

# GLI ATTUATORI PNEUMATICI

## 1. Attuatori pneumatici

In generale gli attuatori sono gli organi finali di un sistema automatico. Essi trasformano una energia (elettrica o di pressione di un liquido o di un gas) in lavoro meccanico. Nel primo caso si parla di motori elettrici, nel secondo caso di attuatori idraulici e nel terzo caso di attuatori pneumatici.

Gli attuatori pneumatici si dividono in due categorie: i cilindri ed i motori.

I primi eseguono movimenti alternativi e di ampiezza limitata, mentre i secondi eseguono rotazioni continue. I motori pneumatici sono usati come utensili avvitatori o trapani, ecc.

Il cilindro pneumatico è di solito l'elemento di lavoro dell'impianto pneumatico. Esso deve realizzare spostamenti lineari, suddivisi in corse di spinta e di tiro e trasforma l'energia di pressione dell'aria in lavoro meccanico (forza di spostamento e di schiacciamento). Il cilindro può avere, entro il suo ciclo di lavoro, anche funzioni di comando.

Il cilindri pneumatici possono essere a semplice effetto oppure a doppio effetto.

## 2. Cilindri a semplice effetto

Il cilindro a semplice effetto può eseguire un determinato lavoro soltanto in un senso del movimento.

Esistono cilindri a semplice effetto di vari tipi, anche molto diversi tra loro. Una delle esecuzioni più semplici è il cilindro a membrana chiamato talvolta anche *capsula pneumatica* (Fig. 1).

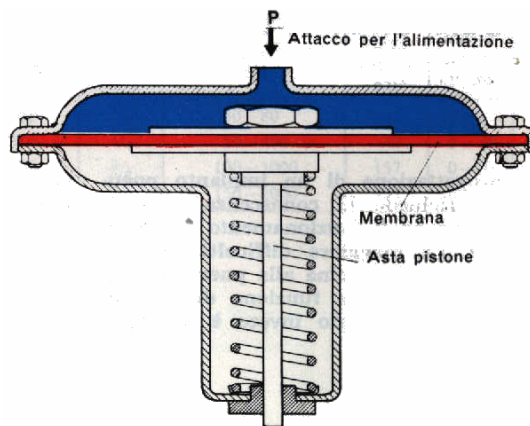


Fig. 1

Tra due tazze metalliche imbutite viene montata una membrana di gomma dura, materiale plastico oppure metallo. L'asta pistone è fissata al centro della membrana e può avere anche una forma piatta per poter servire direttamente come superficie di spinta o di serraggio. Con cilindri a membrana si possono eseguire solo corse brevissime sino ad un massimo di circa 50 mm.

Una molla di richiamo installata internamente esegue il ritorno. Per corse più brevi il ritorno avviene tramite l'elasticità della stessa membrana.

Screpolature oppure tagli. mettono membrana rapidamente fuori uso, perché il materiale flessibile è soggetto a carichi elevati durante ogni singola corsa. Nel caso di smontaggio occorre pertanto una particolare attenzione per non urtare spigoli vivi. Possono divenire pericolosi anche trucioli che si infiltrano nella custodia.

L'uso del cilindro con asta e pistone, a differenza del cilindro a membrana, è largamente diffuso in applicazioni pneumatiche. Ogni cilindro è composto da: camicia, testata posteriore ed anteriore, pistone ed asta.

Inoltre ci sono le guarnizioni e una bussola di guida per l'asta. La camicia è quasi sempre un tubo di acciaio senza saldature. La parte interna è levigata, oppure finita con precisione. Le testate sono in fusione (alluminio o ghisa). I singoli pezzi, pur cambiando costruttore, sono nella loro struttura quasi simili, differiscono solo in alcuni particolari. Ad esempio la maggior parte dei pistoni monta la stessa guarnizione di tenuta.

