

Elettropneumatica Industriale

Obiettivi

Il corso si propone di fornire le conoscenze tecniche sulla costruzione e funzionamento di apparecchiature elettropneumatiche costituenti un impianto automatizzato.

Saper scegliere il componente in funzione dell'applicazione prevista.

Saper rappresentare graficamente un circuito elettropneumatico nel rispetto delle normative in vigore.

Saper risolvere problematiche d'automazione con l'impiego dell'elettropneumatica.

Contenuti

Introduzione

Il Sistema Pneumatico di base

Principi generali di fisica dell'aria

Produzione e trasporto dell'energia pneumatica

- Compressori
- Serbatoio
- Centrale di compressione
- Rete di distribuzione

Trattamento dell'aria compressa

- Essiccazione
- Filtrazione
- Regolazione
- Lubrificazione

Componenti pneumatici di lavoro

- Cilindri lineari
- Cilindri speciali
- Attuatori rotanti
- Pinze
- Ventose

Cenni generali di elettrotecnica

Componenti elettropneumatici di comando

- Elettrovalvole a comando diretto
- Elettrovalvole servopilotate
- Contatti elettrici
- Finecorsa e Sensori
- Pulsanti ed interruttori
- Relè
- Temporizzatori e contatori
- Trasduttori

Simbologia secondo le norme in vigore e convenzioni di rappresentazione

Circuiti elettropneumatici Elementari

- Funzioni logiche fondamentali
- Comandi manuali e automatici
- Comando di emergenza

Progettazione, realizzazione e cablaggio di circuiti elettropneumatici riferiti ad applicazioni industriali

- Comandi fondamentali semplici
- comandi con funzione di temporizzazione
- Comandi sequenziali
- Comandi sequenziali con metodo "cascata"

Sommario

- Introduzione
- Il sistema pneumatico di base
- Caratteristiche fisiche dell'aria
- Produzione e distribuzione dell'aria compressa
- Trattamento dell'aria compressa
- Componenti pneumatici di lavoro
- Componenti elettropneumatici di comando
- Teoria elettrica di base
- Rappresentazione grafica dei comandi automatici
- Circuiti elettropneumatici elementari
- Tecnica di comando elettropneumatico

Esercitazioni pratiche

Realizzazione e cablaggio di circuiti pneumatici riferiti ad applicazioni industriali semplici, mediante esercitazioni pratiche con l'ausilio di pannelli didattici attrezzati con componentistica industriale



Applicazioni

Manipolatore: Pick and place → A+ B+ A- B-

Esercizio della punzonatrice → A+ B+ B- A-

Ciclo di serraggio e foratura

Punzonatrice con la cascata

Dispositivo di stampaggio

IL SISTEMA PNEUMATICO DI BASE

Il Sistema di Produzione dell'Aria

- Compressore
- Motore elettrico
- Interruttore a pressione
- Valvola di non ritorno
- Serbatoio
- Manometro
- Scarico automatico
- Valvola di sicurezza
- Essiccatore a ciclo frigorifero
- Filtro di linea

Il Sistema di consumo dell'Aria

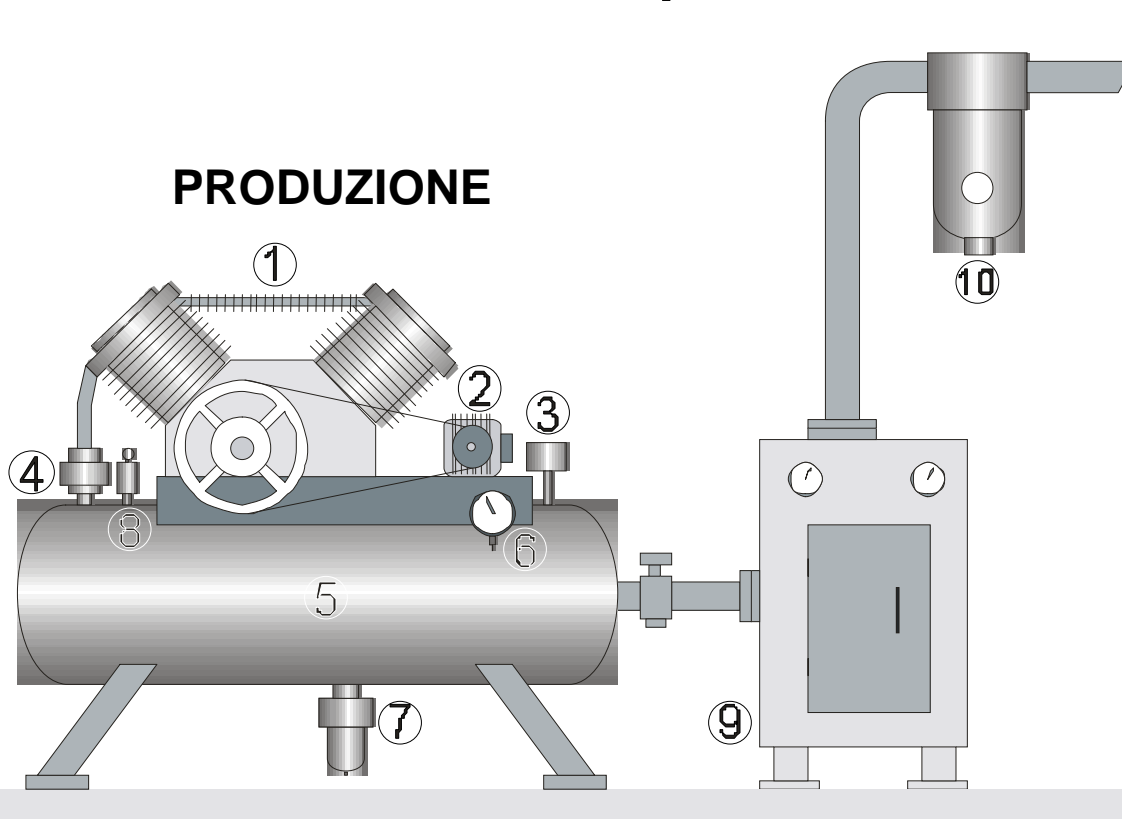
- Presa dell'aria
- Scaricatore automatico
- Unità di trattamento dell'aria
- Valvola direzionale
- Attuatore
- Regolatori di velocità

Il Sistema Pneumatico di Base

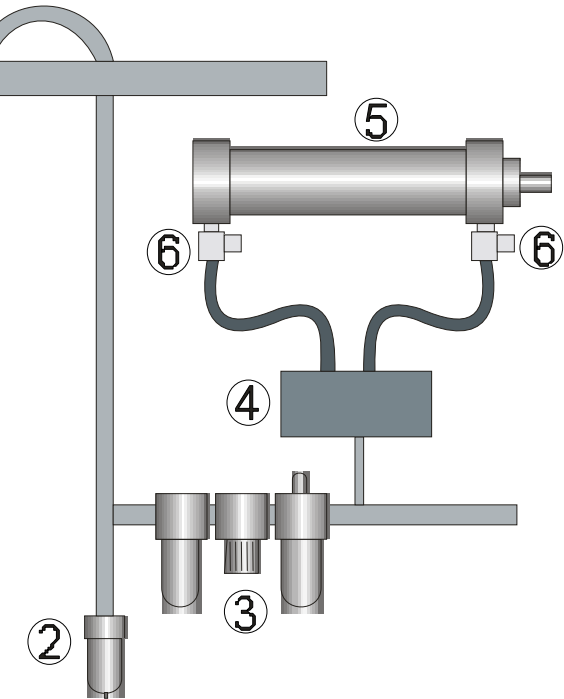
- Cilindri pneumatici, attuatori rotanti e motori ad aria generano la forza e il movimento della maggior parte del sistemi a controllo pneumatico, per bloccare, muovere, formare e manipolare materiali.
- Per operare e controllare questi attuatori, sono richiesti altri componenti pneumatici, ad esempio, unità di servizio dell'aria per preparare l'aria compressa, valvole per controllare la pressione, la portata e la direzione del movimento degli attuatori.
- Un sistema pneumatico di base, consiste di due sezioni principali:
 - il sistema di produzione a di distribuzione dell'aria;
 - il sistema di consumo dell'aria.

Sistema pneumatico di base

PRODUZIONE



UTILIZZO



- | | |
|-----------------------------|------------------------------------|
| 1. Compressore | 6. Manometro |
| 2. Motore elettrico | 7. Scarico automatico |
| 3. Interruttore a pressione | 8. Valvola di sicurezza |
| 4. Valvola di non ritorno | 9. Essiccatore a ciclo frigorifero |
| 5. Serbatoio | 10. Filtro di linea |

- | |
|-----------------------------------|
| 1. Presa d'aria |
| 2. Scaricatore automatico |
| 3. Unità di trattamento dell'aria |
| 4. Valvola direzionale |
| 5. Attuatore |
| 6. Regolatore di velocità |

SISTEMA DI PRODUZIONE DELL'ARIA

1. **COMPRESSORE:** L'aria aspirata a pressione atmosferica è compressa più alta al sistema pneumatico. Esso pertanto trasforma l'energia meccanica in energia pneumatica.
 2. **MOTORE ELETTRICO:** Fornisce potenza meccanica al compressore. Trasforma energia elettrica in energia meccanica.
 3. **INTERRUTTORE A PRESSIONE:** Controlla il motore elettrico a seconda della pressione nel serbatoio. Esso è tarato ad una pressione massima alla quale il motore viene fermato e ad una pressione minima alla quale viene fatto ripartire.
 4. **VALVOLA DI NON RITORNO:** Lascia passare l'aria compressa dal compressore al serbatoio ed impedisce il ritorno quando il compressore si ferma.
 5. **SERBATOIO:** Immagazzina l'aria compressa. La sua dimensione è definita dalla capacità del compressore. Più grande è il volume più aumenta l'intervallo fra gli avvii del compressore.
- **MANOMETRO:** Indica la pressione del serbatoio.
 - **SCARICO AUTOMATICO:** Scarica tutta l'acqua di condensa presente nel serbatoio.
 - **VALVOLA DI SICUREZZA:** Scarica l'aria compressa se la pressione nel serbatoio dovesse salire al di sopra della press. consentita.
 - **ESSICCATORE A CICLO FRIGORIFERO:** Raffredda l'aria a pochi gradi dal punto di congelamento condensando gran parte dell' acqua presente nell'aria.
 - **FILTRO DI LINEA:** Posizionato nella linea principale, il filtro deve avere una minima caduta di pressione e la capacità di rimuovere la nebbia d'olio. Esso aiuta a tenere pulita la linea dalla polvere, dall'acqua di condensa e olio di lubrificazione.

IL SISTEMA DI UTILIZZO DELL'ARIA

1. **PRESA DELL'ARIA:** L'aria è prelevata nella parte superiore della tubatura permettendo alla condensa occasionale di rimanere nella linea principale.
2. **SCARICO AUTOMATICO:** Ogni tubo verticale che scende dalla linea principale deve avere uno scarico di condensa automatico.
3. **UNITÀ DI TRATTAMENTO DELL' ARIA:** Tratta l'Aria compressa per fornire aria pulita alla giusta pressione e volendo lubrifica anche l'aria.
4. **VALVOLA DIREZIONALE:** Alternativamente pressurizza e scarica le due connessioni al cilindro per controllare la direzione del movimento.
5. **ATTUATORE:** Trasforma l'energia potenziale dell' aria in movimenti meccanici.
6. **REGOLATORI DI VELOCITÀ:** Consentono un controllo semplice e continuo della velocità di movimento dell'attuatore.

Caratteristiche Fisiche dell'aria

Unità di misura del S.I.

Denominazione	Simbolo	Unità SI	Nome	Osservazioni
UNITÀ BASE				
Massa	m	Kg	Kilogrammo	
Lunghezza	s	m	metro	
Tempo	t	s	secondo	
Temperatura assoluta	T	K	Kelvin	0 °C = 273,16 °K
Temperatura	t	°C	Grado Celsius	
UNITÀ COMPOSTE				
Raggio	r	m	metro	
Angolo	$\alpha, \gamma, \beta, \delta, \epsilon, \varphi$	1	radiante(m/m)	
Area, sezione	A,S	m ²	metro quadro	
Volume	V	m ³	metro cubo	
Velocità	v	m/s	metro al sec	
Velocità angolare	ω	1/s	radianti al sec	
Accelerazione	a	m/s ²	metri al secondo quadrato	
Inerzia	J	m ² .Kg		
Forza	F	N	Newton	=Kg .m / s ²
Peso	G	N	Accelerazione di gravità	9,80665 m/s ²
Lavoro	W	J	Joule=Newton . m	Kg m ² /s ²
Energia	E,W	J	Joule	
Momento	M	J	Joule	
Potenza	P	W	Watt	J / s
CORRELATE ALL'ARIA COMPRESSA				
Pressione	p	Pa	Pascal	N / m ²
Volume standard	Vn	nm ³	normal metro cubo	t=20 °C
portata Volumetrica	Qv	nm ³ / s	normal metro cubo al sec	p=760 mmHg
Energia, Lavoro	E,W	N.m	Joule	Pa.m ³ = N.m
Potenza	P	W	Watt	P . Q = N . m/s = W

Multipli e sottomultipli di uso più frequente

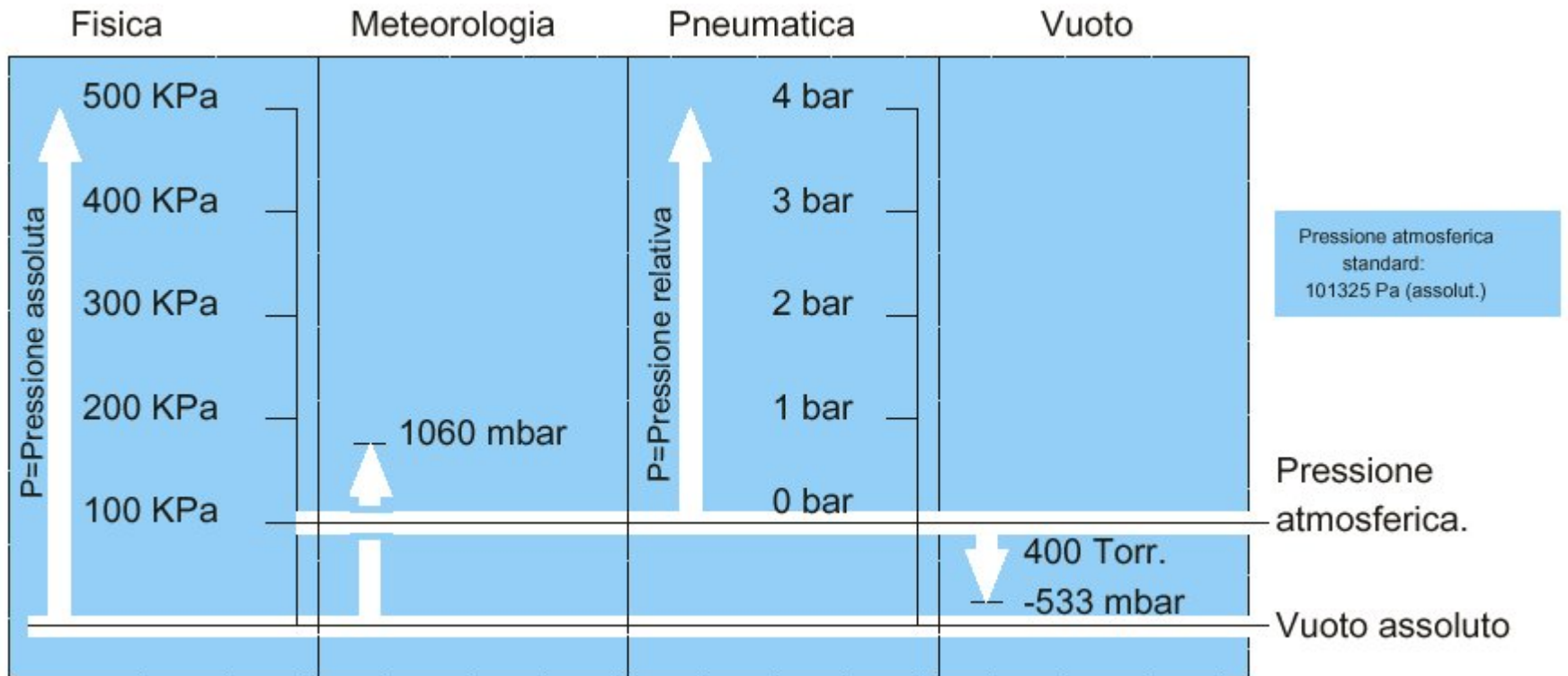
Prefisso	Fattore di moltiplicazione	Simbolo	Valore
Tera	10^{12}	T	1000000000000
Giga	10^9	G	1000000000
Mega	10^6	M	1000000
kilo	10^3	k	1000
etto	10^2	h	100
deca	10^1	da	10
unità	10^0		1
deci	10^{-1}	d	0.1
centi	10^{-2}	c	0.01
milli	10^{-3}	m	0.001
micro	10^{-6}	μ	0.000001
nano	10^{-9}	n	0.000000001
pico	10^{-12}	p	0.000000000001

Confronto fra unità metriche ISO e unità anglosassoni

Denominazione	Metric Unit (m)	English (e)	Factor m ⇒ e	Factor e ⇒ m
Massa	Kg.	pound	2,205	0,4535
	g.	ounce	0,03527	28,3527
Lunghezza	m	Foot	3,281	0,3048
	m	yard	1,094	0,914
	mm.	inch	0,03937	25,4
Temperatura	° C	° F	1,8 C + 32	(° F - 32) / 1,8
Area, sezione	m ²	Sq. feet	10,76	0,0929
	cm ²	Sq. inch	0,155	6,4516
Volume	m ³	Cu. yard	1,308	0,7645
	cm ³	Cu. inch	0,06102	16,388
	dm ³ (litre)	Cu. feet	0,03531	28,32
Portata volumetrica	m ³ _n /min.	Scfm(*)	35,31	0,02832
	dm ³ _n /min	scfm	0,03531	28,32
Forza	Newton (N)	Pound force (lbf.)	0,2248	4,4484
Pressione	bar	psi	14,5	0,06895

(*) standard cubic foot (feet) per minute

Misurazione del vuoto



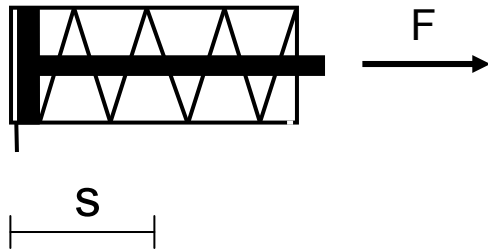
Unità di misura in sintesi

Forza	1 Newton = 1 Kg x m / s ²
Lavoro = Energia	1 Joule = 1 Newton x m
Pressione	1 Pascal = 1 Newton / m ²
	1 bar = 10 ⁵ Pascal
	1 psi [pound / square inch] = 0,4535 Kg / (2,54 cm) ² = =0,4535/6,4516 Kg/cm ² = 0,07029 x 98100 = 6895 Pa
	pressione atmosferica = 1,0135 bar
<i>si misura con:</i>	<i>barometro</i> <i>pressione assoluta</i>
	<i>manometro</i> Δp
	<i>vacuometro</i> Δp (0 ÷ 1)
	mentre un <i>pressostato</i> usa il valore della pressione per aprire o chiudere un circuito
Calore = Energia	1 Kilocaloria = 4186 Joule

Temperatura = livello di energia disponibile, misura l'agitazione media molecolare

°C (Centigradi)	0 ÷ 100	
°K (Kelvin)	273,15 ÷ 373,15	K=C+ 273,15
°F (Farhenait)	32 ÷ 212	F=1,8C+32
°R (Renoir)	0 ÷ 80	R=0,8C

Le grandezze del Cilindro



$$L = F \times s$$

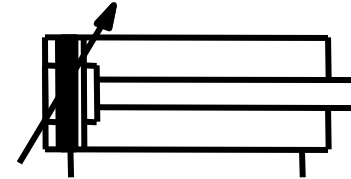
Il lavoro compiuto nell'unità di tempo e' la **Potenza**

$$P = L / t \text{ [Joule/sec=Watt]}$$

Per spostare il pistone si usa aria compressa, e se p e' la pressione dell'aria, la forza esercitata dal pistone sara':

$$F = p \times S$$

Dove S e' la superficie del pistone



La Pressione

L'unità ISO della pressione è il Pascal (Pa):

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 \quad 100000 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar}$$

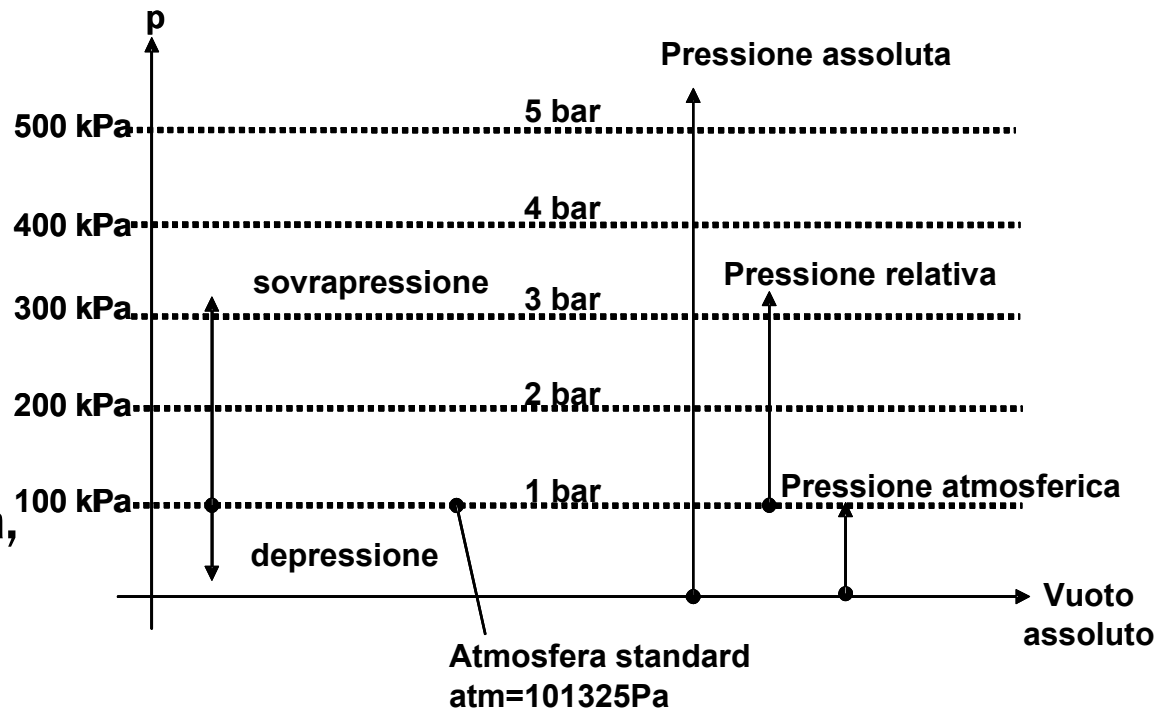
In pneumatica, una pressione si considera al di sopra della pressione atmosferica ed è comunemente riferita come pressione manometrica.

Una pressione può anche essere relativa al vuoto assoluto, al di sotto della pressione atmosferica ovvero una depressione.

La pressione si può indicare in vari modi usando la pressione atmosferica standard di 1013 mbar come riferimento.

La Pressione assoluta comprende la pressione esercitata dall'atmosfera, la Pressione Relativa non comprende la pressione dell'aria atmosferica

$$\text{Pressione assoluta} = \text{Pressione relativa} + \text{pressione atmosferica}$$



Lo Stato del Gas

Le grandezze **PRESSIONE, TEMPERATURA, VOLUME** definiscono lo stato del gas.

La massa del gas è individuata dal suo volume per la sua densità:

Densità = massa / volume = ρ

DENSITÀ, TEMPERATURA, PRESSIONE sono le *variabili di stato* del gas perché ne indicano lo stato e il modello di rappresentazione del gas è espresso dalla sua **equazione di stato**:

$$pV = mRT$$

=>

$$p = (m/V) RT$$

=>

$$p = \rho RT$$

dove R = costante caratteristica del gas (per l'aria $R = 287 \text{ J/Kg.}^\circ\text{K}$)

ρ = densità del gas

e per uno specifico gas si può anche dire che:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \dots = \text{costante}$$

Questa legge è una delle principali basi teoriche per il calcolo progettuale o per selezionare componenti pneumatici quando debbono essere considerate le variazioni di temperatura.

Misure di Pressione e Volume

Le molecole dell'aria atmosferica sono soggette alla forza di gravità e quindi esercitano una pressione sulla superficie terrestre: la pressione atmosferica che a livello del mare è pari a 101325 Pa.

In pneumatica si deve quindi ricordare che:

PRESSIONE ASSOLUTA = PRESSIONE RELATIVA + PRESSIONE ATMOSFERICA

Quando si indica la quantità di gas con il volume si deve sempre precisare la pressione e la temperatura a cui si riferisce:

**VOLUME NORMALE = volume occupato dall'aria in condizioni normali
(a 20°C e alla pressione atmosferica)**

1 normal m³ [1nm³] = 1m³ di aria in condizioni normali

1 normal litro [1nl] = 1 l di aria in condizioni normali

1nm³ = 1000 nl

La densità dell'aria in condizioni normali $\rho = 1,205 \text{ Kg} / \text{m}^3$

Trasformazioni del Gas

Passaggio

→ dallo stato

A

p_1

ρ_1

T_1

→ allo stato

B

p_2

ρ_2

T_2

$$p_1 = \rho_1 R T_1 = m R \frac{T_1}{V_1}$$

$$p_2 = \rho_2 R T_2 = m R \frac{T_2}{V_2}$$

Per l'aria $R = 287 \text{ J / Kg } ^\circ\text{K}$

Si potranno avere le seguenti trasformazioni:

Trasformazioni isobara = a Pressione costante

Trasformazioni isocora = a Volume costante

Trasformazioni isoterma = a Temperatura costante (acqua che bolle)

Trasformazioni adiabatica = variano le 3 grandezze p , V , T senza scambio di calore con l'esterno

Trasformazione Politropica = il calore specifico si mantiene costante

Leggi del Gas

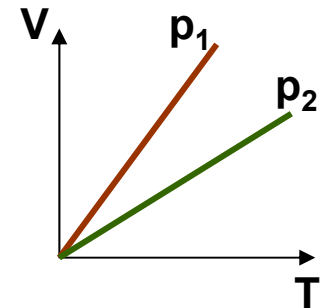
$$pV = mRT$$

Prima legge di Gay-Lussac

In un gas mantenuto a pressione costante, il volume e la temperatura assoluta sono direttamente proporzionali (*trasformazione isobara*)

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$V = \text{cost} \cdot T$$

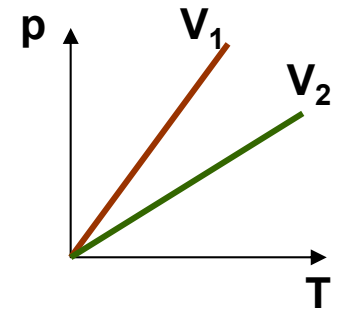


Seconda legge di Gay-Lussac

In un gas mantenuto a volume costante, la pressione assoluta e la temperatura assoluta sono direttamente proporzionali (*trasformazione isocora*)

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

$$p = \text{cost} \cdot T$$

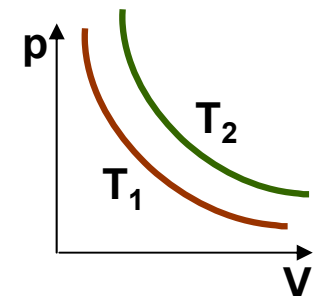


Legge di Boyle-Mariotte

In un gas mantenuto a temperatura costante, il volume e la pressione assoluta sono inversamente proporzionali (*trasformazione isoterma*)

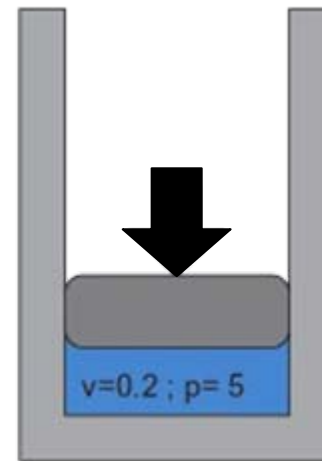
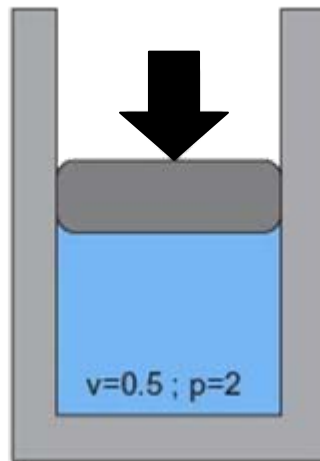
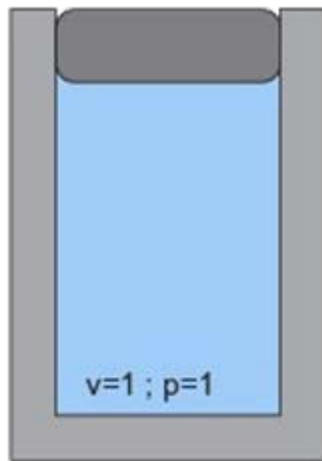
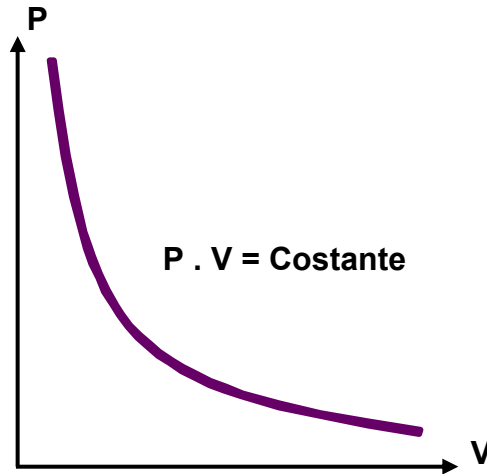
$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$p = \text{cost} / V$$



Trasformazione Isoterma

La legge di Boyle



$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = p_3 \cdot V_3$$

Trasformazione Adiabatica (o isoentropica)

Le trasformazioni viste sono trasformazioni ideali che non si verificano mai nella pratica a meno di operare con apparecchiature sofisticate e con cambiamenti molto lenti.

Quindi nella realtà quando l'aria entra in un cilindro la trasformazione che si genera è adiabatica e la legge di Boyle Mariotte $pV = \text{costante}$ diventa:

$$P \cdot V^k = \text{costante}$$

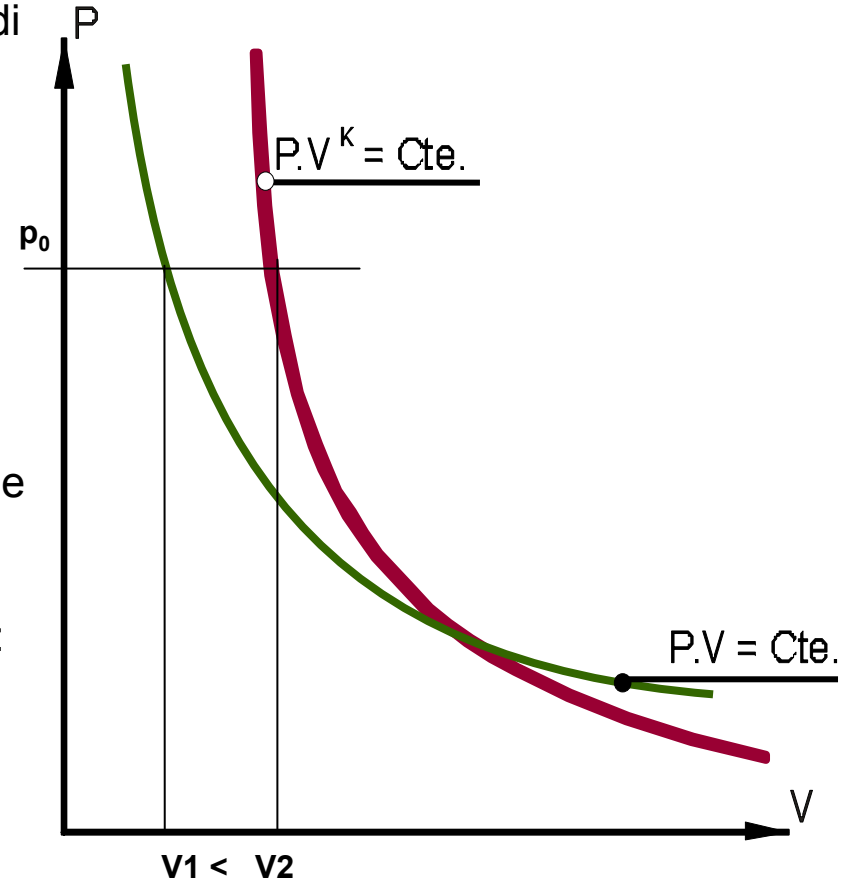
Dove k è il rapporto tra il calore specifico a pressione costante e il calore specifico a volume costante del gas:

$$k = c_p / c_v$$

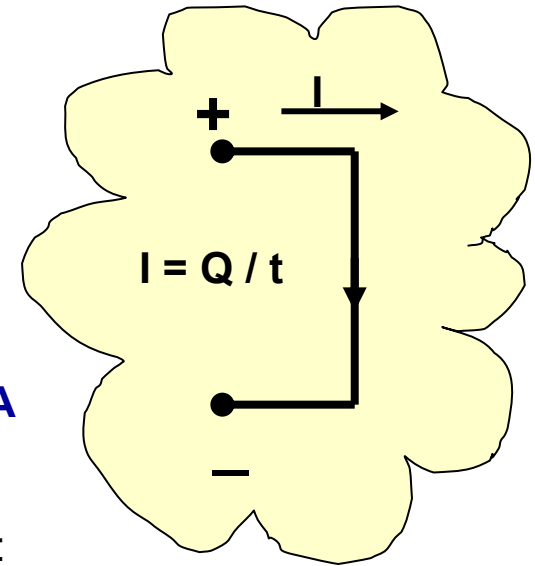
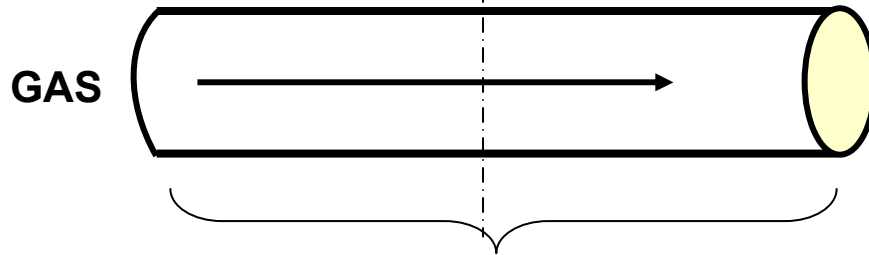
E poiché $c_p > c_v$ e quindi $k > 1$ dalla relazione:

$$P = \text{costante} / V^k$$

si deduce che in questa trasformazione adiabatica i valori della pressione sono sempre inferiori ai valori che le competerebbero se la trasformazione fosse isoterma.



Portata



Portata = massa / tempo = Q_m

PORTATA MASSICA

e questa rappresenta una costante;

Qualora si esprima invece come rapporto tra Volume e tempo:

$Q_v = \text{Volume} / \text{tempo}$

PORTATA VOLUMETRICA

allora non si puo' parlare di portata costante.

$$Q_v = \frac{V}{t} = \frac{x}{t} \cdot S = v \cdot S \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{sec}} \right]$$

spesso si misura in l/s $\Rightarrow 1 \text{ l/sec} = 1 \frac{\text{dm}^3}{\text{sec}}$

$$Q_v = \frac{\text{Volume}}{\text{tempo}} \times \frac{\text{massa}}{\text{massa}} = \frac{\text{massa}}{\text{tempo}} \times \frac{1}{\frac{\text{massa}}{\text{Volume}}} = Q_m \times \frac{1}{\rho}$$

$$Q_m = \rho \cdot Q_v$$

Dalla legge di Boile-Mariotte, se la temperatura non varia: **$p_1 V_1 = p_2 V_2$** riferendo entrambi i membri allo stesso intervallo di tempo, possiamo ricavare:

$p_1 (V_1 / \Delta t) = p_2 (V_2 / \Delta t) = p_1 Q_{v1} = p_2 Q_{v2}$

\rightarrow

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{Q_{v2}}{Q_{v1}}$$

Portata normalizzata

La portata in volume normale rappresenta la quantità di aria che passa in una certa sezione nell'unità di tempo considerando il volume espresso secondo le condizioni standard di riferimento e non riferite a quelle effettive di funzionamento.

L'unità di misura della portata in volume normale in m^3 standard al secondo o come si usa dire in normal m^3 al secondo ($1 \text{ } m^3 / s = 60000 \text{ } ml / \text{min}$).

Il Volume Normale è il volume occupato dall'aria in condizioni normali:

**Temperatura = $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($293,15 \text{ } ^\circ\text{K}$) e
pressione atmosferica = 101325 Pa**

Portata Volumetrica

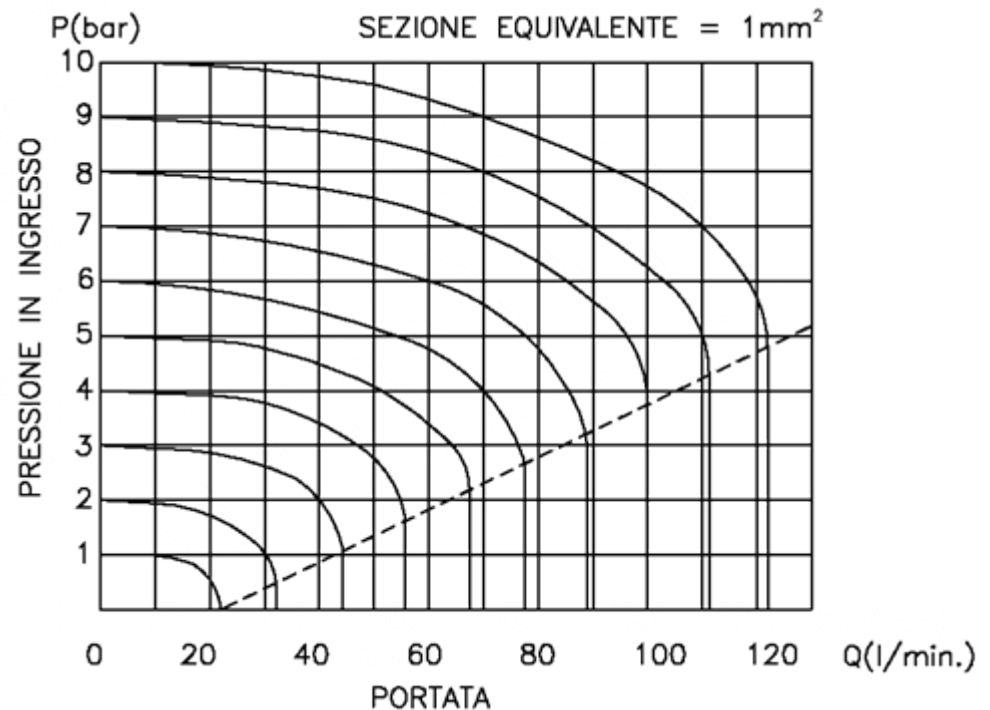
Abbiamo visto che la portata volumetrica è data dal Volume di aria che attraversa la sezione di una condotta nell'unità di tempo:

$$Q_v = \frac{V}{t} = \frac{x}{t} \cdot S = v \cdot S \left[\frac{\text{m}^3}{\text{sec}} \right]$$

Spesso la portata viene espressa in litri/sec: $1 \text{ l/sec} = 1 \frac{\text{dm}^3}{\text{sec}}$

Il calcolo della portata di un fluido gassoso è complesso perchè la sua velocità v è caratterizzata da molti parametri dovuti alla sua comprimibilità.

Il diagramma a fianco mostra la relazione tra pressione e portata dell'aria che attraversa un orificio di 1 mm^2 di sezione.



Esercizi

- 1) Un recipiente contiene 2 m^3 (volume relativo) di aria alla pressione relativa di 600 KPa e alla temperatura di $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Determinare la pressione assoluta, la temperatura assoluta e il volume normale (trasformazione a temperatura costante).
- 2) Un recipiente contiene 2 m^3 di aria a pressione atmosferica e alla temperatura di $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Determinare la pressione assoluta, la temperatura assoluta e il volume del recipiente (trasformazione pressione costante).
- 3) Un recipiente è chiuso da un coperchio di Area= $0,1\text{m}^2$. Esso contiene aria a pressione relativa $p_1=300\text{kPa}$ e temperatura $t_1=5 \text{ }^\circ\text{C}$. Ipotizzando che l'aria venga riscaldata a $t_2 =45 \text{ }^\circ\text{C}$, determinare: (trasformazione volume costante)
 - a) La forza che l'aria esercita sul coperchio prima del riscaldamento
 - b) La pressione e la temperatura assolute prima del riscaldamento
 - c) La pressione assoluta dopo il riscaldamento
 - d) La forza esercitata dopo il riscaldamento
- 4) Un recipiente chiuso da uno stantuffo mobile ha volume di 20 litri e si trova a pressione atmosferica. Quando si applica una forza sullo stantuffo, il volume si riduce a 5 litri. Supponendo che la temperatura rimanga costante, determinare: (trasformazione temperatura costante)
 - a) La pressione assoluta finale
 - b) La pressione relativa finale
- 5) Un serbatoio di 3 m^3 contiene aria alla pressione relativa di 1000 kPa e alla temperatura di $65 \text{ }^\circ\text{C}$. Determinare (eq. di stato):
 - a) La pressione assoluta p_a
 - b) La temperatura assoluta T
 - c) Il contenuto di aria in Kg (massa)
 - d) Il contenuto di aria in m^3

Legge di stato: $pV = mRT$

1ª Legge di Gay Lussac: a pressione costante $V / T = \text{costante}$

2ª Legge di Gay Lussac: a volume costante $p / T = \text{costante}$

Legge di Boyle Mariotte: a temperatura costante $pV = \text{costante}$

Pressione atmosferica = $101350 \text{ N/m}^2 = 101350 \text{ Pa}$

$0 \text{ }^\circ\text{C} = 273,15 \text{ }^\circ\text{K}$

$R = 287 \text{ J / Kg }^\circ\text{K}$

1 normal m^3 a 20°C (293°K) e alla pressione atmosferica = 1000 litri

Dati da ricordare

Legge di stato: $pV = mRT$

1^a Legge di Gay Lussac: a pressione costante $V / T = \text{costante}$

2^a Legge di Gay Lussac: a volume costante $p / T = \text{costante}$

Legge di Boyle Mariotte: a temperatura costante $pV = \text{costante}$

Pressione atmosferica = $101350 \text{ N/m}^2 = 101350 \text{ Pa}$

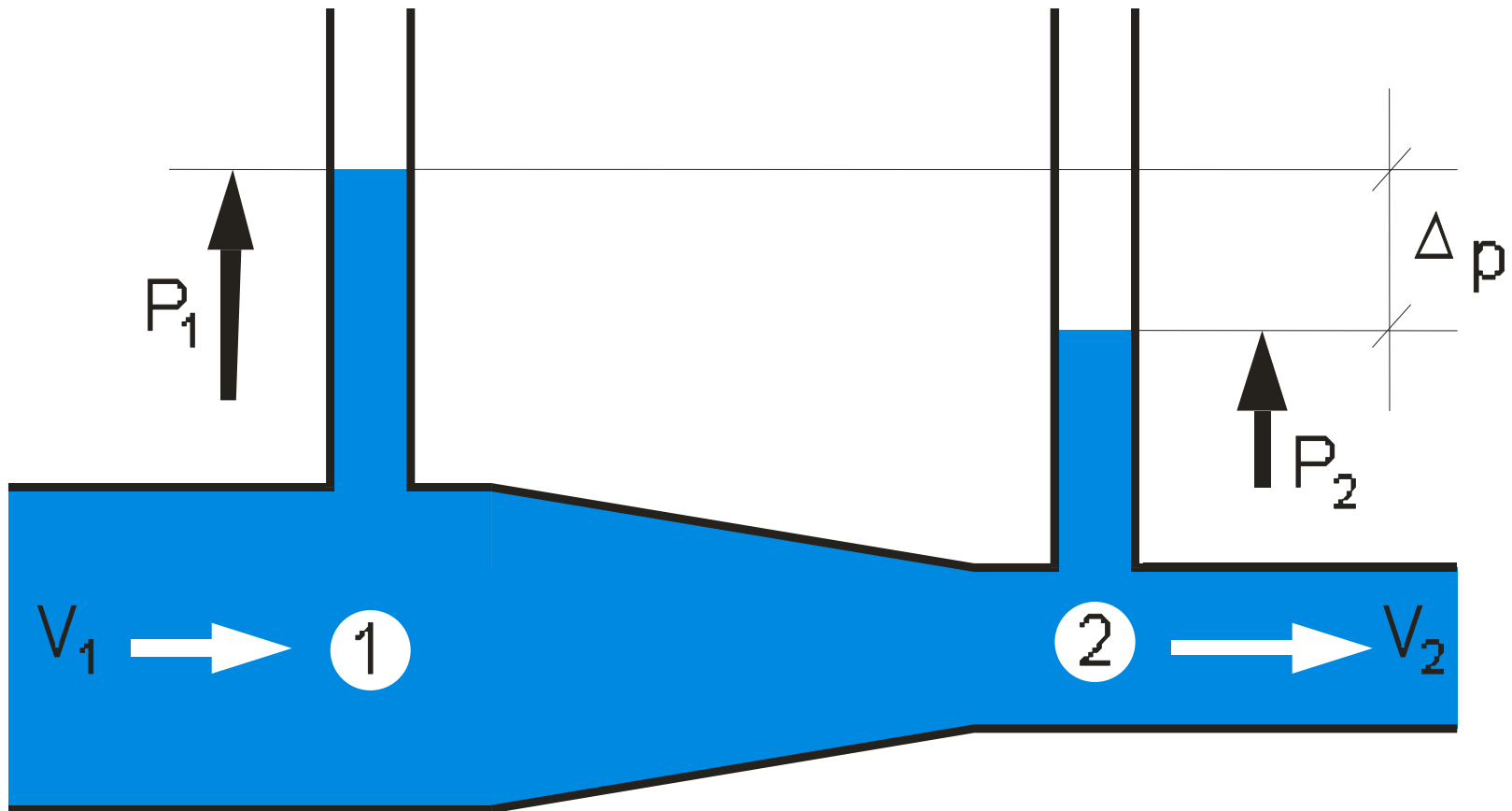
$0 \text{ }^\circ\text{C} = 273,15 \text{ }^\circ\text{K}$

$R = 287 \text{ J / Kg }^\circ\text{K}$

1 normal m^3 a 20°C (293°K) e alla pressione atmosferica = 1000 *n*litri

Teorema di Bernoulli

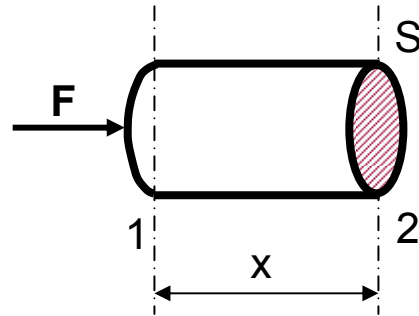
“Se un liquido scorre orizzontalmente attraverso un tubo a diametro variabile, l'energia totale in due punti distinti è la stessa”



Teorema di Bernoulli

“Se un liquido scorre orizzontalmente attraverso un tubo a diametro variabile, l'energia totale in due punti distinti è la stessa”

Consideriamo un tratto elementare di tubo



$$\begin{aligned}\text{Lavoro} &= F \cdot x = (F / S) \cdot (x \cdot S) = \\ &= \text{pressione} \cdot \text{Volume}\end{aligned}$$

$$\text{Energia Cinetica} = \frac{1}{2} \text{ massa} \cdot \text{velocità}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Energia totale} &= \text{Lavoro} + \text{Energia Cinetica} = \text{costante} \\ &= p \cdot V + \frac{1}{2} m v^2 = (p \cdot m) \cdot (V / m) + \frac{1}{2} m v^2 = m (p / \rho + \frac{1}{2} v^2)\end{aligned}$$

