funzionamento una piccola quantità di lubrificante che viene trasportata dall'aria compressa nell'attuatore.

Attuatori Pneumatici

Forza sviluppata da un cilindro

La scelta di un cilindro viene fatta in base alla **forza sviluppata** ed alla **corsa**.

La forza sviluppata da un cilindro a doppio effetto durante la corsa di uscita dello stelo (aria compressa immessa nella camera libera dallo stelo) è in generale funzione dell'area del pistone e della pressione applicata.

$$F_u = p_a \frac{\pi D^2}{4} - F_a$$

Ove F_a è la forza d'attrito tra il pistone ed il cilindro. La forza sviluppata durante la corsa di ritorno (aria compressa immessa nella camera che comprende lo stelo) vale invece:

$$F_r = -p_a \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} + F_a$$

D = diametro del cilindro

d = diametro dello stelo

p_a = pressione relativa di alimentazione (6 bar è il valore più utilizzato nei circuiti pneumatici)

Attuatori Pneumatici

Per un cilindro ad effetto semplice la forza sviluppata durante la corsa di uscita dallo stelo vale:

$$F_u = p_a \frac{\pi D^2}{4} - F_M - F_a$$

essendo F_M la forza della molla.

Nella corsa di ritorno si ha invece:

$$F_u = -F_M + F_a$$

Attuatori Pneumatici

Nel calcolo della forza sviluppata dal pistone bisogna tenere conto anche delle **perdite per attrito** dovute allo strisciamento delle guarnizioni di tenuta.

Quando all'interno del cilindro si raggiunge una certa differenza di pressione il pistone comincia a muoversi vincendo l'attrito di primo distacco. Durante lo stazionamento del pistone cessano le condizioni di lubrificazione, cioè si estingue il velo lubrificante interposto tra le guarnizioni di tenuta e il cilindro. Pertanto l'attrito di primo distacco è dovuto al contatto 'secco' tra pistone e cilindro, ma non appena il pistone si muove si ricostituisce il velo di lubrificante e la forza resistente decresce repentinamente.

Il **rapporto di carico** esprime in percentuale il rapporto tra la forza effettivamente necessaria a bilanciare il carico e la massima forza teorica disponibile.

$$R_c = \frac{\text{Forza richiesta}}{\text{Forza disponibile}} \times 100$$

Il rapporto di carico determina la potenza disponibile per accelerare il carico. Ogni incremento di velocità comporta una diminuzione della pressione di alimentazione del cilindro ed un aumento della contropressione sul lato opposto del pistone ciò stabilizza e limita la velocità del pistone. All'aumentare del rapporto di carico la riserva di potenza utilizzabile per controllare la velocità diminuisce. Con rapporti di carico elevati anche piccole variazioni di del carico meccanico rendono difficile la regolazione della velocità.

Attuatori Pneumatici

Poiché ad ogni inversione di velocità dello stelo, l'aria compressa immagazzinata in una delle due camere viene scaricata nell'ambiente si ha un **consumo d'aria**. Il volume di aria compressa richiesto per effettuare una completa corsa d'uscita dello stelo è:

$$V_u = \frac{\pi D^2}{4} c \frac{p_e}{p_{st}} \frac{T_{st}}{T}$$

c = la corsa del cilindro

p_e = la pressione assoluta di alimentazione

p_{st} = la pressione di normalizzazione

T = la temperatura dell'aria di alimentazione

T_{st} = la temperatura di normalizzazione

Per la corsa di ritorno si ha invece:

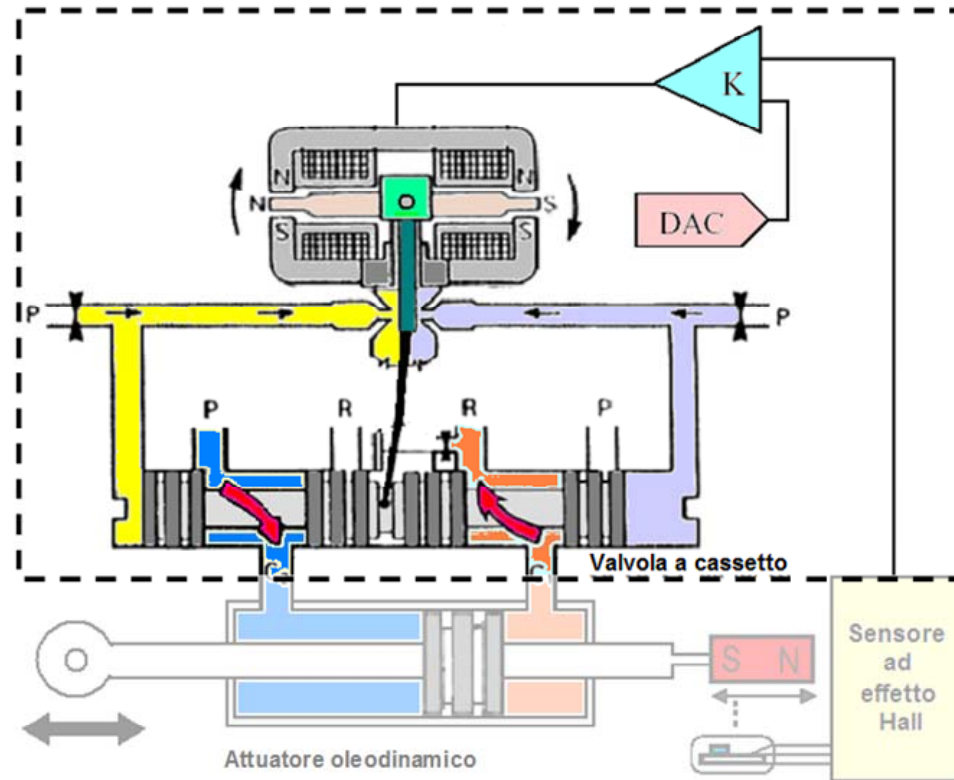
$$V_r = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} c \frac{p_e}{p_{st}} \frac{T_{st}}{T}$$

Per calcolare la **portata volumetrica** (consumo d'aria) che il compressore e la linea di distribuzione devono assicurare è necessario moltiplicare la somma del volume d'aria compressa richiesto dalle corse di uscita e di ritorno per il numero di cicli (ciclo=uscita+rientro) effettuati nell'unità di tempo.

La somma dei consumi di tutti i cilindri presenti nell'impianto determina il dimensionamento del gruppo di alimentazione.

Attuatori pneumatici

Un particolare tipo di attuttore pneumatico è la **servovalvola**, che funge da amplificatore di potenza in molti sistemi oleodinamici.



Elementi principali di una servovalvola sono:

- Lo stadio di regolazione
- L'astina di retroazione
- Lo stadio di potenza

Attuatori pneumatici

Lo stadio di regolazione è composto da un **attuatore elettrico a moto limitato** che aziona una **valvola regolatrice di flusso**. A seconda dell'intensità e del segno della tensione di alimentazione il rotore dell'attuatore elettrico si sposta facendo aumentare la pressione in uno dei due condotti della valvola regolatrice di flusso. Tali condotti sono connessi alle camere di **una valvola a cassetto**, che regola il flusso d'olio nelle due camere dell'attuatore oleodinamico.

L'**astina di retroazione** collega il pistone della valvola a cassetto e l'attuatore meccanico. Essa esercita sul rotore dell'attuatore una coppia di reazione, proporzionale alla posizione del pistone, che si oppone alla coppia motrice.

Grazie all'effetto linearizzante della retroazione meccanica, la funzione di trasferimento tra tensione di alimentazione dell'attuatore elettrico V_c e posizione dello stelo della valvola a cassetto X è data da:

$$\frac{X(s)}{V_c(s)} = \frac{G_s}{1 + sT_s}$$

Essendo:

G_s il guadagno equivalente della servovalvola.

T_s la costante di tempo della servovalvola, dell'ordine dei millisecondi.