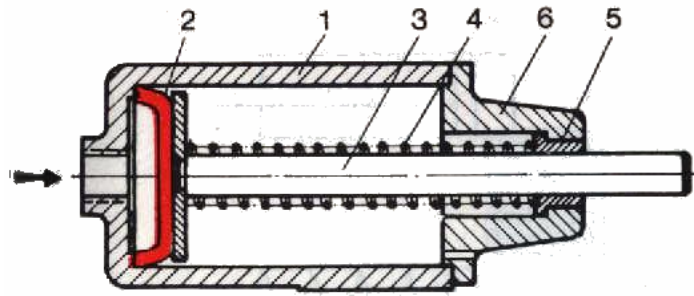


Fig. 2 - Cilindro a semplice effetto in esecuzione fusa.

- 1 corpo del cilindro;
- 2 pistone con guarnizione di tenuta;
- 3 asta;
- 4 molla di richiamo;
- 5 bussola di guida;
- 6 testata anteriore;
- 7 attacco alimentazione aria compressa.

Il cilindro a semplice effetto può essere anche in esecuzione fusa (lega leggera), dove la testata posteriore forma un unico pezzo con la camicia del cilindro (Fig. 2). I cilindri a semplice effetto vengono alimentati soltanto da un lato del pistone ed eseguono lavori solo in una direzione.

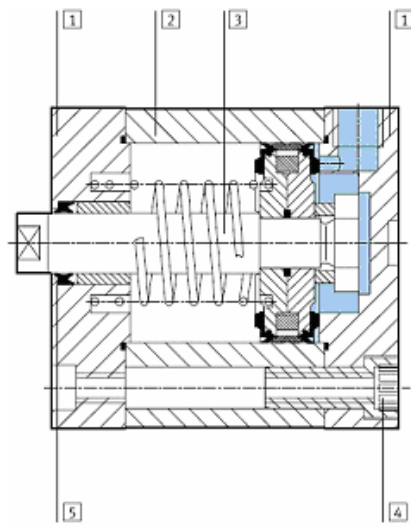


Fig. 3 – Cilindro a semplice effetto (Festo Milano)

- 1. Testate
- 2. Canna del cilindro
- 3. Stelo
- 4. Vite di serraggio
- 5. Guarnizione

I cilindri a semplice effetto possono funzionare, secondo il loro montaggio, in tiro (posizione di riposo asta-pistone tutta fuori, funzione di lavoro col rientro dell'asta), oppure in spinta (posizione di riposo asta pistone tutta dentro), quindi funzione di lavoro con la fuoriuscita dell'asta. Il ritorno, in questo caso senza funzione di lavoro, avviene tramite la molla di richiamo installata oppure tramite forze esterne che agiscono sull'asta. La forza di una molla di richiamo è calcolata per riportare l'asta-pistone con sufficiente velocità nella sua posizione di riposo. La forza della molla è normalmente circa 10 ÷ 15% della possibile forza del pistone, con un'alimentazione d'aria compressa di 6 bar; l'attrito tra pistone e tubo cilindro è il parametro fondamentale.

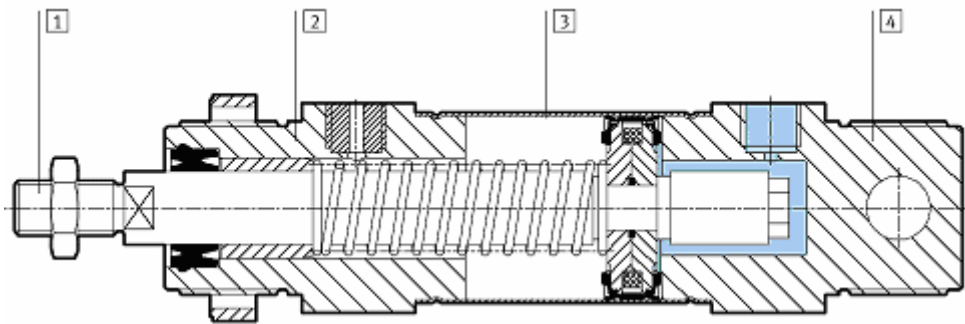


Fig. 4 – Cilindro a semplice effetto (Festo Milano)

1. Stelo con estremità filettata
2. Testata anteriore
3. Canna del cilindro
4. Testata posteriore

La molla di richiamo limita la costruzione in lunghezza del cilindro a semplice effetto; in linea di massima la corsa non è superiore a 100 mm. Siccome l'impiego del cilindro a semplice effetto è molto economico per il suo limitato consumo d'aria, viene utilizzato un effetto semplice, anche per corse più elevate, impiegando un cilindro a doppio effetto in modo che la piena energia pneumatica sia disponibile solo nell'attacco destinato alla direzione di lavoro. L'attacco opposto viene alimentato con una pressione molto ridotta: ad esempio direzione di lavoro 6 bar, direzione opposta 1 bar. Si parla in questo caso di *molla pneumatica*.