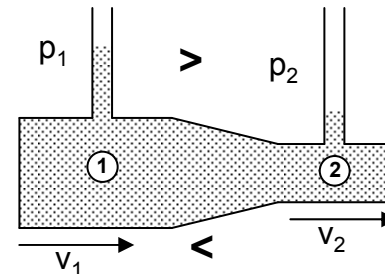
$$\Rightarrow \quad p / \rho + \frac{1}{2} v^2 = \text{costante} \quad \Rightarrow$$

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{costante}$$

Maggiore è la pressione minore è la velocità

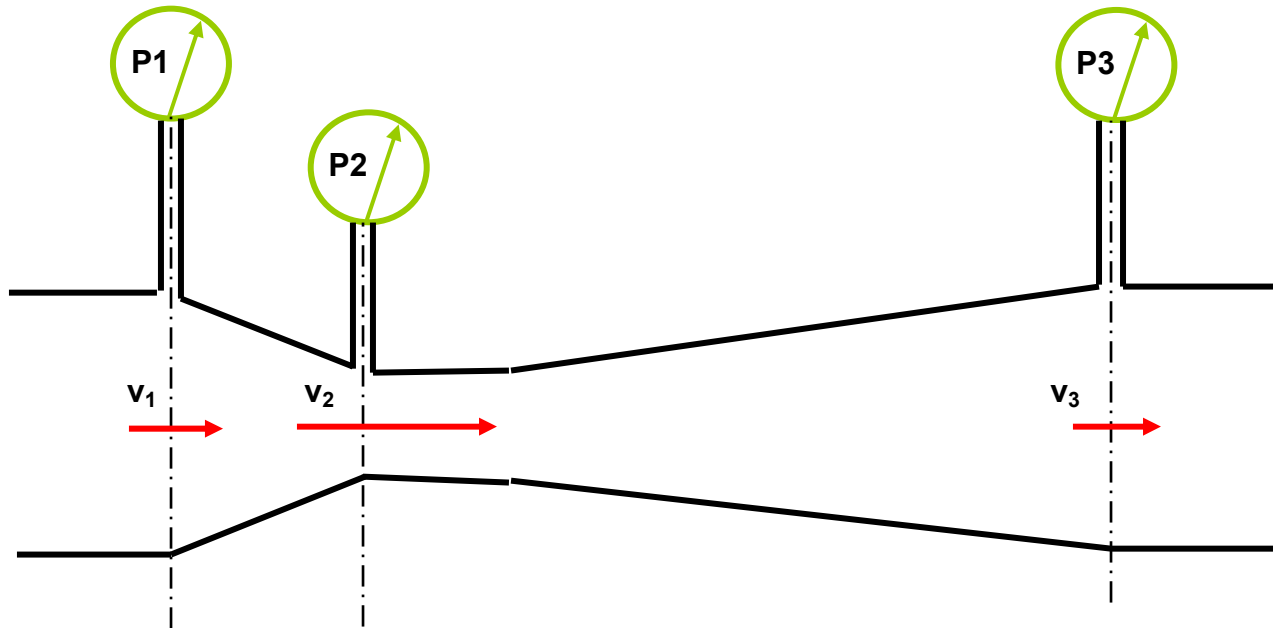
Quindi considerando le due sezioni 1 e 2 si ha:

$$p_1 / \rho + \frac{1}{2} v_1^2 = p_2 / \rho + \frac{1}{2} v_2^2$$



Tubo di Venturi

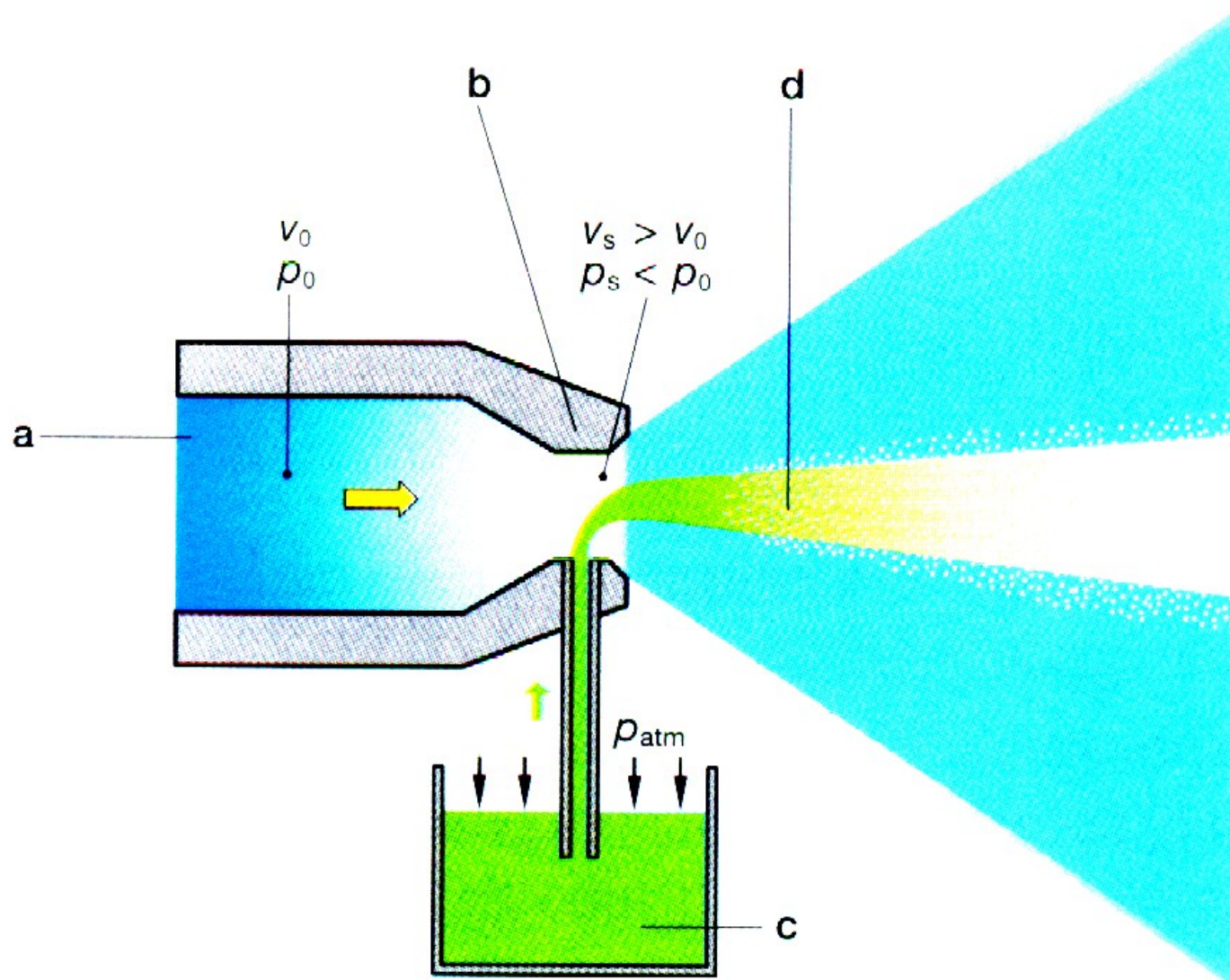
Il tubo di Venturi è un'applicazione dell'equazione del teorema di Bernoulli. È un metodo di misura fluidodinamica che può essere usato sia per sostanze liquide che per sostanze aeriformi ottenendo però con queste ultime risultati poco soddisfacenti dovuti alla comprimibilità del gas. Il suo migliore utilizzo avviene in campo idraulico per misurazioni continue di valore di portata nel condotto. L'effetto Venturi è sfruttato in pneumatica nelle valvole generatrici di vuoto.



$$\begin{aligned} v_2 &> v_1 \\ p_2 &< p_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_3 &< v_2 \\ p_3 &> p_2 \end{aligned}$$

Effetto Venturi



Umidità dell'aria

L'aria atmosferica contiene sempre una percentuale di vapore acqueo. La quantità di acqua presente dipende dall'umidità atmosferica e dalla temperatura.

Quando l'aria atmosferica viene raffreddata, essa raggiunge un punto in cui diventa satura di vapore acqueo. Questo punto è noto come *punto di rugiada*. Se l'aria viene ulteriormente raffreddata, essa non può più trattenere tutta l'acqua nella fase di vapore. La differenza viene espulsa sottoforma di minuscole goccioline che formano un condensato. La quantità di acqua che può essere trattenuta dipende unicamente dalla temperatura. 1 m³ di aria compressa è in grado di trattenere la medesima quantità di vapore acqueo di 1 m³ di aria a pressione atmosferica.

Temperatura °C	0	5	10	15	20	25	30	35	40
g/m ³	4,98	6,86	9,51	13,04	17,69	23,76	31,64	41,83	54,108
Temperatura °C	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
g/m ³	4,98	3,42	2,37	1,61	1,08	0,7	0,45	0,29	0,18

Quantità in grammi di acqua per m³ di aria in condizioni di saturazione (punto di rugiada) alla pressione atmosferica (101325 Pa) per T da -40 °C a +40 °C

Umidità relativa e Punto di rugiada

Umidità relativa

*Quantità di vapore presente nell'aria
ad una certa temperatura*

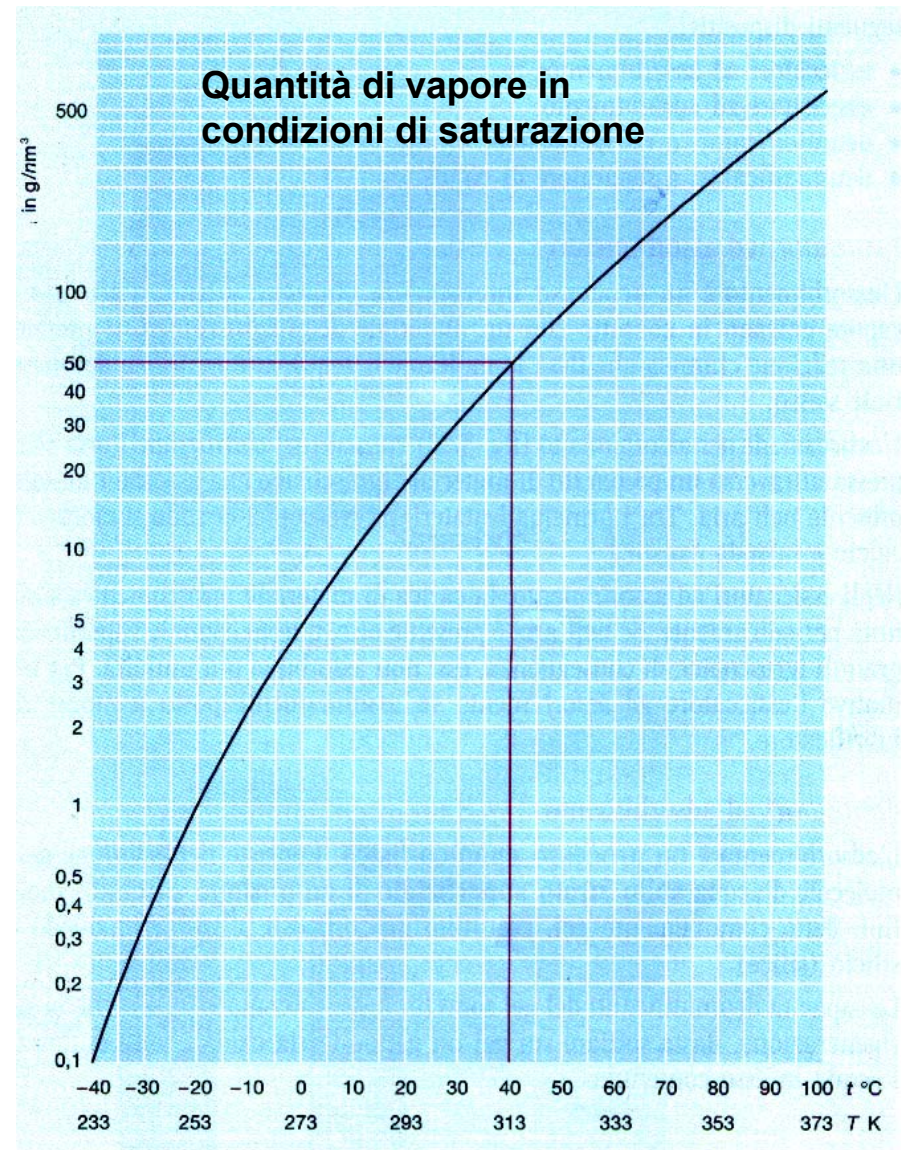
*Quantità di vapore in condizioni di
saturazione a quella temperatura*

%

Punto di rugiada

La temperatura per la quale il vapore presente nell'aria raggiunge la saturazione

L'acqua di condensa equivale alla quantità totale di acqua nell'aria meno il volume che può essere trattenuto dall'aria compressa. Questo condensato deve essere rimosso prima che l'aria compressa sia distribuita per evitare effetti dannosi sui componenti del sistema pneumatico.



Esempio 1

Se 10m³ di aria atmosferica a 25 °C e rh=70% sono compressi alla pressione manometrica (relativa) di 9 bar e la temperatura sale a 80°C, e poi si raffredda a 15 °C, quanta acqua condensa ?

Il punto di rugiada a 25°C, cioè H₂O in saturazione = 23,76 g/m³ ≈ 24g/m³ e quindi in 10 m³ di aria potranno essere trattieneuti 240 g di acqua e applicando la relazione precedente:

$$Rh = \text{H}_2\text{O attuale} / \text{H}_2\text{O in saturazione}$$

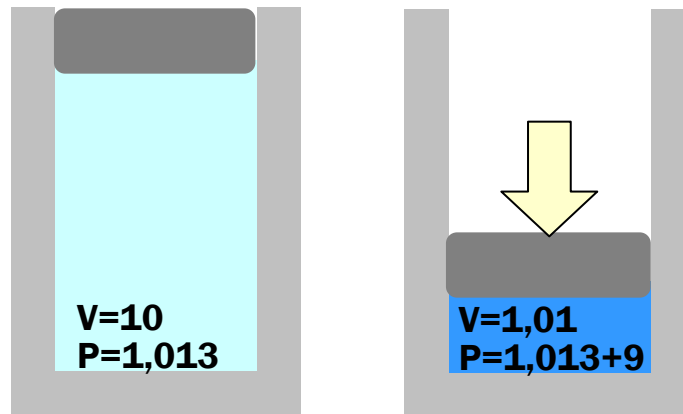
Si ricava:

$$\text{H}_2\text{O attuale} = rh \times \text{H}_2\text{O in saturazione} = 0,70 \times 240 = 168 \text{ g}$$

Temperatura °C	0	5	10	15	20	25	30	35	40
g/m ³	4,98	6,86	9,51	13,04	17,69	23,76	31,64	41,83	54,108
Temperatura °C	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
g/m ³	4,98	3,42	2,37	1,61	1,08	0,7	0,45	0,29	0,18

(continua) Esempio

Il volume ridotto dell'aria compressa a 9 bar, e a temperatura costante a 25°C, può essere calcolato applicando la legge di Boyle:



t = 25°C = costante

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \rightarrow V_2 = (p_1/p_2)V_1 = [1,013/(9+1,013)] \times 10 = 1,01 \text{ m}^3$$

(continua) Esempio

Applicando ora la legge di Gay Lussac riguardo ad una trasformazione isobara a pressione costante:

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} \Rightarrow V_3 = V_2 \times \frac{T_3}{T_2} = 1,01 \times \frac{273,15 + 15}{273,15 + 80} = 0,82\text{m}^3$$

Dalla precedente tabella in corrispondenza a 15°C si ricava:

rh = 13,04 g/m³, per cui la quantità massima di acqua che può essere trattenuta è:

$$13,04 \times 0,82 \approx 11 \text{ g}$$

Temperatura °C	0	5	10	15	20	25	30	35	40
g/m ³	4,98	6,86	9,51	13,04	17,69	23,76	31,64	41,83	54,108
Temperatura °C	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
g/m ³	4,98	3,42	2,37	1,61	1,08	0,7	0,45	0,29	0,18

(continua) Esempio

Ma l'acqua di condensa è uguale alla quantità totale di acqua nell'aria meno quella che può essere trattenuta dall'aria compressa, cioè:

$168 - 11 = 157$ g di acqua di condensa da rimuovere dall'aria compressa prima che essa sia distribuita tra gli organi pneumatici ai quali potrebbe produrre effetti dannosi.

Esempio 2

Alla Temperatura 25°C e r.h. 65%, quanta acqua è contenuta in 1 m³ di aria?

Il punto di rugiada a 25°C, cioè H₂O in saturazione = 23,76 g/m³ ≈ 24g/m³ e quindi applicando la relazione precedente:

$$\text{R.h.} = \text{H}_2\text{O attuale} / \text{H}_2\text{O in saturazione}$$

Si ricava:

$$\text{H}_2\text{O attuale} = \text{rh} \times \text{H}_2\text{O in saturazione} = 0,65 \times 24 = 15,6 \text{ g/m}^3$$

Quando l'aria è compressa, la sua capacità di trattenere acqua sotto forma di vapore dipende solo dal volume ridotto.

Temperatura °C	0	5	10	15	20	25	30	35	40
g/m ³	4,98	6,86	9,51	13,04	17,69	23,76	31,64	41,83	54,108
Temperatura °C	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
g/m ³	4,98	3,42	2,37	1,61	1,08	0,7	0,45	0,29	0,18

Esempio 3

Se 10m³ di aria atmosferica a 15 °C e 65%rh sono compressi alla pressione manometrica (relativa) di 6 bar e la temperatura sale a 25°C, quanta acqua condensa ?

Il punto di rugiada a 15 °C è pari a H₂O in saturazione = 13,04 g/m³ e per 10m³

H₂O in saturazione = 130,4 g; pertanto:

$$\text{H}_2\text{O attuale} = \text{rh} \times \text{H}_2\text{O in saturazione} = 0,65 \times 130,4 = 84,9 \text{ g}$$

Il volume ridotto dell'aria compressa a 6 bar, e a temperatura costante a 15°C (supponendo cioè che sia avvenuta una trasformazione a temperatura costante), può essere calcolato applicando la legge di Boyle:

$$p_1V_1 = p_2V_2 \quad \rightarrow \quad V_2 = (p_1/p_2)V_1 = [1,013/(6+1,013)] \times 10 = 1,44 \text{ m}^3$$

Dalla precedente tabella in corrispondenza a 25°C si ricava rh = 23,76 g/m³,

per cui la quantità massima di acqua che può essere trattenuta è 23,76 x 1,44 = 34,2 g

Ma l'acqua di condensa è uguale alla quantità totale di acqua nell'aria meno il volume che può essere trattenuto dall'aria compressa, cioè: 84,9 – 34,2 = 50,6 g di acqua di condensa da rimuovere dall'aria compressa prima che essa sia distribuita tra gli organi pneumatici ai quali potrebbe produrre effetti dannosi.

Efflusso dei gas

La velocità con cui un gas può defluire attraverso un condotto di forma cilindrica non può mai superare la velocità del suono.

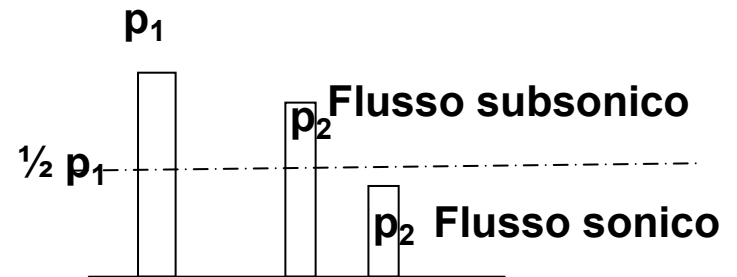
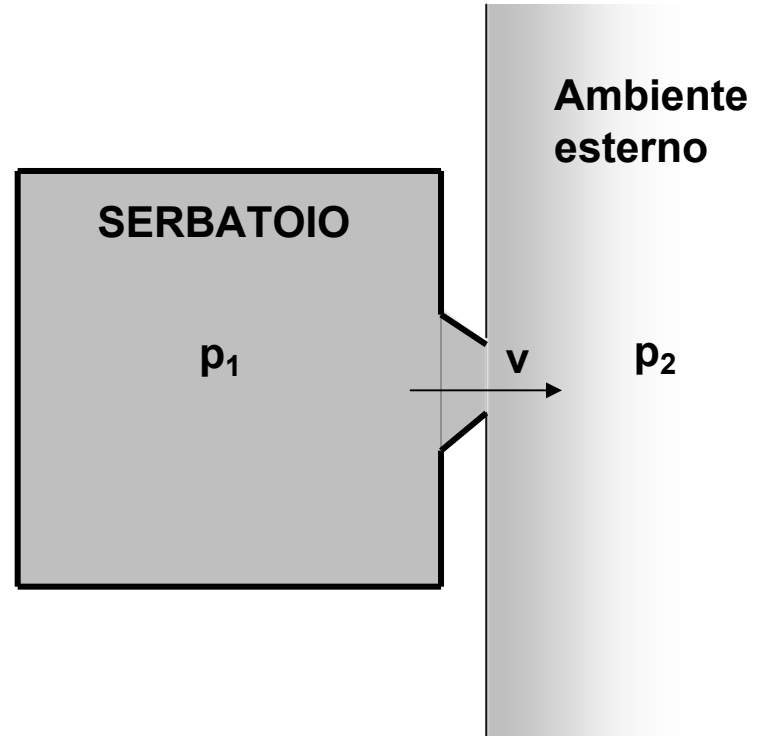
Ci sono due tipi di efflusso:

SUBSONICO

Finché la velocità del gas è inferiore alla velocità del suono e $p_2/p_1 > 0,5$ (rapporto critico) la velocità del gas aumenta all'aumentare del salto di pressione

SONICO

La velocità del gas non aumenta all'aumentare del salto di pressione se ha raggiunto la velocità del suono (pari a 340 m/sec)
 $p_2/p_1 \leq 0,5$ (rapporto critico)



Pressione e flusso

La più importante relazione per la pneumatica è quella tra la pressione e il flusso. Quando non c'è flusso, ossia quando un fluido è in quiete, la pressione in ogni punto del sistema è la stessa, ma quando questo è in movimento la pressione che si avrà a valle sarà sempre inferiore a quella che si aveva a monte.

Questa differenza è chiamata caduta di pressione (Δp) e dipende da tre fattori:

- pressione iniziale
- portata
- resistenza di flusso

la resistenza di flusso per l'aria non ha unità, in elettricità il suo equivalente è l'Ohm. In pneumatica si usa il suo opposto: la sezione di flusso equivalente (fattori S, kv e Cv).

La sezione di flusso equivalente S è espressa in mm² e rappresenta l'area di un orifizio in una lamina piana perpendicolare al flusso (diaframma) il quale crea la stessa relazione tra pressione e flusso dell'elemento da esso definito.

Il fattore kv, impiegato in Europa, è una unità basata sulla misura di un flusso di acqua: si ha un kv=1 quando 1 litro di acqua a 4°C può fluire in 1 minuto con una differenza di pressione fra l'ingresso e l'uscita pari a 1 bar (0.1MPa).

Il fattore Cv, impiegato negli USA è analogo al fattore kv solo che il flusso è misurato in Galloni Usa ad una temperatura di 60°F (15.6°C) e con una caduta di pressione di 1PSI (0.069 bar).

Perdita di carico

Questa relazione è graficamente la stessa in elettricità, dove “la caduta di tensione eguaglia la resistenza per la corrente”. Questo può essere espresso in pneumatica nel seguente modo:

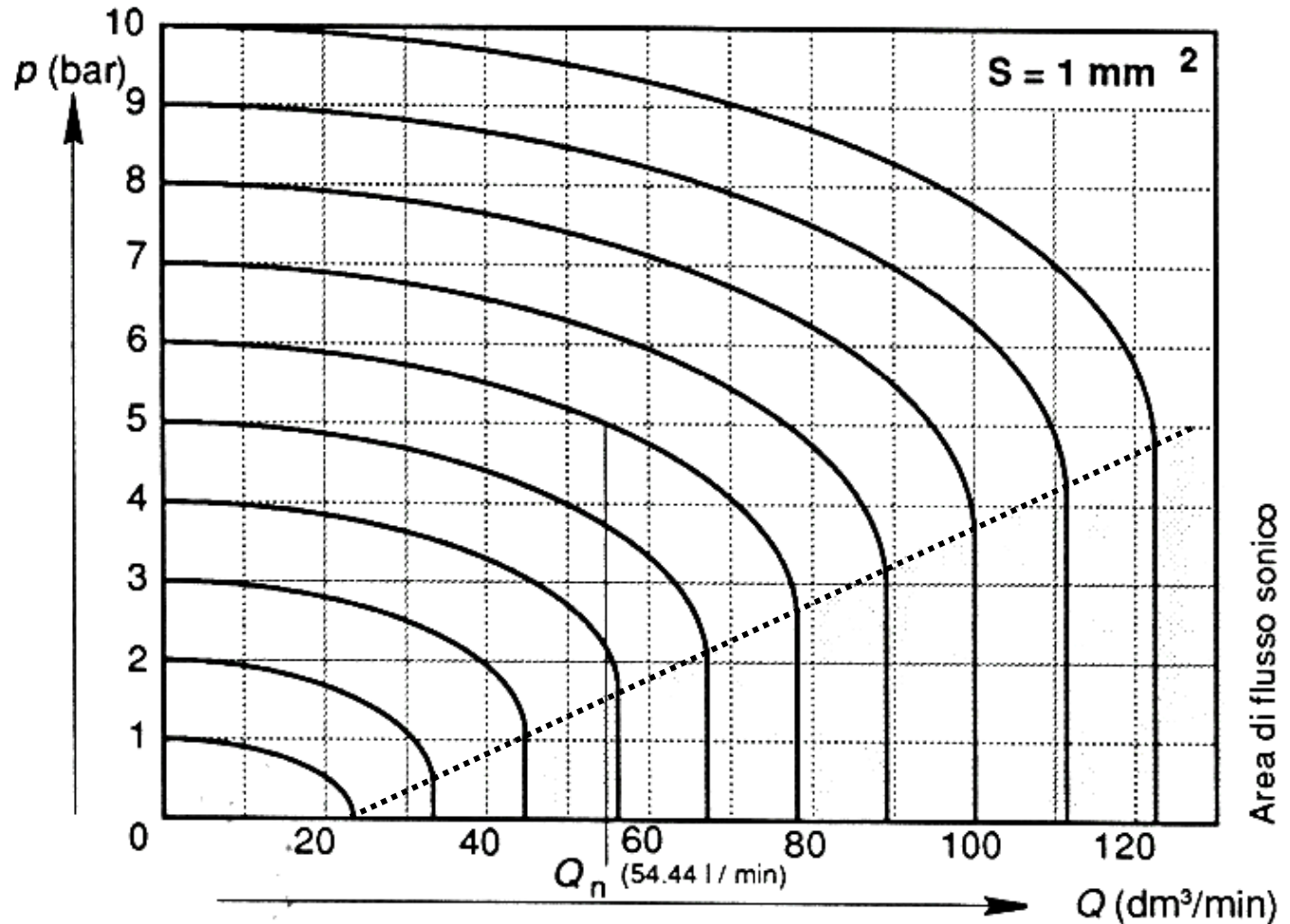
“La caduta di pressione eguaglia il flusso diviso la sezione di flusso”.

Ma, mentre le grandezze elettriche sono direttamente proporzionali, la relazione per l'aria è molto complessa e non semplicemente proporzionale. Mentre in elettricità una corrente di 1A (un Ampere) crea su una resistenza di 1 Ohm una caduta di tensione di 1 Volt, indipendentemente dal fatto se questa avviene a 100 o a 4 Volt, la perdita di carico nello stesso condotto e con lo stesso volume standard varia con la pressione iniziale e con la temperatura a causa della comprimibilità dell'aria.

Pressione e portata

Il diagramma mostra la relazione fra pressione e portata attraverso un orificio di sezione equivalente pari a 1 mm^2 .

Il triangolo in basso a destra segnala zone di "flusso sonico", dove il flusso d'aria raggiunge una velocità molto vicina a quella del suono e dove questa non può aumentare anche se aumenta la differenza di pressione a monte e a valle.



Come si può notare, tutte le curve hanno un andamento verticale entro quest'area: questo significa che la portata non dipende dalla caduta di pressione ma solo dal valore della pressione in ingresso.

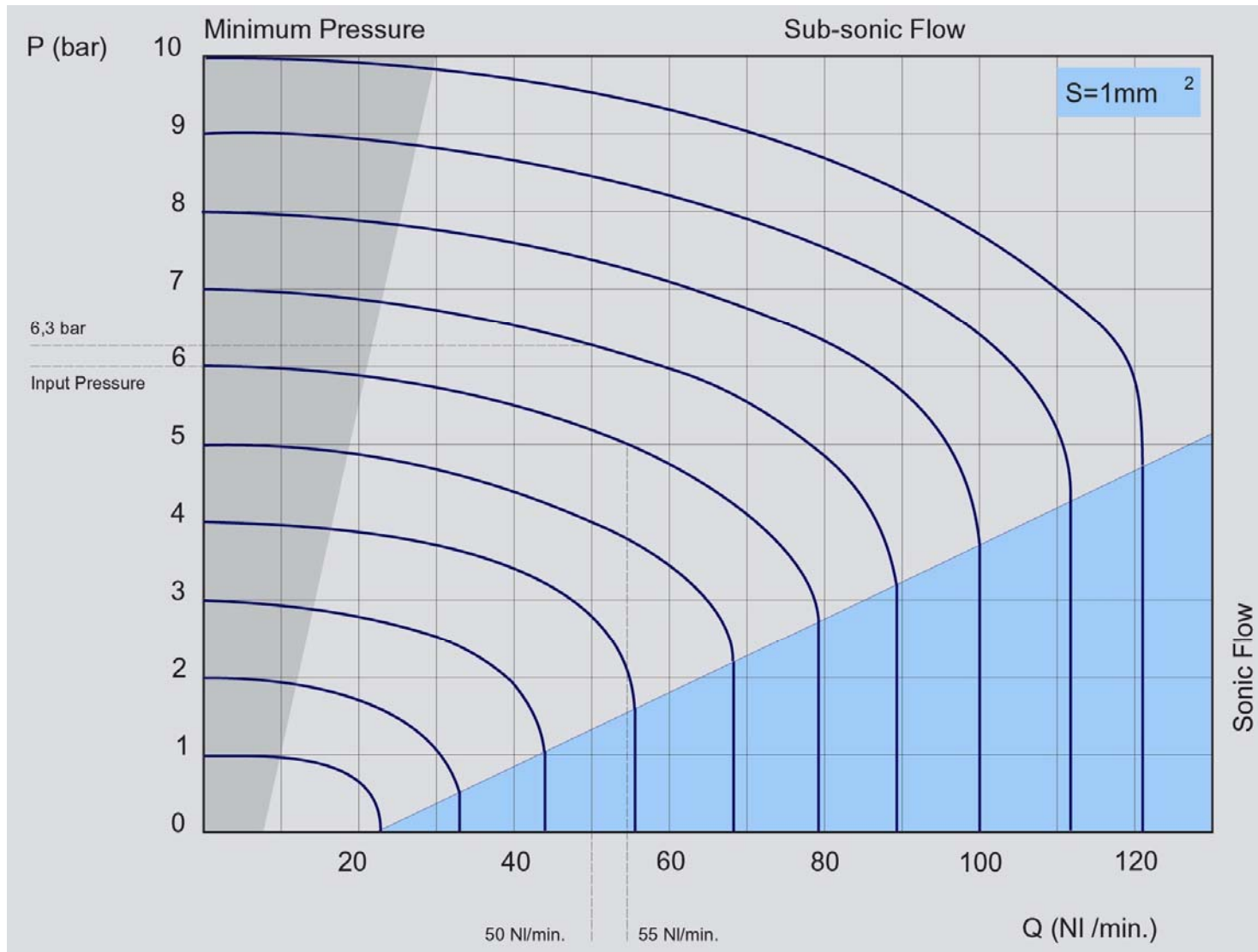
Utilizzo del diagramma

La scala delle pressioni sul lato sinistro, indica sia la pressione di ingresso che quella di uscita. L'inizio di ogni curva sull'asse delle ordinate a sinistra, che rappresenta la portata nulla, indica che le pressioni di ingresso e uscita sono uguali. Le varie curve per pressioni di ingresso fra 1 e 10 bar indicano come la pressione di uscita decresce con l'aumentare della portata.

Esempio 1

Consideriamo pressione di ingresso di 6 bar, caduta di pressione di 1 bar e pressione di uscita di 5 bar. Seguiamo la curva "6" fino ad incontrare la linea orizzontale che parte da "5" e da questo punto mandiamo la perpendicolare sull'asse delle ascisse dove troviamo un valore intorno a 55 l/min.

Relazione fra pressione e portata



Formula in area subsonica

Con la formula si può calcolare il valore esatto riportato nel diagramma.

Si ha il **flusso subsonico** quando il rapporto tra la pressione assoluta in ingresso e la pressione assoluta in uscita è maggiore del rapporto critico 1,896:

flusso subsonico: $p_{1a} / p_{2a} < 1,896$ ovvero $p_{2a} / p_{1a} > 0,528$

$$p_1 + 1,013 < 1,896 \cdot (p_2 + 1,013)$$

La portata volumetrica per il flusso subsonico è uguale a:

$$Q = 22,2 \cdot S \cdot \sqrt{(p_2 + 1,013) \cdot (p_1 - p_2)}$$

Applicando la formula nel nostro esempio otteniamo:

$$Q = 22,2 \cdot 1 \cdot \sqrt{(5 + 1,013) \cdot (6 - 5)} = 22,2 \cdot \sqrt{6,013} = 22,2 \cdot 2,45 = 54,44 \text{ l/min}$$

Naturalmente se la sezione equivalente fosse di 4,5 mm² il flusso sarebbe di 4,5 volte maggiore:

$$4,5 \cdot 54,55 = 245 \text{ l/min}$$

Esempio 2

Dato un elemento con una superficie equivalente di 12 mm², pressione di lavoro di 7 bar e un consumo d'aria di 600 l/min, qual è la pressione di uscita?

Un flusso di 600 l/min attraverso una sezione "S" di 12 mm² corrisponde ad un flusso di 600/12 = 50 l/min attraverso una sezione equivalente di 1 mm².

Allora seguendo la curva "7" del diagramma fino ad incontrare la verticale che sale dal valore di portata 50 l/min si troverà un valore di pressione intorno a 6,3 bar.

Se ora si applica la formula partendo da una pressione di alimentazione di 7 bar, una pressione di lavoro di 6,3 bar e una sezione equivalente di 12 mm² troveremo una portata pari a:

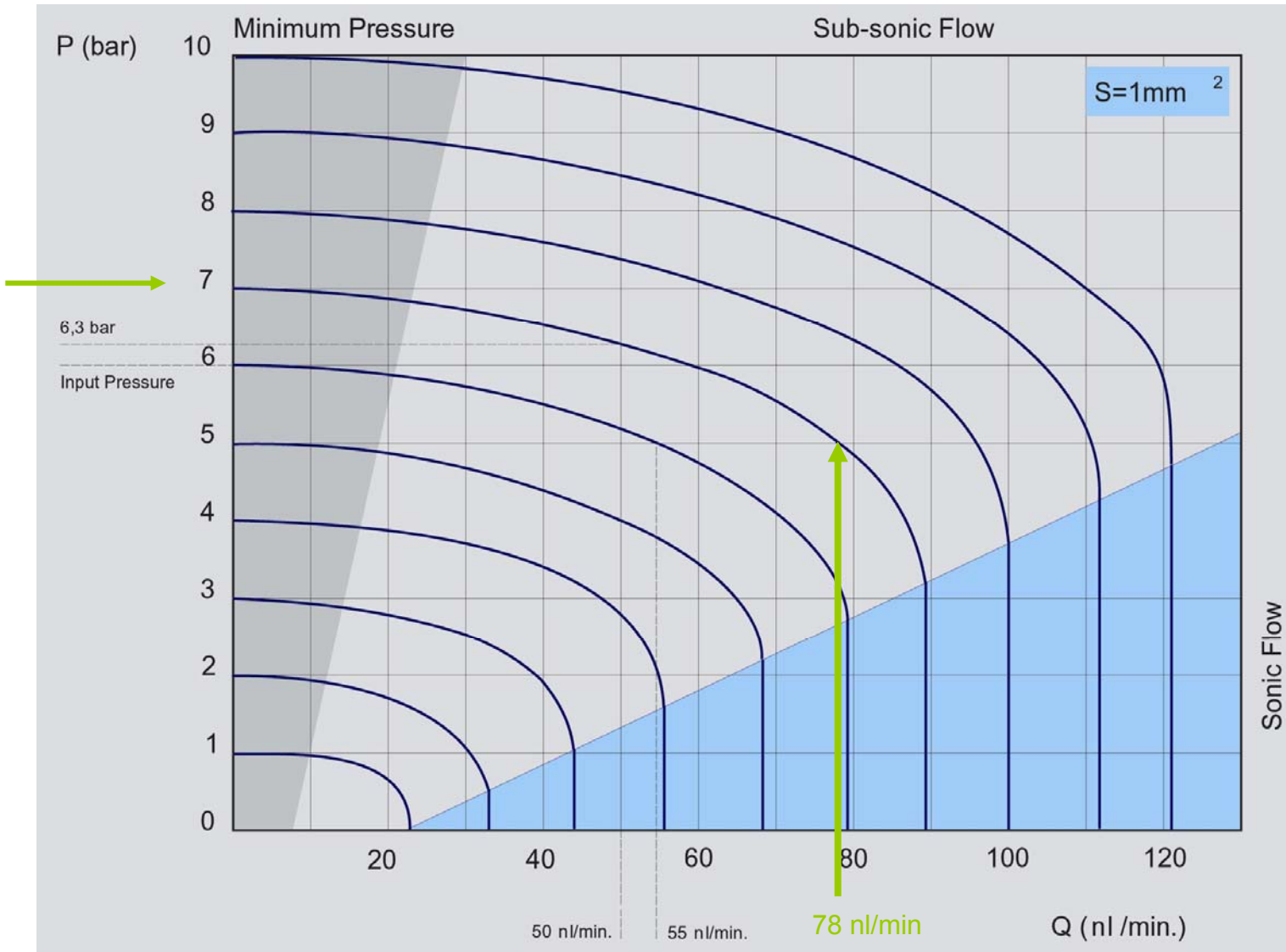
$$\begin{aligned} Q &= 22,2 \cdot 12 \cdot \sqrt{(1.013 + 6,3) \cdot (7 - 6,3)} = \\ &= 22,2 \cdot 12 \cdot \sqrt{7,313 \cdot 0,7} = 602,74 \text{ l/min} \end{aligned}$$

Che mostra quanto il diagramma sia sufficientemente accurato per l'utilizzo pratico.

Esempio 3

Consideriamo pressione di ingresso di 7 bar, caduta di pressione di 2 bar e pressione di uscita di 5 bar. Seguiamo la curva “7” fino ad incontrare la linea orizzontale che parte da “5” e da questo punto mandiamo la perpendicolare sull’asse delle ascisse dove troviamo un valore intorno a 78 nl/min.

Graficamente



Con il calcolo analitico

Con la formula si può calcolare il valore esatto riportato nel diagramma.

La portata volumetrica per il flusso subsonico è uguale a:

$$Q = 22,2 \cdot S \cdot \sqrt{(p_2 + 1,013) \cdot (p_1 - p_2)}$$

Applicando la formula nel nostro esempio otteniamo:

$$Q = 22,2 \cdot 1 \cdot \sqrt{(5 + 1,013) \cdot (7 - 5)} = 22,2 \cdot \sqrt{12,026} = 22,2 \cdot 3,5 = 77,7 \text{ l/min}$$

Naturalmente se la sezione equivalente fosse di 5 mm² il flusso sarebbe di 5 volte maggiore:

$$5 \times 77,7 = 388,5 \text{ l/min}$$

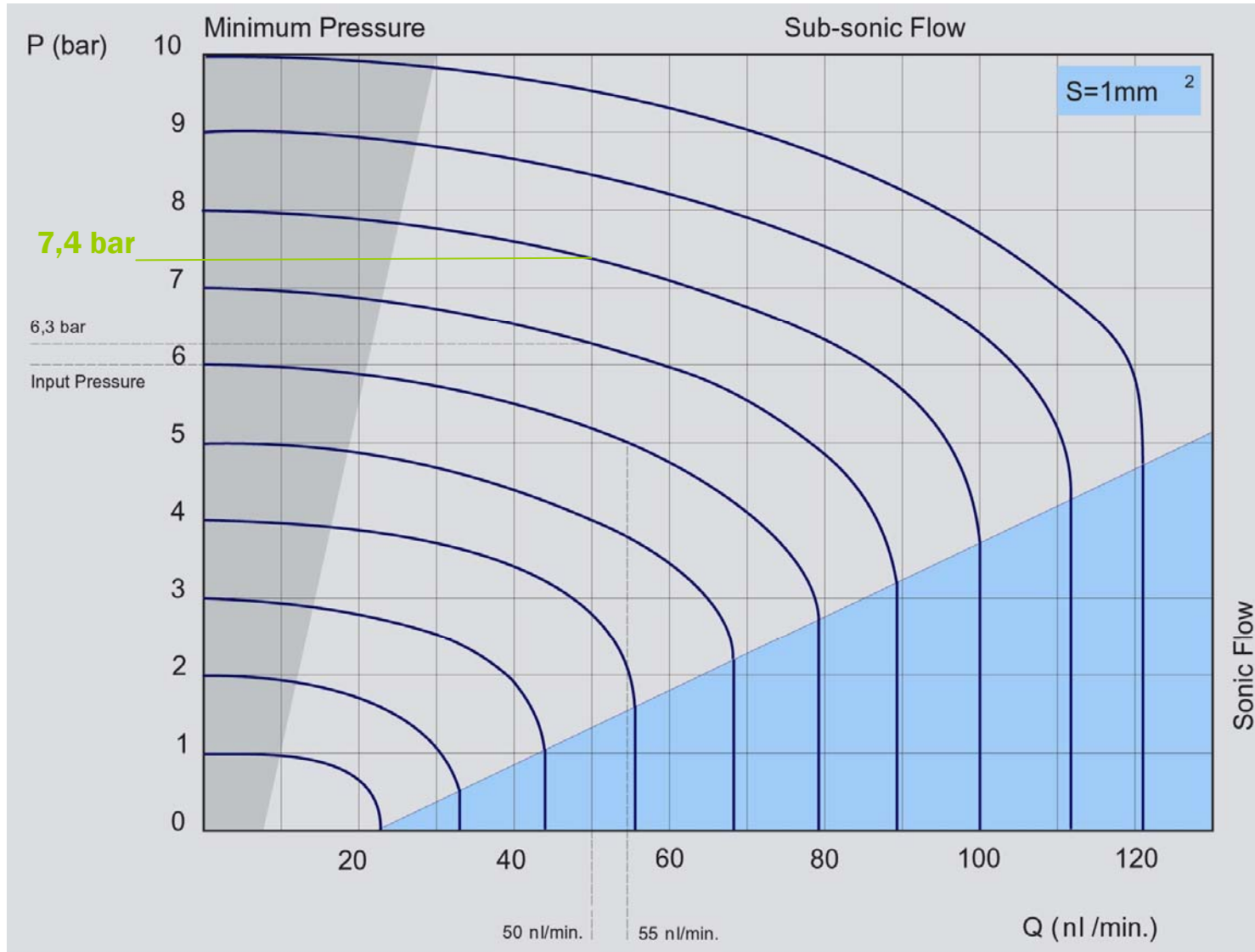
Esempio 2

Dato un elemento con una superficie equivalente di 14 mm², pressione di lavoro di 8 bar e un consumo d'aria di 700 nl/min, qual è la pressione di uscita?

Un flusso di 700 l/min attraverso una sezione “S” di 14 mm² corrisponde ad un flusso di $700/14 = 50$ nl/min attraverso una sezione equivalente di 1 mm².

Allora seguendo la curva “8” del diagramma fino ad incontrare la verticale che sale dal valore di portata 50 l/min si troverà un valore di pressione intorno a 7,4 bar.

(continua) esempio 2



(continua) esempio 2

Se ora si applica la formula partendo da una pressione di alimentazione di 8 bar, una pressione di lavoro di 7,4 bar e una sezione equivalente di 14 mm² troveremo una portata pari a:

$$Q = 22,2 \cdot 14 \cdot \sqrt{8,413 \cdot 0,6} = \mathbf{692 \text{ l/min}}$$

Che mostra quanto il diagramma sia sufficientemente accurato per l'utilizzo pratico.

Formula in area sonica

Si ha il flusso sonico quando il rapporto tra la pressione assoluta di ingresso e quella di uscita è minore o uguale a 1,896:

Flusso sonico: $p_{1a} / p_{2a} \geq 1,896$ ovvero $p_{2a} / p_{1a} \leq 0,528$

$$p_1 + 1,013 \geq 1,896 \cdot (p_2 + 1,013)$$

E per il calcolo della portata in questo caso si ha la formula:

$$Q = 11,1 \cdot S \cdot (p_1 + 1,013)$$

È da notare che un sistema pneumatico non potrebbe operare in modo soddisfacente in condizioni di flusso sonico con una pressione di alimentazione di 6 bar e una pressione di uscita di 2,7 bar o inferiore.

Produzione dell'aria compressa

Aria libera

L'aria è un miscuglio di vari gas, è invisibile. inodore. incolore a insapore. Le percentuali in volume dei gas che costituiscono l'aria sono:

- AZOTO 78,03%**
- OSSIGENO 20,95%**
- ARGON 0,93%**
- ANIDRIDE CARBONICA 0,05%**

Altri gas, quali: il neon, l'elio, il xenon, il kripton, sono contenuti in piccole tracce.

Altro componente dell'aria che si trova in misura diverse, a seconda delle condizioni ambientali, è il vapore acqueo e il pulviscolo.

Nella composizione dell'aria si verificano piccole variazioni in prossimità di zone industriali dove si possono riscontrare tracce di altri gas come ad esempio: ossido di carbonio, ossido di azoto, ammoniaca, idrocarburi.

Tra i componenti dell'aria, solo l'ossigeno e l'azoto sono necessari alla vita.

L'ossigeno è indispensabile per attivare i processi metabolici mediante i quali il nostro corpo trasforma i carboidrati, le proteine e i grassi contenuti negli alimenti in calore ed energia. L'azoto che respiriamo serve come gas inerte diluente e mantiene la pressione dei gas in alcune cavità del nostro corpo (alveoli polmonari, cavità dell'orecchio medio).

Aria Compressa

Prima di essere impiegata l'aria deve essere:

- Compressa
- Trattata
- Immagazzinata
- Trasportata agli utilizzatori

L'aria compressa deve possedere le seguenti caratteristiche di Qualità:

- Asciutta
- Pulita
- Lubrificata (**goccioline di olio che riducono l'usura degli organi in movimento**)

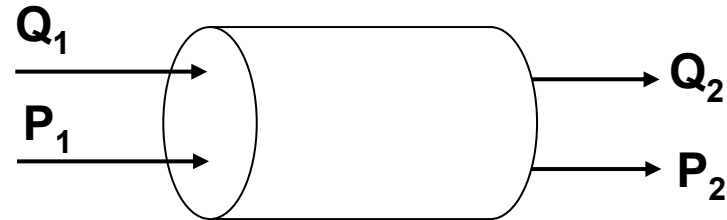
I COMPRESSORI

I compressori si possono definire come macchine atte a produrre aria compressa.

Fra le caratteristiche dei compressori sono da evidenziare:

- il rapporto di compressione che è dato dal rapporto tra la pressione assoluta di mandata p_{a2} la pressione assoluta di aspirazione p_{a1} ed è indicato con β :

$$\beta = \frac{p_{a2}}{p_{a1}}$$



- la portata teorica che è data dal prodotto della cilindrata (area del pistone per la sua corsa) per il numero dei giri al minuto dell'albero motore e può essere espressa in:

[m³/min] oppure *nl/min*

- la portata effettiva la cui massima dipendenza è data dal coefficiente di riempimento del cilindro (rendimento volumetrico), e la portata che realmente il compressore fornisce e viene espressa come indicato per la portata teorica.

Compressori

Sono macchine che prendono l'aria ad una certa portata Q_1 e ad una certa pressione p_1 e la restituiscono ad un altro valore Q_2 e p_2 .