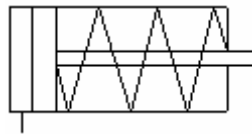


Fig. 5 – Simbolo del cilindro a semplice effetto

### 3. Cilindri a doppio effetto

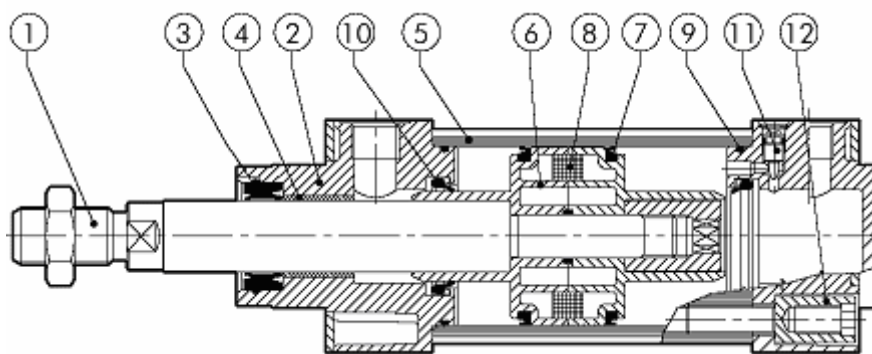


Fig. 6 - Cilindro a doppio effetto (Metalwork)

- |                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| 1. Stelo con estremità filettata | 7. Guarnizione          |
| 2. Testata anteriore             | 8. Anello magnetico     |
| 3. Guarnizione                   | 9. Testata posteriore   |
| 4. Boccola                       | 10. Guarnizione         |
| 5. Canna del cilindro            | 11. Vite di regolazione |
| 6. Guarnizione                   | 12. Vite del tirante    |

Il cilindro a doppio effetto è costruito sempre come un cilindro a pistone con due attacchi d'aria, rispettivamente per la camera anteriore e per quella posteriore e può eseguire lavori in entrambi i sensi.

La figura 6 mostra un cilindro a doppio effetto dalla cui sezione è facile vedere la costruzione del cilindro.

Il tubo cilindro (5) senza saldature viene quasi sempre eseguito in acciaio, in casi speciali in alluminio, ottone oppure bronzo. Il tubo viene levigato, lucidato o cromato per evitare una forte usura alle guarnizioni del pistone mobile. La testata anteriore (2) ed il fondello (o testata posteriore) (9) sono prevalentemente pezzi fusi (in genere alluminio o ghisa). Il fissaggio del fondello e della testata col tubo cilindro può essere fatto con tiranti di serraggio (12), filettatura o flange. La scelta di uno di questi fissaggi dipende dalla dimensione del cilindro e dal costruttore. Nella testata anteriore sono alloggiati una guarnizione (3) per una buona tenuta sull'asta (1) e una bussola in bronzo (4) per la guida dell'asta. La guarnizione serve anche ad evitare infiltrazioni di polvere, attraverso l'asta e la bussola. Alcuni costruttori prevedono (con molta presenza di polveri) invece della guarnizione un soffiato che protegge l'asta lungo tutta la corsa d'uscita. Il pistone alloggia una doppia guarnizione (6) e (7) ed un anello centrale (8) di materiale magnetico che ha il compito di attivare eventuali sensori. Generalmente viene impiegato come materiale magnetico la plastoferrite che è un materiale facilmente lavorabile, usato anche per scopi ludici, didattici, per chiusure magnetiche, porta-sci, ecc. ed è composto dal 90% di ferrite e dal 10% di legante termoplastico.

Quando il cilindro sposta elevate masse occorre un sistema di ammortizzamento per evitare i forti urti del pistone contro le testate. L'asta del cilindro, in prossimità del pistone riporta un ingrossamento «pistone d'ammortizzazione» che nell'ultima tratto della corsa, per mezzo di una guarnizione (10), impedisce il normale deflusso dell'aria attraverso la bocca di scarico. In tal modo si ha compressione d'aria nella camera del cilindro, aria che può scaricarsi, solo lentamente, a seconda della regolazione di una strozzatura (11), attraverso un piccolo condotto. Il movimento del pistone risulta di conseguenza molto rallentato nell'ultimo tratto della corsa. Nel ritorno l'aria non è strozzata ed il pistone parte a piena forza e velocità sia in spinta che in tiro.

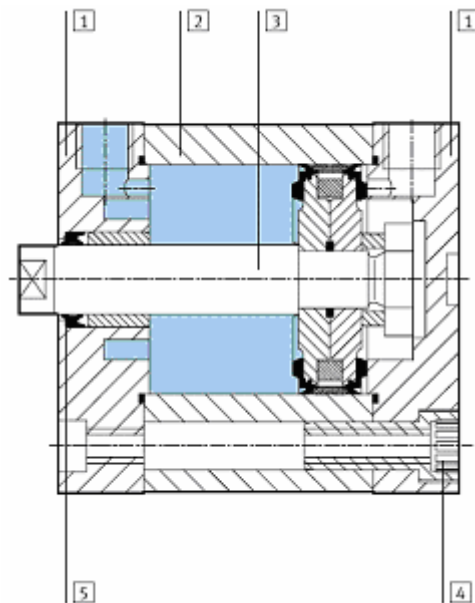


Fig. 7 – Cilindro a doppio effetto (Festo Milano)

1. Testate
2. Canna del cilindro
3. Stelo
4. Vite di serraggio
5. Guarnizione

Se il cilindro è a corsa breve come quello di figura 7 oppure se i cilindri sono a semplice effetto come quelli di figura 3 e figura 4, allora il sistema di ammortizzazione consiste in un semplice para-colpo in gomma montato sul pistone.

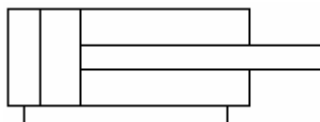
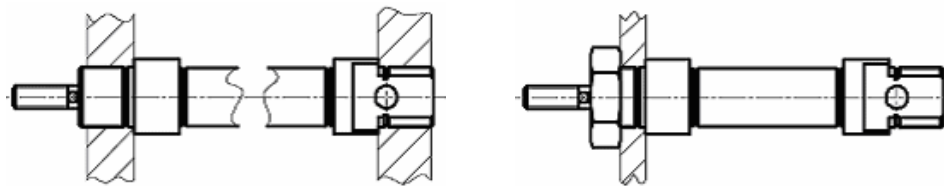


Fig. 8 – Simbolo del cilindro a doppio effetto

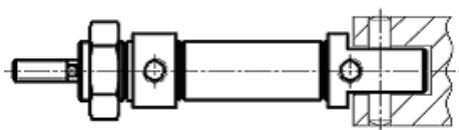
#### 4. Sistemi di fissaggio

Si riportano nelle figure sottostanti alcune possibilità di fissaggio che, per motivi di fabbricazione o dimensione, non sono adattabili per tutti i cilindri a semplice o a doppio effetto.

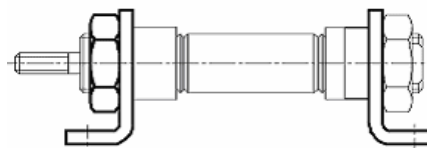


Fissaggio anteriore e posteriore

Fissaggio con dado esagonale



Fissaggio a cerniera



Fissaggio a piedini

#### 5. Dimensionamento dei cilindri

Siccome sono state istituite delle prescrizioni circa le dimensioni dei cilindri, i costruttori hanno sviluppato un programma standard.