Il Rapporto di Compressione sarà:

$$p_2 / p_1 > 1$$



Il Compressore e' una macchina a cui viene fornita energia meccanica e che restituisce energia di pressione.

Tipi di Compressori

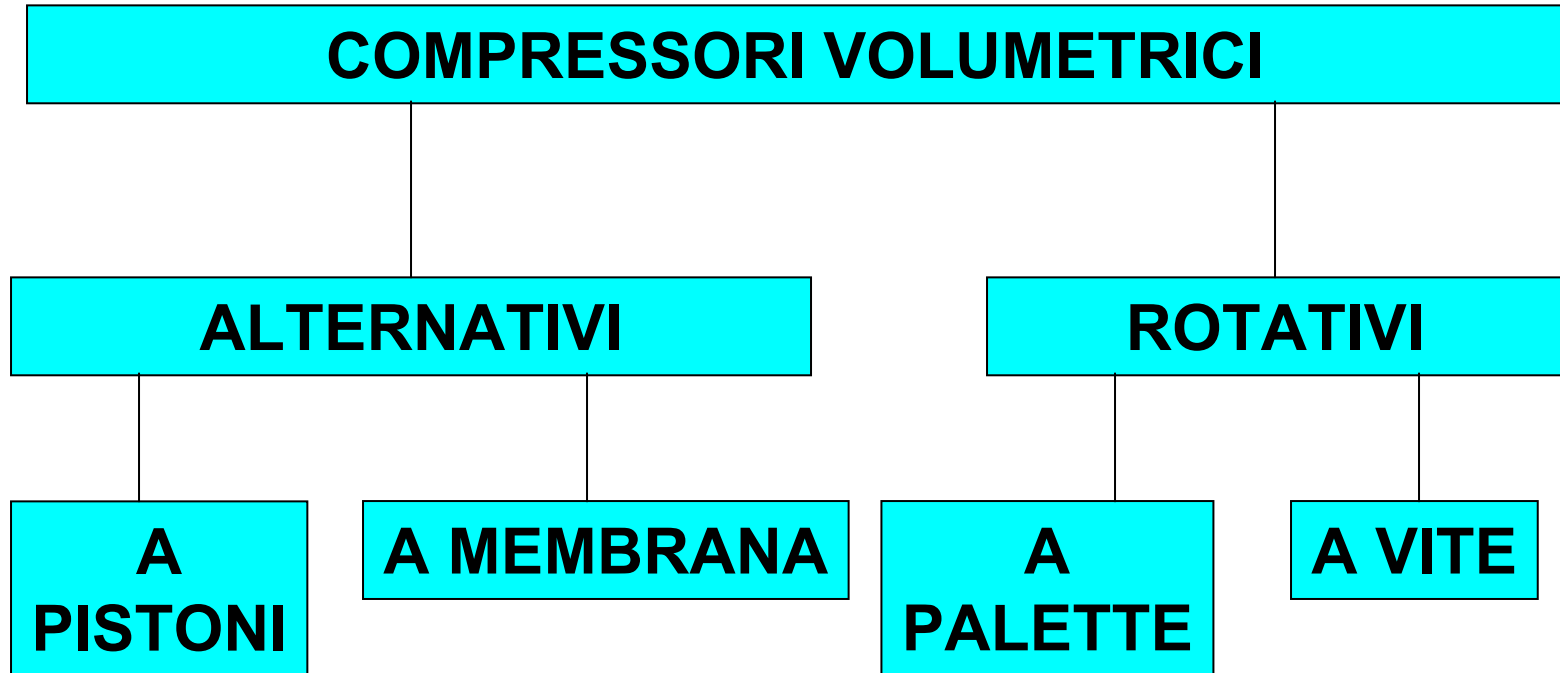
Compressori Volumetrici

- La compressione si ottiene mediante la riduzione del volume d'aria
- Sono preferibili per piccole / medie portate e grandi / medie pressioni (sono i più usati nei comandi pneumatici)
- Si dividono in due classi:
 - Alternativi
 - Rotativi

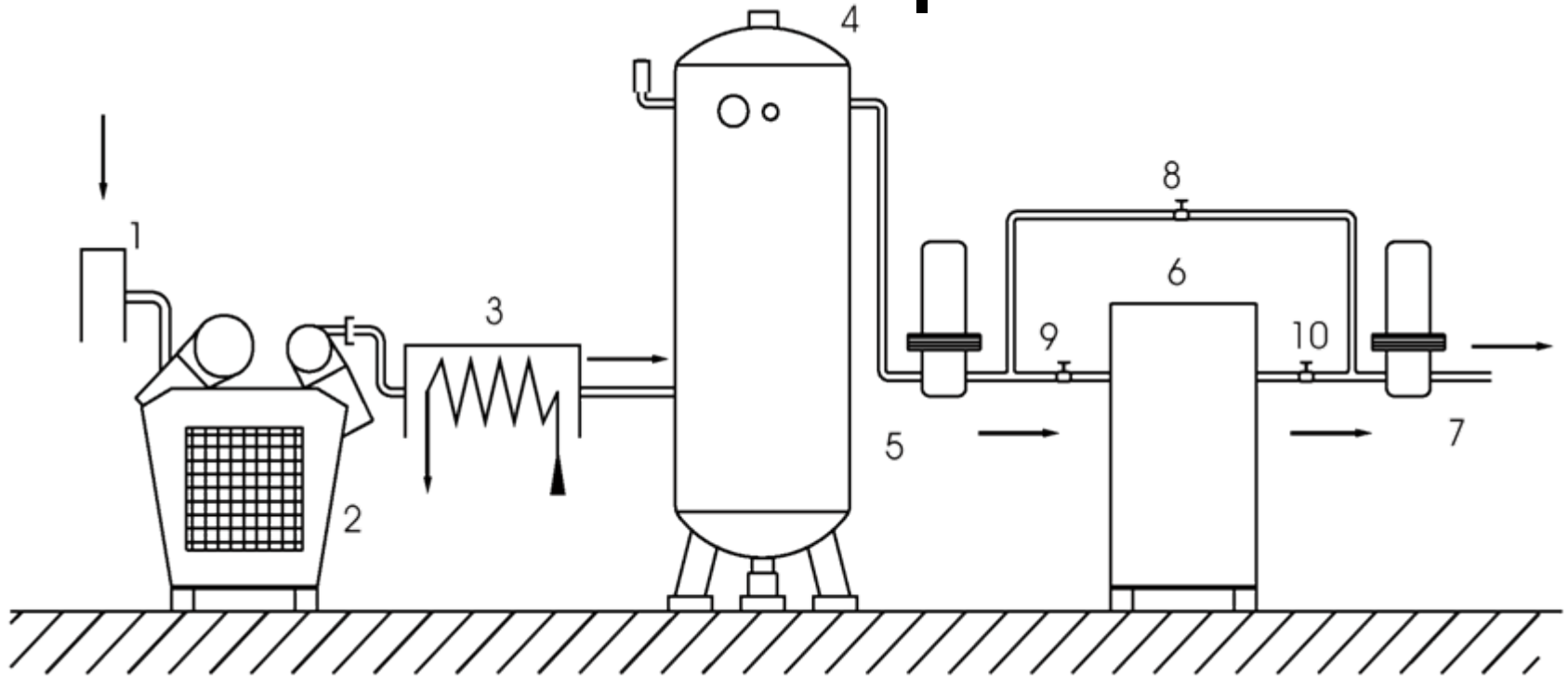
Compressori Dinamici o turbocompressori

- L'aumento di pressione si ottiene dapprima imprimendo una forte accelerazione alla massa d'aria aspirata e quindi facendola passare in un condotto nel quale per effetto di una variazione di sezione si ha una brusca riduzione di velocità e quindi un aumento di pressione (teorema di Bernoulli)
- Sono adatti per grandi portate e piccole pressioni.
- Possono essere:
 - Radiali o Centrifughi
 - Assiali (Un compressore assiale dinamico può essere ad esempio un ventilatore domestico)

Principali tipi di compressori Volumetrici



Stazione di compressione



L'aria viene aspirata dall'ambiente esterno tramite il filtro di aspirazione **1** e viene compressa dal compressore **2**. Segue un raffreddatore **3** con relativo separatore e scaricatore automatico di condensa. Questo raffreddatore può essere ad acqua o ad aria secondo gli impianti. Un serbatoio polmone **4** serve all'accumulo di aria compressa e un filtro disoleatore **5**, dotato di scaricatore automatico, serve per la costante eliminazione dell'olio separato (tale accessorio non è presente negli impianti che usano compressori non lubrificati). Con **6** è indicato un essiccatore che serve all'eliminazione del residuo vapore d'acqua. L'essiccatore è fornito di valvole di esclusione **9** e **10** e di linea di by-pass **8**. Vi è infine un filtro finale **7** che ha lo scopo di trattenere polveri e particelle aspirate o prodotte nel sistema stesso.

Monostadi o Pluristadi

Monostadi

- Con un unico cilindro: conviene solo fino a $600 \div 800$ KPa

Pluristadi

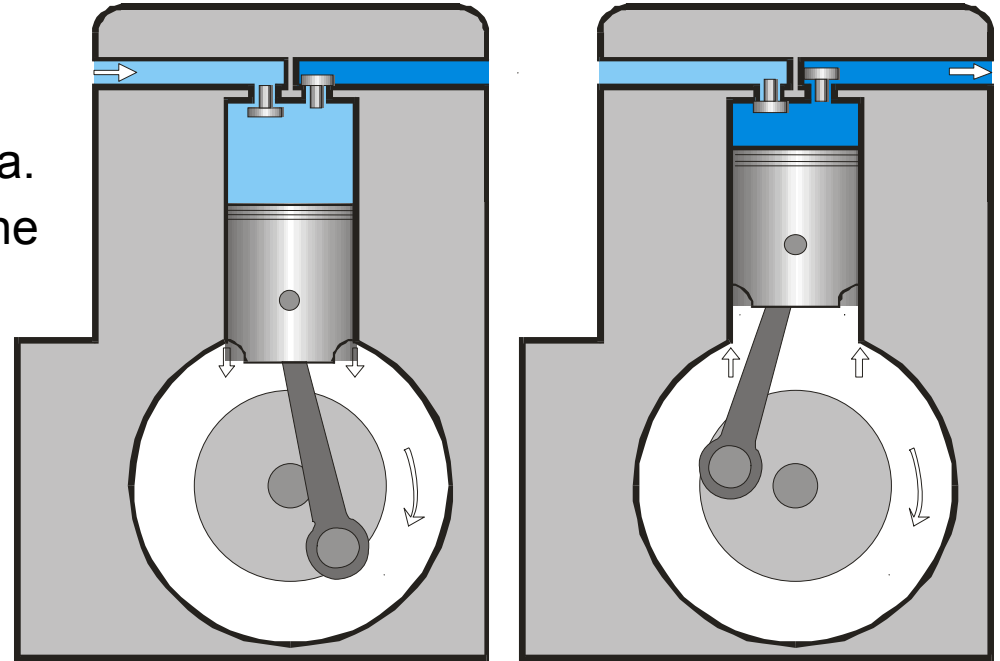
- Con due o più cilindri
 - Tra un passo e l'altro l'aria viene raffreddata e in questo modo si risparmia in quanto maggiore è la compressione e maggiore è la temperatura e quindi maggiore è l'energia richiesta;
 - Con più stadi si risparmia e si possono raggiungere pressioni fino a 1,5MPa con due stadi e 3MPa con tre stadi;
 - I diversi stadi vanno dimensionati in modo da equilibrare tra loro i diversi cilindri, cioè in modo che il lavoro di compressione tra i vari stadi sia lo stesso.

Compressore alternativo a Pistoni monostadio

L'aria aspirata a pressione atmosferica è compressa alla pressione richiesta in una sola corsa. Il movimento discendente del pistone aumenta il volume per creare una pressione inferiore a quella atmosferica permettendo all'aria di entrare nel cilindro attraverso la valvola di aspirazione.

Al termine della corsa, il pistone si muove verso l'alto e la valvola di aspirazione si chiude non appena l'aria viene compressa. La valvola di scarico si apre per immettere l'aria nel serbatoio.

Questo tipo di compressore è generalmente usato nei sistemi che richiedono aria compressa nell'intervallo di **3 - 7 bar**.



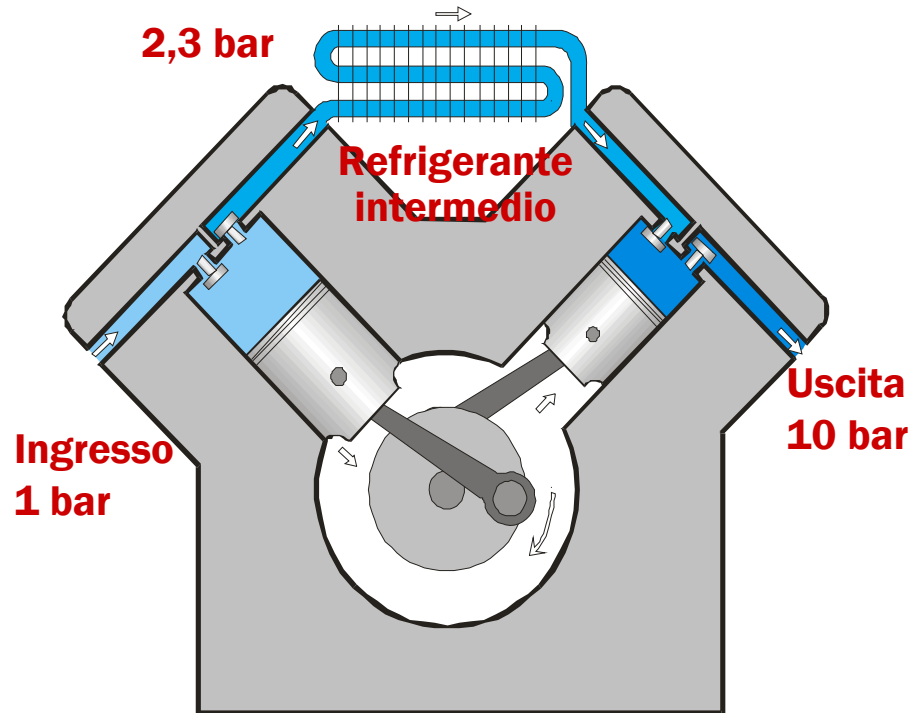
Compressore a due stadi con raffreddamento ad acqua

In un compressore monostadio, quando l'aria viene compressa al di sopra dei 6 bar, il calore generato riduce notevolmente l'efficienza. Per questo motivo i compressori a pistoni usati nei sistemi dell'aria compressa industriali sono solitamente a due stadi.

L'aria aspirata a pressione atmosferica è compressa in due stadi fino alla pressione finale. Se la pressione finale è di 10 bar, il primo stadio normalmente comprime l'aria a circa 2,3 bar.

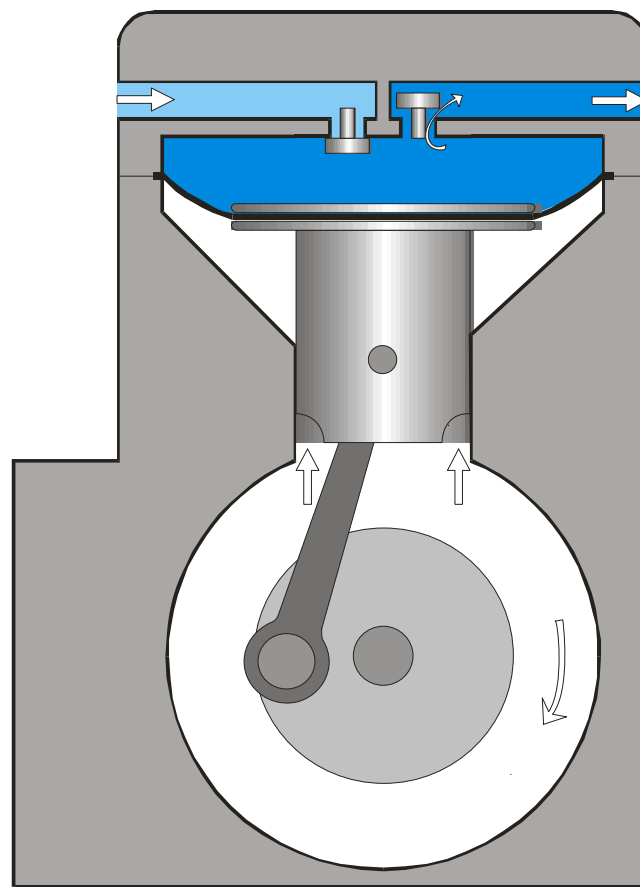
Successivamente, l'aria viene raffreddata e inviata al cilindro del secondo stadio che la comprime fino a **10 bar**.

L'aria compressa entra nel cilindro del secondo stadio ad una temperatura notevolmente ridotta dopo essere passata attraverso lo scambiatore di calore. In tal modo si incrementa l'efficienza rispetto ad una unità a singolo stadio. La temperatura finale può raggiungere i 120°C.



Compressore a diaframma

I compressori a diaframma producono aria compressa fino a **5 bar** totalmente priva di olio. Essi sono ampiamente usati nelle industrie alimentari, farmaceutiche e simili. Il diaframma consente una variazione del volume della camera. Ciò permette l'aspirazione dell'aria nella corsa discendente e la compressione nella corsa ascendente. Tipi più piccoli, con una potenza installata inferiore a 1 kW, sono i compressori portatili ideali per la verniciatura a spruzzo.

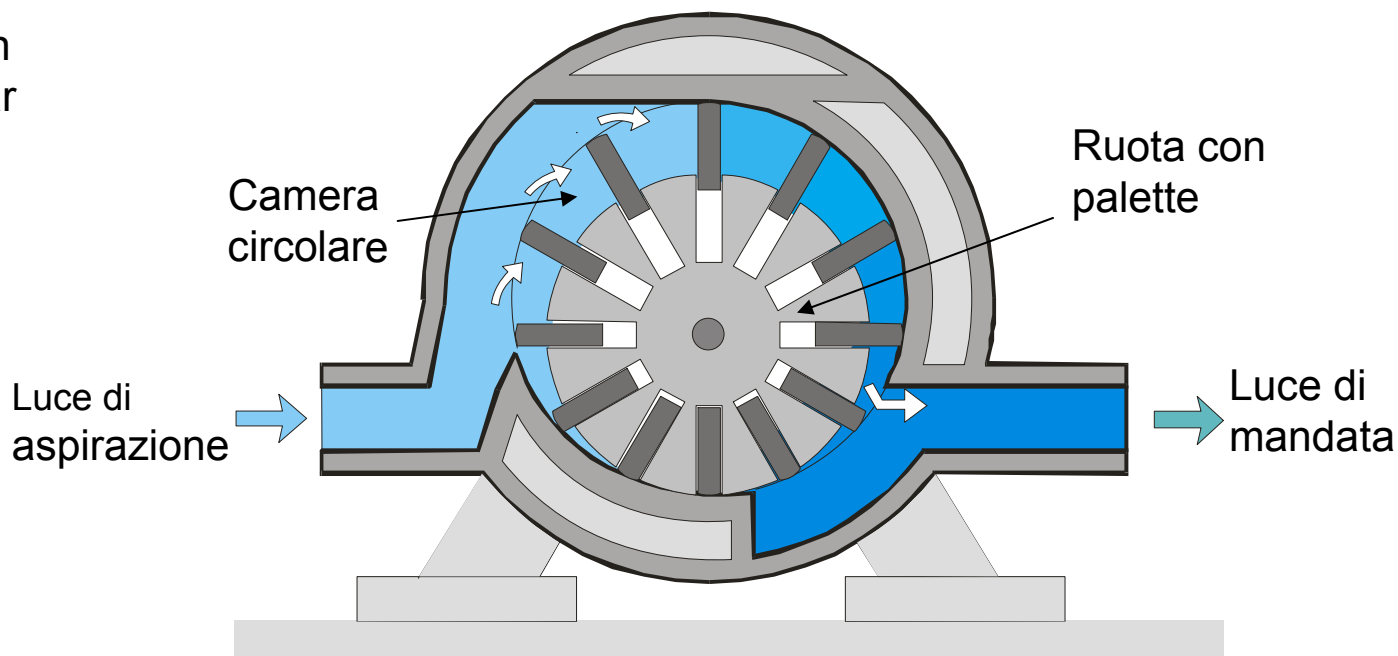


Compressore rotativo a palette

Il compressore ha un rotore montato eccentricamente con una serie di palette scorrevoli in fessure radiali. Durante la rotazione del rotore, la forza centrifuga tiene le palette in contatto con la parete dello statore. Lo spazio fra palette adiacenti diminuisce nel passare dall'ingresso all'uscita comprimendo l'aria.

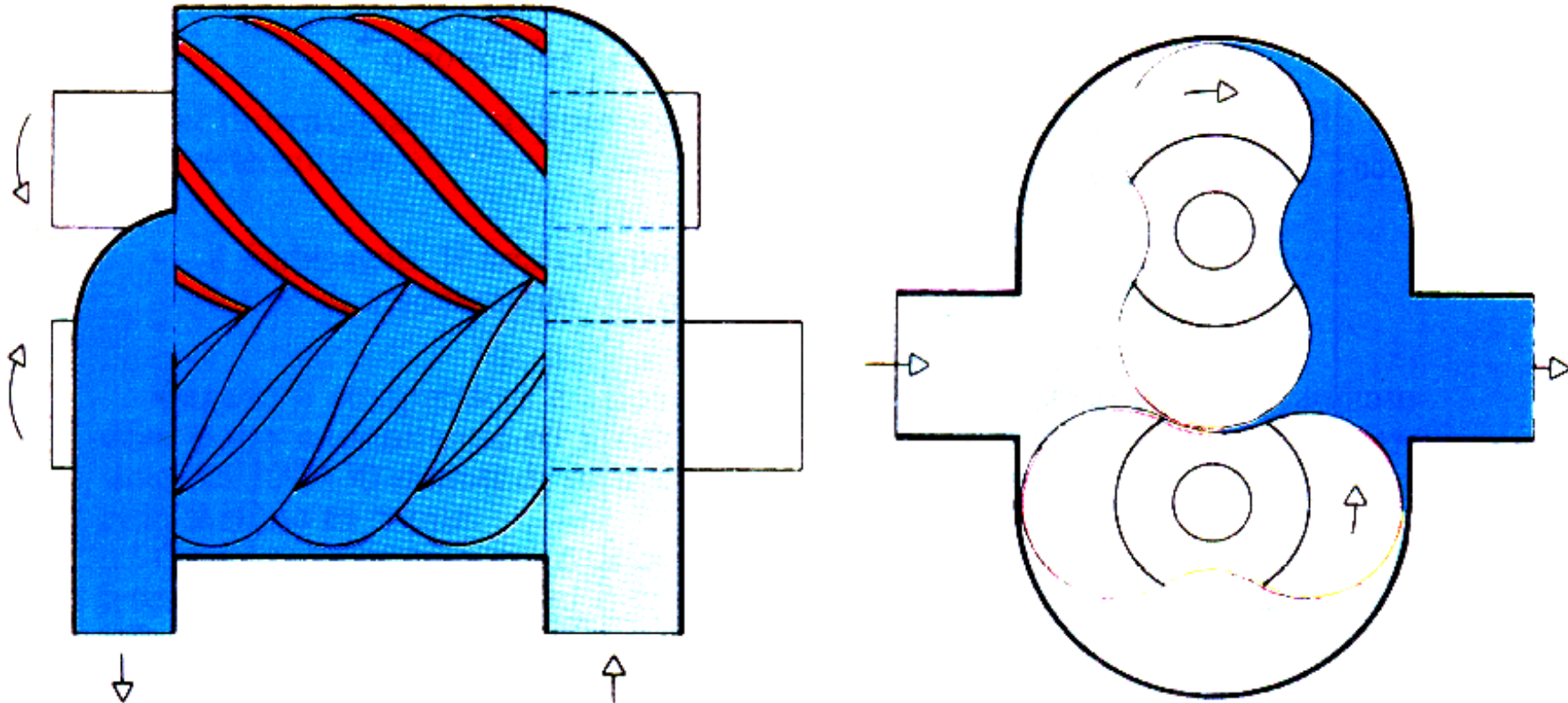
La lubrificazione e la tenuta sono realizzate iniettando dell'olio nella corrente d'aria vicino all'ingresso. L'olio agisce inoltre da agente raffreddante per rimuovere parte del calore generato dalla compressione e limitare la temperatura dell'aria in uscita a circa 190°C.

Se le pressioni non superano i 3, 4 bar si utilizza un solo stadio, altrimenti si possono anche impiegare due compressori in serie con raffreddamento intermedio della carica.

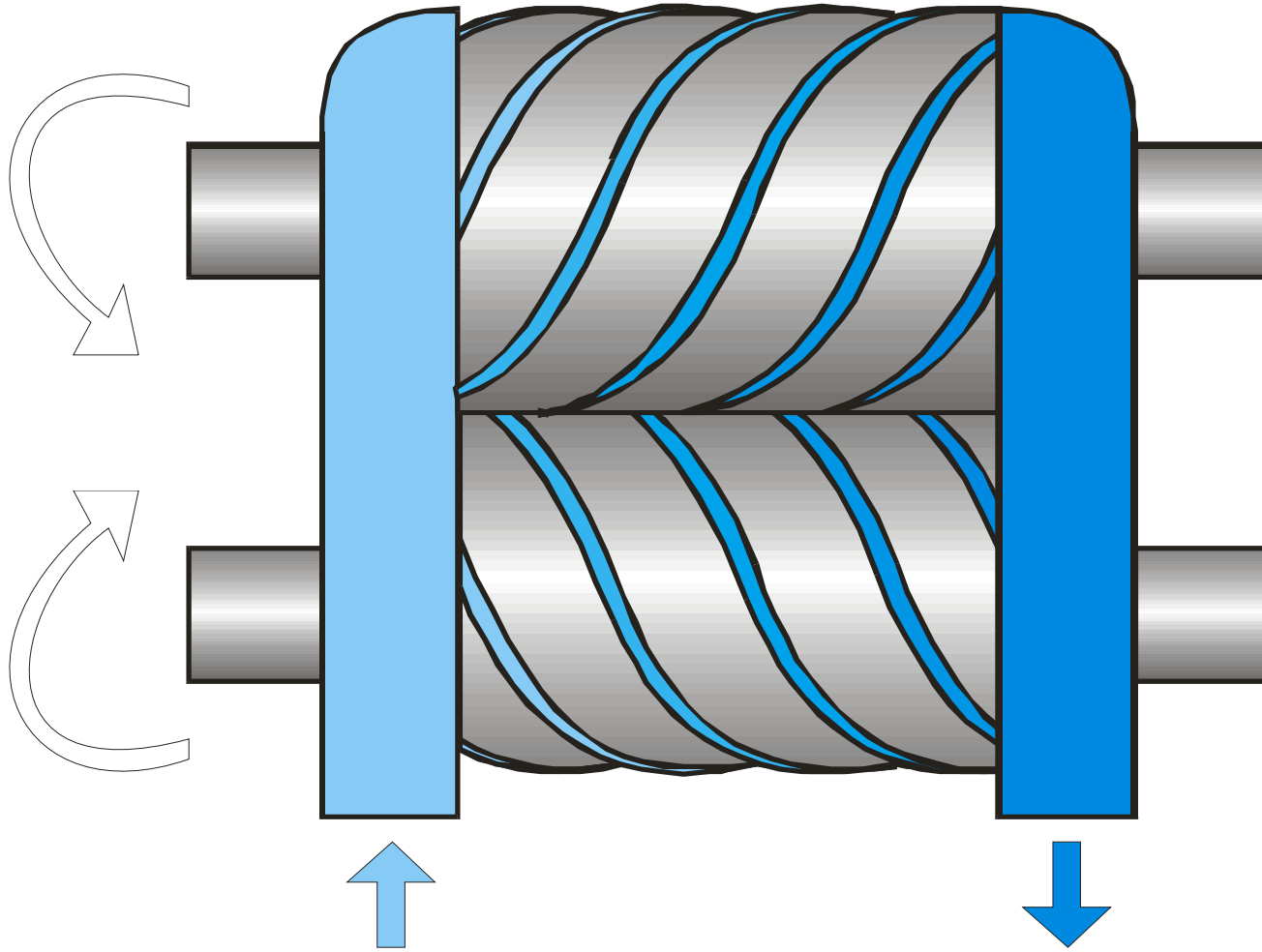


Compressore rotativo ad ingranaggi e a lobi

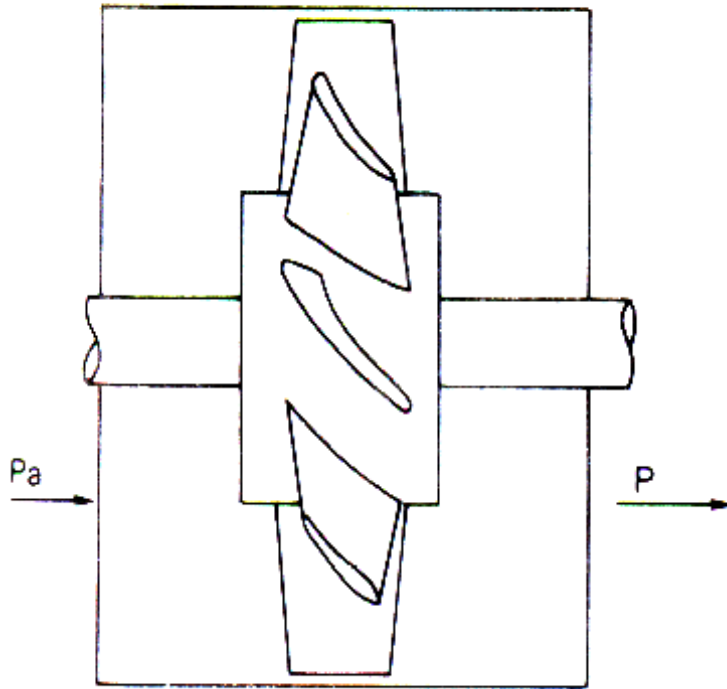
La presenza di olio provvede alla lubrificazione e alla tenuta tra le due viti rotanti. Separatori di olio rimuovono l'olio dall'aria in uscita. Elevati ratei di flusso (oltre $400 \text{ m}^3/\text{min}$) sono ottenibili da queste macchine con pressioni fino a **10 bar**. Questo tipo di compressore consente una produzione di aria continua priva di impulsi superiore a quella di un compressore a palette.



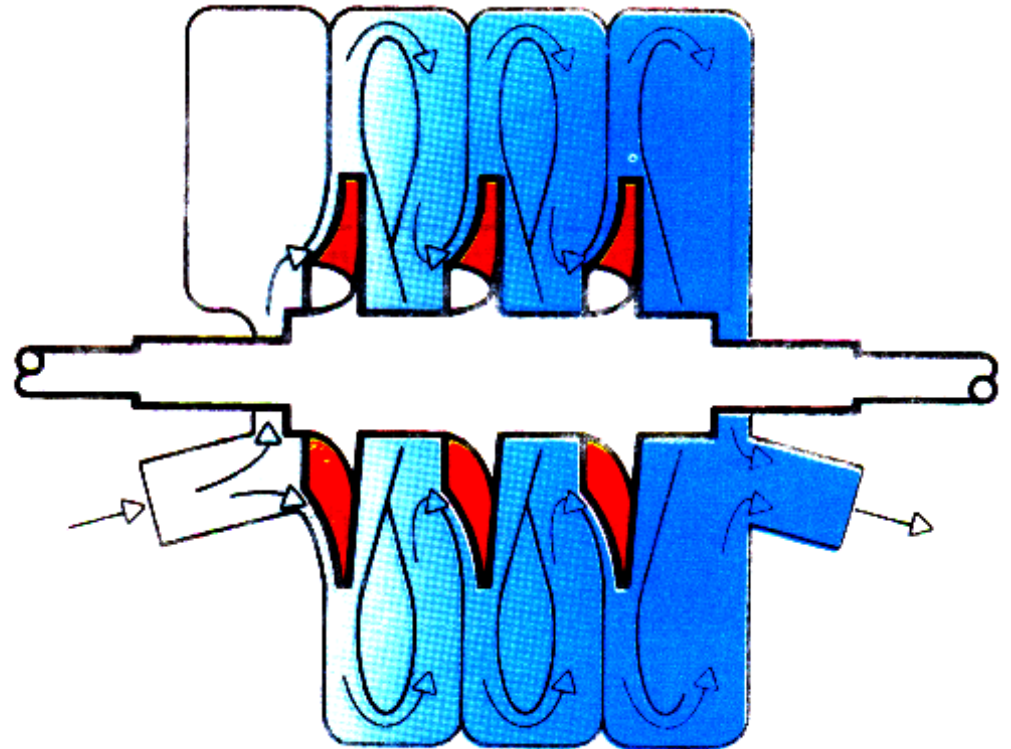
Compressore a vite



Turbocompressore assiale e radiale

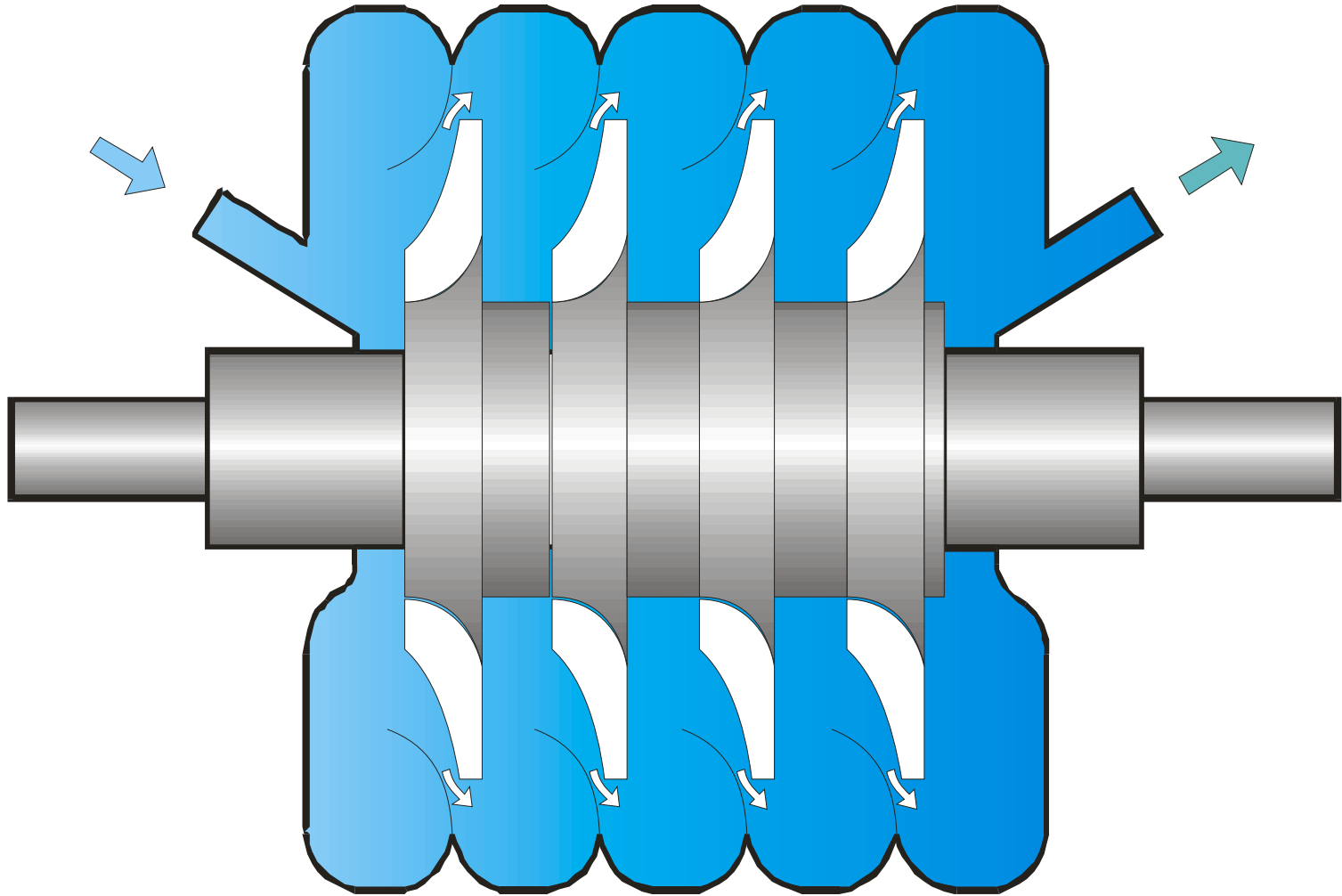


Assiale



Radiale

Turbo compressore radiale

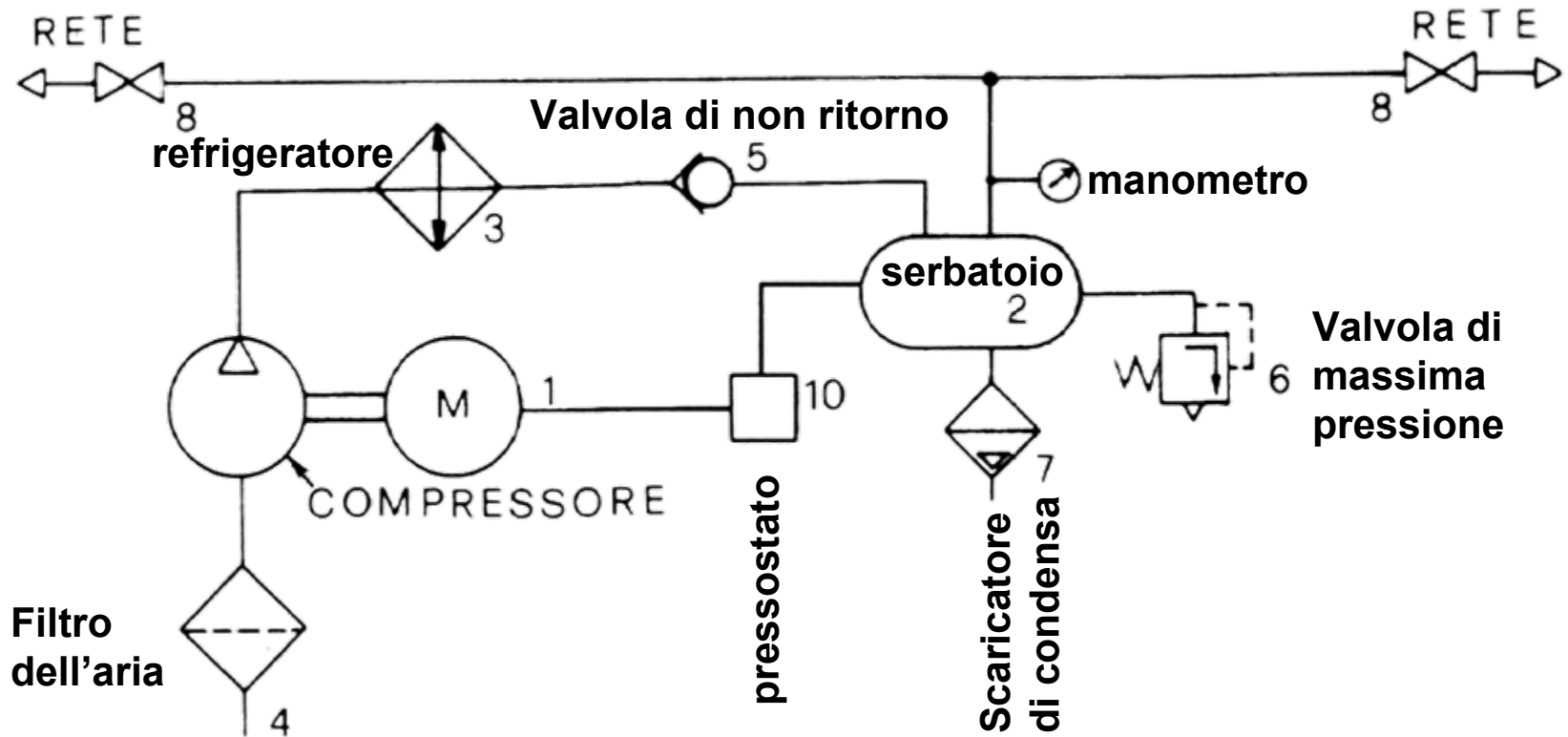


Centrale di compressione

La centrale di compressione è l'insieme di apparecchiature che, con il compressore, consentono l'utilizzo dell'aria compressa nei circuiti pneumatici

- Motore elettrico di azionamento del compressore
- Serbatoio
- Refrigeratore
- Filtro dell'aria
- Valvola di non ritorno
- Valvola di massima pressione
- Scaricatore di condensa
- Valvola di intercettazione
- Manometro
- Pressostato

Schema della centrale di compressione



Centrale di compressione

I compressori e le diverse apparecchiature occorrenti per la produzione dell'aria compressa sono, di norma, raggruppati in un locale apposito, possibilmente isolato acusticamente ed in diretto collegamento con l'ambiente esterno (da cui deve essere prelevata l'aria da comprimere).

E' sempre utile prevedere un impianto sovradimensionato per un eventuale ampliamento dell'utenza e un compressore di riserva per far fronte ad eventuali guasti o ai periodi di manutenzione del compressore principale.

Capacità del compressore

La capacità del compressore è indicata come portata volumetrica standard in nm^3/s o nm^3/min oppure ndm^3/s o l/min .

La capacità può anche essere definita come volume d'aspirazione teorico. Per un compressore a pistoni, essa è calcolata come segue:

Q (l/min) =

area pistone [dm^2] • lunghezza corsa [dm] • numero cilindri di primo stadio • r.p.m.

Nel caso di un compressore a due stadi, solo il cilindro del primo stadio deve essere considerato.

La mandata effettiva è sempre inferiore a causa delle perdite volumetriche e termiche.

La prima perdita è inevitabile poiché non è possibile scaricare tutta l'aria compressa dal cilindro al termine della corsa di compressione. Esiste dello spazio residuo chiamato "volume morto".

Le perdite termiche sono dovute al fatto che durante la compressione, l'aria raggiunge una temperatura molto elevata.

Efficienza volumetrica

Il rapporto $\frac{\text{aria libera prodotta}}{\text{cilindrata}}$ espresso percentualmente

è noto come **efficienza volumetrica** e varia con le dimensioni, costruzione della macchina, numero degli stadi e pressione finale.

L'efficienza volumetrica del compressore a due stadi è inferiore a quella del tipo a uno stadio in quanto i cilindri di primo e secondo stadio hanno entrambi volumi morti.

Efficienza termica e totale

Oltre alle perdite, vi sono anche effetti termici che diminuiscono l'efficienza della compressione dell'aria.

Queste perdite riducono ulteriormente l'efficienza totale.

Esse dipendono dal rapporto di compressione e dal carico.

Un compressore che lavora quasi al massimo della sua capacità accumula una grande quantità di calore perdendo efficienza.

In un compressore a due stadi, il rapporto di compressione per stadio è inferiore e l'aria, parzialmente compressa nel cilindro del primo stadio, è raffreddata in uno scambiatore di calore prima di essere compressa alla pressione finale nel cilindro del secondo stadio.

Esempio

Se l'aria atmosferica aspirata da un primo stadio è compressa ad un terzo del suo volume, la pressione assoluta all'uscita è di 3 bar.

Il calore sviluppato da questa compressione relativamente bassa, è corrispondentemente basso.

L'aria compressa viene poi inviata al cilindro del secondo stadio dopo essere passata attraverso lo scambiatore di calore. Essa è nuovamente ridotta ad un terzo del suo volume.

La pressione finale assoluta è di 9 bar.

Il calore sviluppato comprimendo lo stesso volume d'aria in un singolo stadio direttamente dalla pressione atmosferica a 9 bar assoluti, sarebbe molto più elevato e l'efficienza totale notevolmente ridotta.



Efficienza totale

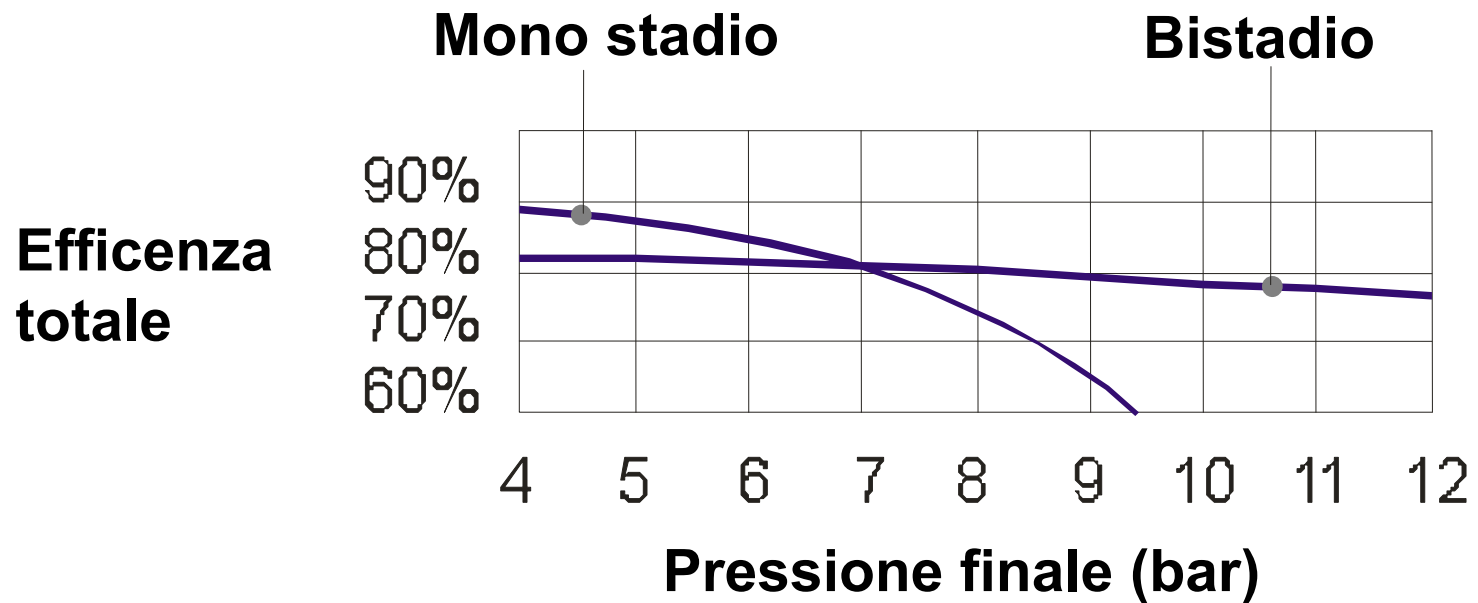
Per una bassa pressione finale, un compressore a singolo stadio è meglio in quanto l'efficienza volumetrica è più alta.

Aumentando la pressione finale, le perdite termiche diventano sempre più importanti ed i compressori pluristadio diventano preferibili avendo una efficienza termica superiore.

Il consumo energetico specifico è una misura della efficienza totale e può essere usato per stimare il costo di produzione dell'aria compressa.

Come indicazione media, si può assumere che un kW di energia elettrica è necessario per la produzione di 120-150 l/min (=0.12....0,15 nm³/min/kW) alla pressione di lavoro di 7 bar.

Diagramma dell'efficienza totale



Dimensionamento del compressore

Per dimensionare il compressore che deve alimentare un dato impianto occorre determinare:

- Il fabbisogno di aria compressa
- Il tipo di azionamento del compressore

Quando il compressore è azionato da un motore elettrico il funzionamento deve essere intermittente ed il calcolo iniziale deve prevedere un lavoro massimo del 50% (30 minuti di sosta e 30 minuti di lavoro ogni ora) riferito ad un ciclo di 5 min.

Quando il compressore è azionato da un motore a combustione interna il funzionamento è continuo ed il calcolo deve prevedere un lavoro massimo del 70% riferito ad un ciclo minimo di 2 min.