*Dimensioni cilindri e lunghezze corse normalizzate, lunghezze corse minime e massime.*

$\Phi$ pistone	spinta (daN) a 6 bar	Corse normalizzate (mm)	Corse min/max (mm)
6	1,2	10, 25, 40, 80	10-80
12	6	10, 25, 40, 80, 140, 200	10-200
16	12	10, 25, 40, 80, 140, 200, 300	10-400
25	24	25, 40, 80, 140, 200, 300	10-500
35	52	70, 140, 200, 300	10-2000
40	72	40, 80, 140, 200, 300	10-2000
50	106	70, 140, 200, 200	10-2000
70	208	70, 140, 200, 300	10-2000
100	424	70, 140, 200, 300	10-2000
140	832	70, 140, 200, 300	10-2000
200	1700	70, 140, 200, 300	10-1100
250	2600	70, 140, 200, 300	10-1100

I diametri standardizzati dei cilindri (in realtà ci si riferisce al  $\Phi$  pistone) si avvicinano molto per tutti i costruttori. La prima colonna della tabella riporta i diametri eseguiti da un costruttore. I singoli diametri, escluse poche esecuzioni, sono stati studiati per raddoppiare e dimezzare la rispettiva forza-cilindro in corrispondenza del diametro superiore o inferiore, con una pressione d'aria di 6 bar (vedi colonna 2). Anche le lunghezze della corsa sono quasi sempre standardizzate (vedi colonna 3); ciò significa che determinati diametri di cilindri possono essere ordinati in diverse lunghezze di corse come elementi di serie. Vengono fornite comunque tutte le lunghezze intermedie su apposita ordinazione; sino al massimo possibile, cioè le lunghezze massime fornite dal costruttore (vedi colonna 4). Si limitano le corse elevate dei cilindri a doppio effetto, perché il consumo d'aria per cilindri con diametri grandi e corsa lunga sarebbe elevato, così come elevate le sollecitazioni meccaniche per l'asta-pistone e per il supporto di guida nei cilindri con diametri piccoli e con corsa lunga. È da fare particolare attenzione che le aste possono flettersi per carico di punta.

## 6. Forza di spinta del cilindro

La forza generata nel cilindro, chiamata in alcuni casi anche forza del pistone, dipende dal  $\Phi$  del pistone, dalla pressione dell'aria compressa e dalla resistenza dovuta all'attrito. Siccome la forza di spinta si misura staticamente, la resistenza d'attrito è quella corrispondente al momento di partenza (di distacco) del pistone. La resistenza d'attrito è minore durante il movimento e nulla quando il sistema è statico.

La forza di spinta del cilindro può essere calcolata come segue:

Forza di spinta = superficie pistone • pressione pneumatica

$$F(daN) = S(cm^2) * p(bar)$$

Per cilindri a doppio effetto:

In uscita

$$F(daN) = \frac{\pi * D^2}{4} (cm^2) * p(bar)$$

In tiro

$$F(daN) = \frac{\pi * (D^2 - d^2)}{4} (cm^2) * p(bar)$$

Per cilindri a semplice effetto:

$$F(daN) = \frac{\pi * D^2}{4} (cm^2) * p(bar) - f$$

Nei cilindri a semplice effetto occorre detrarre la forza  $f$  di richiamo della molla, mentre nel rientro dei cilindri a doppio effetto occorre detrarre la superficie dell'asta dalla superficie del pistone. Per l'attrito si detrae il 3÷10% circa della forza di spinta.

Dalla tabella seguente possono essere rilevati le forze di spinta in funzione degli alesaggi con pressioni di lavoro tra 1 e 15 bar.

Per motivi di costruzione sono possibili lievi differenze (in più o in meno) fra cilindri di diversa marca a causa degli attriti.

*Forza di spinta (daN) del pistone per cilindri a doppio effetto. L'attrito è stato considerato.*

Diametro $\Phi$ pistone	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
6	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
25	4	9	13	17	21	24	30	34	38	42	46	50	55	60	63
35	8	17	26	35	43	52	61	70	78	86	95	104	113	122	129
40	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180
50	17	35	53	71	88	106	124	142	159	176	194	212	230	248	264
70	34	69	104	139	173	208	243	278	312	346	381	416	451	486	519
100	70	141	212	283	353	424	495	566	636	706	777	848	919	990	1059
140	138	277	416	555	693	832	971	1110	1248	1386	1525	1664	1803	1942	2079
200	283	566	850	1133	1416	1700	1983	2266	2550	2832	3116	3400	3683	3966	4248
250	433	866	1300	1733	2166	2600	3033	3466	3800	4332	4766	5200	5633	6066	6498

## 7. Cilindri speciali

Un costruttore può chiamare esecuzione speciale quella che per un altro è una esecuzione standard. Esecuzioni speciali possono avere la forma e le caratteristiche dei cilindri a doppio effetto. Sono possibili moltissime variazioni e hanno come base il programma standard, con variazioni di alcuni particolari del cilindro.

### 7.1. Cilindri a stelo passante



Fig. 10

Possiedono la particolarità di avere la forza di spinta uguale alla forza di tiro perché sono uguali le aree del pistone sulle quali agisce l'aria compressa. Lo stantuffo può quindi essere fermato in posizioni intermedie della corsa attraverso la messa in pressione di tutte e due le camere.

Questo tipo di cilindro (Fig. 10), oltre a permettere due azionamenti contemporanei, consente al secondo stelo di essere impiegato per attivare sensori e finecorsa.

In alcune versioni lo stelo è cavo per consentire il passaggio attraverso il cilindro di tubi di aria compressa o fili elettrici per facilitare la connessione con apparecchiature pneumatiche ed elettriche.

### 7.2. Cilindri antirotativi

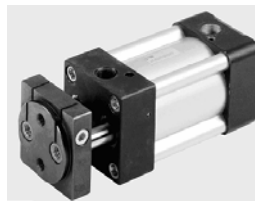


Fig. 11

I cilindri precedentemente esaminati non riescono ad impedire, durante il movimento dello stelo, anche la sua rotazione. Questo comporta la rotazione dell'elemento libero collegato, per esempio di una pinza pneumatica posta all'estremità dello stelo.



Fig. 12

Per evitare questo indesiderato movimento, vengono impiegati cilindri antirotativi che presentano due aste parallele collegate allo stantuffo (Fig. 11) oppure un'asta unica collegata al pistone ed associata ad altre due aste che hanno la funzione di guida (Fig. 12).

### 7.3. Cilindri senza stelo



Fig. 13 Cilindro senza stelo (Metalwork)



I cilindri senza stelo hanno la prerogativa di avere un ingombro assiale molto limitato. Un normale cilindro ha infatti una estensione complessiva più del doppio della corsa utile: alla lunghezza dello stelo si deve infatti sommare la lunghezza del cilindro e della testata posteriore. Questi cilindri, privi completamente dello stelo, realizzano con vari sistemi il movimento di una slitta scorrevole.



Fig.14 (Pneumax)

In figura 14 si ha un cilindro a fune il cui schema di funzionamento è riportato in figura 15.

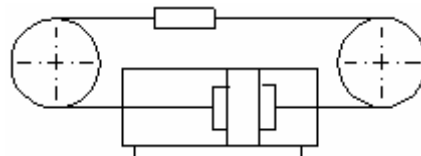


Fig.15

Un cilindro a doppio effetto, una doppia fune e due pulegge permettono di eseguire gli spostamenti della slitta. Il sistema è semplice, ma piuttosto delicato, da usare con molta precauzione e non sopporta forti carichi.



Fig.16

Il secondo tipo (Fig.16) è formato da un cilindro aperto lungo una generatrice, da uno stantuffo simmetrico, da una slitta scorrevole rigidamente collegata allo stantuffo e da un sistema di tenute composto da nastri metallici flessibili (Fig.17).