La portata del compressore deve essere $>$ del consumo effettivo dell'impianto da alimentare \times la percentuale di inserzione del compressore \times un coefficiente di sicurezza

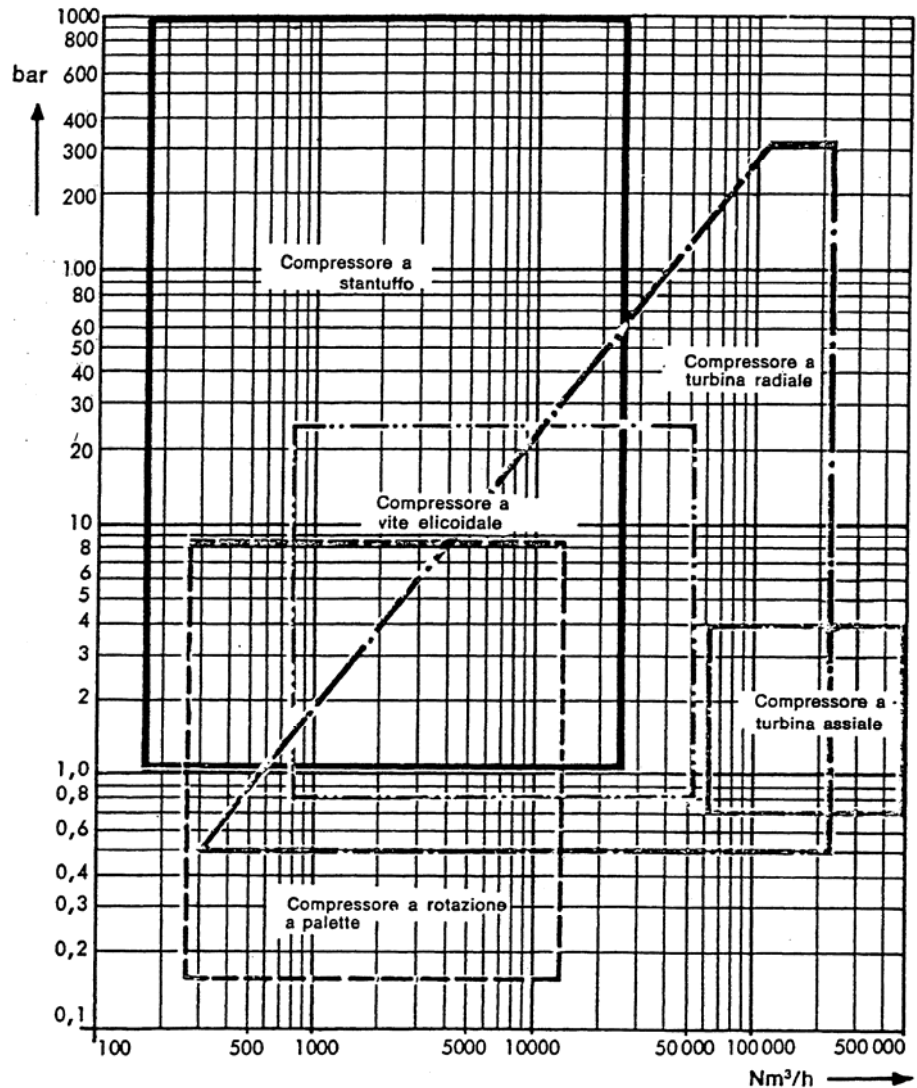
Il consumo effettivo è dato dalla somma del consumo delle tubazioni + il consumo dei cilindri

Scelta del compressore

La scelta fra i vari tipi di compressori deve essere fatta in funzione della pressione di lavoro e della portata richiesta.

E' consigliabile adottare il compressore a pistoni quando il carico è variabile, mentre il compressore rotativo a vite è da preferire quando il carico è costante e occorrono notevoli portate d'aria.

Per pressioni di esercizio molto elevate, l'unica soluzione possibile è rappresentata dal compressore a pistoni.



Serbatoio

Un serbatoio è un contenitore resistente alla pressione realizzato con lamiere di acciaio saldate, installato orizzontalmente o verticalmente direttamente a valle del post-refrigerante per ricevere l'aria compressa smorzando le pulsazioni del flusso di aria.

La funzione principale è di immagazzinare aria sufficiente per soddisfare i consumi eccedenti la capacità del compressore e di diminuire la frequenza di messa a carico e scarico del compressore. Inoltre il serbatoio consente un ulteriore raffreddamento per far precipitare la condensa trasportata a valle del post-refrigeratore prima che l'aria venga distribuita. A tal fine, è conveniente posizionare il serbatoio in un luogo freddo.

Il serbatoio deve essere dotato di una valvola di sicurezza, un manometro, uno scaricatore di condensa e coperchi di ispezione per controllo o pulizia interna.

Dimensionamento di un serbatoio

I serbatoi sono dimensionati in accordo alla mandata del compressore, alla dimensione del sistema e alla frequenza della domanda di consumo.

I compressori a motore elettrico, usati negli impianti industriali per alimentare una rete, sono normalmente accesi e spenti fra una pressione minima e una massima. Questo tipo di controllo è chiamato "automatico". Esso necessita di un volume minimo per il serbatoio in modo da evitare una commutazione troppo frequente.

I compressori mobili con motore a combustione non vengono fermati quando la massima pressione è stata raggiunta, ma le valvole di aspirazione vengono aperte in modo che l'aria possa scorrere liberamente entro e fuori dal cilindro senza essere compressa. La differenza di pressione esistente tra la compressione e il girare a vuoto è abbastanza piccola. In questo caso, è necessario solo un piccolo serbatoio.

Dimensionamento di un serbatoio metodo pratico

I serbatoi sono dimensionati in accordo alla mandata del compressore, alla dimensione del sistema e alla frequenza della domanda di consumo.

Per gli impianti industriali la regola pratica per dimensionare il serbatoio è:

Capacità del serbatoio = mandata dell'aria compressa dal compressore al minuto.

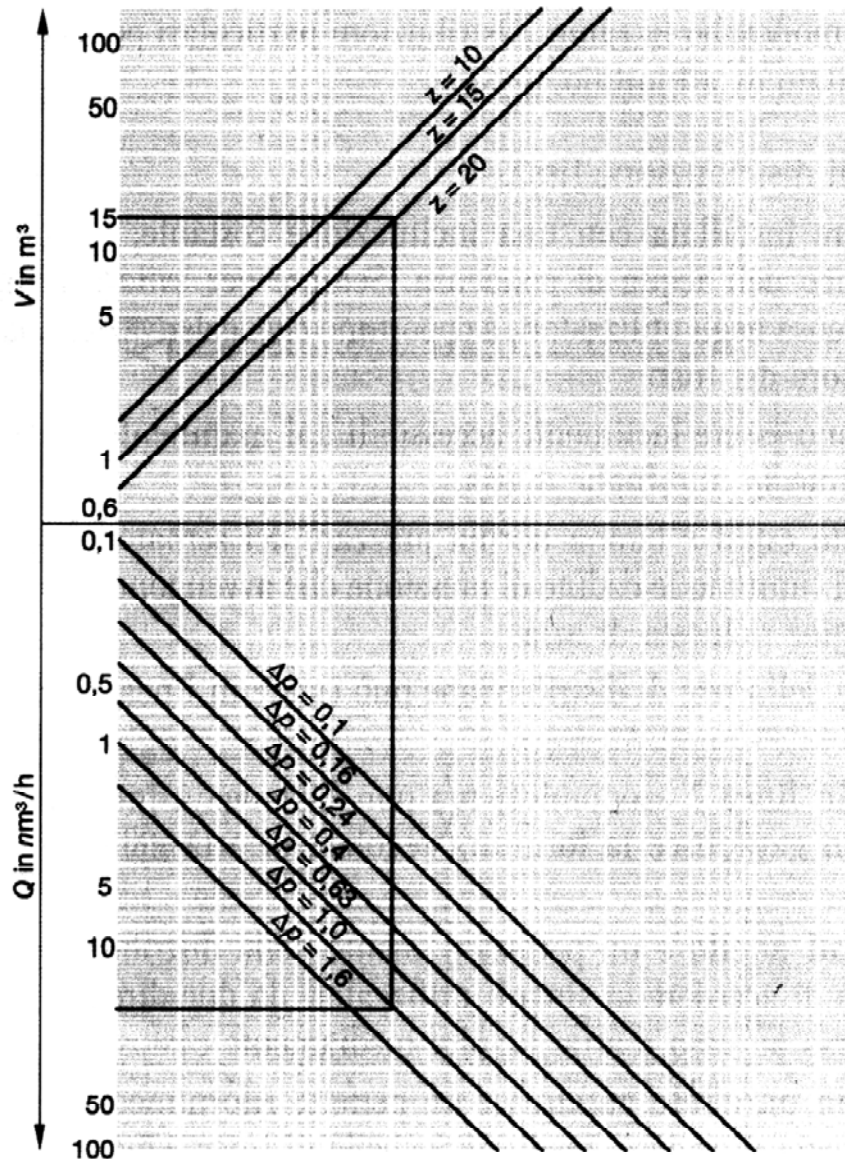
Esempio: aspirazione del compressore = $18 \text{ nm}^3/\text{min}$ (aria libera)
pressione media della linea = 7 bar.

Dalla legge di Boyle-Mariotte $pV=\text{costante}$: $p_n V_n = p_a V$ ma $p_n = 1 \text{ bar}$,
 $p_a = 7 + 1 \text{ bar}$ quindi, la mandata dal compressore al minuto è di:

$$V = V_n / p_a = \text{litri } 18000 / 8 \approx 2250 \text{ litri}$$

Un serbatoio con un volume di 2500 litri sarà probabilmente sufficiente.

Dimensionamento di un serbatoio metodo grafico



Il dimensionamento del serbatoio dipende dalla portata del compressore, dalla caduta di pressione ammessa dalla rete, dal volume supplementare richiesto dalla rete e dalla regolazione adottata. Se il compressore è a funzionamento intermittente si dovrà scegliere il numero di interruzioni ammesse.

Esempio

Determinare il volume di un serbatoio che richiede un portata $Q=20nm^3/h$ con una caduta di pressione ammessa di $\Delta p=1bar$ e con una regolazione di $z=20$ interruzioni / h, trascurando il volume supplementare richiesto dalla rete.

Dal grafico si legge $V=15 m^3$

Pulizia dell'aria

Non si deve trascurare la pulizia dell'aria, cioè la quantità e le dimensioni di particelle in essa presenti.

Si impiegano filtri in grado di bloccare anche piccole particelle fino a pochi μ , a volte con più filtri.

Caratteristiche del filtro:

- Portata massima
- Dimensione che può trattenere

Filtro di ingresso

Una atmosfera cittadina tipica può contenere 40 milioni di parti al metro cubo di particelle solide quali polvere, sporco, polline ecc., e qualora venga compressa a 7 bar, la concentrazione sarà di 320 milioni di parti/m³.

Per assicurare affidabilità e durata a un compressore bisogna dotarlo di un filtro adatto ed efficiente per prevenire una usura eccessiva di cilindri, fasce dei pistoni ecc., causata principalmente dall'effetto abrasivo di queste impurità.

Il filtro non deve essere troppo fine altrimenti l'efficienza del compressore diminuirebbe a causa della elevata resistenza al flusso d'aria, pertanto, le particelle molto piccole (2÷5µm) non possono essere rimosse.

La presa dinamica per l'aria dovrebbe essere posizionata in modo tale da aspirare aria secca e pulita.

Il diametro del condotto dovrebbe essere sufficientemente grande da evitare una eccessiva caduta di pressione.

Deidratazione dell'aria Post Refrigeranti

Dopo la compressione finale, l'aria è calda e quando viene raffreddata deposita acqua in considerevole quantità nell'impianto.

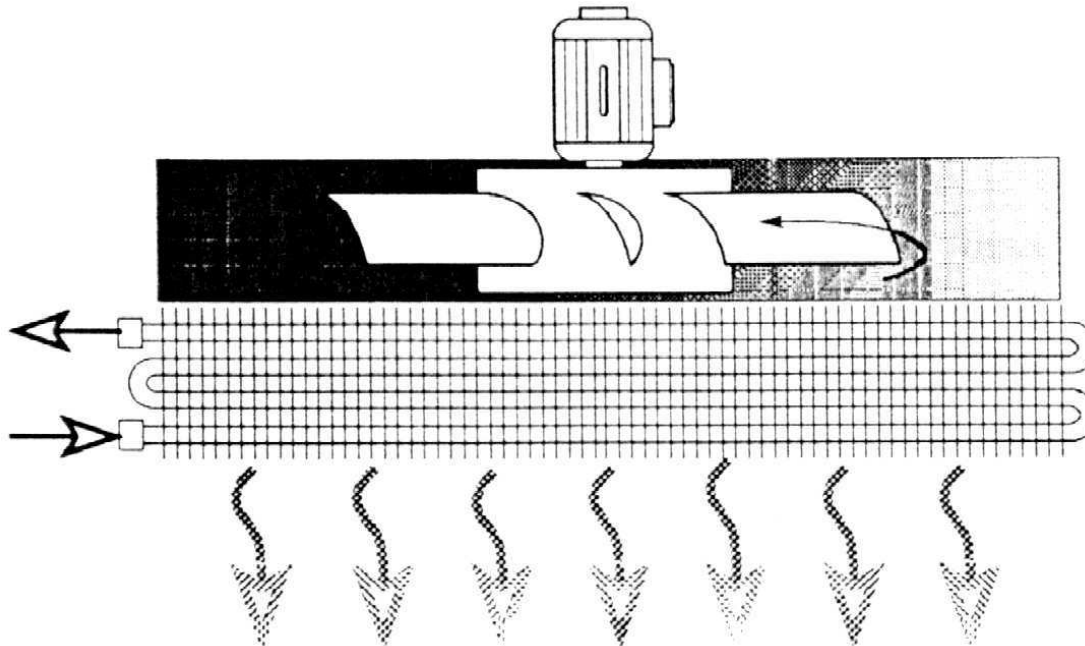
Per evitare questo inconveniente, il modo migliore per rimuovere la maggior parte del condensato è di raffreddare l'aria immediatamente dopo la compressione.

I post refrigeranti sono scambiatori di calore con raffreddamento ad aria oppure ad acqua.

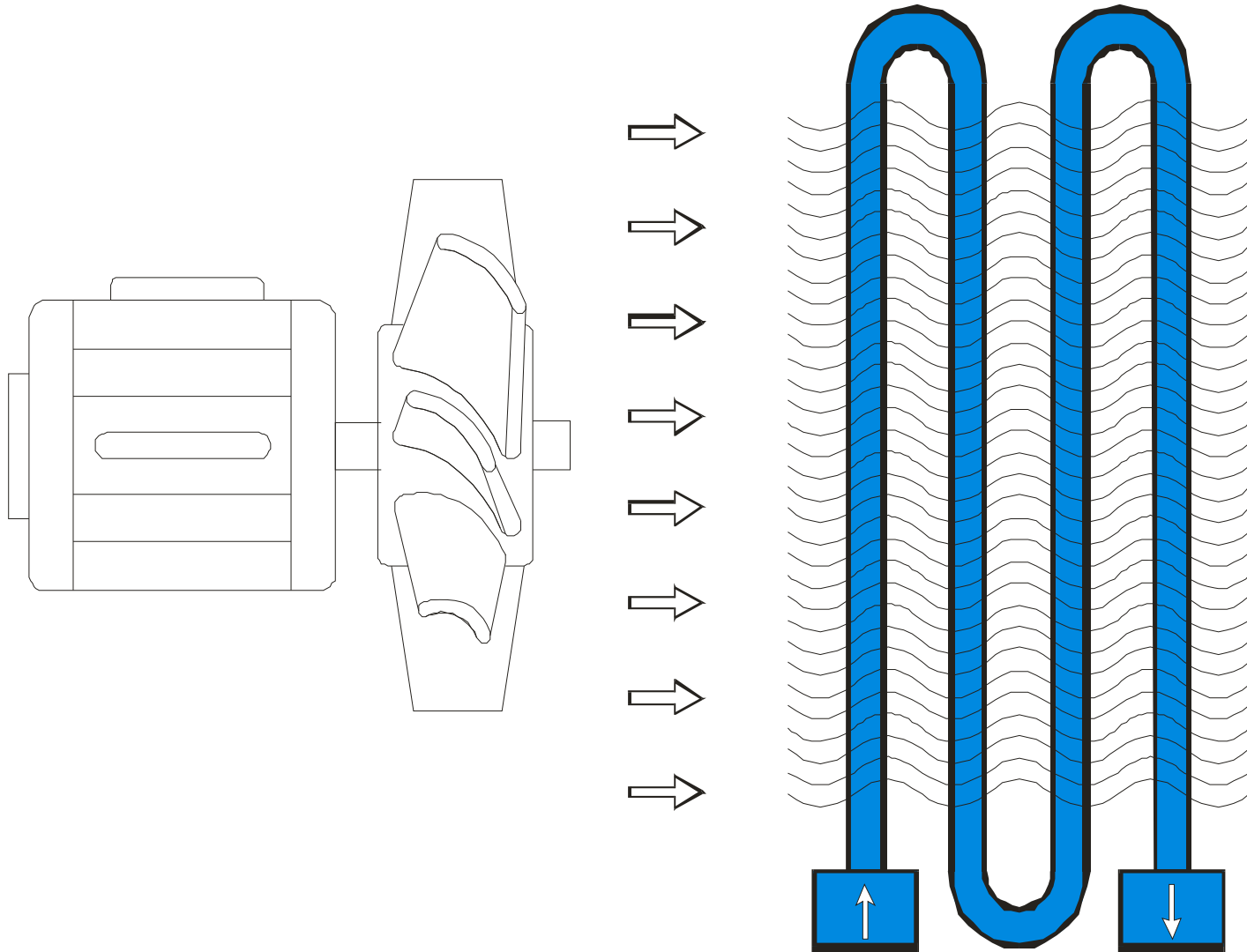
Raffreddamento ad aria

Esso consiste di una batteria di tubi nei quali scorre l'aria compressa e intorno ai quali un flusso d'aria fredda è costretto a fluire forzatamente per mezzo di un ventilatore.

La temperatura di uscita dell'aria compressa raffreddata dovrebbe essere approssimativamente superiore di 15°C alla temperatura ambiente dell'aria di raffreddamento.

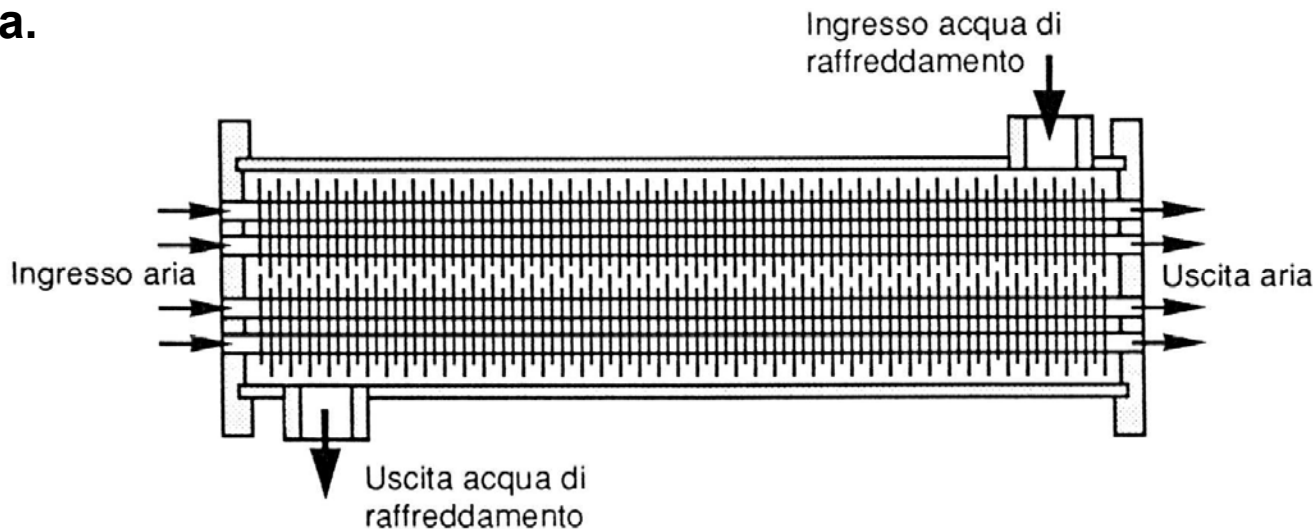


Post refrigerante raffreddato ad aria



Raffreddamento ad acqua

Esso consiste in un involucro di acciaio contenente un fascio di tubi in cui viene fatta circolare dell'acqua. Esternamente è fatta fluire l'aria da raffreddare. Di solito, il flusso dell'acqua è in direzione opposta al flusso dell'aria.

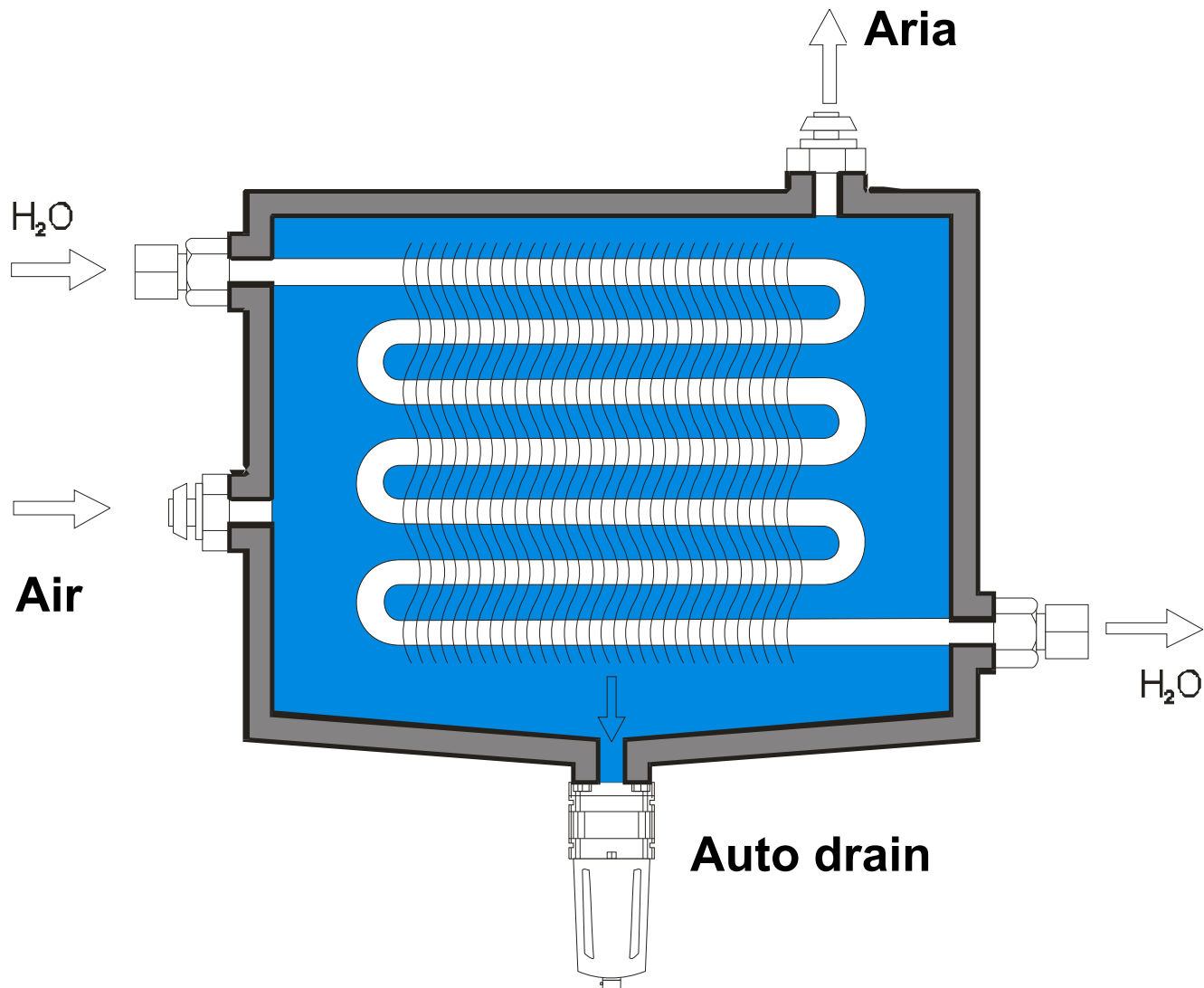


Un post refrigerante raffreddato ad acqua deve assicurare che l'aria in uscita sia approssimativamente, al di sopra della temperatura dell'acqua di raffreddamento, di 10°C.

Uno scaricatore automatico aggiunto o integrale al post refrigerante rimuove il condensato accumulato.

I post refrigeranti devono essere equipaggiati con una valvola di sicurezza, un manometro e prese per i termometri dell'aria e dell'acqua.

Post refrigerante raffreddato ad acqua



Essiccatori

I post refrigeranti raffreddano l'aria fino a 10-15°C dalla temperatura del mezzo refrigerante. Gli elementi di controllo e di azionamento del sistema pneumatico sono normalmente a temperatura ambiente (circa 20°C) e perciò si potrebbe pensare che non precipiti altro condensato. Tuttavia, la temperatura dell'aria che lascia il post refrigerante può essere più alta della temperatura dell'ambiente in cui passano i tubi, ad esempio, durante la notte, e in tal caso l'aria si raffredda ulteriormente condensando altro vapore in acqua.

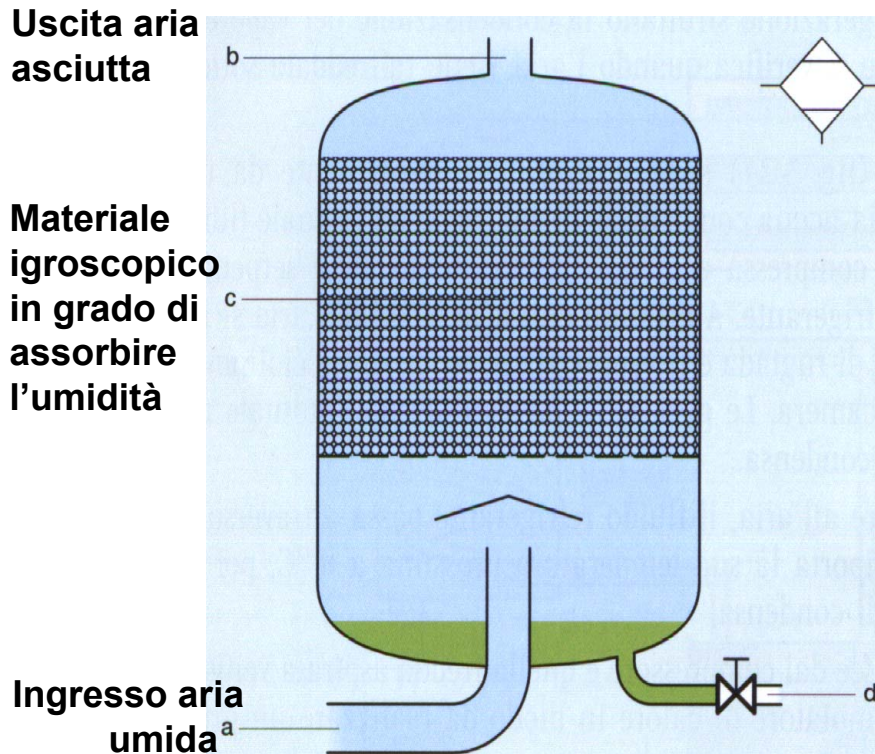
La misura impiegata per essiccare l'aria consiste nell'abbassare il punto di rugiada che è la temperatura alla quale l'aria è completamente satura di umidità. Più basso è il punto di rugiada, minore è il vapore acqueo che rimane nell'aria compressa.

L'eliminazione dell'umidità residua nell'aria si esegue con tre tipi di essiccatori:

- ad assorbimento
Passaggio dell'aria attraverso materiale disidratante da sostituire periodicamente
- ad adsorbimento
Passaggio su “gel” facile da rigenerare
- a raffreddamento
Condensazione del vapor acqueo mediante raffreddamento

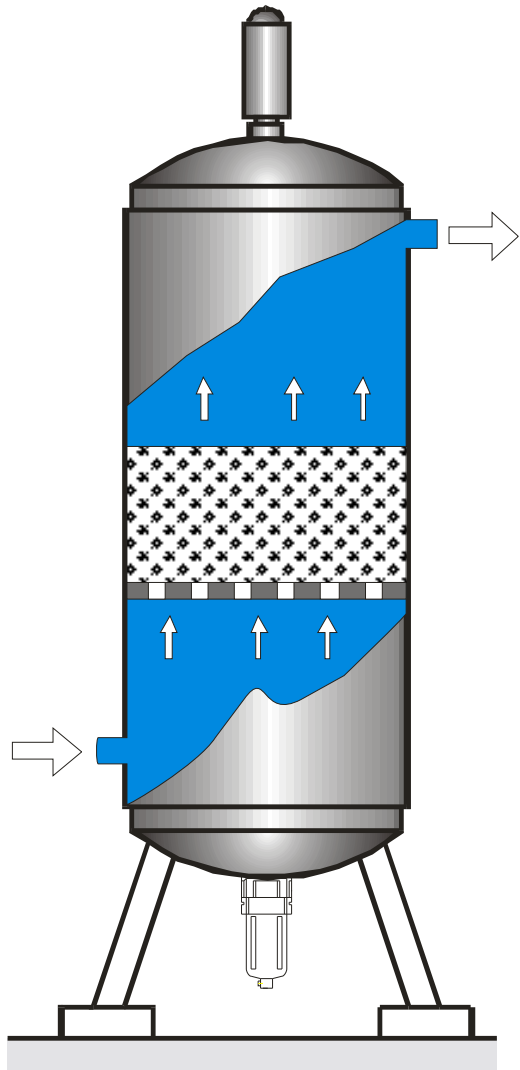
Essiccatore ad assorbimento

L'aria compressa è forzata a passare attraverso un agente essiccante come gesso deidratato o clorito di magnesio che rimangono in fase solida oppure attraverso clorito di litio o clorito di calcio che reagiscono con il vapore acqueo formando una soluzione che è scaricata sul fondo del serbatoio.



L'agente essiccante deve essere rimpiazzato a intervalli regolari in quanto la temperatura del punto di rugiada incrementa in funzione del consumo del sale durante il processo. E' possibile ottenere un punto di rugiada di 5°C a 7 bar. I principali vantaggi di questo metodo sono i bassi costi di acquisto e di funzionamento. Gli svantaggi sono dovuti al fatto che la temperatura dell'aria in ingresso non può essere superiore ai 30°C e che gli agenti chimici impiegati sono altamente corrosivi. Pertanto, è necessario disporre di un sistema di filtraggio attentamente controllato per assicurare che una sottile nebbia corrosiva non sia trasportata lungo il sistema pneumatico.

Essiccatore ad assorbimento



Se nell'aria è presente olio, questo copre le superfici dei granuli igroscopici che perciò non possono più assorbire umidità.

Per tale motivo l'essiccatore ad assorbimento va assolutamente posto a monte del lubrificatore.

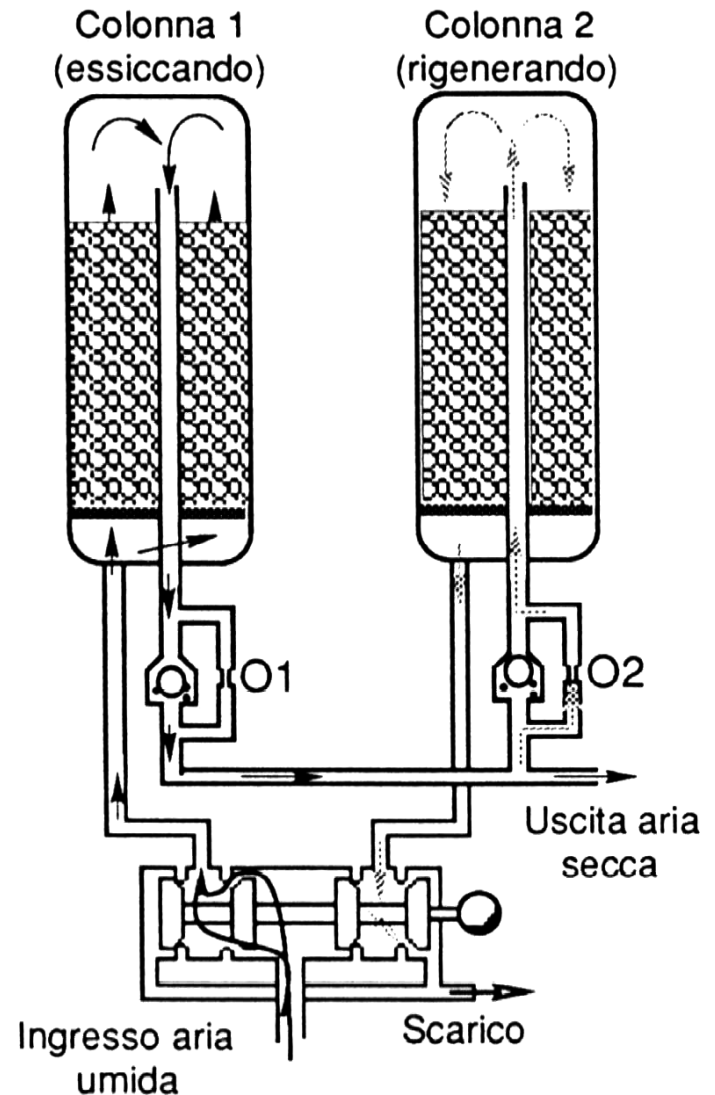
Essiccatore ad adsorbimento

L'adsorbimento è un processo chimico-fisico che consiste nell'adesione delle molecole di acqua su uno strato superficiale di un prodotto a granuli molto fini

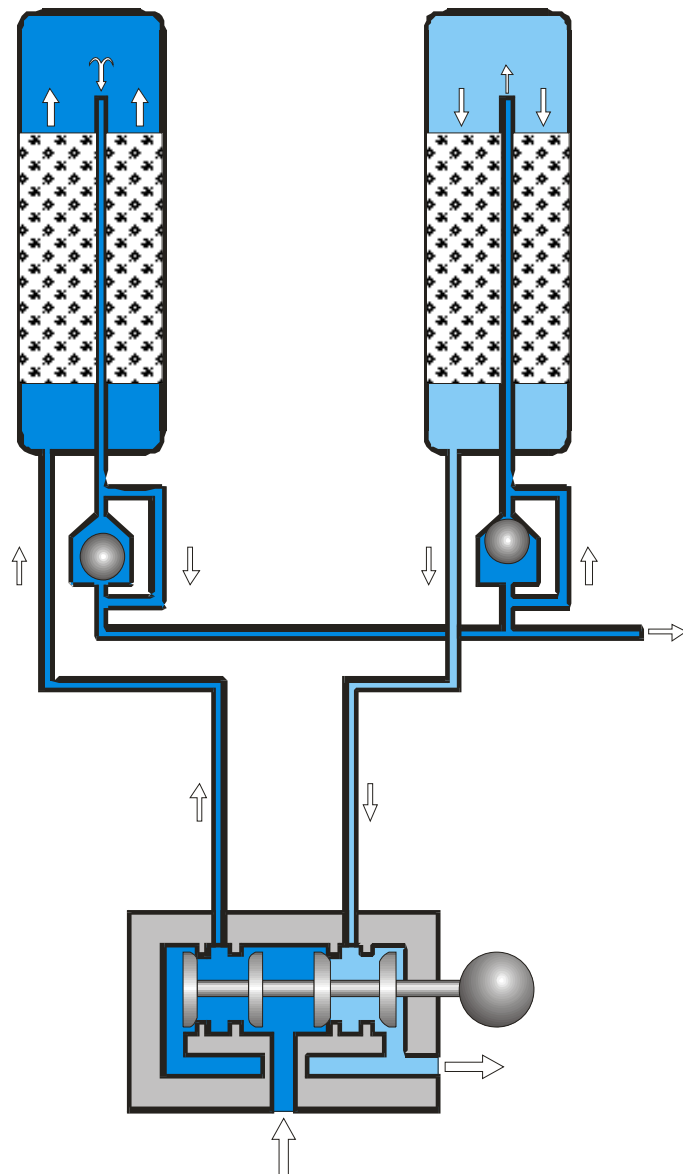
- Biossido di silicio (gel) o allumina attivata in forma granulare
- Limitata capacità deumidificante
- Facilità di rigenerazione mediante soffiata di aria calda che fa evaporare l'acqua assorbita

Principio dell'essiccatore d'aria ad adsorbimento

Quando l'agente essiccante si satura, esso è rigenerato per essiccazione dal flusso dell'aria che è stata precedentemente essiccata. L'aria umida è alimentata attraverso una valvola di controllo direzionale e passa lungo la colonna 1 di essiccante. L'aria secca fluisce verso la via d'uscita. Circa il 10 ÷ 20% dell'aria secca passa attraverso l'orifizio O2 e la colonna 2 in direzione opposta per riassorbire l'umidità dall'essiccante e rigenerarlo. Il flusso d'aria rigenerante viene poi scaricato.



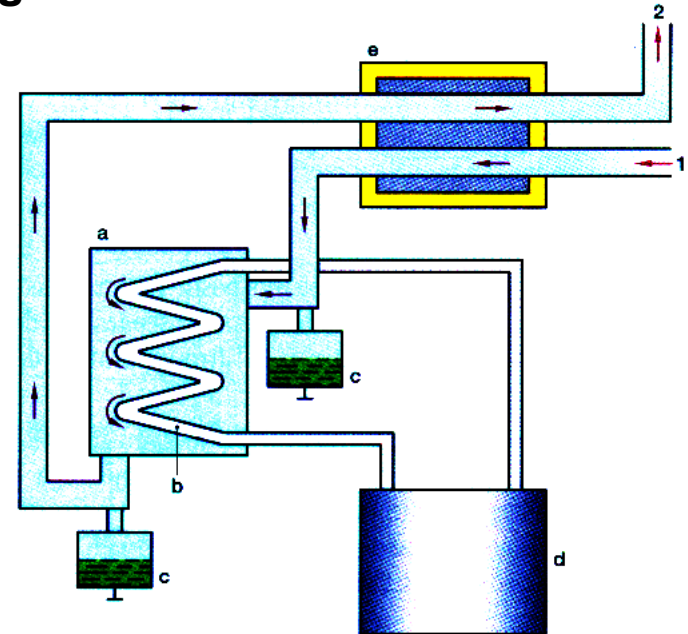
Essiccatore d'aria ad adsorbimento



Essiccatori a raffreddamento a ciclo frigorifero

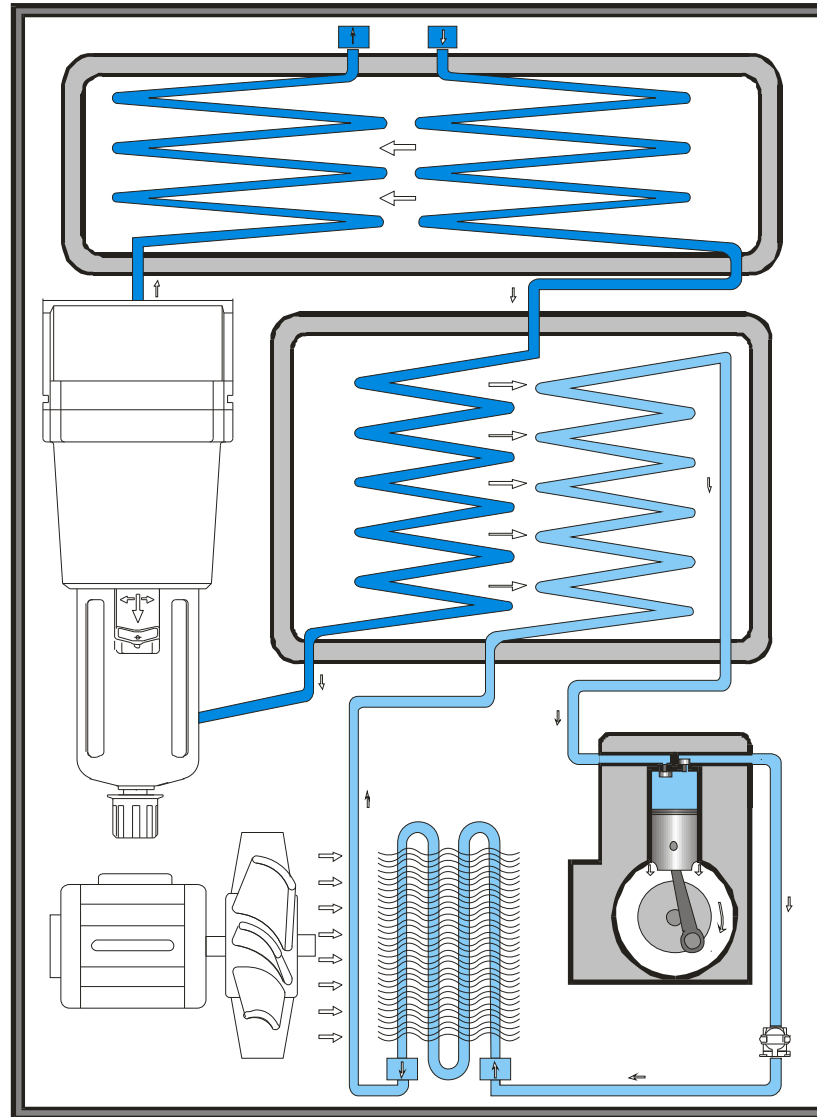
L'unità è composta da un circuito di refrigerazione e da due scambiatori di calore.

1. Ingresso aria umida
2. Uscita aria secca
 - a. Scambiatore di calore aria-acqua con camera di condensa
 - b. Liquido refrigerante
 - c. Separatore di condensa
 - d. Gruppo frigorifero
 - e. Scambiatore di calore e condensazione preliminare

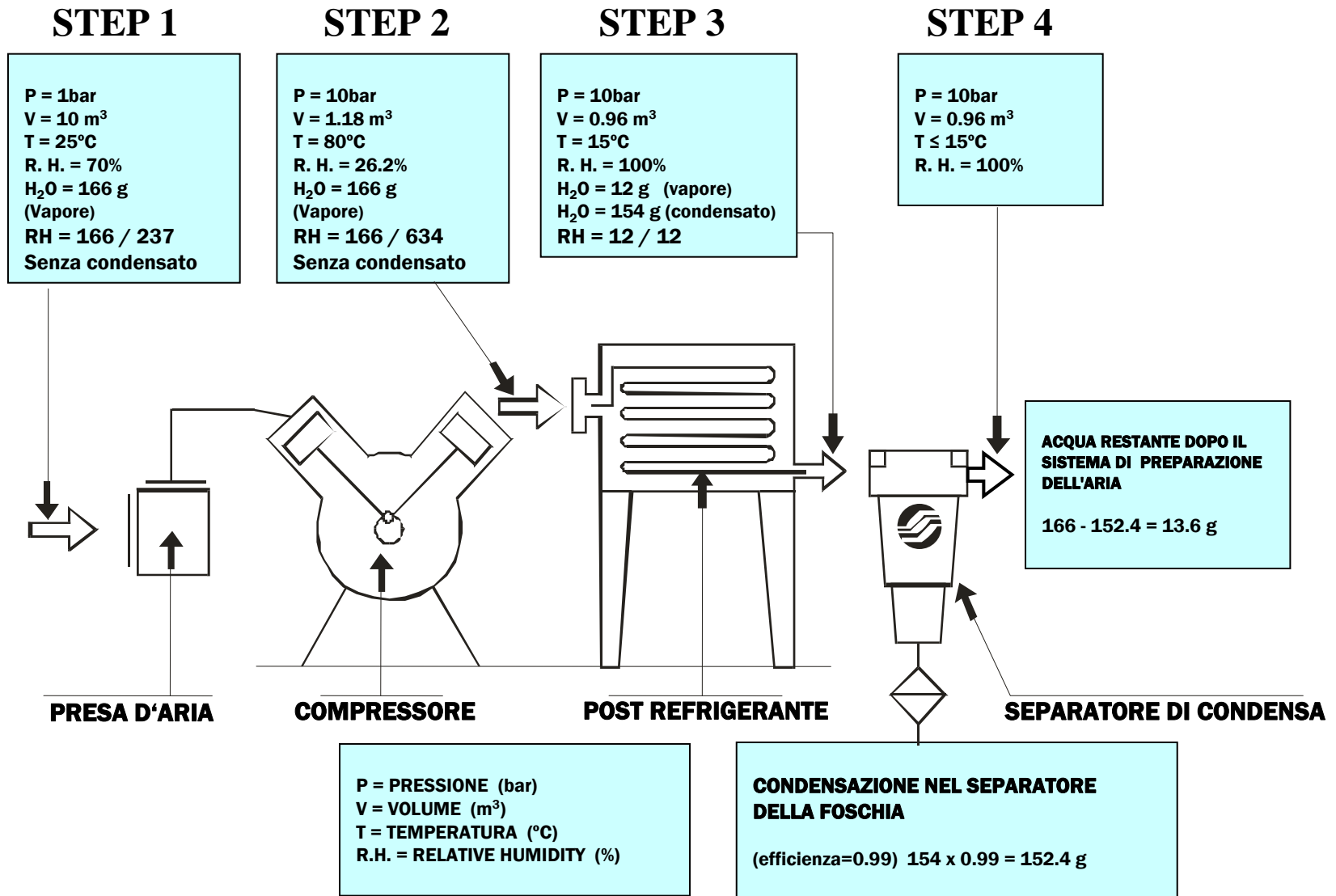


I moderni metodi di refrigerazione consentono di ottenere una temperatura di uscita di 2°C, sebbene una temperatura di 5°C sia sufficiente per la maggior parte delle applicazioni dell'aria compressa. Le temperature di ingresso possono giungere sino a 60°C, ma è più economico pre raffreddare per ottenere temperature inferiori di funzionamento. Come regola generale, il costo per essiccare l'aria compressa può raggiungere il 10 ÷ 20% del costo di compressione.

Essiccatore d'aria a refrigerazione

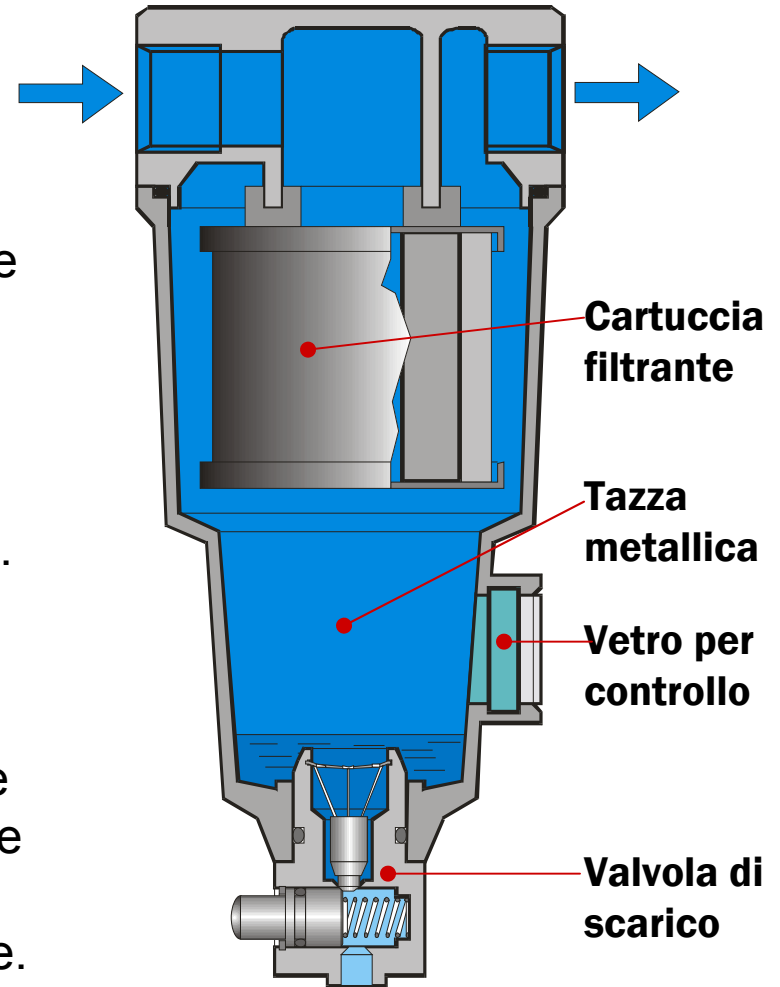


Esempio di trattamento dell'aria



Filtro di linea principale

Un filtro di elevata capacità dovrebbe essere installato dopo il serbatoio dell'aria per rimuovere contaminanti e vapori d'olio provenienti dal compressore e l'acqua di condensa dell'aria. Il filtro deve avere una minima caduta di pressione e la capacità di rimuovere il vapore d'olio per evitare l'emulsione con l'acqua di condensa presente nella linea. Esso non ha un deflettore per la separazione dell'acqua come nel "filtro standard". Uno scaricatore automatico premontato o aggiunto successivamente è in grado di assicurare una evacuazione regolare dell'acqua accumulata. Il filtro è a cartuccia a rapida sostituzione.



Distribuzione dell'aria compressa

Rete di distribuzione dell'aria compressa

Nelle applicazioni industriali la rete dell'aria compressa rappresenta un servizio generale e, come l'impianto elettrico ed idrico, deve essere opportunamente dimensionato ed installato.

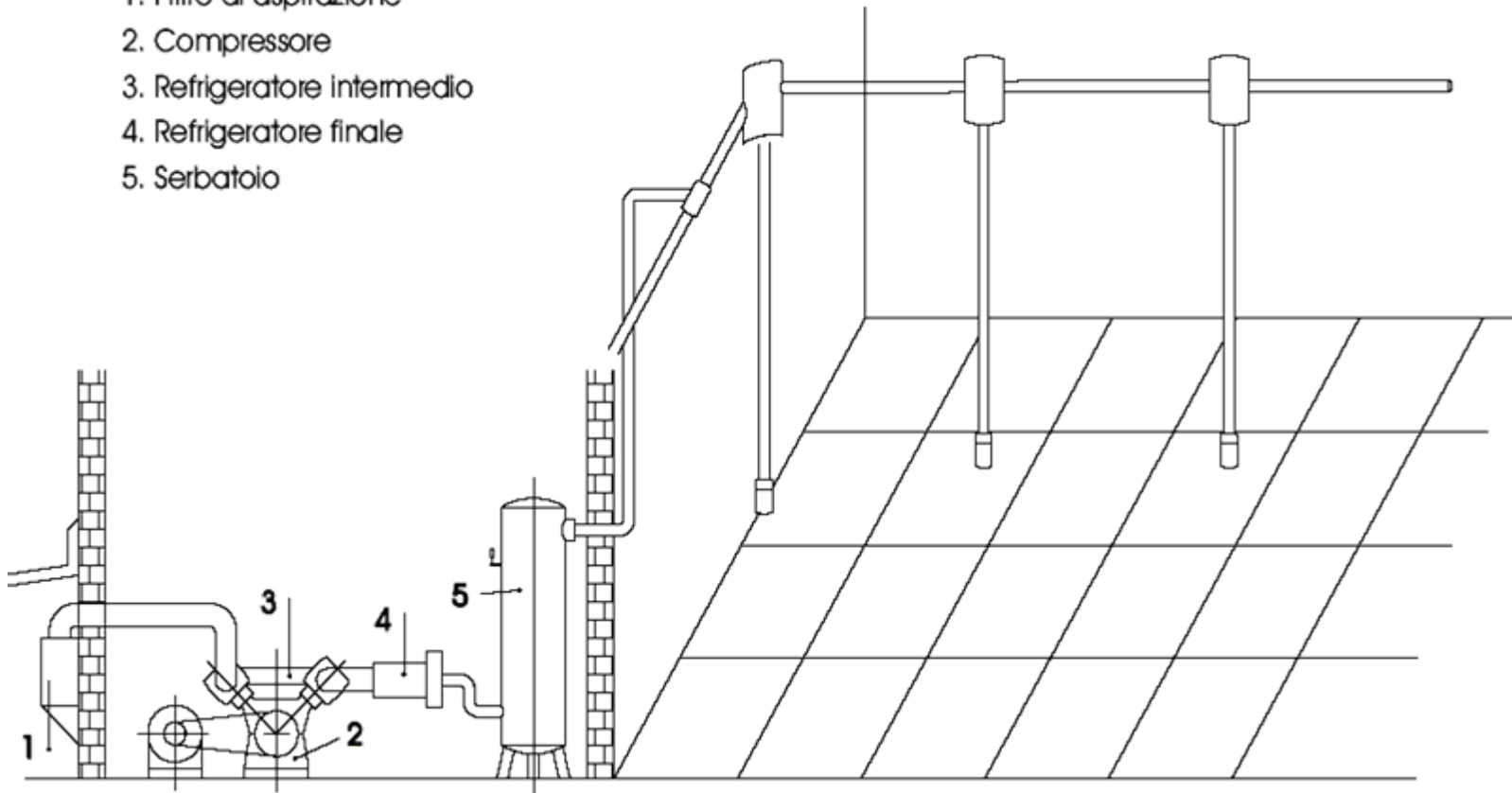
Il tipo di impianto può variare con l'uso e le applicazioni, ma in ogni caso bisogna soddisfare le seguenti esigenze:

- minimizzare le perdite di pressione tra il compressore e gli utilizzatori
- minimizzare le perdite di aria
- garantire una buona separazione della condensa se l'impianto non ha essiccatori
- garantire la buona resistenza strutturale di tutti i componenti utilizzati (valvole, serbatoi, tubi, ecc.).

I primi tre punti sono di tipo funzionale e sono di pertinenza del progettista dell'impianto, mentre l'ultimo punto, che coinvolge la protezione dell'impianto contro il pericolo di scoppi, coinvolge anche gli Enti di sicurezza preposti.

Impianto per aria compressa

1. Filtro di aspirazione
2. Compressore
3. Refrigeratore intermedio
4. Refrigeratore finale
5. Serbatoio



Tubazioni

L'aria compressa viene distribuita ai punti di utilizzo attraverso una serie di tubazioni principali che rappresentano le arterie del sistema.

Il dimensionamento di tali tubazioni deve essere tale che, anche nel punto più lontano, il flusso d'aria mantenga le caratteristiche di portata e pressione **(la caduta di pressione deve essere contenuta in 0,3 bar)**.

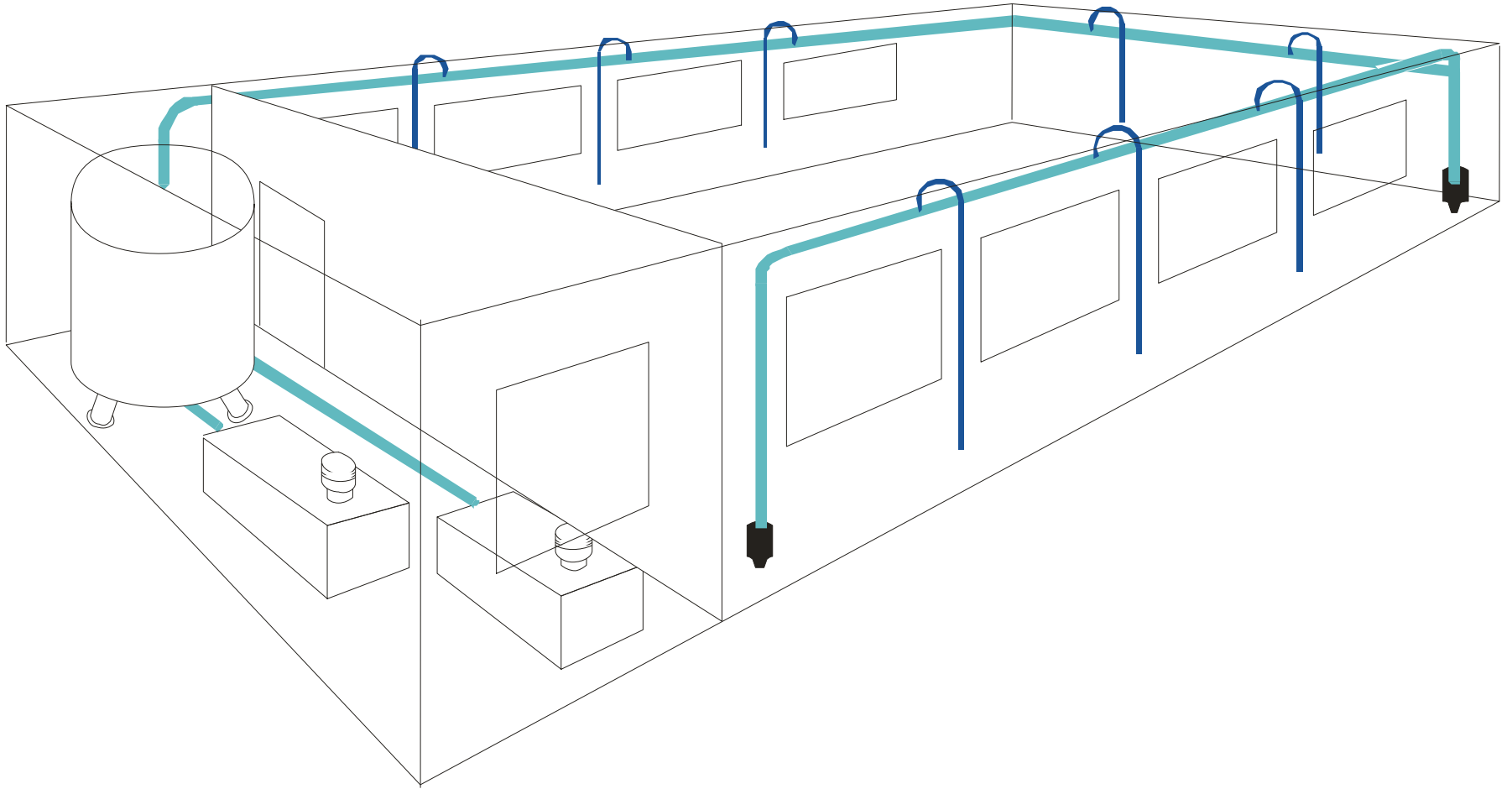
Distribuzione dell'aria

La rete principale dell'aria è un sistema di distribuzione installato permanentemente per portare l'aria ai vari utilizzatori. Valvole di intercettazione devono essere installate per suddividere la rete principale in sezioni per limitare l'area che verrà chiusa durante i periodi di manutenzione o di riparazione.

Esistono due configurazioni di reti principali:

- Linea a fondo cieco
- Rete ad anello

Linea a fondo cieco

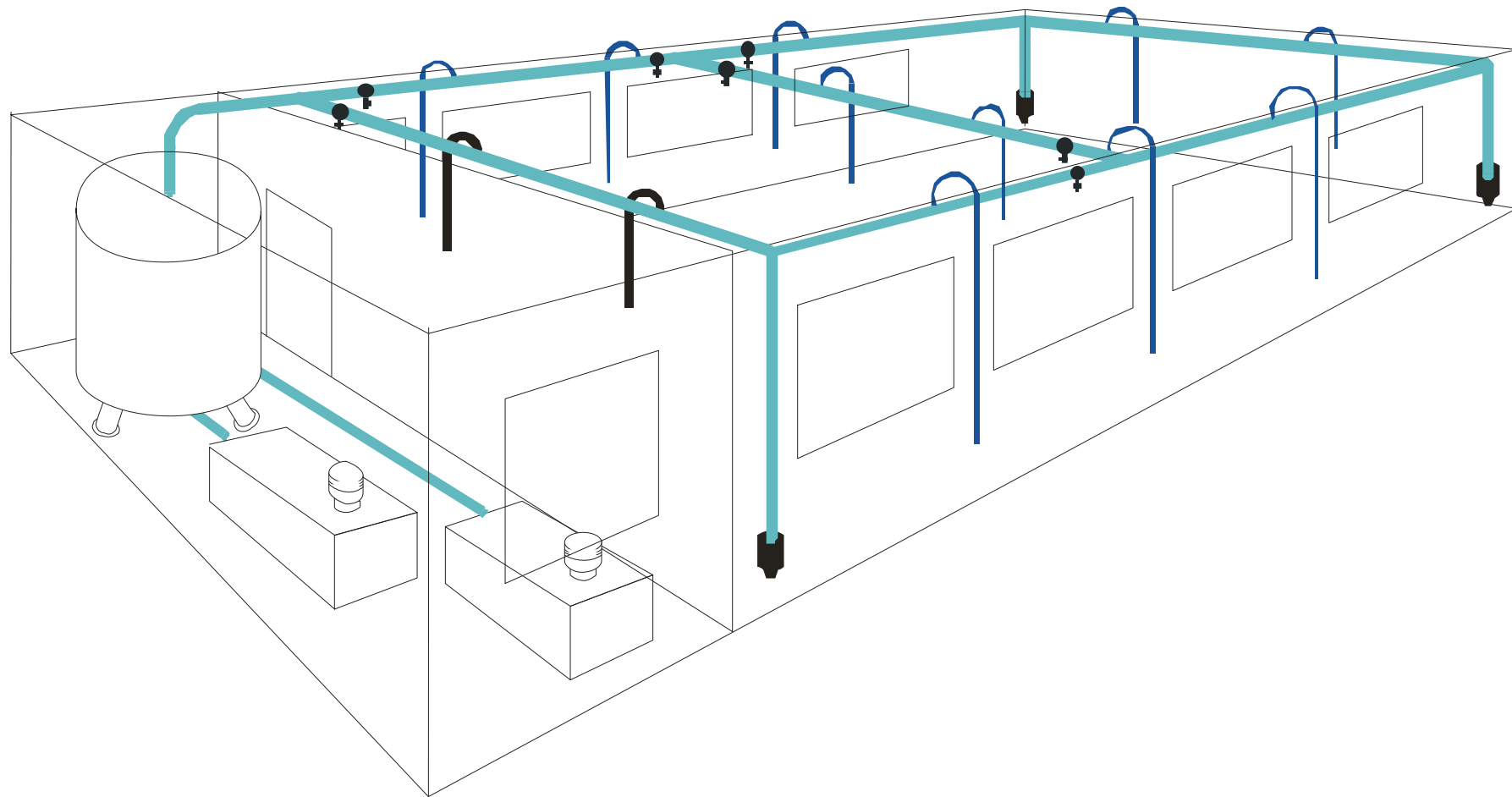


Linea a fondo cieco

Per assicurare il drenaggio la condotta deve avere una **pendenza di circa 10 mm ogni metro** nella direzione del flusso e deve essere adeguatamente drenata.

Ad intervalli opportuni, la linea può essere riportata alla sua altezza di partenza mediante due curve ad angoli retti e installando una estremità di drenaggio al punto più basso.

Linea ad anello



Rete principale ad anello

In una rete ad anello, l'aria può essere alimentata da due lati ad un punto di elevato consumo. Ciò consente di minimizzare la caduta di pressione.

L'acqua di condensa è trasportata in tutte le direzioni.

Deve essere installato un adeguato sistema di prelievo dell'acqua di condensa mediante scaricatori automatici.

Rete principale dell'aria compressa

Il costo della rete principale dell'aria costituisce una parte elevata del costo iniziale di una installazione per aria compressa. Una riduzione del diametro del tubo, sebbene abbassi il costo dell'investimento, incrementa la caduta di pressione dell'aria nel sistema aumentando i costi operativi oltre il costo addizionale di un tubo con diametro superiore. Inoltre, poiché i costi della mano d'opera costituiscono una parte notevole del costo totale e variano molto poco per le diverse dimensioni di tubi, il costo di installazione di un tubo da 25 mm di diametro è simile a quello di un tubo da 50 mm mentre la capacità di flusso del tubo da 50 mm è quattro volte più grande di quella del tubo da 25 mm.

In un sistema con linea principale ad anello, l'alimentazione dell'aria ad ogni punto di prelievo è assicurata dai due cammini del tubo. Quando si deve determinare la dimensione del tubo, la doppia alimentazione deve essere trascurata ipotizzando che in ogni momento l'aria viene alimentata solamente da una direzione.

Dimensionamento della rete principale

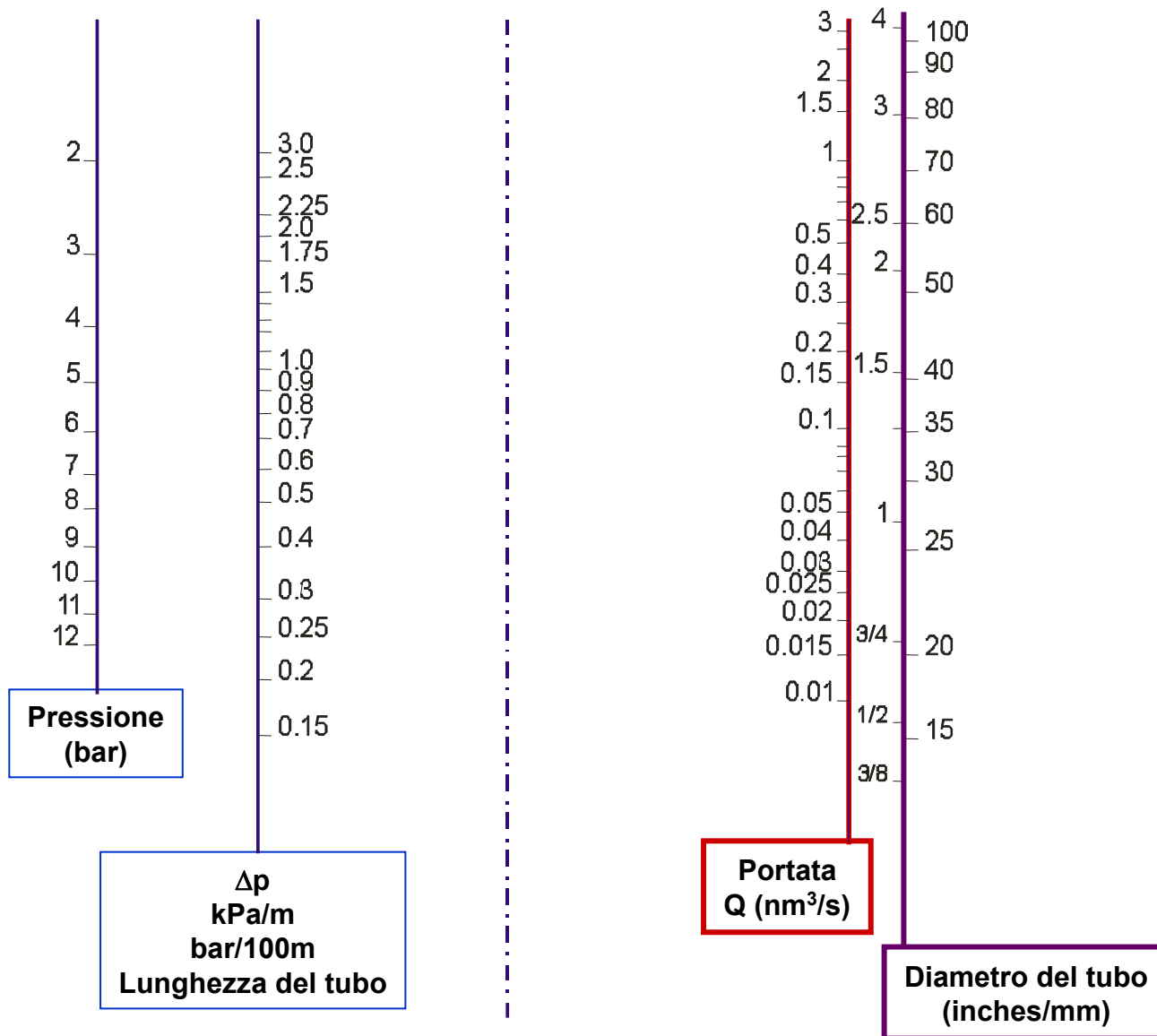
La dimensione della linea principale e delle calate è determinata dal limite della **velocità dell'aria nel tubo** normalmente fissata a **6 m/s** mentre nelle linee secondarie ad una pressione di 6 bar per lunghezze di pochi metri la velocità può raggiungere i 20 m/s.

La caduta di pressione dal compressore al termine della calata non deve superare i **0,3 bar**.

Un nomogramma consente di determinare il diametro richiesto per il tubo.

Curve e valvole causano un attrito addizionale. Tale attrito può essere espresso come lunghezza rettilinea equivalente addizionale di tubo nel calcolo della perdita totale di pressione.

Nomogramma per il dimensionamento del tubo



Esempio

Determinare la dimensione del tubo che trasporta 16800 l/min di aria con una caduta massima di non più di 0,3 bar per 125 metri di tubo. Il compressore a 2 stadi si avvia a 8 bar e si ferma a 10 bar; la pressione media è di 9 bar.

30 kPa di caduta di pressione in 125 m di tubo è equivalente a

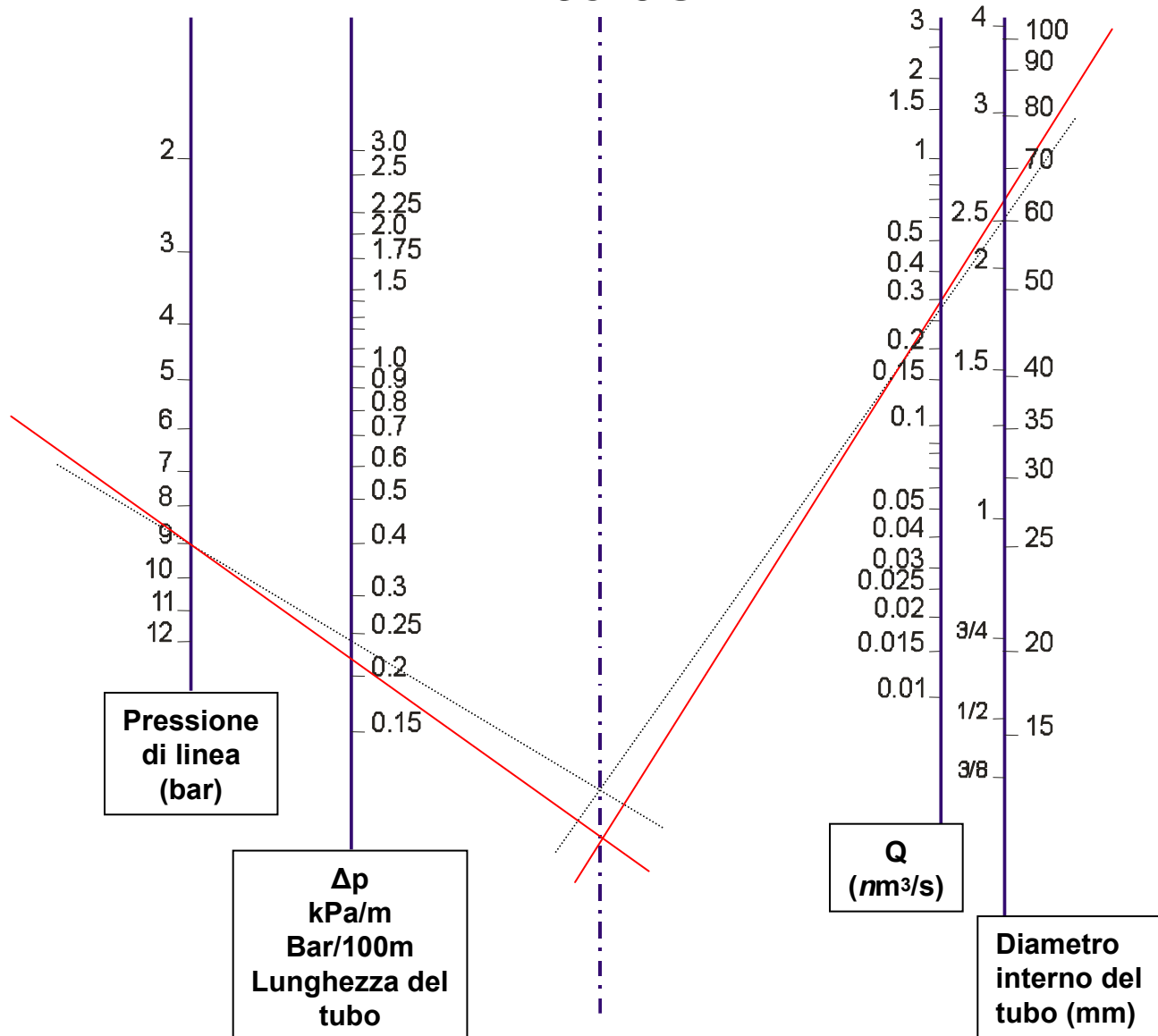
$$\frac{30 \text{ kPa}}{125 \text{ m}} = 0.24 \text{ kPa/m.}$$

Facendo riferimento al nomogramma precedente, si traccia una linea in corrispondenza di 9 bar sulla riga della pressione passante per 0,24 kPa/m sulla riga della caduta di pressione fino a tagliare la riga di riferimento in x.

La portata del tubo pari a 16800 l/min = 16,8/60 m³/s = 0,28 m³/s

Si unisce x con 0,28 m³/s prolungando la linea fino a intersecare la riga per la dimensione del tubo, ottenendo circa 61 mm. Deve essere utilizzato un tubo con un diametro interno di almeno 61 mm.

Nomogramma per il dimensionamento del tubo



Determinazione del tubo

Dalla Tabella dei tubi gas standard si ricava che un tubo con un diametro nominale di 65 mm ha un diametro interno di 68 mm, Pertanto, esso è in grado di soddisfare ai requisiti con un margine di sicurezza.

Diametro nominale mm	Diametro esterno mm	Diametro interno mm	Peso Kg/m
6	10,5	6,5	0,419
8	13,8	9,2	0,652
10	17,3	12,7	0,851
15	21,7	16,1	1,310
20	27,2	21,6	1,680
25	34,0	27,6	2,430
32	42,7	35,7	3,380
40	48,6	41,6	3,890
50	60,3	53,0	5,100
65	76,1	68,8	6,510
75	88,9	80,8	8,470
100	114,3	105,3	12,100

Lunghezze di tubo equivalenti per i principali tipi di raccordi

<i>Tipo di raccordo</i>	Diametro nominale del tubo in mm									
	15	20	25	30	40	50	65	80	100	125
Gomito	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	1,1	1,4	1,8	2,4	3,2
90° Curva (lunga)	0,1	0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5
90° Gomito	1,0	1,2	1,6	1,8	2,2	2,6	3,0	3,9	5,4	7,1
180° curva	0,5	0,6	0,8	1,1	1,2	1,7	2,0	2,6	3,7	4,1
Valvola a sfera	0,8	1,1	1,4	2,0	2,4	3,4	4,0	5,2	7,3	9,4
Valvola di intercettazione	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,9	1,2
T Standard	0,1	0,2	0,2	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5
T con attacco laterale	0,5	0,7	0,9	1,4	1,6	2,1	2,7	3,7	4,1	6,4
Lunghezze di tubo equivalente in m per i principali tipi di raccordi										

Esempio

Se il tratto precedente di tubo di 125 m presenta due gomiti, due curve a 90°, 6 raccordi standard a T e due valvole di intercettazione, è necessario predisporre un tubo con un diametro superiore per limitare la caduta di pressione a 30 kPa?

Nella Tabella precedente alla colonna del diametro 65 mm, si ricavano le seguenti lunghezze di tubi equivalenti:

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> due gomiti: | $2 \times 1,37 \text{ m} = 2,74 \text{ m}$ |
| <input type="checkbox"/> due curve a 90°: | $2 \times 0,76 \text{ m} = 1,52 \text{ m}$ |
| <input type="checkbox"/> sei raccordi a T standard: | $6 \times 0,67 \text{ m} = 4,02 \text{ m}$ |
| <input type="checkbox"/> due valvole di intercettazione: | $2 \times 0,49 \text{ m} = \underline{0,98 \text{ m}}$ |
| <input type="checkbox"/> totale: | 9,26 m |

Esecuzione dei calcoli

I dodici elementi hanno una resistenza di flusso approssimativamente uguale a 10 m di lunghezza di tubo addizionale. La lunghezza effettiva del tubo è perciò di $125+9,26=135$ m e il Δp permesso è di:

$$\frac{30 \text{ kPa}}{135 \text{ m}} = 0,22 \text{ kPa/m}$$

Facendo riferimento ancora al precedente nomogramma, la linea della dimensione del tubo interseca la riga dei diametri ad un valore di circa 65 mm di diametro interno. Un tubo con diametro nominale di 65 mm ed un diametro interno di 68 mm è soddisfacente.

Caratteristiche dell'aria compressa

Disponibile in quantità illimitata

Può essere immagazzinata in serbatoi da cui prelevarla quando serve

Può essere trasportata con facilità

Non presenta rischi di esplosione o incendio

Mantiene le sue caratteristiche inalterate in un ampio intervallo di temperatura

Consente velocità operative elevate (2 m/sec)

Consente la regolazione della velocità e della spinta dell'attuatore

A causa della sua comprimibilità non si può ottenere una velocità rigorosamente costante e regolare

Può sviluppare una spinta limitata (max 30000 N) in base alla pressione di esercizio ammissibile (7 bar)

Non consente una regolazione continua della posizione

TRATTAMENTO DELL'ARIA

Trattamento dell'aria compressa

L'aria compressa deve essere priva di condensa e di qualsiasi altra forma di impurità per evitare il danneggiamento del compressore e degli apparecchi utilizzatori a cui viene inviata

I trattamenti necessari sono:

- Filtrazione dell'aria aspirata prima della compressione per eliminare le particelle sospese nell'aria
- Essiccazione dopo la compressione per ridurre il pericolo che si formi condensa
- Lubrificazione e Filtrazione dell'aria già compressa prima del suo utilizzo, per mescolare all'aria piccole particelle di olio richieste dagli attuatori affinché non grippino e ulteriore filtrazione per togliere impurità provenienti dal compressore o dalle tubazioni della rete di trasmissione

Filtraggio dell'aria

Pertanto non si deve trascurare la pulizia dell'aria, cioè la quantità e le dimensioni di particelle in essa presenti.

Si impiegano filtri in grado di bloccare anche piccole particelle fino a pochi μ , a volte con più filtri.

All'aspirazione del compressore

- Si pongono filtri per eliminare le particelle più grosse.
 - Filtri a secco costituiti da carta impregnata d'olio
 - Filtri a bagno d'olio, per aria molto inquinata, costituiti da un recipiente in cui viene fatta gorgogliare l'aria.

Prima dell'utilizzazione

- L'aria compressa deve essere depurata dalle polveri e dalle goccioline d'acqua ancora presenti
 - Filtri in materiale sinterizzato per particelle solide e gocce fino a $5\mu\text{m}$
 - Filtri in fibre di vetro e silicato di boro per fermare particelle fino a $0,01\ \mu\text{m}$
 - Il filtri posti prima dell'utilizzazione sono inseriti in gruppi di trattamento (FRL Filtro Riduttore di pressione e Lubrificatore)

Filtro Standard

Caratteristiche del filtro:

- Portata massima
- Dimensione che può trattenere

Se l'aria non è stata de-idratata precedentemente, viene raccolta una considerevole quantità di acqua. Il filtro trattiene inoltre le impurità solide, quali polvere e particelle di ruggine.

La separazione dell'acqua avviene soprattutto per la rapida rotazione dell'aria causata dal deflettore posto all'ingresso. Le particelle più pesanti di polvere, acqua e olio sono spinte esternamente fino a impattare sulla parete della tazza del filtro.

Successivamente scendono a raccogliersi sul fondo. Il liquido può essere drenato per mezzo di uno scaricatore manuale o automatico.

La calotta separatrice crea una zona calma al di sotto dell'aria in moto vorticoso, evitando che il liquido separato venga ripreso dalla corrente d'aria.

Filtro Standard

L'elemento filtrante rimuove le particelle più fini di polvere, ruggine e olio carbonizzato mentre l'aria fluisce verso l'uscita.

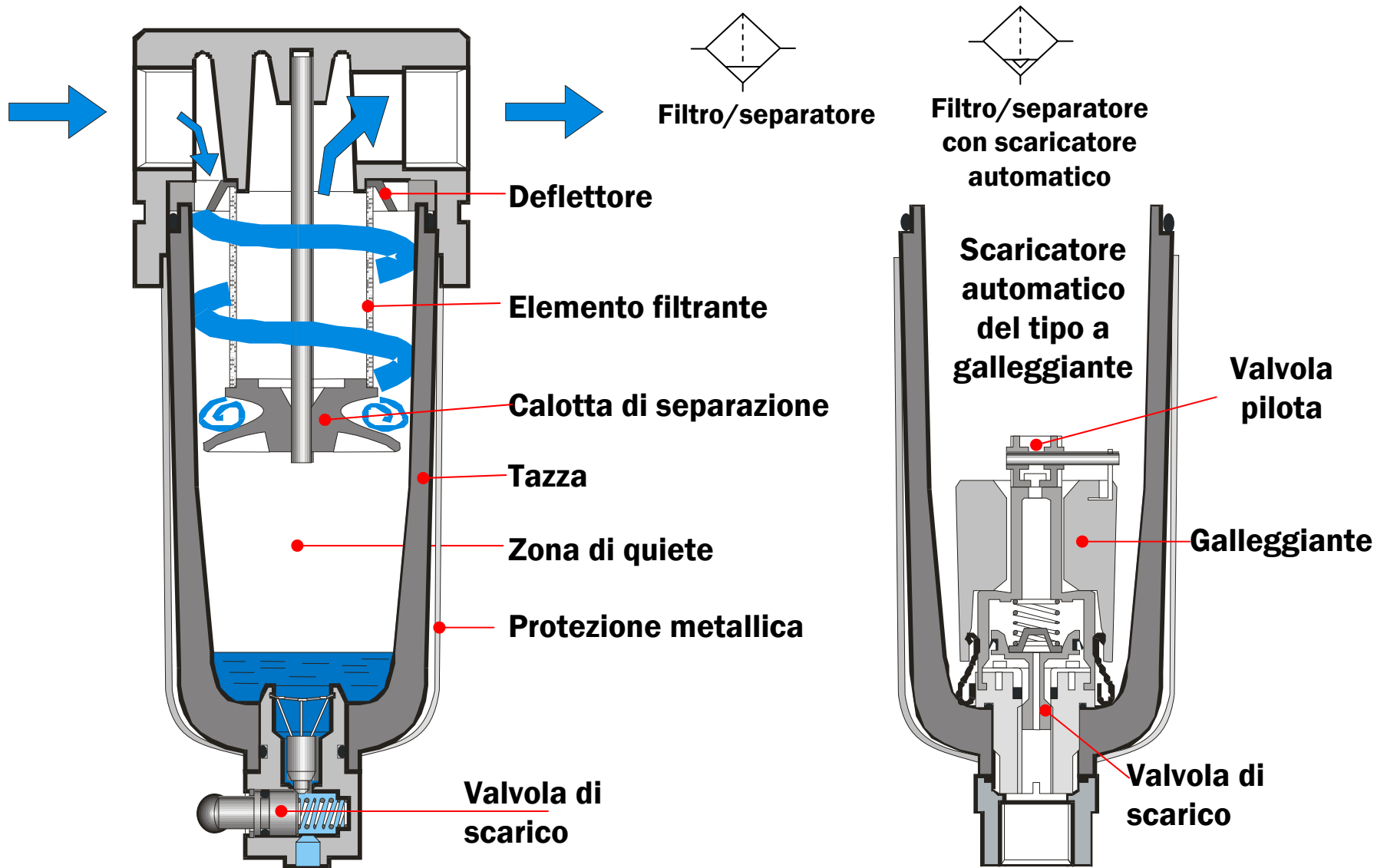
Il filtro standard è in grado di rimuovere tutte le particelle contaminanti fino alla dimensione di 5 micron.

L'elemento può essere facilmente rimosso, pulito e riusato diverse volte prima di dover essere sostituito.

La tazza è normalmente realizzata in policarbonato. Per sicurezza, deve essere protetta da una tazza metallica. Per ambienti chimicamente pericolosi, devono essere usati materiali speciali. Quando la tazza è esposta a calore, scintille ecc., deve essere scelta in materiale metallico.

Se il condensato si accumula ad un rateo elevato, è desiderabile provvedere al montaggio di uno scaricatore automatico di condensa.

Filtro separatore d'acqua con scaricatore automatico



Microfiltri

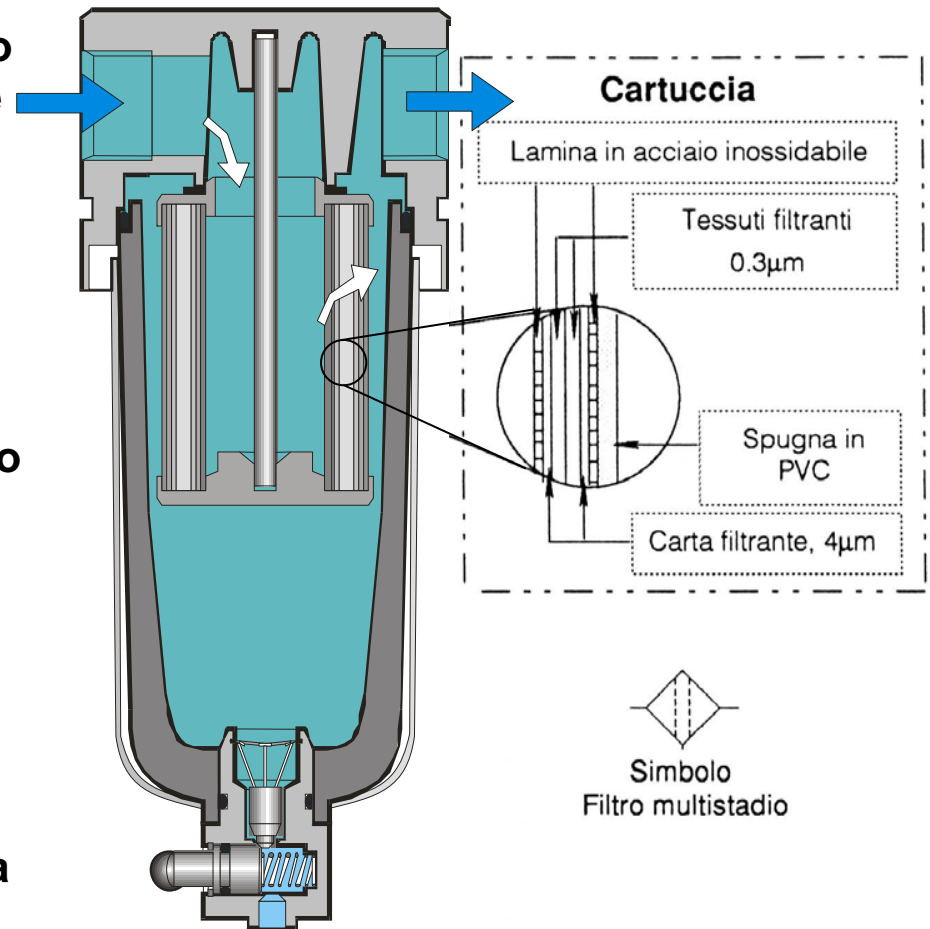
Dove non è accettabile una contaminazione dell'aria da vapore d'olio, deve essere usato un microfiltro come quello mostrato in figura, dove è rappresentata la costruzione di una tipica cartuccia filtrante.

Essendo solo un filtro, e non un separatore d'acqua, non è presente la calotta separatrice caratteristica del filtro standard.

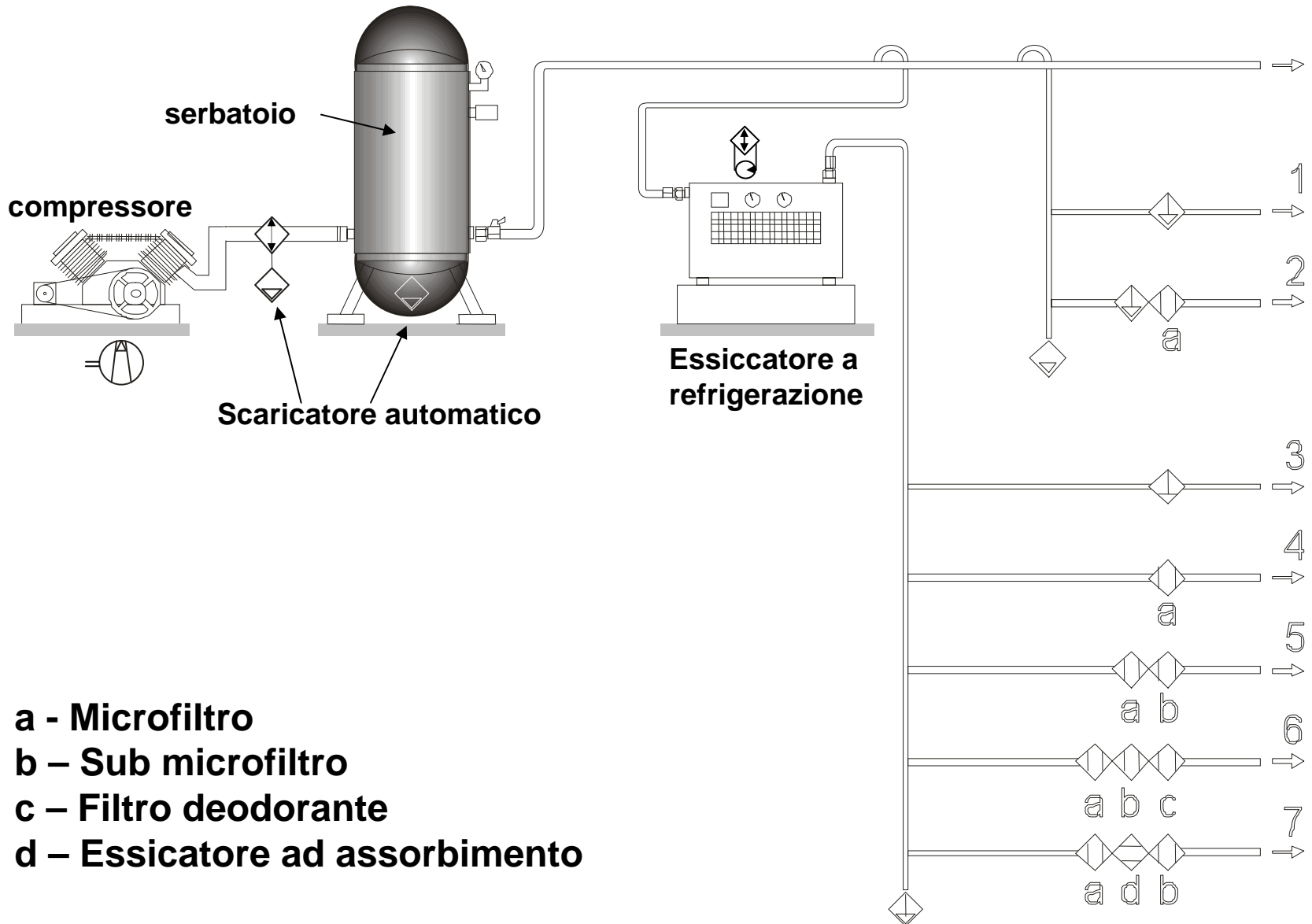
L'aria fluisce dall'entrata verso il centro della cartuccia filtrante e, dopo averla attraversata, si porta verso l'uscita.

La polvere è intrappolata all'interno dell'elemento microfiltrante.

Il vapore d'olio e la nebbia d'acqua sono trasformati in liquido per effetto coalescente all'interno del materiale filtrante. Le gocce che si formano nella cartuccia filtrante si raccolgono sul fondo della tazza pronte per essere evacuate.



Livelli di Filtrazione



Le 7 Qualità dell'aria

Numero	Rimozione di:	Applicazioni	Esempi tipici
1	Saturazione > 99% particelle di polvere > 5µm residui oleosi > 96%	Dove tracce di polvere, condensa e olio sono accettabili	Aria compressa d'officina per operazioni di bloccaggio e soffiatura
2	Saturazione = 99% particelle di polvere > 0,3 µm residui oleosi > 99,9%	Dove è necessaria l'eliminazione della polvere, dell'olio e della condensa	Attrezzature industriali, comandi e motori pneumatici, valvole a tenuta metallica, utensili e motori ad aria
3	Punto di rugiada atmosferico a -17°C particelle di polvere > 5µm residui oleosi > 96%	Dove l'aria deve essere secca ma sono tollerate tracce minime di olio e polvere	Simile a 1, ma in più, essendo l'aria secca, verniciatura a spruzzo
4	Punto di rugiada atmosferico < -17°C particelle di polvere > 0,3µm residui oleosi > 99,9%	Dove l'aria deve essere secca e priva di impurità	Controllo di processi, apparecchiature di misura, raffreddamento in fonderia di stampi di presso fusione
5	Umidità come 4 particelle di polvere > 0,01µm residui oleosi > 99,9999%	Dove l'aria deve essere priva di ogni impurità	Strumenti di misura pneumatici, fluidica, verniciatura elettrostatica a spruzzo, pulizia e asciugamento a secco di sistemi elettronici
6	Come 5 con rimozione anche degli odori	Dove l'aria deve essere pura e priva di odori	Farmaceutica, imballaggi per alimenti, produzione di birra, trasporto pneumatico ed aria per uso medicinale
7	Impurità come 6 ma con punto di rugiada atmosferico < -30°C	Dove si deve evitare qualsiasi rischio di condensazione a bassa temperatura	Essiccamento di componenti elettronici, immagazzinamento di attrezzature farmaceutiche, trasporto pneumatico di polveri

Selezione del filtro

La dimensione del filtro richiesto per una particolare applicazione dipende da due fattori:

- a) la massima portata di aria compressa usata dall'equipaggiamento pneumatico
- b) la massima caduta di pressione accettabile dall'applicazione

I costruttori forniscono diagrammi portata/pressione per consentire dimensionamenti corretti.

Deve essere notato che un filtro standard può non separare in modo efficiente a causa della bassa velocità del flusso.

Regolazione della pressione

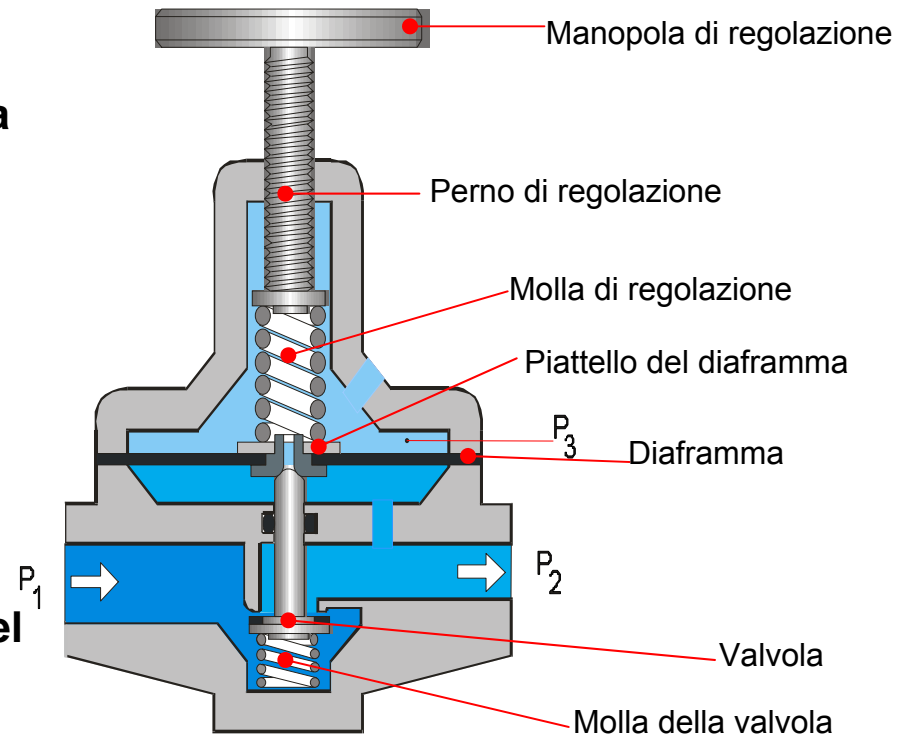
La regolazione della pressione è necessaria poiché a pressioni al di sopra del valore ottimale, si ha rapida usura con incrementi scarsi o nulli di prestazioni mentre una pressione d'aria troppo bassa è anti-economica a causa della scarsa efficienza.