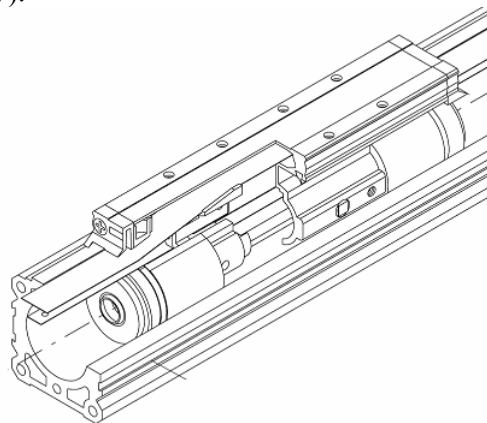


Fig.17 (Pneumax)

Il terzo sistema è composto da un cilindro a doppio effetto in acciaio inox percorso internamente da uno stantuffo che incorpora dei magneti permanenti (Fig. 18). Poiché anche la slitta esterna possiede i magneti permanenti, si realizza un accoppiamento magnetico con lo stantuffo.

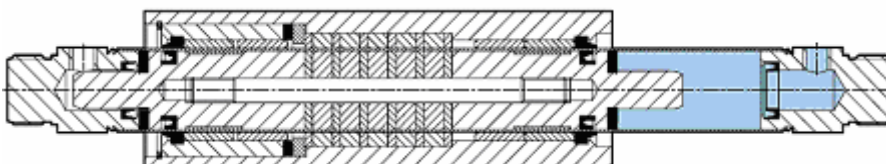


Fig.18



Si eliminano in questo modo eventuali guasti sulle fune o sui nastri.  
 In questo modo si possono realizzare corse di parecchi metri ed è possibile eseguire arresti intermedi, sfruttando la simmetria dello stantuffo e la possibilità di mettere in pressione entrambe le camere.

#### 7.4. Cilindri rotativi



Fig. 19

Questi tipi di attuatori, presentano un albero di uscita capace di eseguire rotazioni alternative. Vengono impiegati quando si vogliono ottenere angoli di rotazione superiori a 120°. Per valori inferiori si opta in genere per un normale cilindro collegato ad un manovellismo (Fig. 20).

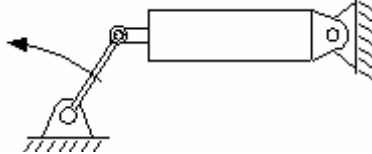


Fig. 20

Per realizzare la rotazione si può usare un cilindro a doppio effetto che contiene due stantuffi collegati da una cremagliera (Fig. 21).

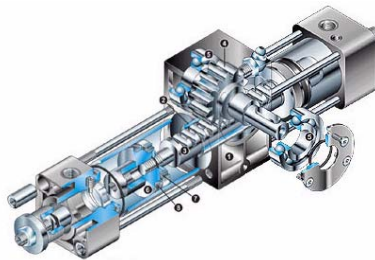


Fig. 21

Il movimento di questo meccanismo determina la rotazione di un rocchetto solidale con l'albero di uscita. In questo modo l'angolo di rotazione può superare anche i 360°.



Fig. 22 - Cilindro rotativo a paletta (Festo Milano)

Un secondo modo per ottenere delle rotazioni è l'impiego di attuatori rotanti a paletta. Sono costituiti da un cilindro entro cui ruota un albero su cui è calettata una paletta (Fig. 23). Un sistema di guarnizioni isola le camere del cilindro.

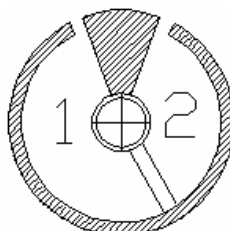


Fig. 23

Il funzionamento si basa sull'invio di aria compressa nella camera 1 e la messa in scarico della camera 2. In questo modo si ottiene la rotazione antioraria della paletta e quindi dell'albero di uscita. Si ottengono in questo modo rotazioni inferiori a 360°, ma con la possibilità di regolare l'angolo di rotazione attraverso alcuni fermi meccanici.



Fig. 24 - Cilindri rotativi

### 7.5. Micro cilindri



Fig. 25

Sono cilindri a semplice effetto che presentano una corsa limitata ad alcuni millimetri e possono essere impiegati come organi di arresto e comunque dove gli spazi sono molto ridotti.