REGOLATORE STANDARD

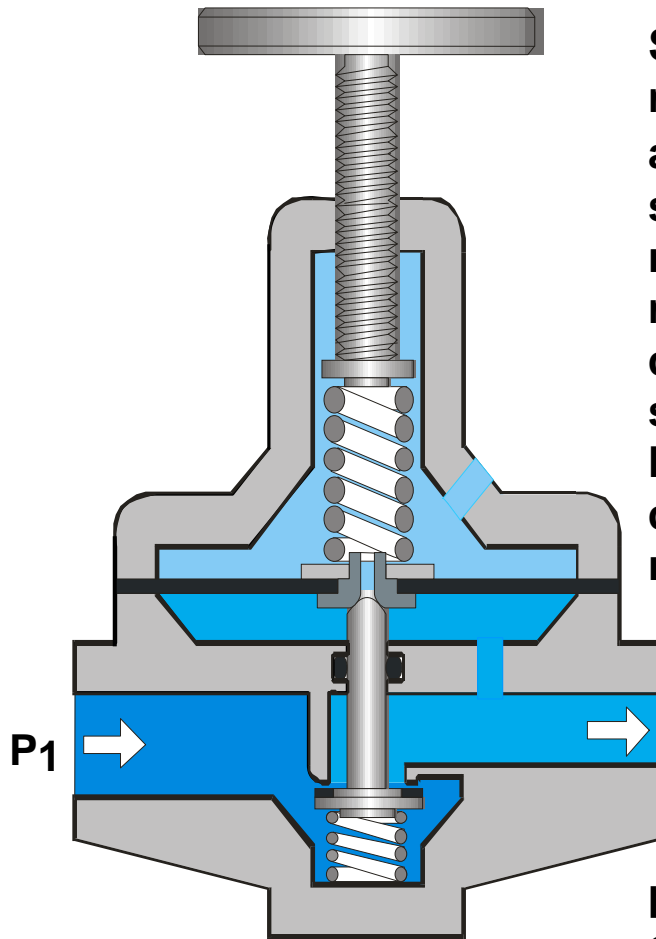
I regolatori di pressione possono avere una costruzione a pistone o a diaframma per bilanciare la pressione di uscita con la forza regolabile della molla.

La pressione secondaria è impostata regolando la vite che carica la molla di regolazione per tenere aperta la valvola. Ciò consente il passaggio dell'aria dalla via di ingresso della pressione primaria p_1 alla via di uscita della pressione secondaria p_2 .

Quando il circuito connesso all'uscita del regolatore ha raggiunto la pressione stabilita, essa agisce sul diaframma creando una forza di sollevamento contro il carico della molla.



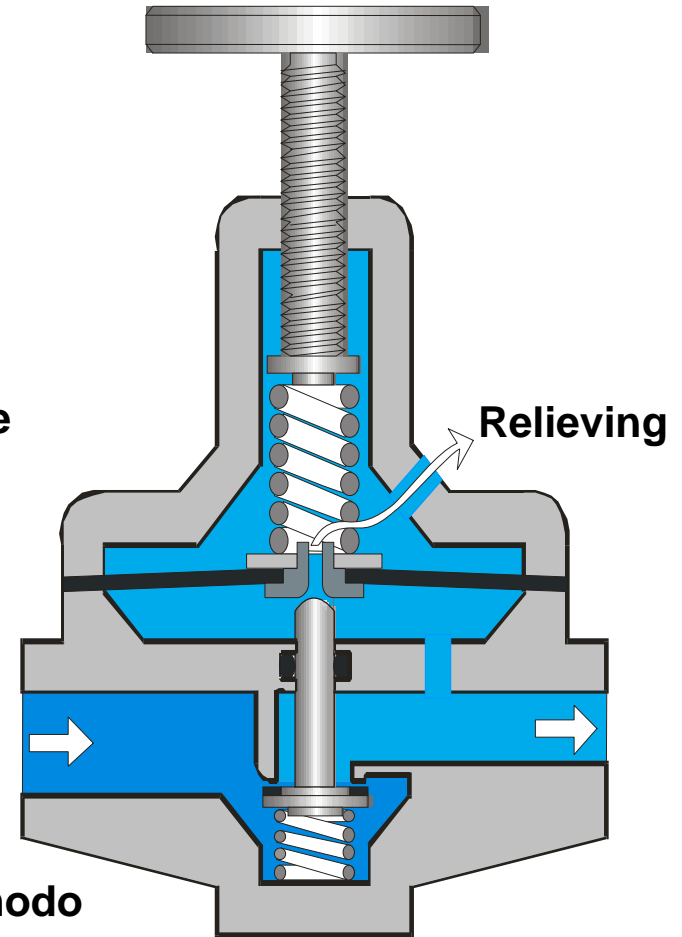
La funzione di relieving



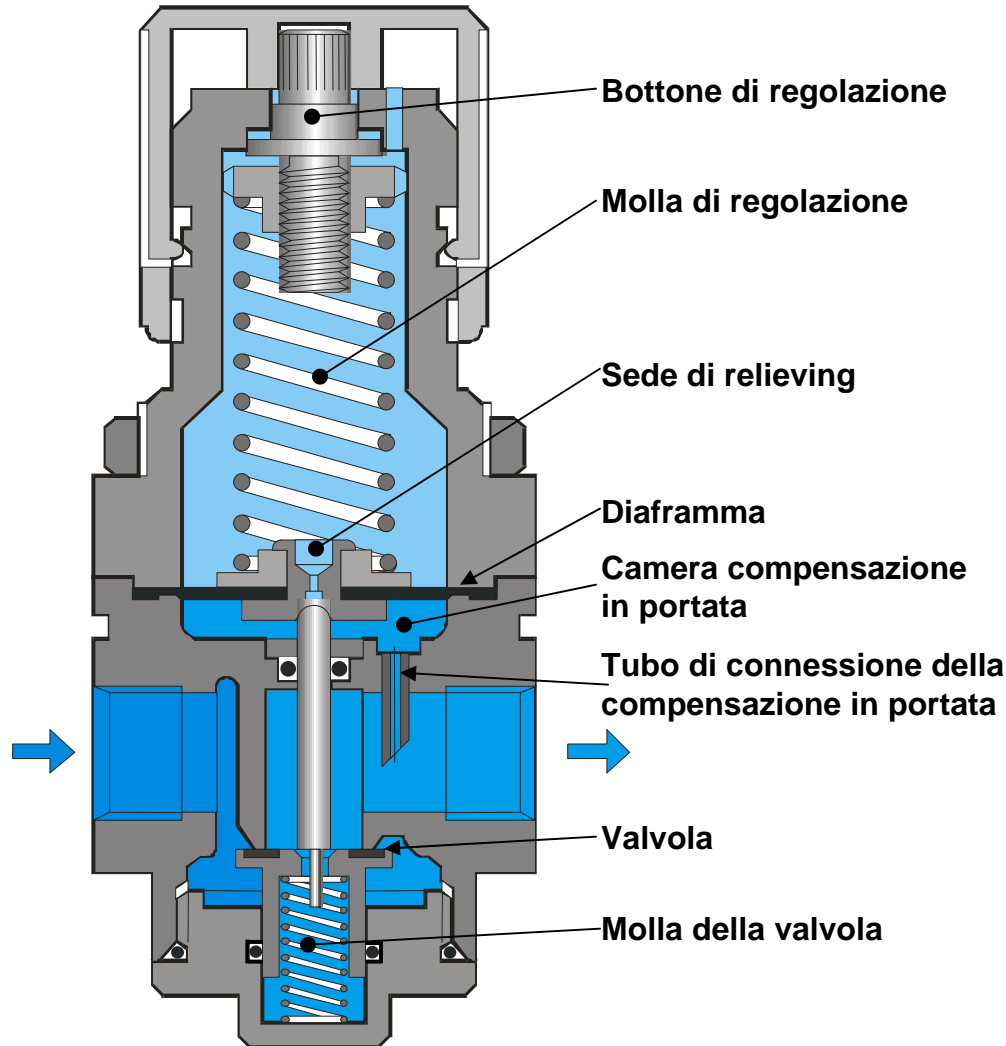
Se diminuisce la richiesta di pressione, allora p_2 aumenta e sviluppa la forza necessaria a vincere la reazione della molla del diaframma che si solleva lasciando uscire l'aria, finché la forza della molla non è di nuovo bilanciata.

Se p_2 diminuisce allora diaframma e valvola si abbassano fino a trovare un nuovo

punto di equilibrio, in modo che il flusso in entrata eguagli il consumo d'aria.

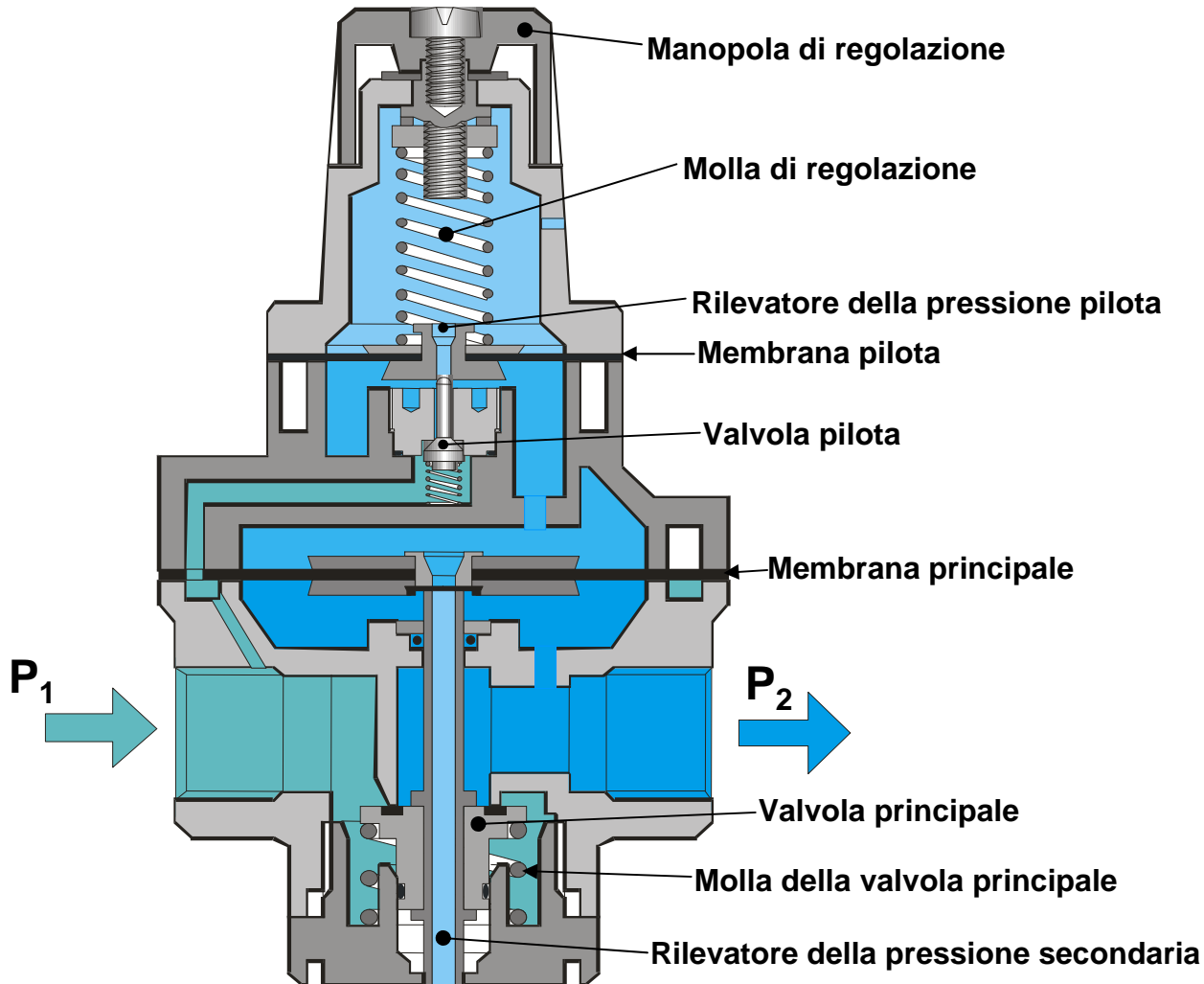


Regolatore modulare completamente compensato



Con questo regolatore sono stati compensati gli aumenti di flusso sia in entrata che in uscita a causa di aumenti della pressione in ingresso o in uscita.

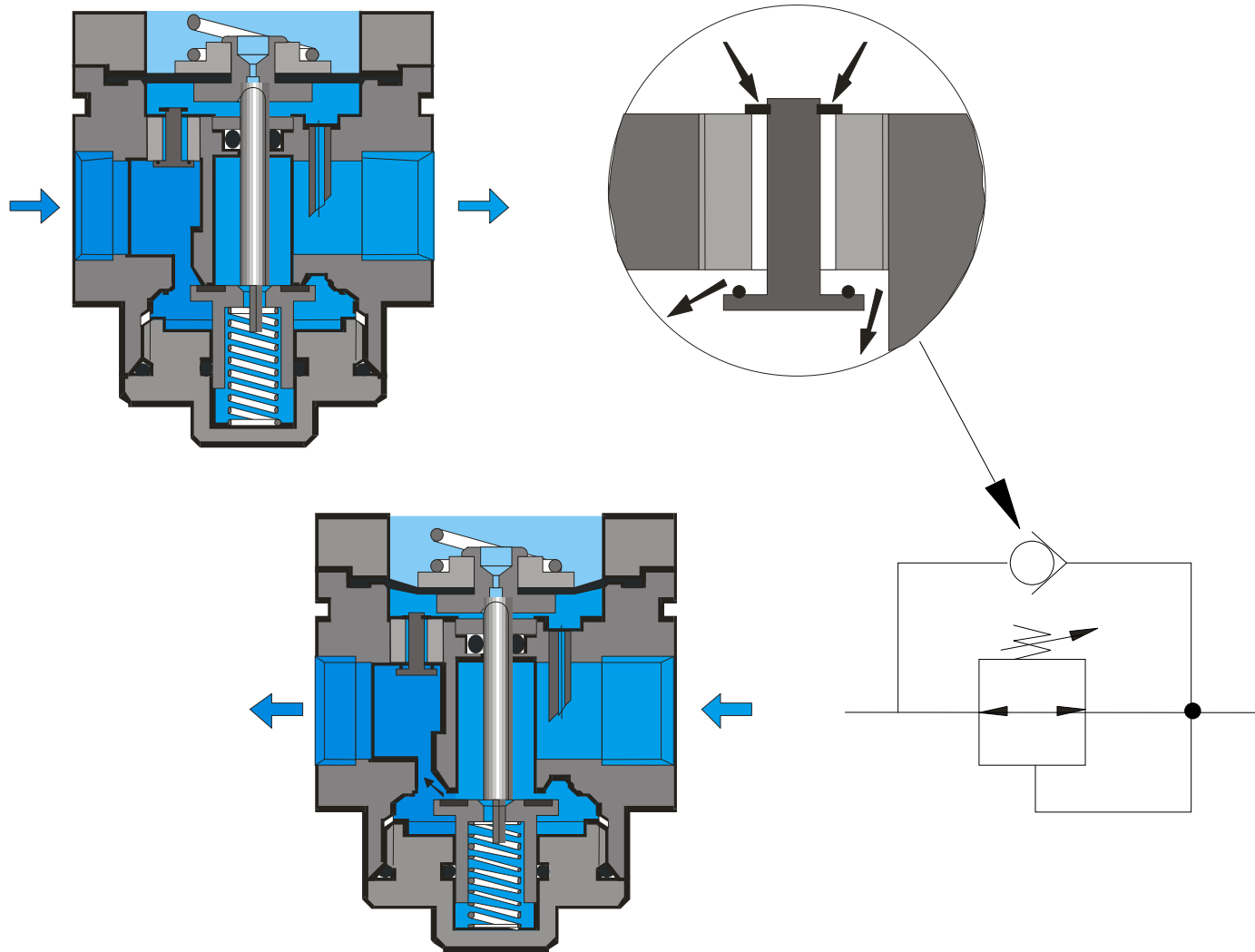
Regolatore di pressione pilotato



Il regolatore azionato con pilota offre una maggiore accuratezza nella regolazione della pressione su di un ampio campo di portata.

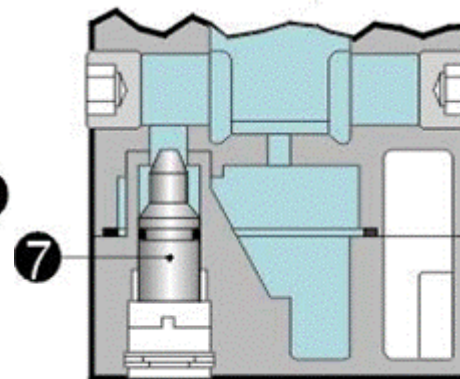
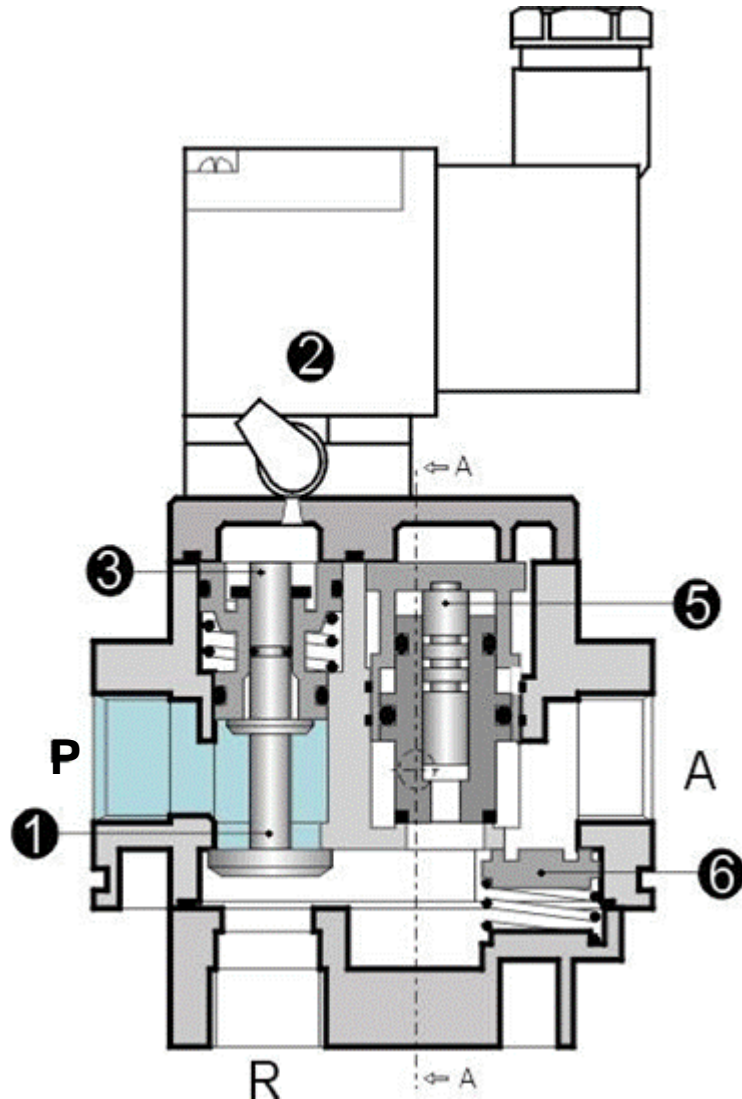
Questa accuratezza è ottenuta sostituendo la molla di regolazione del regolatore standard con una pressione pilota prelevata da un piccolo regolatore posto all'interno dell'unità, che alimenta o scarica l'aria pilota solamente durante le correzioni della pressione di uscita.

Regolatore con valvola test



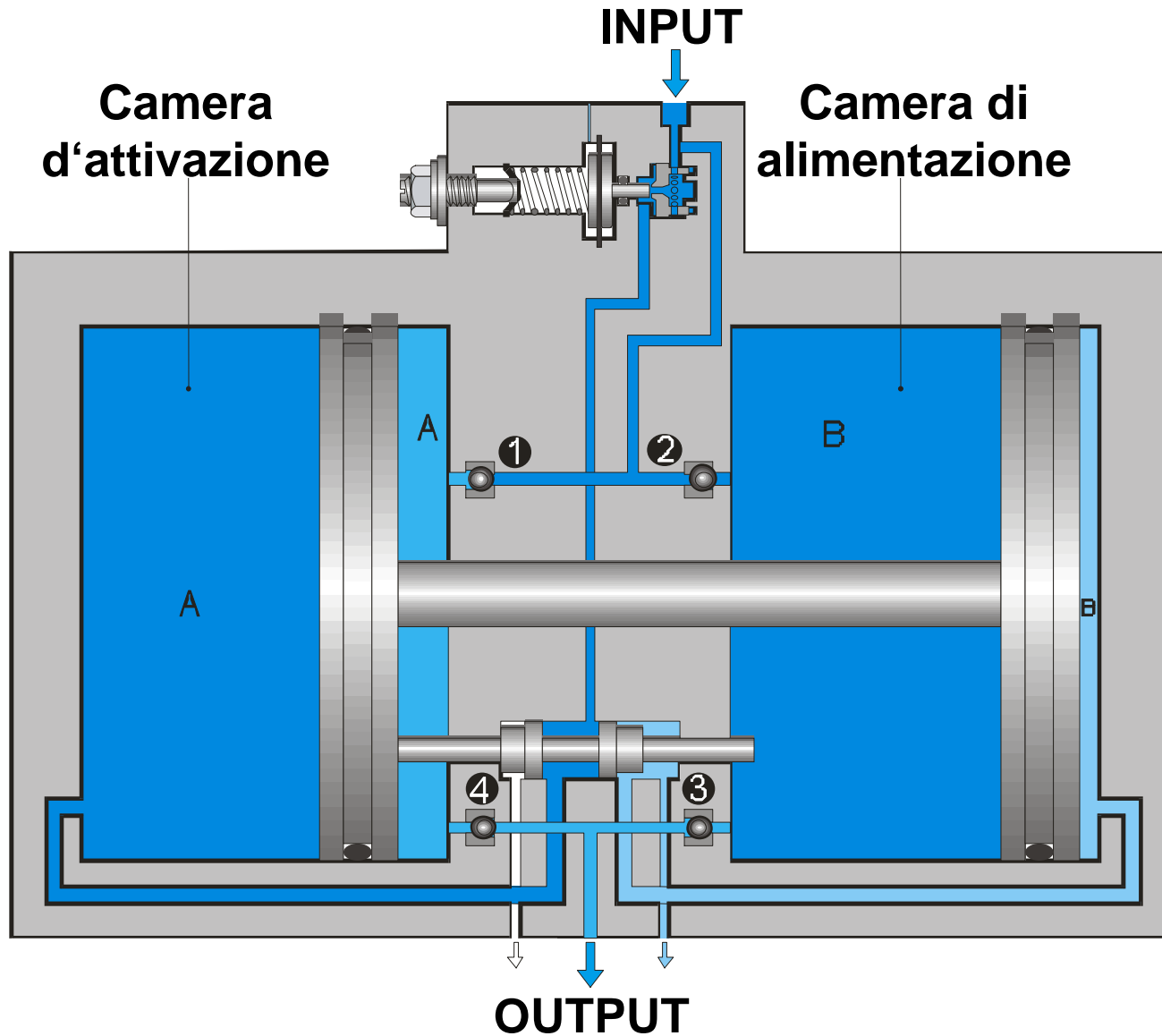
Valvola progressiva (o di start-up)

Se la valvola pilota 2 viene azionata mediante eccitazione o azionamento manuale, l'aria di pilotaggio spinge l'otturatore 3 e la valvola principale 1 verso il basso aprendo la valvola principale 1 e chiudendo contemporaneamente l'attacco di scarico R. l'aria proveniente dall'attacco P si dirige verso la valvola a spillo 7, e regola la portata che scorre verso l'attacco A. La regolazione in alimentazione della valvola a spillo consente l'avviamento progressivo del cilindro. L'otturatore 5 spinto poi dalla forza della pressione si apre completamente, fino a non avere più alcuna influenza sulla portata che passa attraverso l'avviatore progressivo. Quando la valvola pilota 2 viene disattivata, la molla 4 spinge il pistone 3 e la valvola principale verso l'alto, aprendo l'attacco R e interrompendo l'alimentazione pneumatica



proveniente dall'attacco P. La differenza di pressione generata a questo punto apre la valvola unidirezionale 6 e tale pressione residua presente nell'attacco A viene istantaneamente scaricata dall'attacco R.

Amplificatore di pressione



Lubrificazione dell'aria compressa

La lubrificazione non è più una necessità per i moderni componenti pneumatici. Essi sono disponibili prelubrificati a vita.

La vita e le prestazioni di questi componenti rispondono completamente ai requisiti dei macchinari moderni con cicli di processo ad alta frequenza.

I vantaggi dei sistemi prelubrificati ("non-tube") includono:

- a) risparmio dei costi dell'equipaggiamento di lubrificazione, dell'olio e della mano d'opera per mantenere costanti i livelli dell'olio
- b) maggiore pulizia. I sistemi sono più igienici, aspetto particolarmente importante nelle industrie alimentari e farmaceutiche
- c) atmosfera priva di olio per un ambiente di lavoro più salutare e più sicuro

Tuttavia, alcuni equipaggiamenti richiedono ancora lubrificazione. Per assicurare che essi siano lubrificati con continuità, una determinata quantità di olio deve essere immessa nell'aria compressa per mezzo di un lubrificatore.

Lubrificatori proporzionali

In un lubrificatore proporzionale, viene generata una caduta di pressione fra l'ingresso e l'uscita direttamente proporzionale alla portata. Questa differenza di pressione solleva l'olio dalla tazza alla cupoletta trasparente. Con una restrizione fissa, un elevato aumento della portata produrrebbe una eccessiva caduta di pressione generando una miscela aria / olio contenente una eccessiva quantità di olio che inonderebbe il sistema pneumatico.

Al contrario, una diminuzione della portata potrebbe non creare una sufficiente caduta di pressione dando luogo ad una miscela troppo magra.

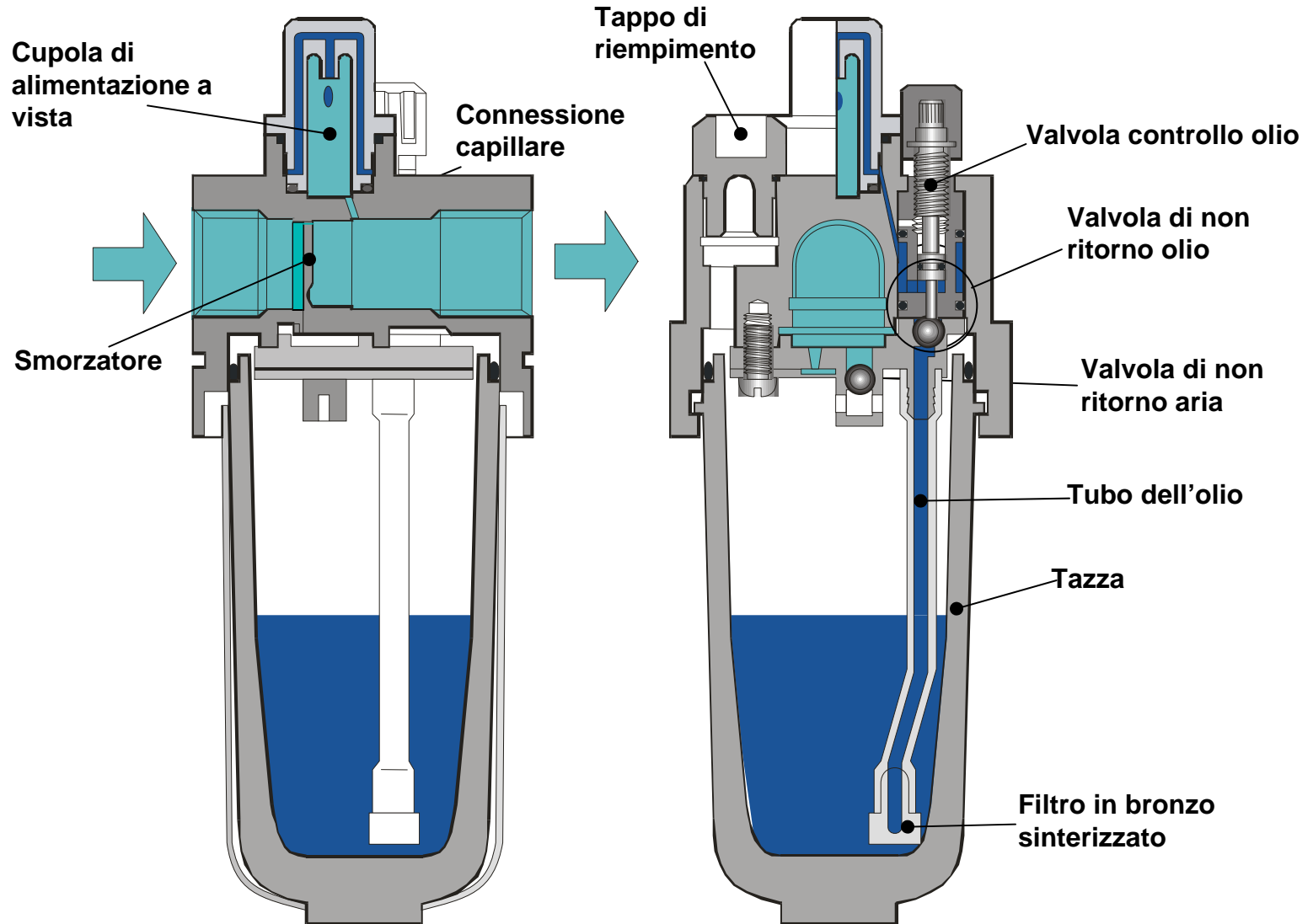
Per ovviare a questo problema, i lubrificatori possiedono delle sezioni auto regolanti in grado di generare una miscela costante al variare della portata.

L'aria entrante segue due cammini: oltrepassa la linguetta flessibile (smorzatore) dirigendosi verso l'uscita ed entra nella tazza del lubrificatore dopo avere superato una valvola di non ritorno.

Quando non c'è portata, c'è la stessa pressione nella tazza sopra la superficie dell'olio, nel tubo dell'olio e nella cupoletta trasparente, per cui non vi è alcun movimento dell'olio.

Quando invece fluisce l'aria, la linguetta flessibile genera una caduta di pressione fra ingresso e uscita, tanto maggiore quanto maggiore è la portata. Poiché la cupoletta trasparente è connessa al foro capillare che si apre nella zona di bassa pressione immediatamente a valle della linguetta flessibile, la pressione è ivi più bassa di quella esistente nella tazza.

Lubrificatore proporzionale



Lubrificatori proporzionali

Questa differenza di pressione spinge l'olio lungo il tubo, attraverso la valvola di non ritorno ed il regolatore di flusso fino alla cupoletta.

Dalla cupoletta l'olio scorre nel foro capillare fino ad immettersi nella corrente d'aria dove la velocità è più alta. L'olio viene frantumato in minuscole particelle, atomizzato e mescolato omogeneamente con l'aria dalla turbolenza presente nel vortice creato dalla linguetta flessibile. La linguetta, di materiale elastico, allarga la sezione di passaggio con l'aumento della portata correggendo automaticamente la caduta di pressione e mantenendo costante la miscela.

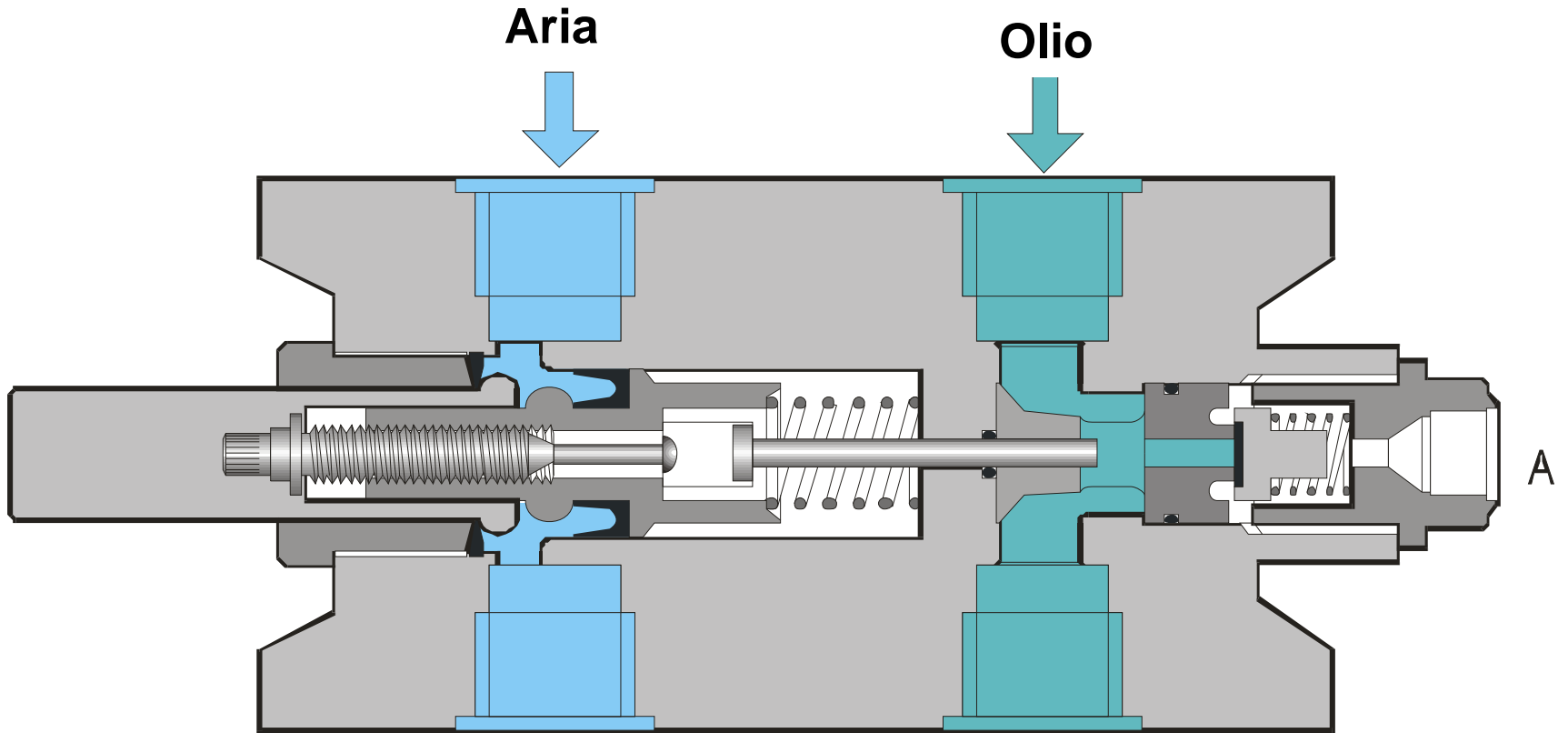
Il regolatore di flusso consente di variare la quantità d'olio per una data caduta di pressione. La valvola di non ritorno trattiene l'olio nella parte superiore del tubo nel caso che il flusso d'aria si arresti temporaneamente.

La valvola di non ritorno dell'aria permette di riempire l'unità senza sconnettere l'alimentazione dell'aria.

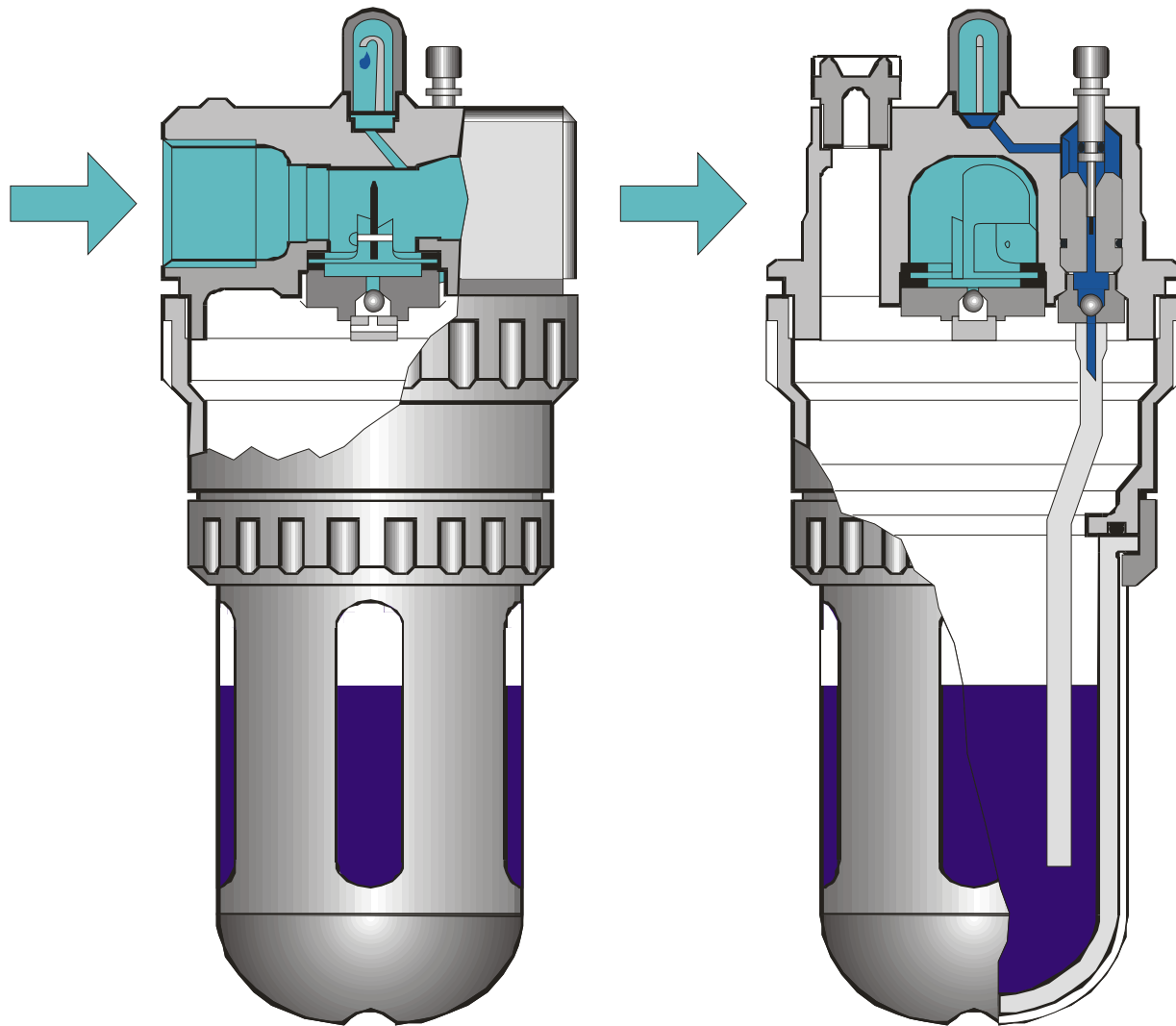
Il rateo corretto di alimentazione dell'olio dipende dalle condizioni operative. Una indicazione generale è per una o due gocce per ciclo i macchina.

È raccomandato un olio interamente minerale con una viscosità di 32 centistokes.

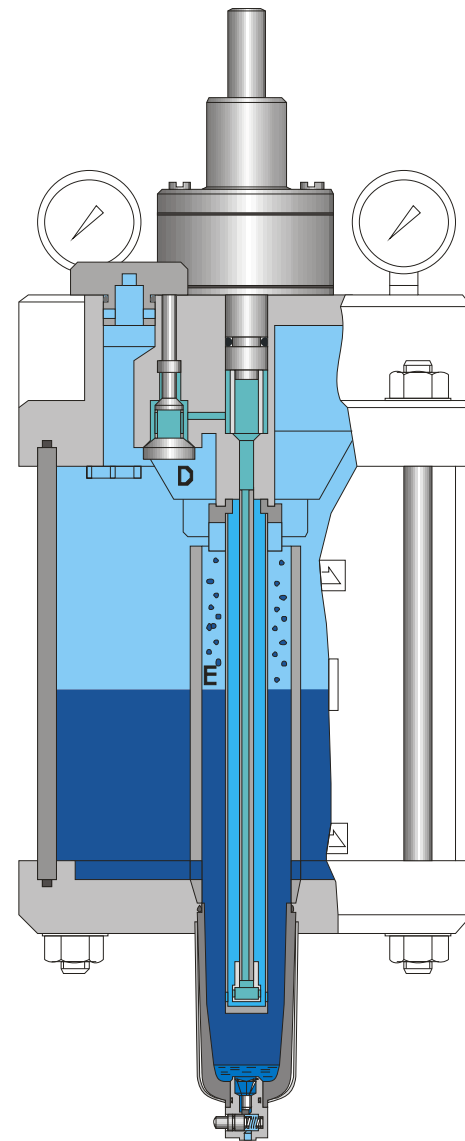
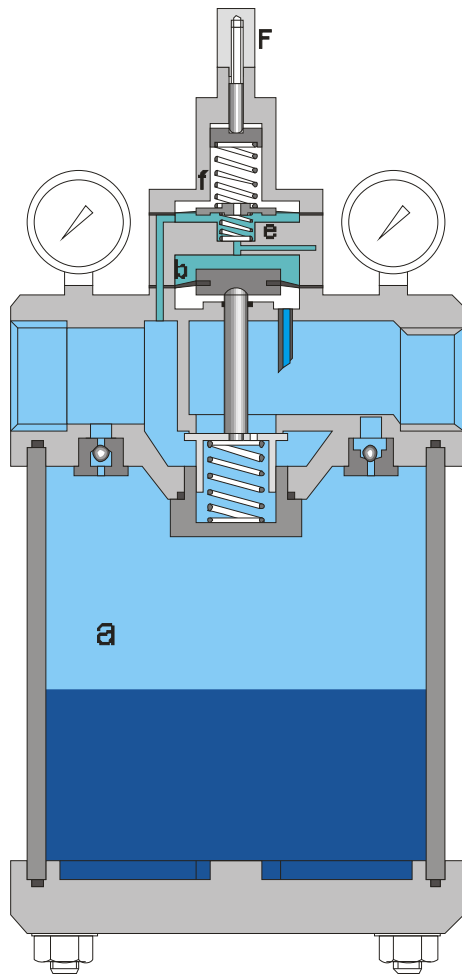
Lubrificatore ad iniezione



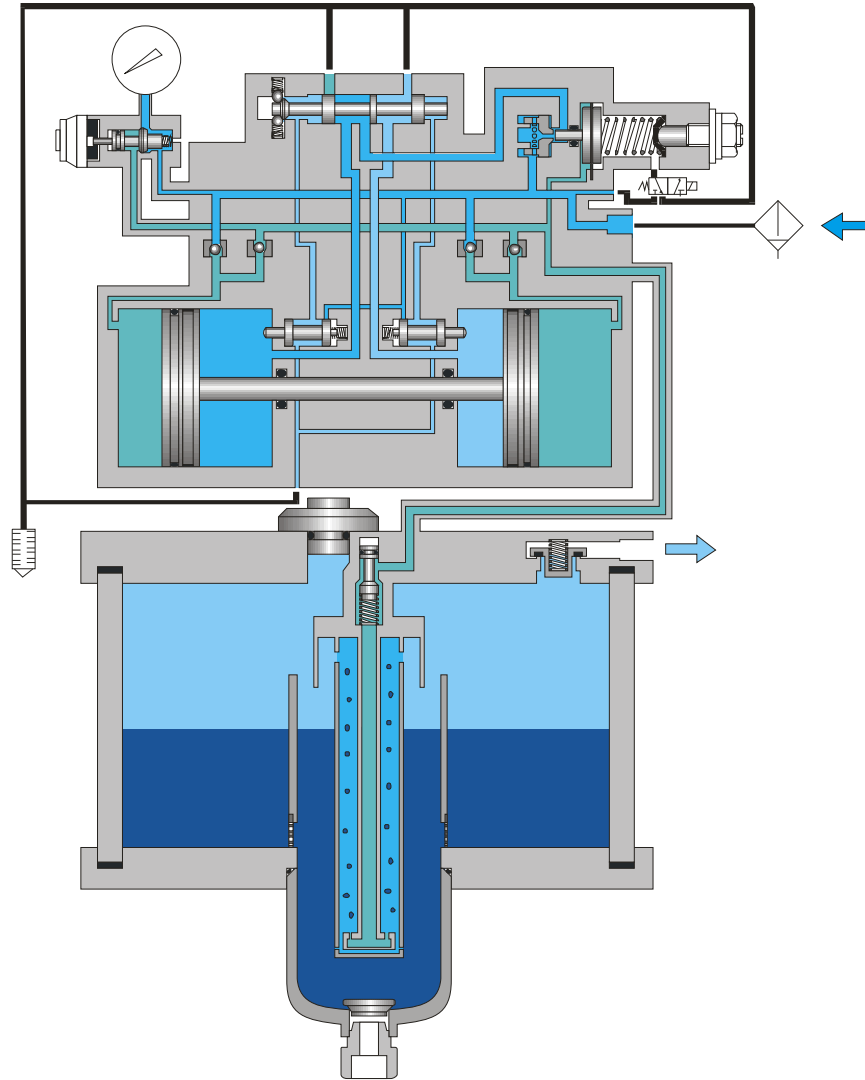
Lubrificatore per grandi flussi



Lubrificatori centralizzati



Amplificatore e lubrificatore

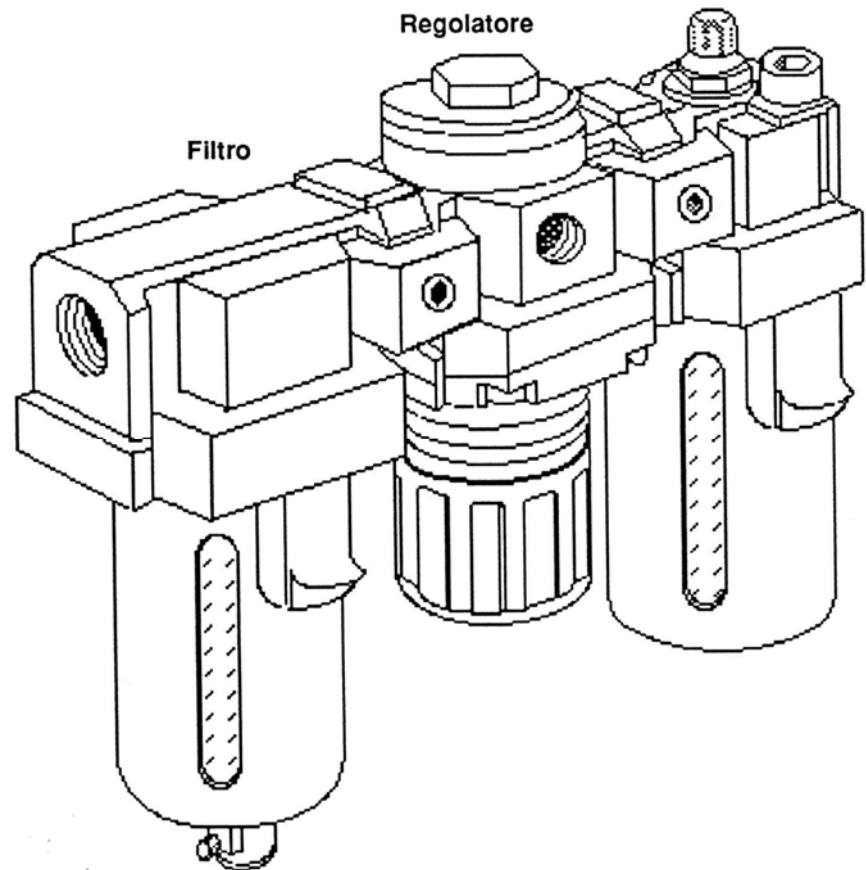


Unità F R L

Il filtro, il regolatore di pressione e il lubrificatore possono essere combinati modularmente in una unità di servizio mediante distanziali e blocchetti di fissaggio. Staffe di montaggio ed altri accessori possono essere facilmente montati nelle versioni più recenti.

Dimensione e installazione

L'unità completa deve essere dimensionata per la massima portata del sistema. I costruttori generalmente forniscono tali informazioni.



Unità FRL modulare



COMPONENTI PNEUMATICI DI LAVORO

- ATTUATORI
 - Classificazione
 - Caratteristiche funzionali

Attuatori

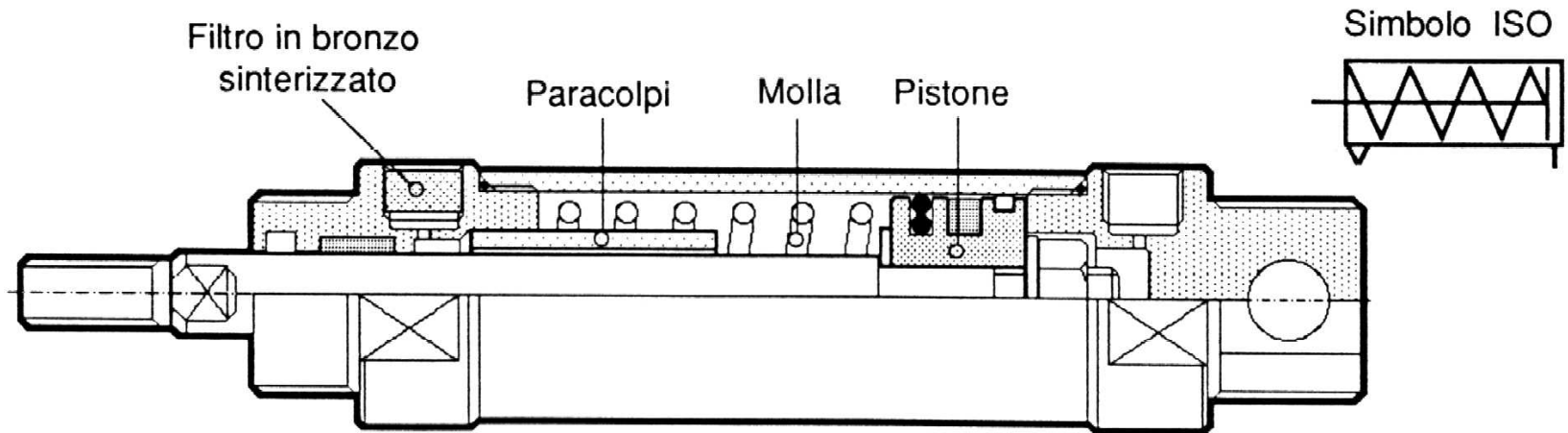
- Cilindri Lineari
 - A semplice effetto
 - A doppio effetto
- Attuatori rotanti
 - A pignone e cremagliera
 - A paletta
- Attuatori speciali
 - Con bloccaggio, slitta, con stelo cavo, combinato
 - Pinze

Cilindri Lineari

- Il lavoro fatto dagli attuatori pneumatici può essere lineare o rotatorio. Il movimento lineare è ottenuto con i cilindri a pistone, il moto rotatorio, con un angolo fino a 270° , è ottenuto con attuatori del tipo a paletta o a pignone a cremagliera e la rotazione continua con motori ad aria.
- I cilindri pneumatici sono i componenti attuatori di impiego più comune nei circuiti di controllo pneumatici. Esistono due tipi base da cui sono derivate costruzioni speciali:
 - a) cilindri a singolo effetto con un solo ingresso dell'aria per produrre una corsa attiva in una sola direzione
 - b) cilindri a doppio effetto con due ingressi dell'aria per produrre due corse attive sia in estensione che in retrazione.

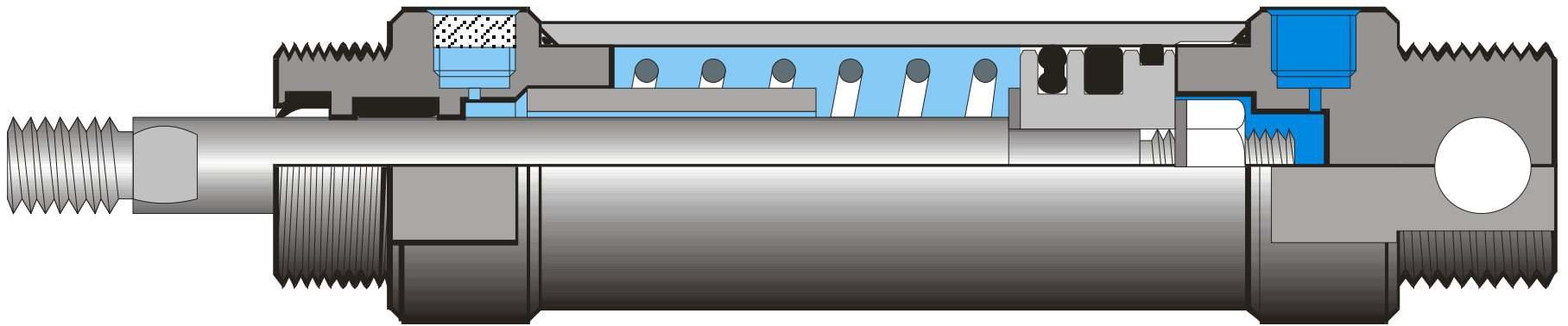
Cilindro a semplice effetto

Un cilindro a semplice effetto sviluppa una spinta in una sola direzione. Lo stelo viene fatto rientrare per mezzo di una molla o con altri mezzi esterni quali carichi, movimenti meccanici, ecc. Il cilindro può essere del tipo a spinta o a trazione.



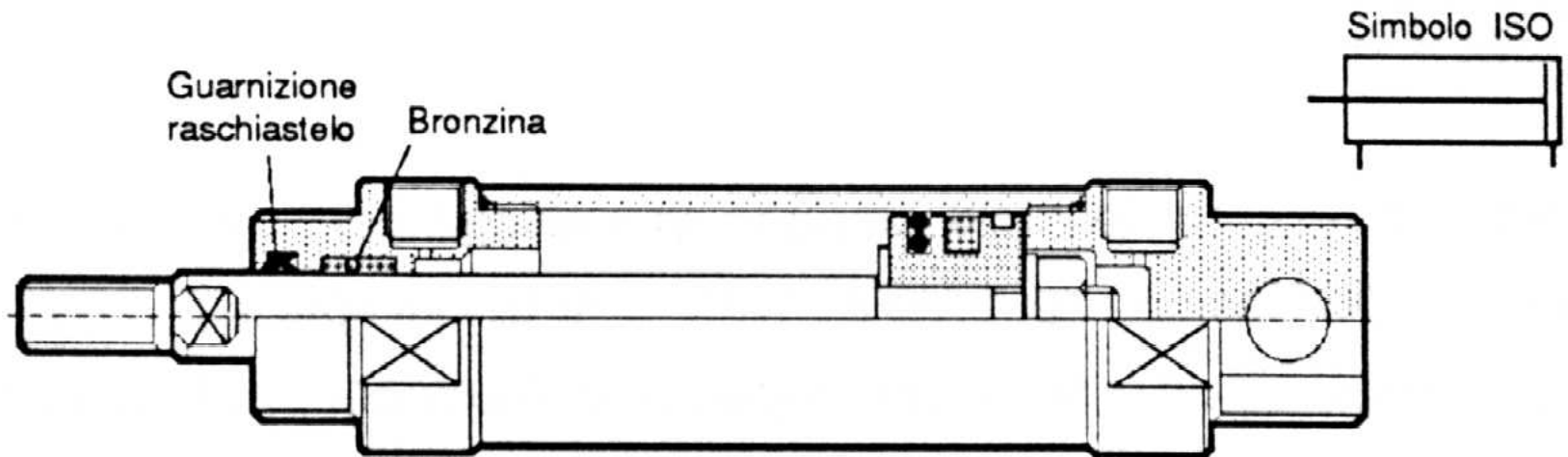
I cilindri a semplice effetto sono usati per serraggio, marcatura, estrazione, ecc. Essi presentano un consumo d'aria inferiore a quello di un cilindro a doppio effetto di dimensioni equivalenti. Si ha una riduzione della spinta dovuta alla forza della molla che si oppone e pertanto può essere necessario un diametro maggiore. L'inserimento della molla provoca una lunghezza maggiore del cilindro e una corsa limitata.

Cilindro a semplice effetto, a spinta

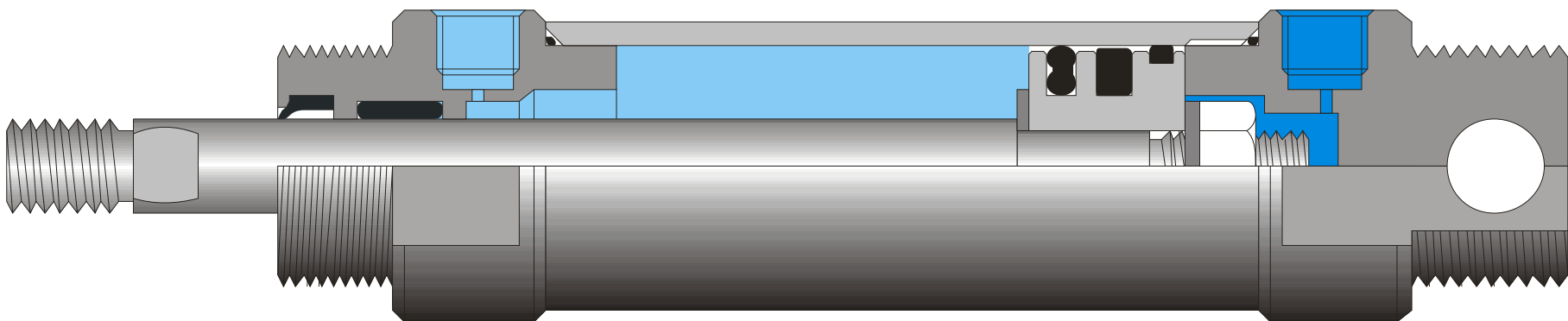


Cilindro a doppio effetto

Con questo attuatore, la spinta è sviluppata sia nella direzione di estensione che nella direzione di retrazione poiché la pressione dell'aria è applicata alternativamente ai due lati del pistone. La spinta disponibile nella corsa di retrazione è ridotta a causa dell'area minore del pistone. Questo aspetto deve essere considerato se il cilindro deve tirare lo stesso carico che ha spinto.



Cilindro a doppio effetto

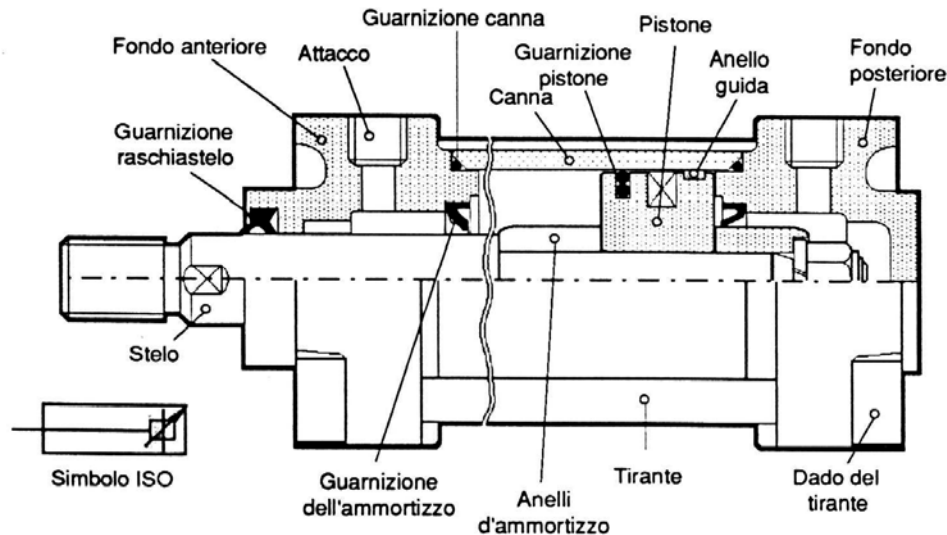


Attuatori lineari: elementi costruttivi

- Sono dispositivi che, alimentati con aria compressa, forniscono energia meccanica sotto forma di spinta, ovvero di moto lineare
- Le testate chiudono la camera, in esse ci sono i fori per le connessioni e gli ammortizzatori di fine corsa
- La camicia è un tubo di acciaio trafilato, internamente cromato
- Sul pistone è montata una guarnizione per la tenuta ermetica della camera
- Lo stelo di acciaio cromato è dotato anch'esso di una guarnizione che ne garantisce la tenuta

Costruzione del Cilindro

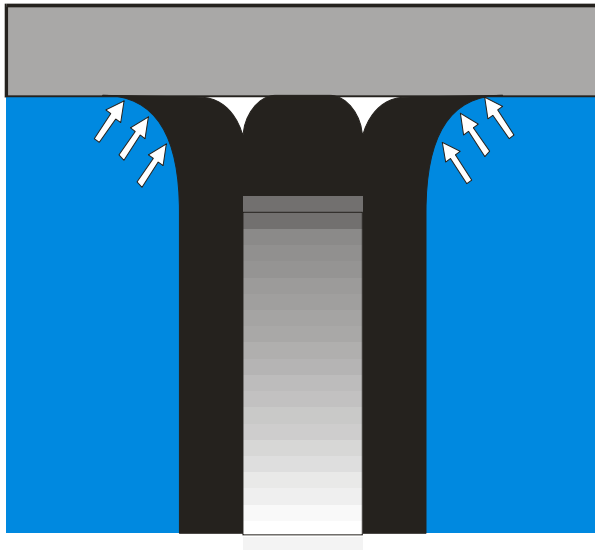
La canna è normalmente realizzata con un tubo solitamente ottenuto per estrusione con indurimento superficiale e trattamento di finitura della superficie interna di lavoro per minimizzare l'usura e l'attrito. Le testate possono essere costruite in lega di alluminio o in getti di ghisa malleabile e sono fissate con tiranti. Nel caso di cilindri più piccoli, esse sono avvitate alla canna oppure bloccate per cianfrinatura. Alluminio, ottone, bronzo e acciaio inox possono essere impiegati per il corpo del cilindro in ambienti aggressivi o poco sicuri.



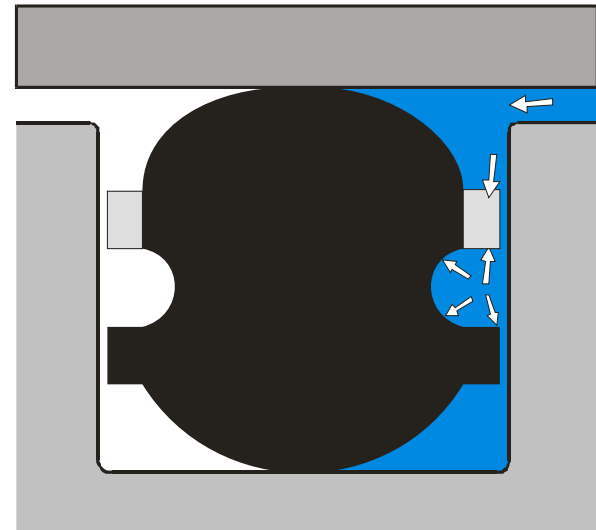
La tenuta del cilindro

Diversi tipi di guarnizioni assicurano che il cilindro sia a tenuta.

Guarnizione a doppio labbro



Guarnizione per pistone ad alte prestazioni

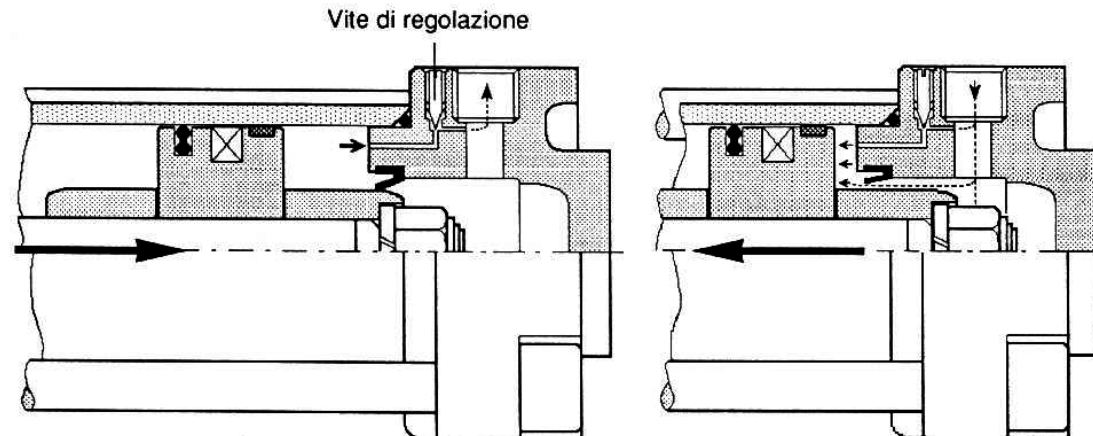


Ammortizzamento

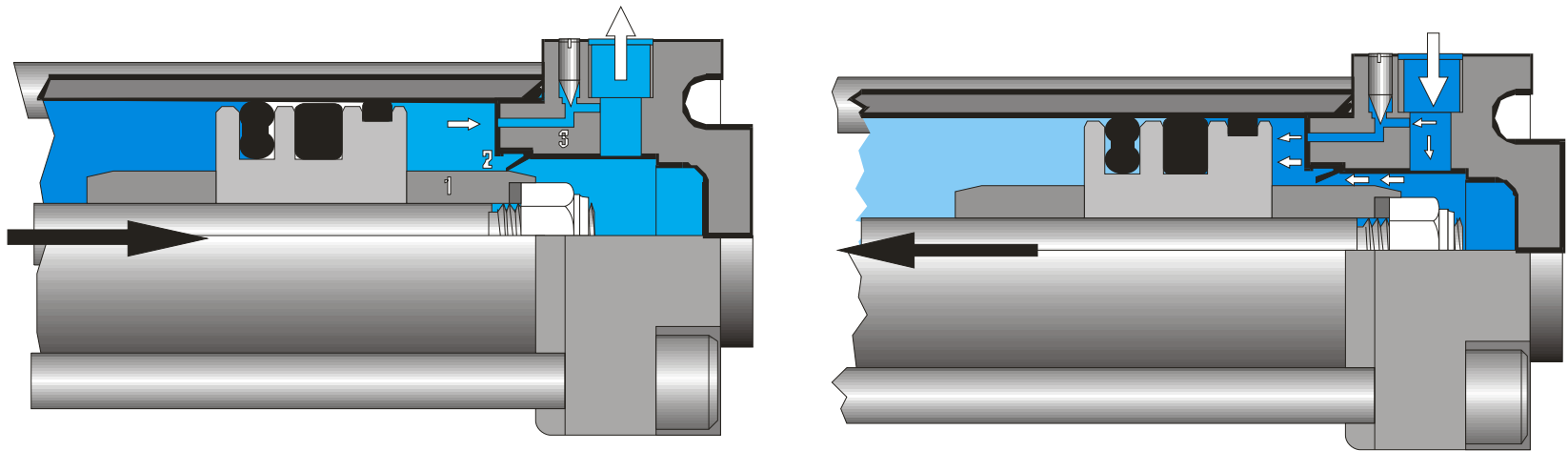
I cilindri pneumatici sono in grado di sviluppare velocità molto elevate e quindi forze d'urto di notevole intensità possono crearsi al termine della corsa.

I cilindri più piccoli hanno spesso un ammortizzamento di tipo fisso, ovvero tamponi di gomma, per assorbire l'urto ed evitare un danno interno al cilindro.

Su cilindri più grandi, l'impatto può essere assorbito da un cuscinio d'aria che decelera il pistone durante l'ultima parte della corsa. Questo cuscinio intrappola parte dell'aria di scarico in prossimità del termine della corsa. L'aria viene scaricata lentamente attraverso una valvola a spillo regolabile dall'esterno.

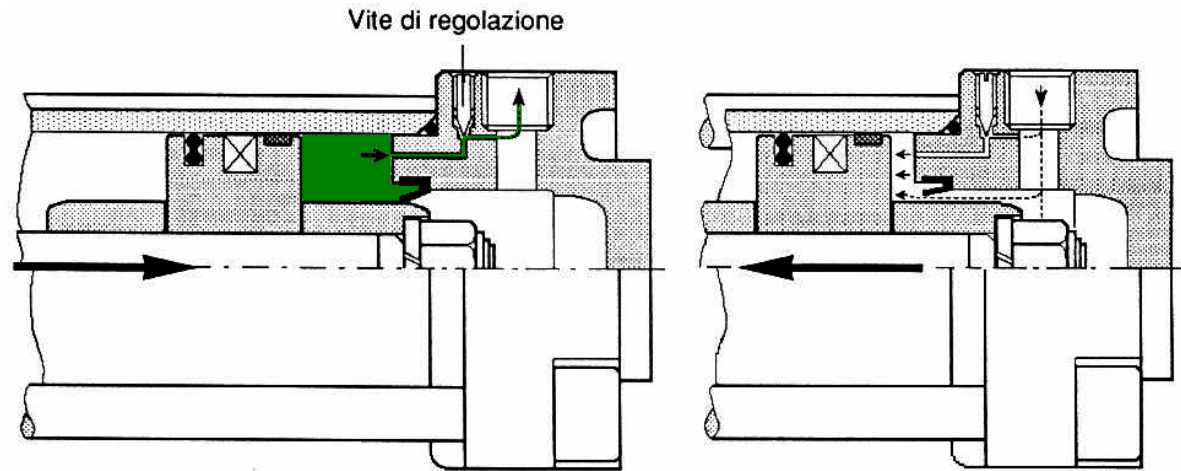


Principio di lavoro del cuscinetto ad aria



Ammortizzamento

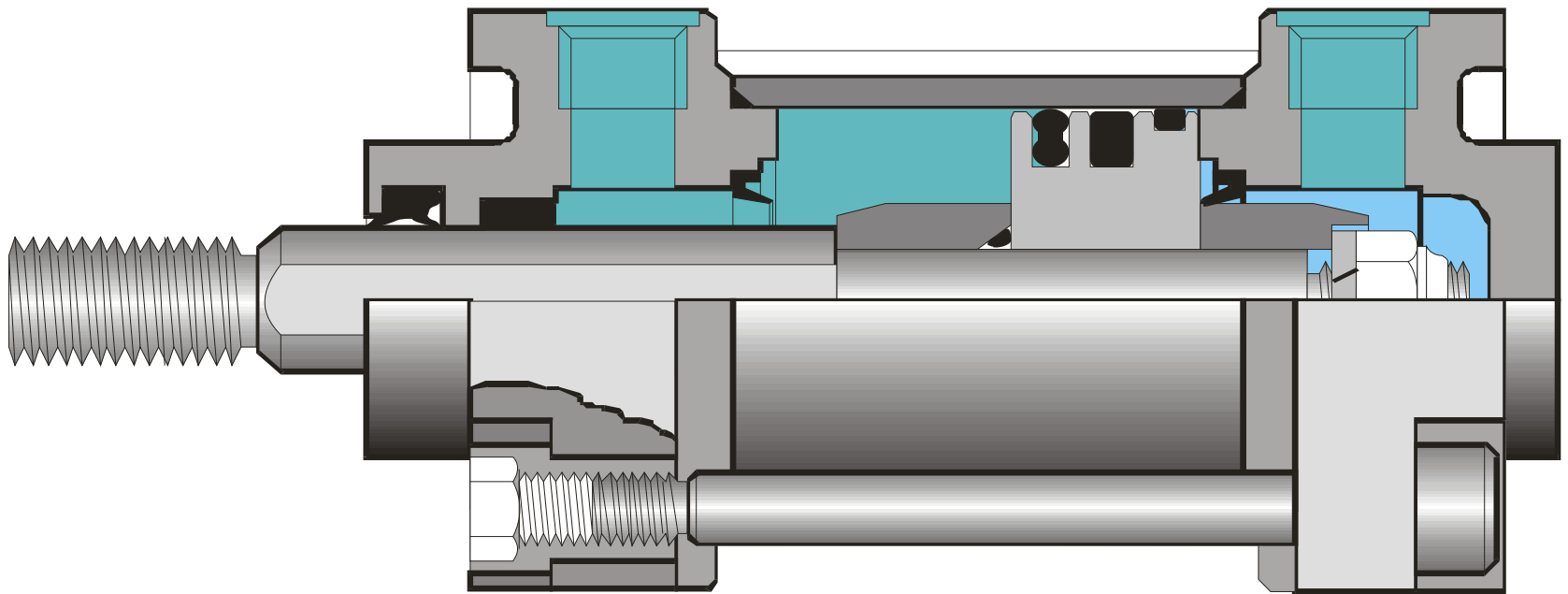
La normale via di fuga dell'aria in scarico attraverso il foro d'uscita, è chiusa dalla protuberanza del pistone che si infila nella guarnizione.



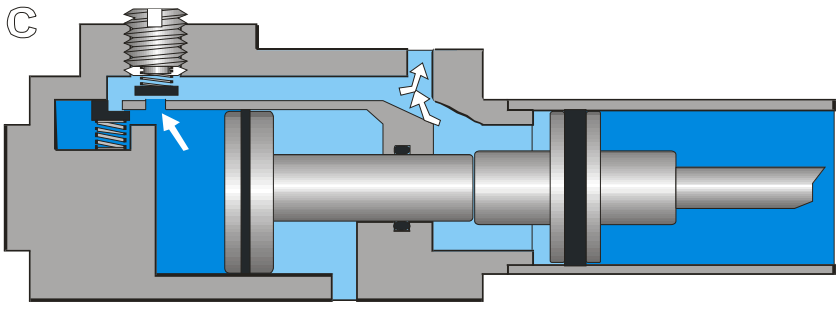
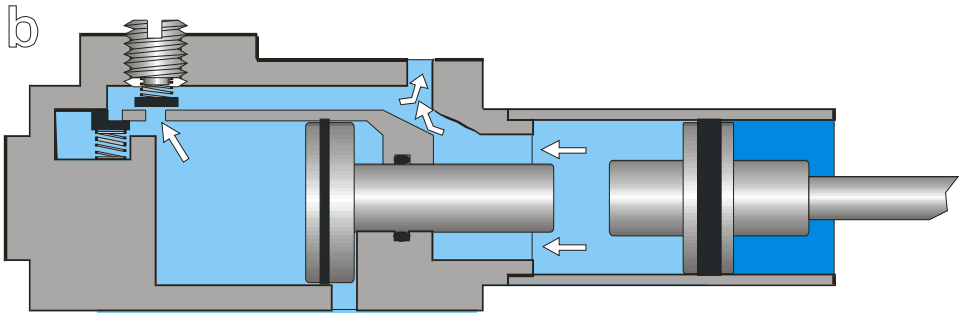
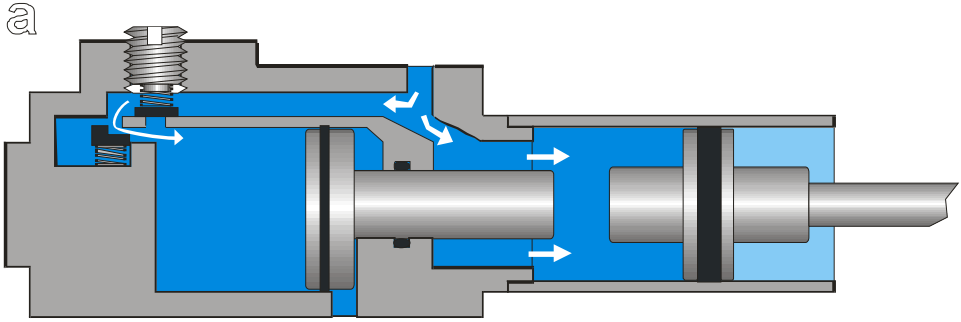
L'aria può solo uscire attraverso il foro a sezione regolabile. L'aria intrappolata è compressa ad una pressione relativamente elevata che frena l'inerzia del pistone.

Quando il pistone inverte il moto, la guarnizione dell'ammortizzo agisce da valvola di non ritorno per consentire il passaggio dell'aria verso il pistone. Tuttavia, essa restringe la sezione di passaggio e rallenta l'accelerazione del pistone. Pertanto, la corsa di ammortizzo dovrebbe essere la più corta possibile. Per decelerare carichi elevati oppure alte velocità del pistone, è necessario un ammortizzatore d'urto esterno. Se la velocità del pistone eccede i 500 mm/s, deve essere installato un arresto meccanico esterno, anche nel caso di presenza di ammortizzamento nel cilindro.

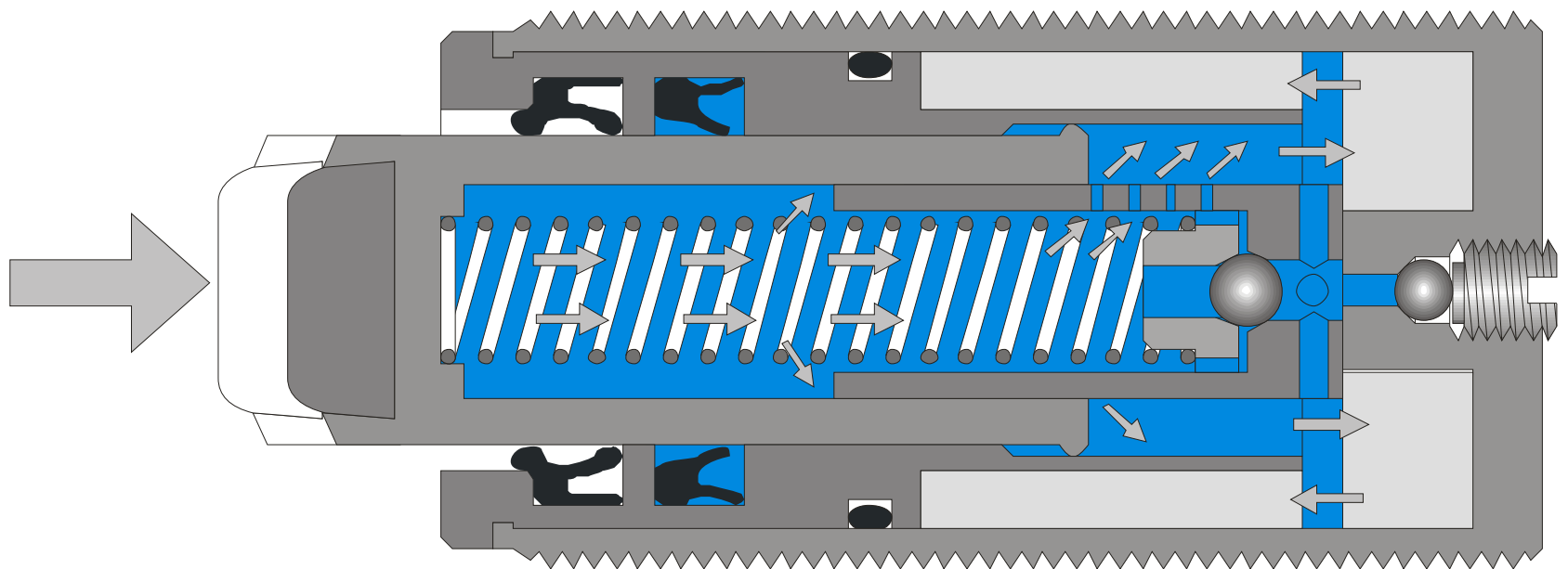
Cilindro a doppio effetto con ammortizzatori ad aria



Cilindro molto ammortizzato

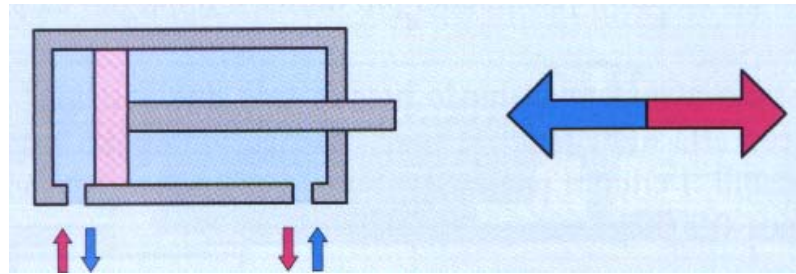


Ammortizzatore ad olio

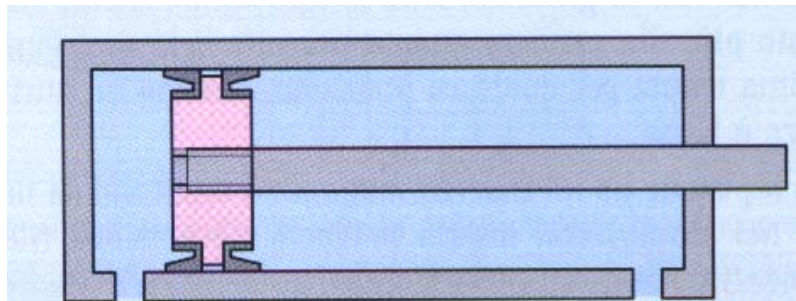


Cilindri a moto rettilineo

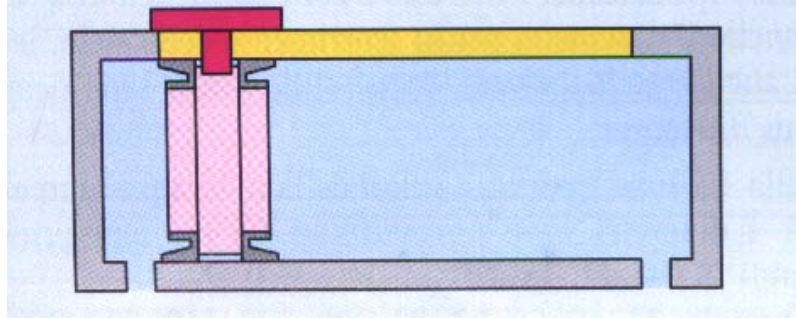
Alternativo



**Con pistone
collegato all'asta**



**Con pistone collegato
ad una slitta**

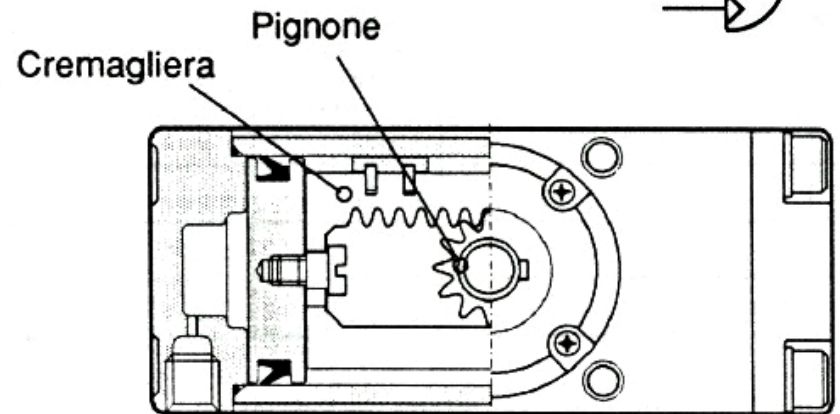
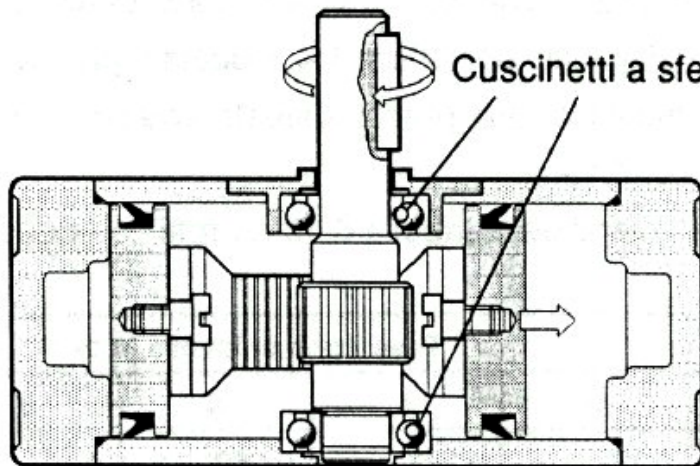


Attuatori rotanti a pignone e cremagliera

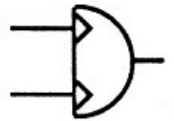
L'albero di uscita è dotato di un pignone che si ingrana direttamente su di una cremagliera solidale con il doppio pistone. Angoli standard di rotazione sono di 90° o di 180° .

Vengono generalmente usati quando si vuole avere un ingombro ridotto e una costruzione compatta.

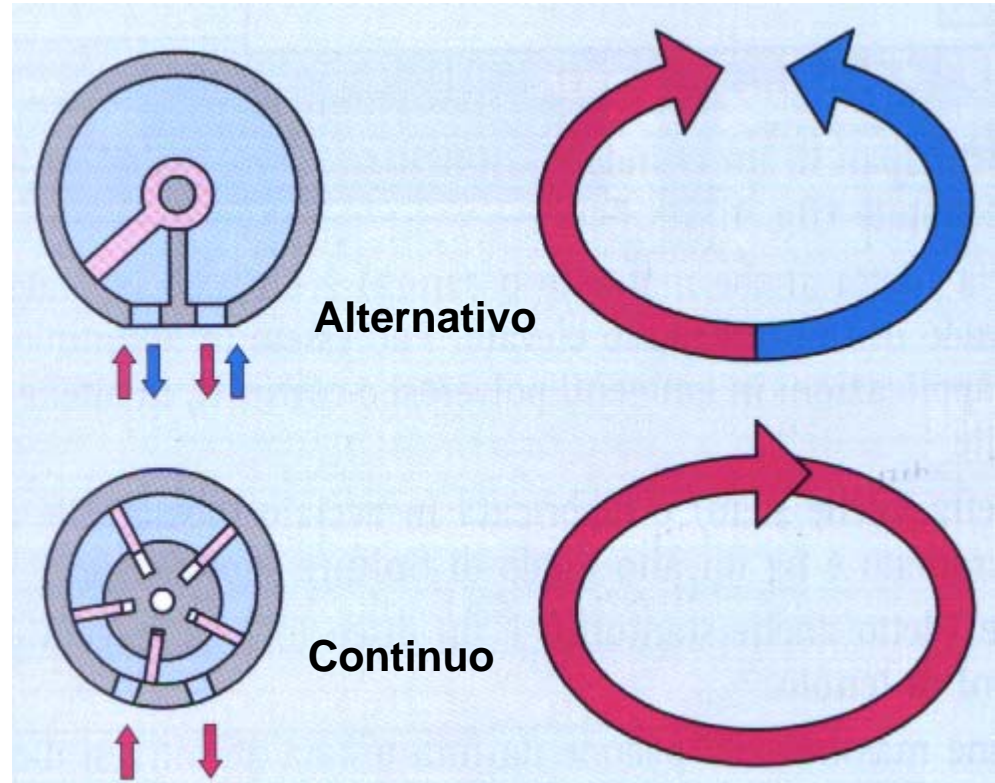
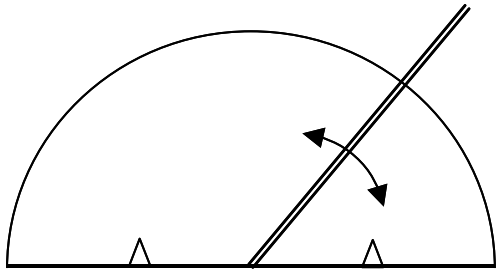
Questo cilindro rotativo ha il vantaggio di fornire una coppia costante, direttamente proporzionale alla pressione di alimentazione.



Simbolo ISO



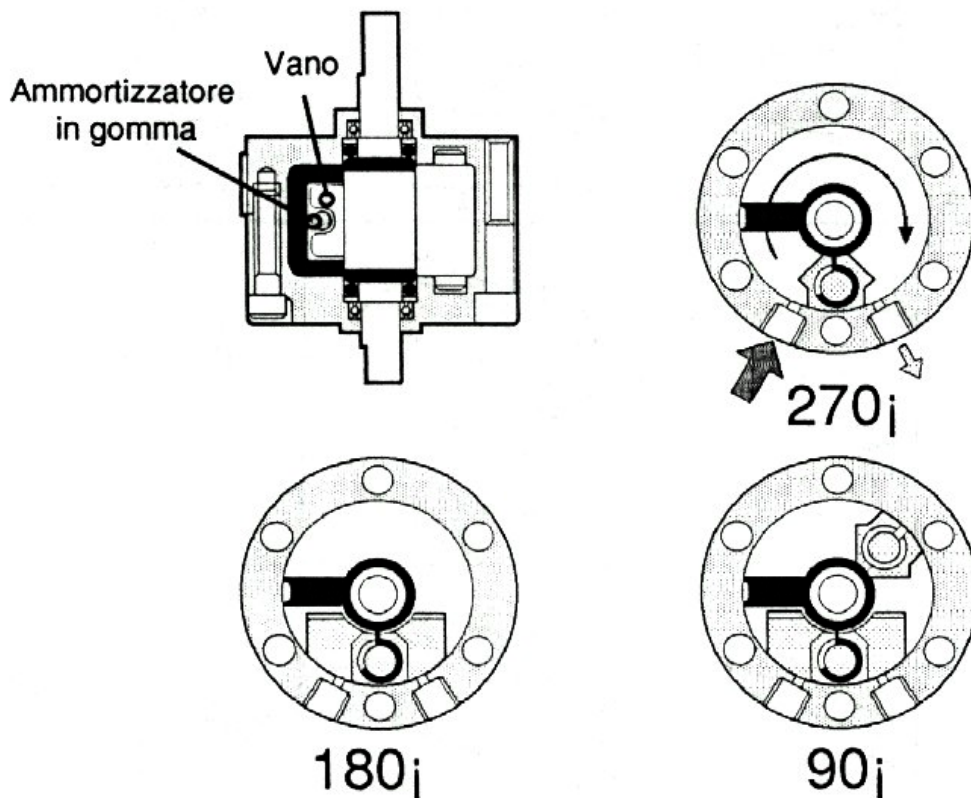
Attuatori Rotanti



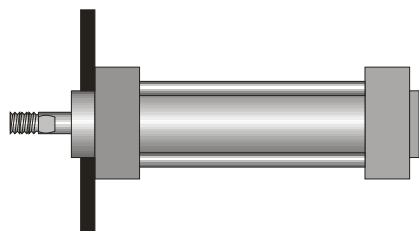
Attuatori rotanti del tipo a paletta

La pressione dell'aria agisce su di una paletta solidale con l'albero di uscita. La paletta è sigillata, contro le perdite, da una guarnizione in gomma o da un rivestimento in elastomero. Una guarnizione speciale tridimensionale fa tenuta fra il fermo, l'albero e l'involucro.

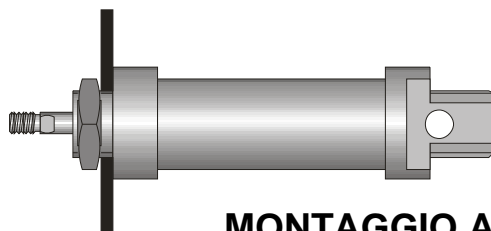
La dimensione del fermo definisce l'angolo di rotazione di 90° , 180° o 270° . Fermi regolabili possono essere forniti per regolare qualsiasi angolo di rotazione dell'unità.



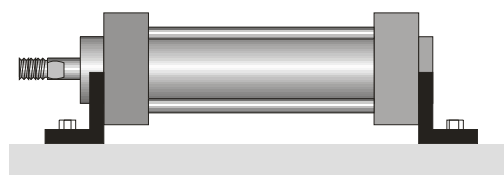
Diversi modi di fissaggio di un cilindro



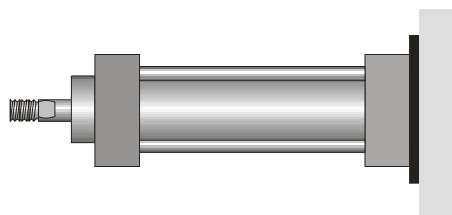
**MONTAGGIO
DIRETTO**



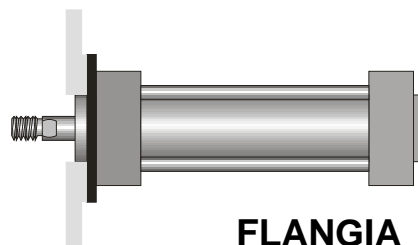
**MONTAGGIO A
PARETE CON DADO**



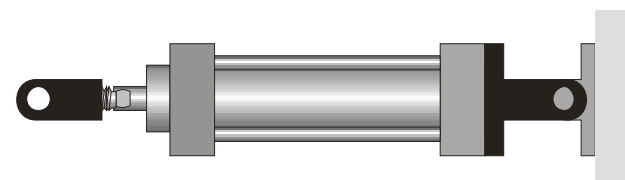
SUPPORTI ASSIALI



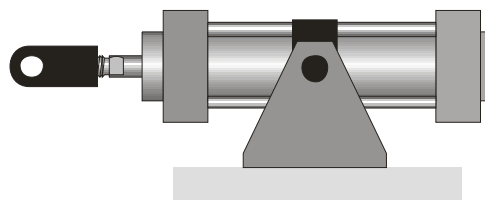
**FLANGIA
POSTERIORE**



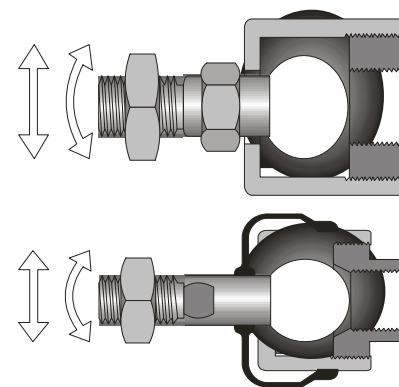
**FLANGIA
ANTERIORE**



**FULCRO
POSTERIORE**



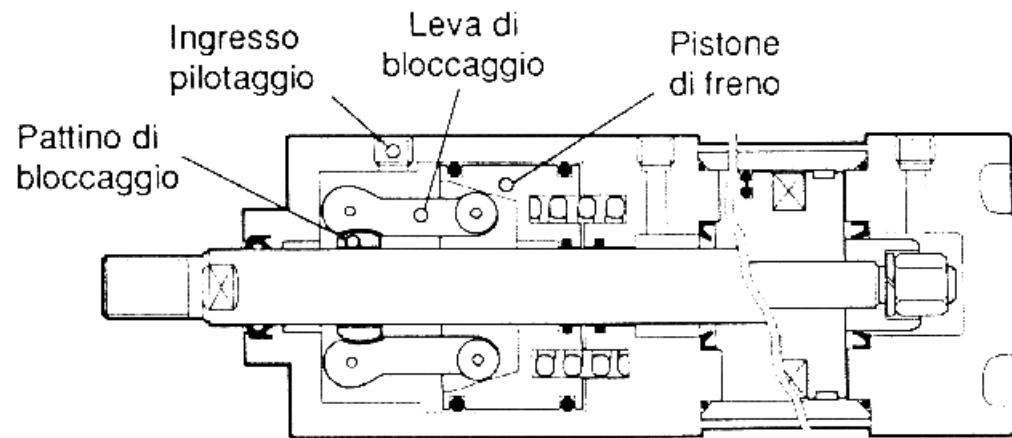
**FULCRO
CENTRALE**



**PERNO
FLOTTANTE
(per correggere
eventuali
disallineamenti)**

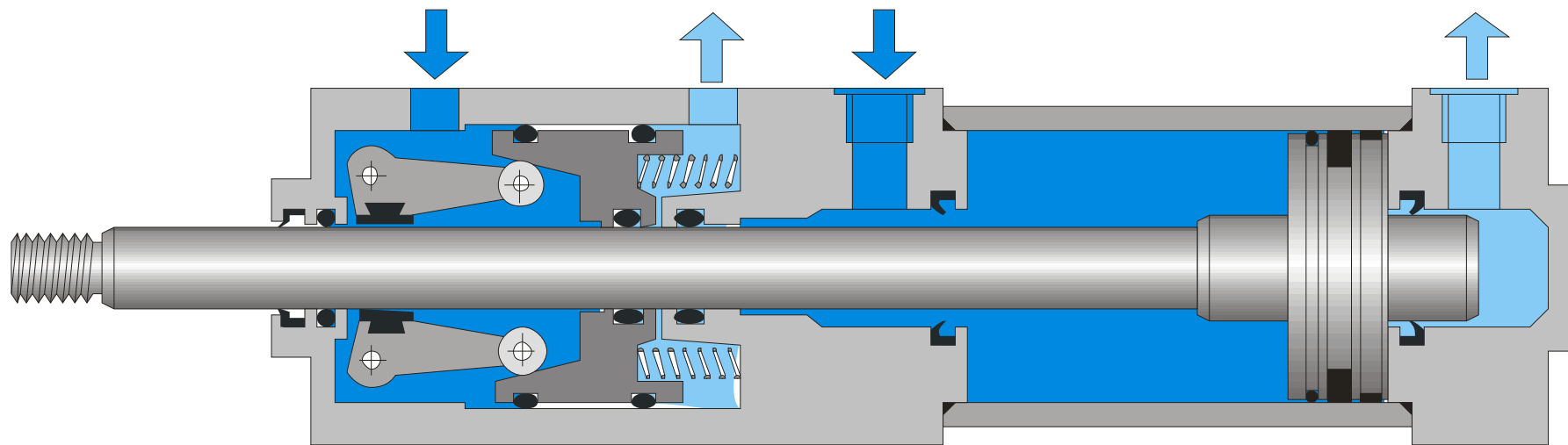
Attuatori speciali

Cilindro con bloccaggio

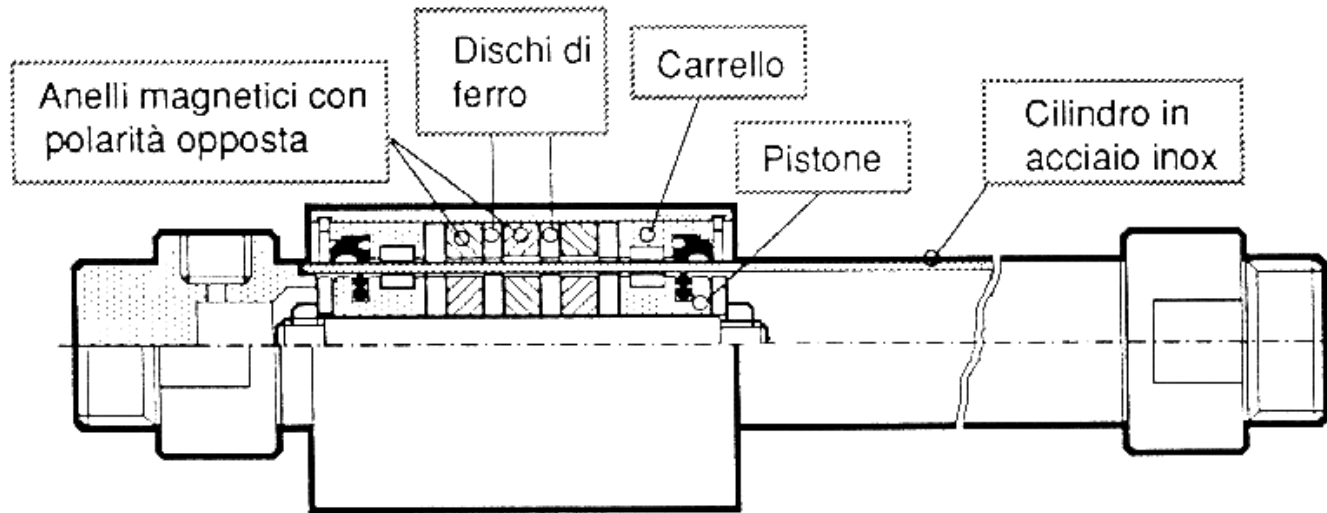


Un cilindro può essere dotato di una testata con bloccaggio al posto della testata normale. Essa è in grado di tenere bloccato lo stelo in qualsiasi posizione. L'azione di bloccaggio è meccanica. In tal modo si garantisce che lo stelo sia trattenuto con sicurezza anche a pieno carico.

Cilindro con bloccaggio



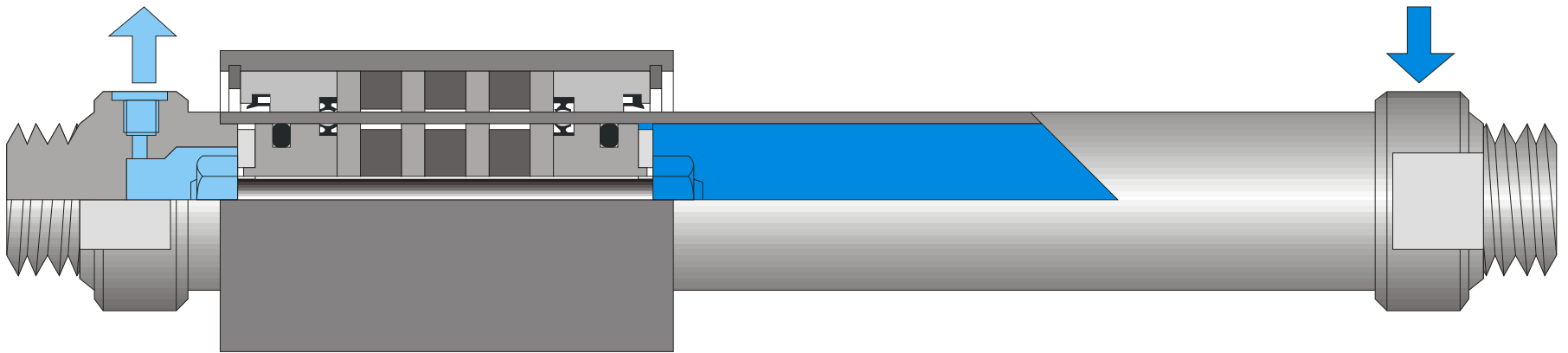
Cilindro senza stelo con accoppiamento magnetico



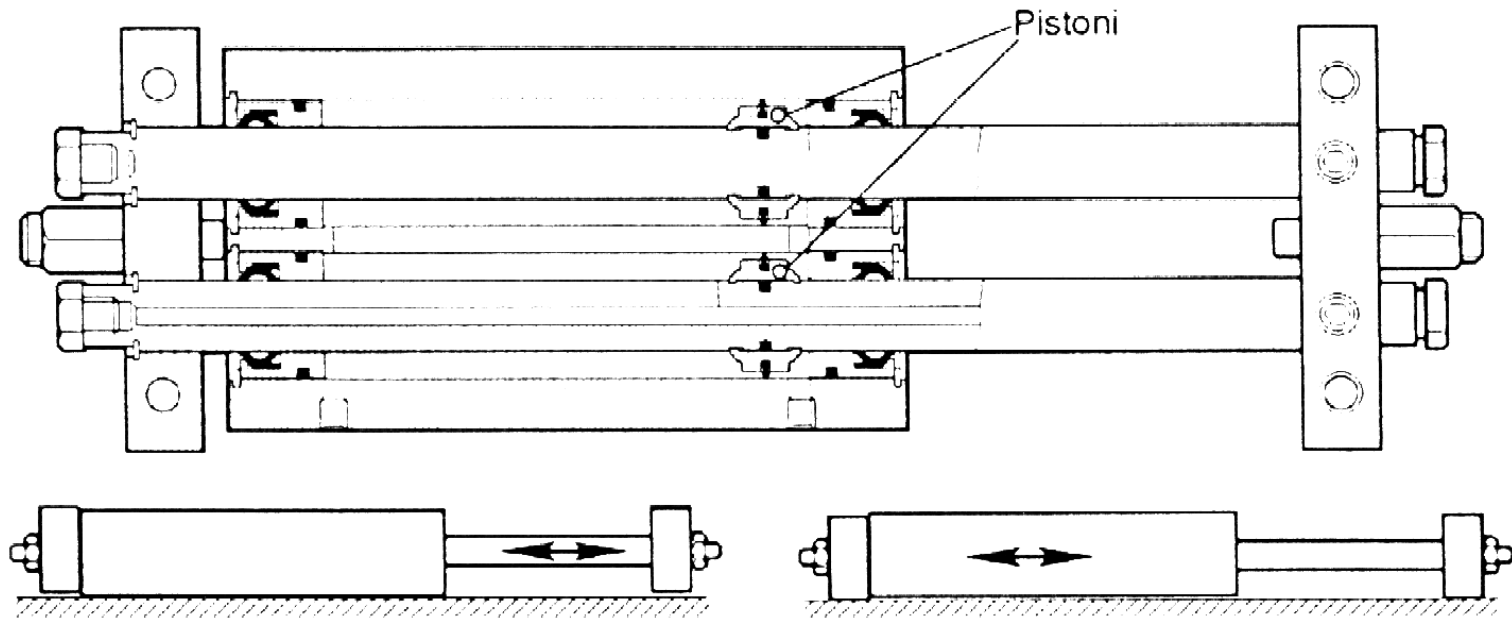
Un cilindro convenzionale, ad esempio di 500 mm di corsa può avere una dimensione con stelo tutto fuori di circa 1100 mm. Un cilindro senza stelo con la medesima corsa può essere installato in uno spazio molto più corto pari a circa 600 mm.

Esso è particolarmente vantaggioso quando sono richieste corse molto lunghe. E' disponibile fino alla lunghezza standard di 1 m. La forza disponibile è definita dalla forza di attrazione dei suoi magneti ed eguaglia quello di un cilindro normale fino ad una pressione di esercizio di 7 bar.

Cilindro senza stelo accoppiato magneticamente



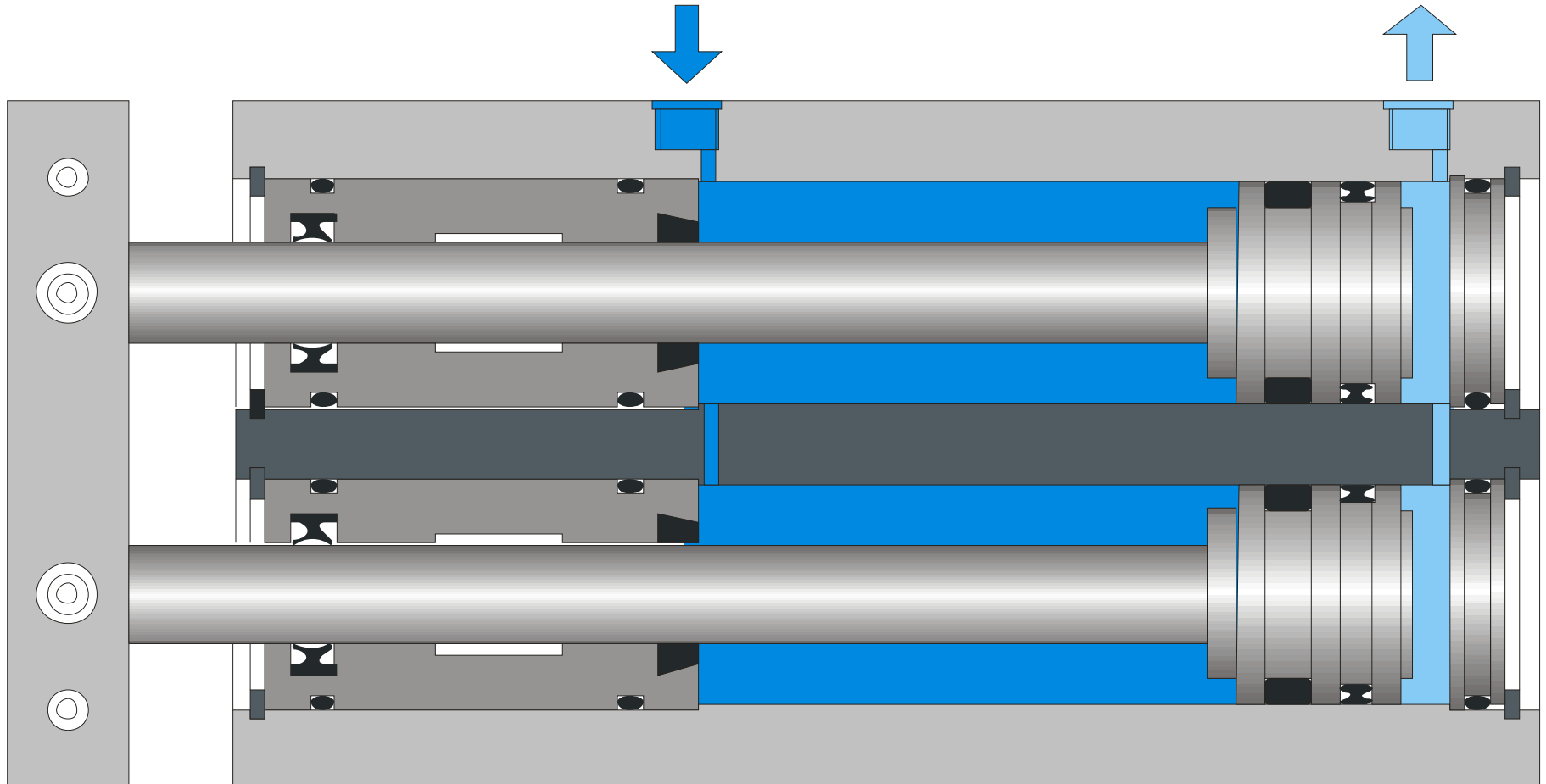
Cilindro senza stelo con unità a slitta



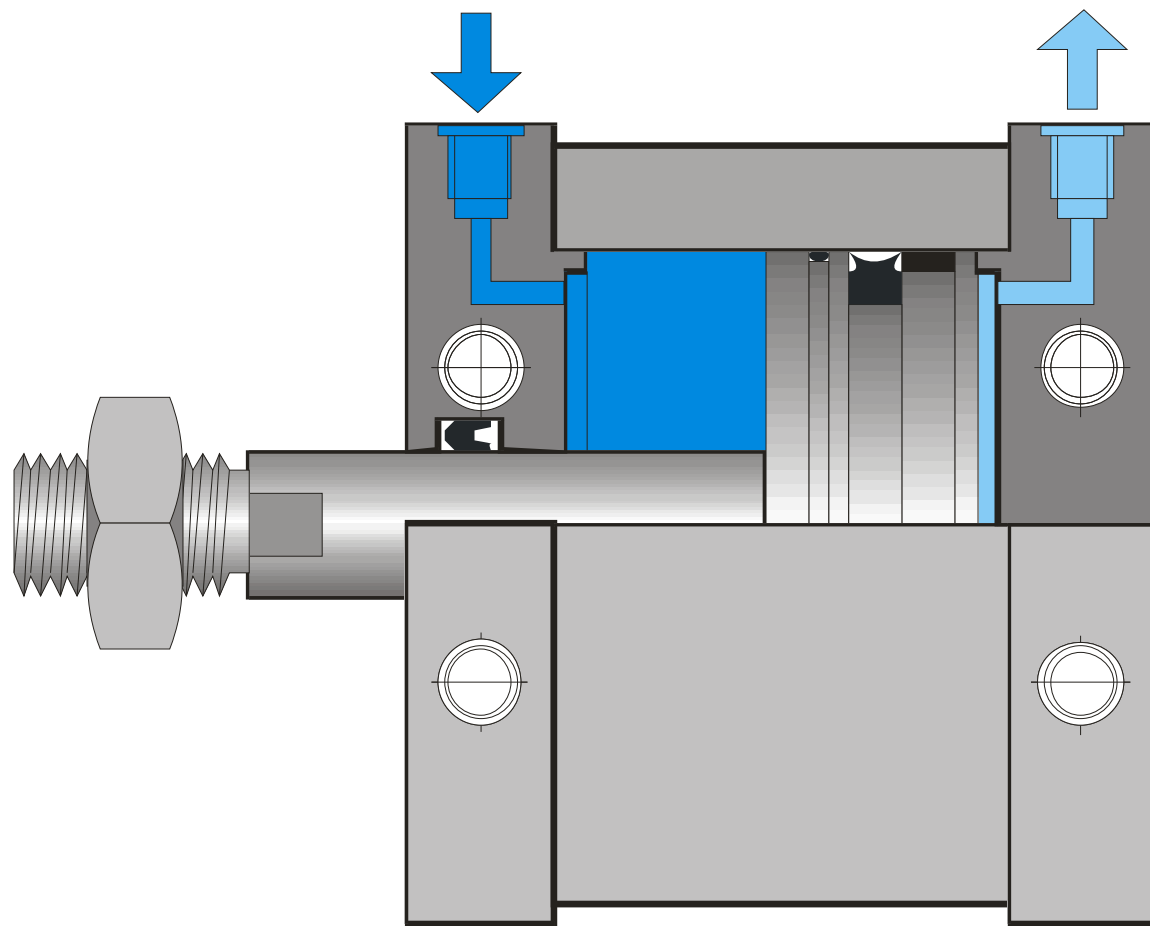
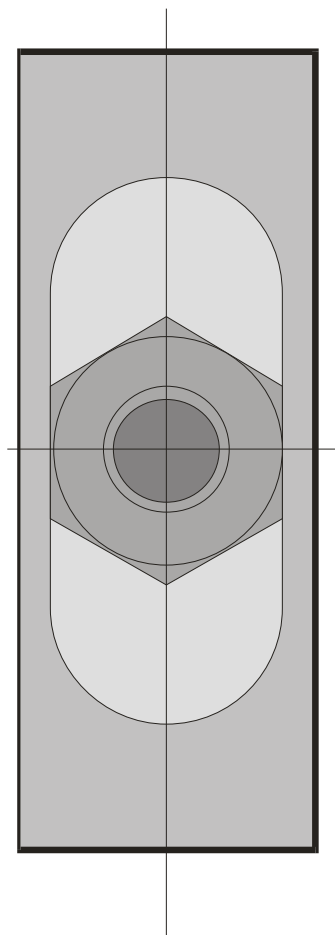
L'unità a slitta è un attuatore lineare di precisione di dimensioni compatte che può essere utilizzato per macchine automatiche per la lavorazione e l'assemblaggio di parti.

Superfici di montaggio lavorate con elevata precisione e steli di guida del pistone paralleli assicurano un accurato movimento lineare quando le unità vengono impiegate come parti costruttive di macchine per il trasferimento e il posizionamento di parti.

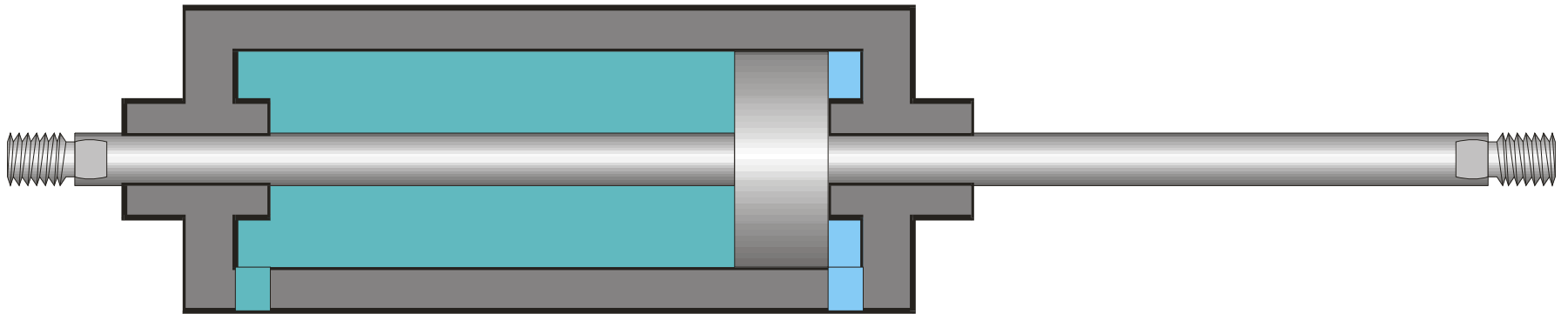
Cilindro a pistoni paralleli



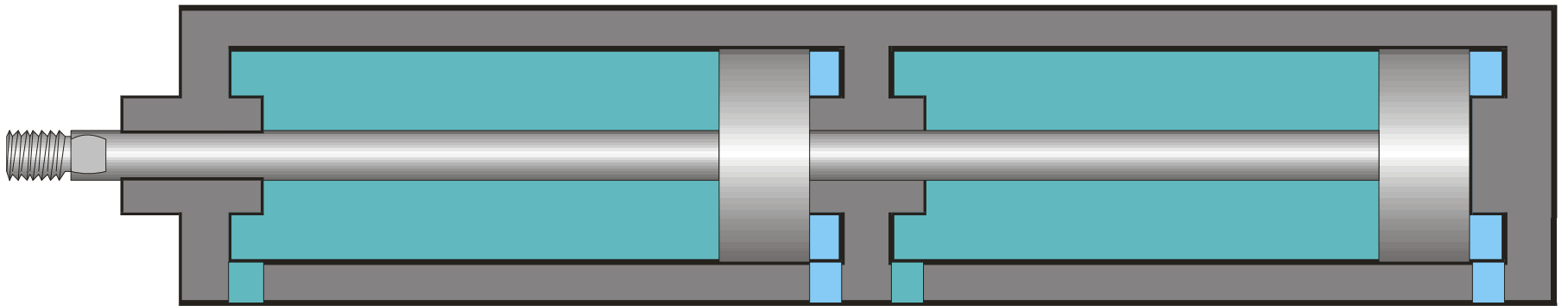
Cilindro piatto



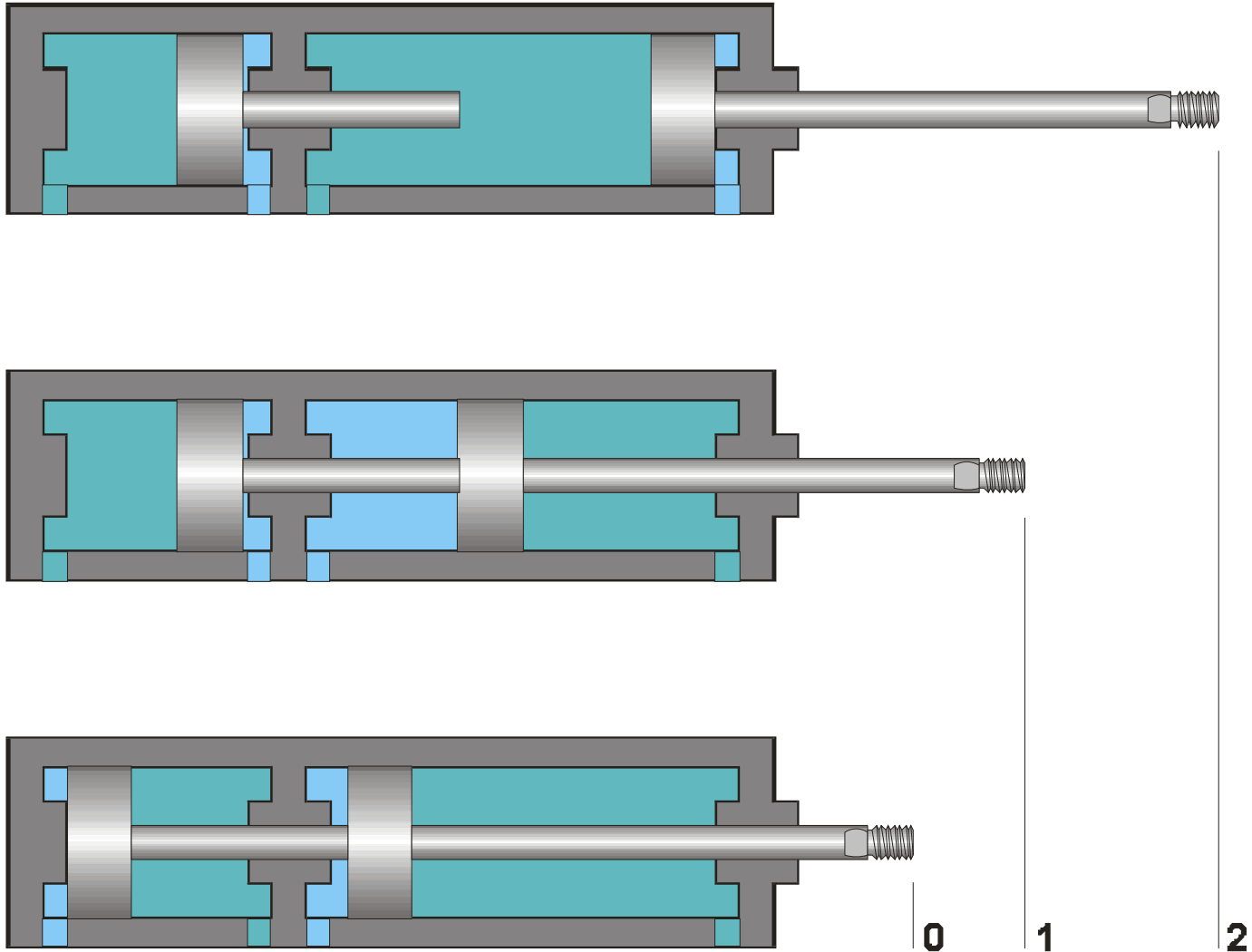
Cilindro a stelo passante



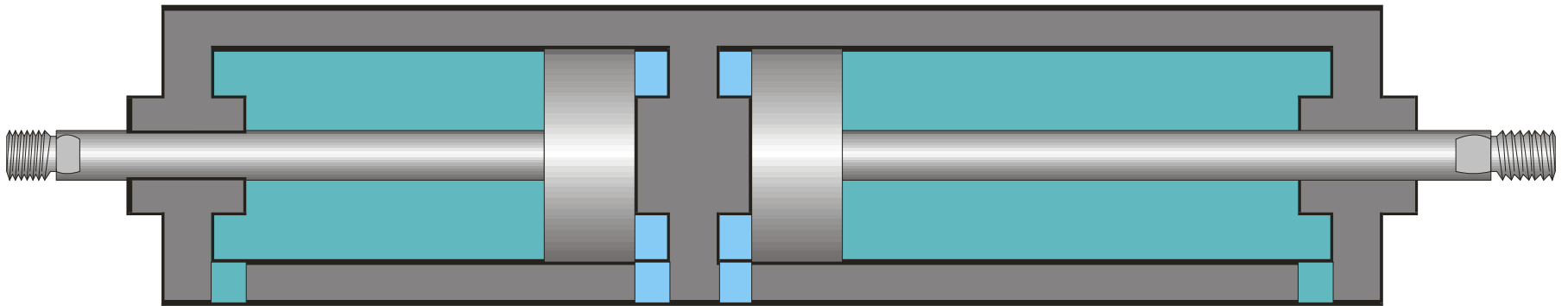
Cilindro tandem



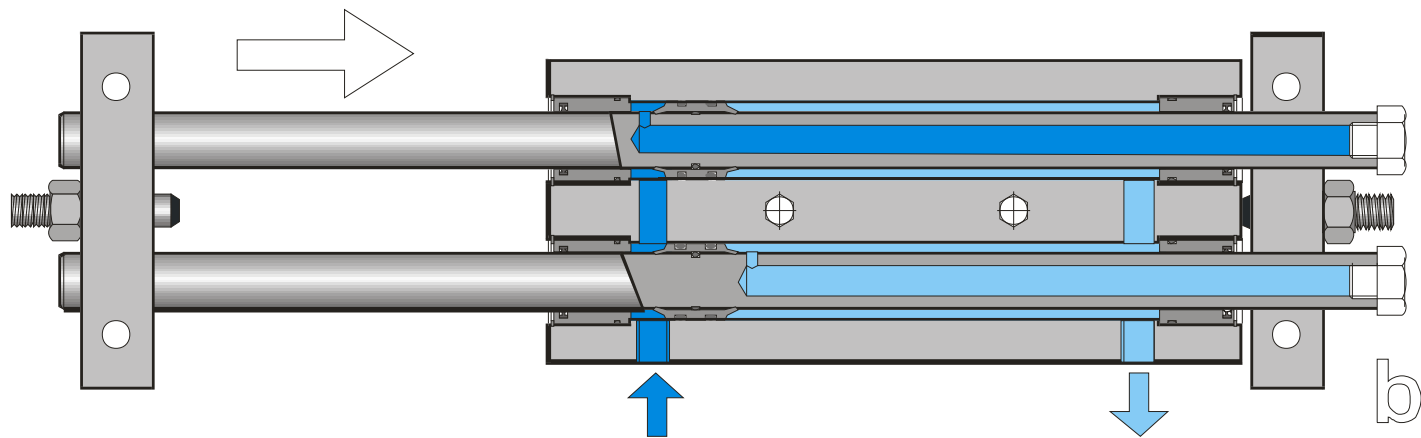
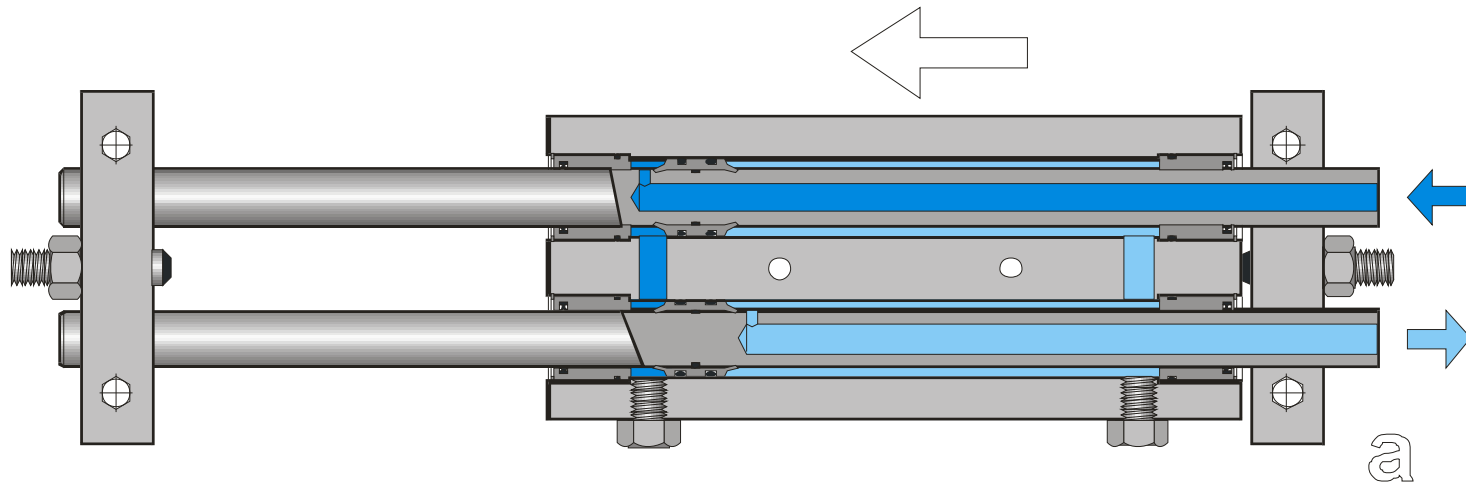
Cilindro a 3 posizioni



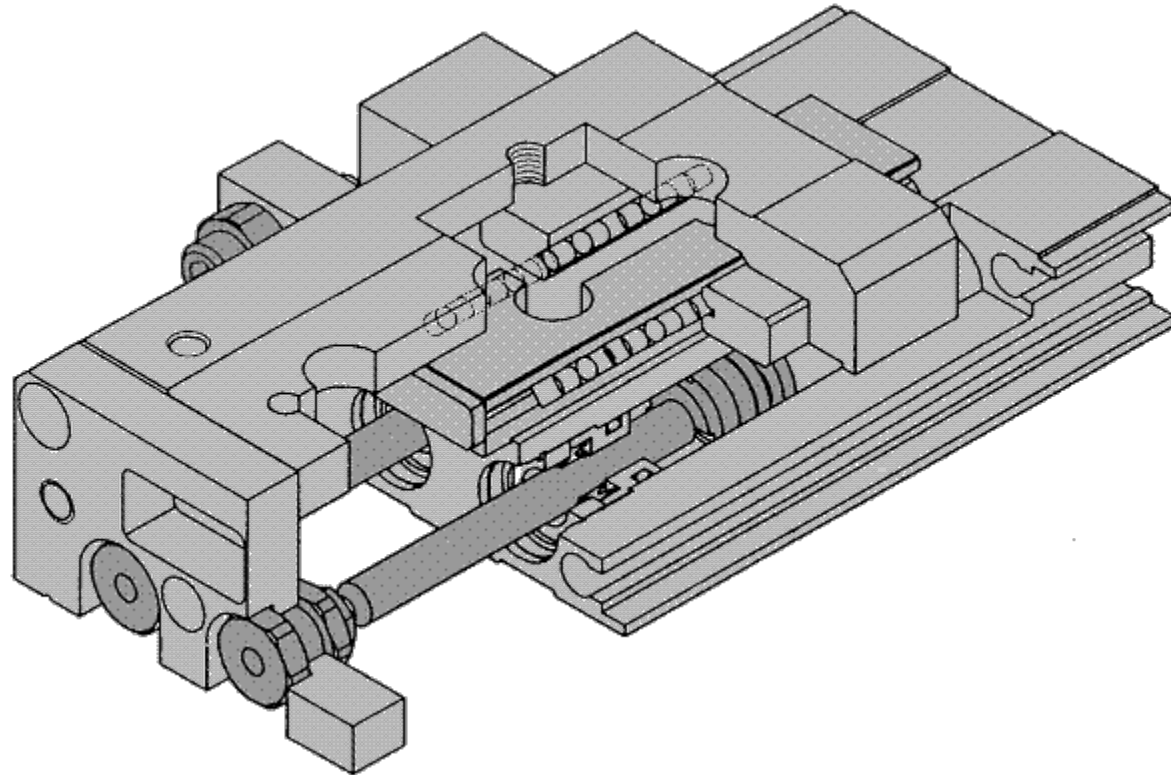
Cilindro a 4 posizioni



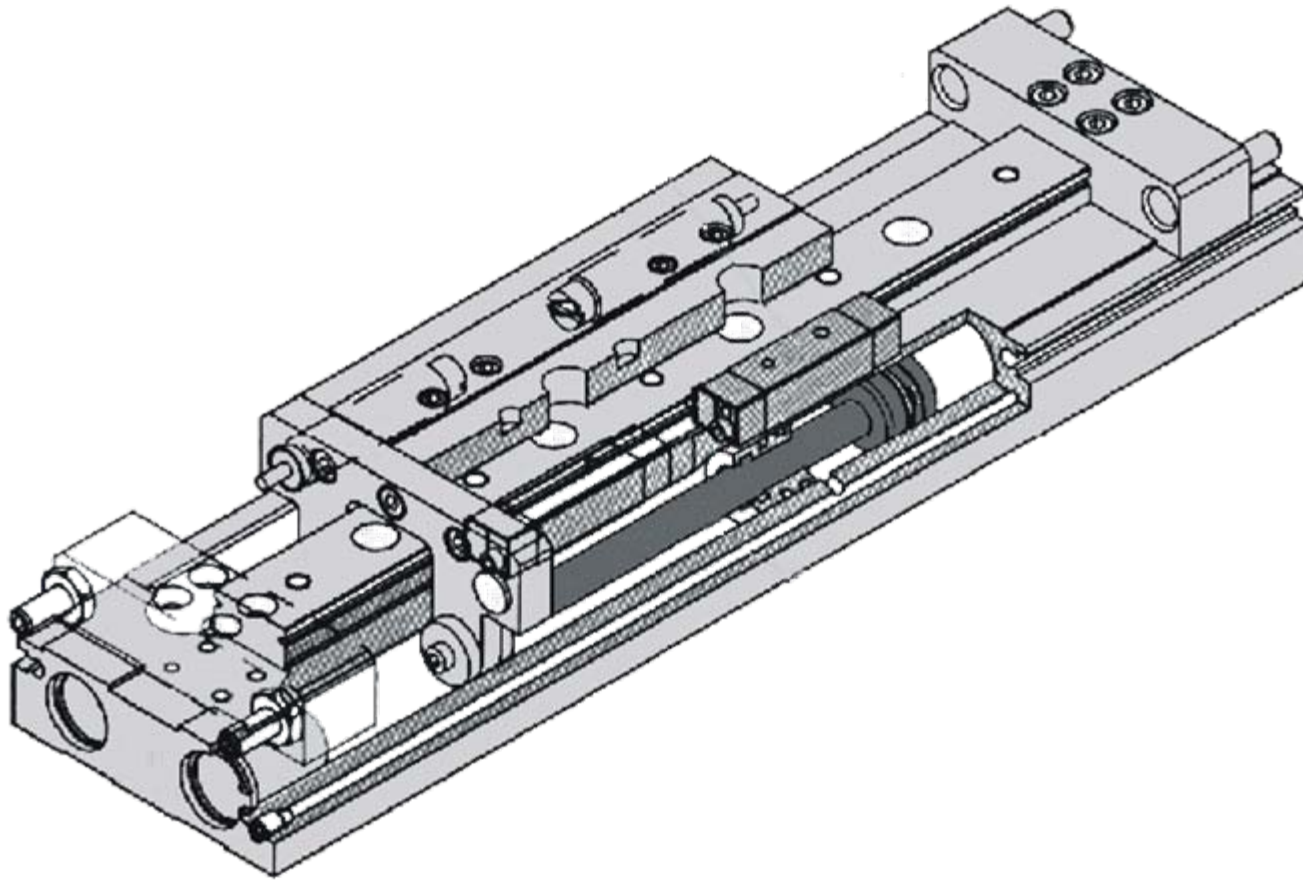
Unità Slitta



Slitta di precisione



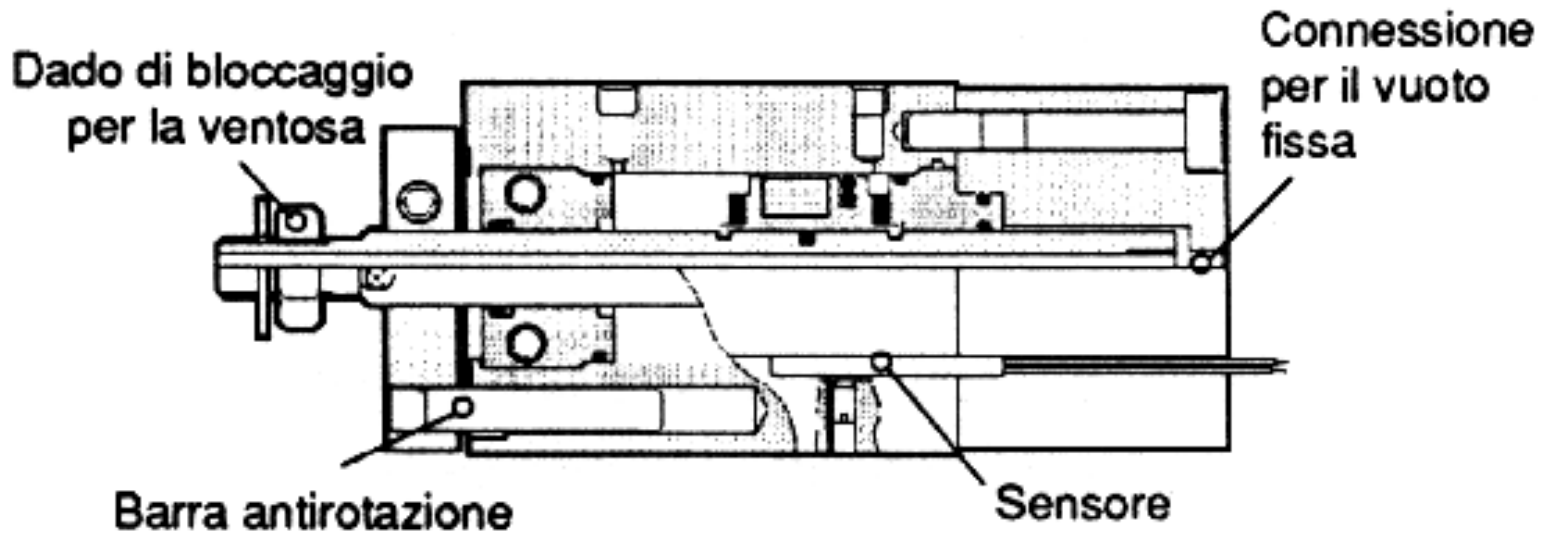
Slitta di precisione a corsa lunga



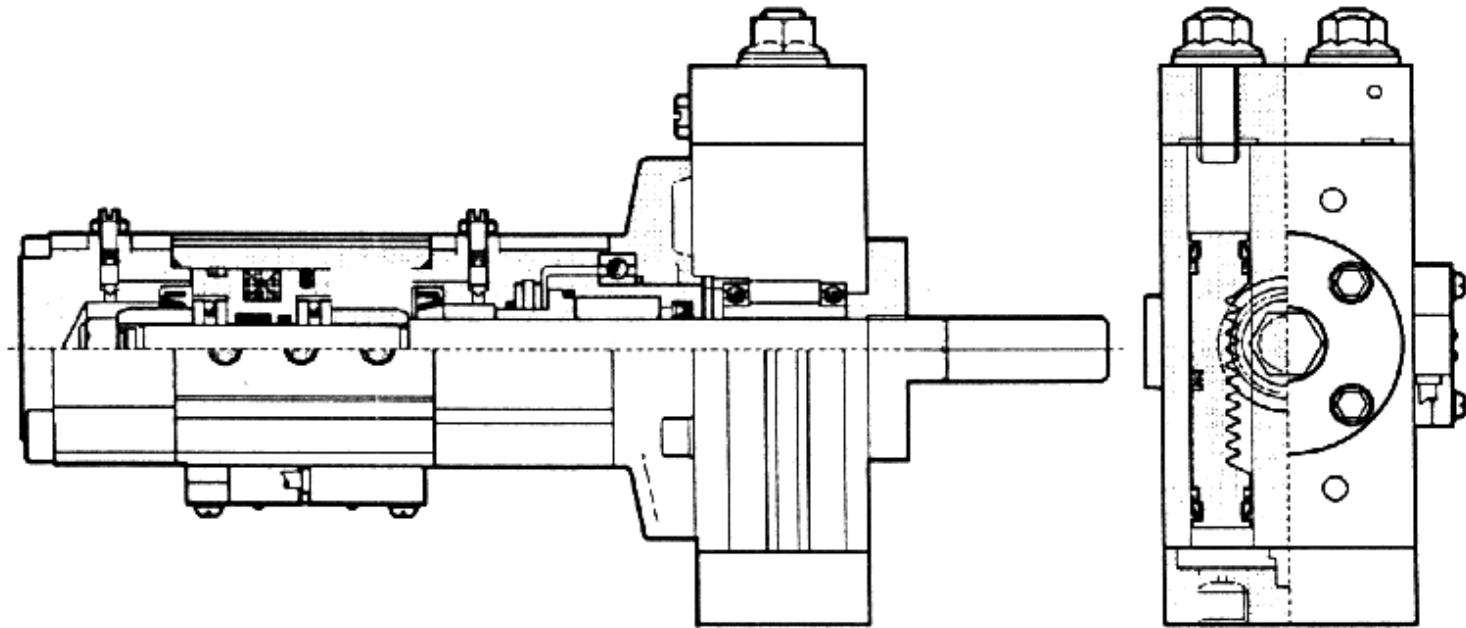
Cilindro a stelo cavo

Questo attuatore è specificatamente progettato per applicazioni di "pick and place".

Lo stelo cavo consente una connessione diretta fra l'equipaggiamento che produce il vuoto e la ventosa direttamente montata sull'estremità dello stelo. Il tubo di connessione sul lato posteriore del cilindro rimane fermo mentre lo stelo si estende e si ritrae.



Attuatore combinato



L'attuatore combinato è un insieme di un cilindro lineare con un cilindro rotante a cremagliera. Il braccio rotante può essere allacciato all'albero ed essere equipaggiato con una pinza ed una ventosa per movimentare i pezzi da lavorare e depositarli in un'altra posizione dopo la rotazione del braccio. Questo fa dell'attuatore una vera unità di "pick and place" per la movimentazione del materiale.

Cilindro con unità di presa rotante

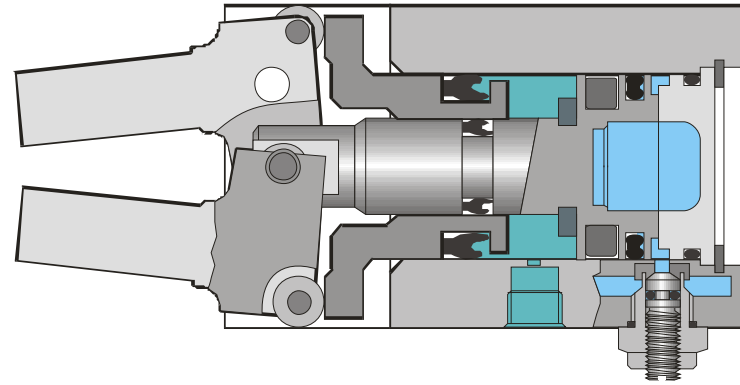
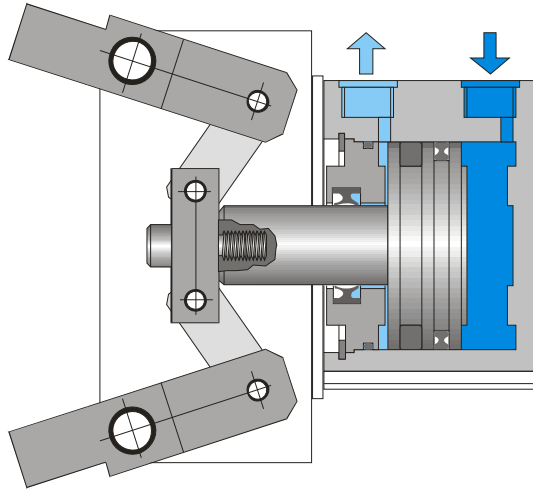


Flangia
posteriore

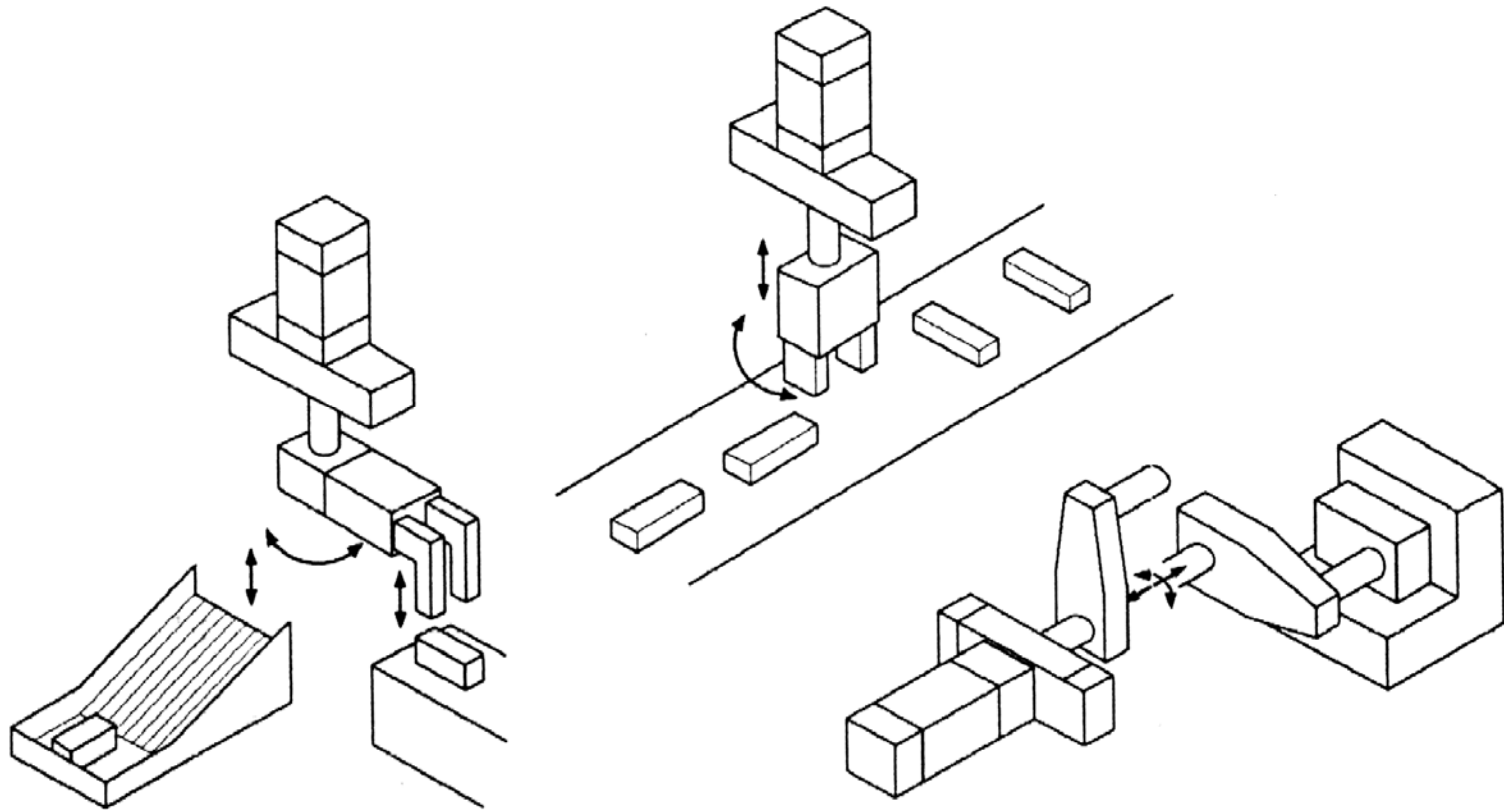
Con braccio

Pinze

E' un attuttore progettato per la manipolazione dei componenti in applicazioni di tipo robotico. Il modello mostrato utilizza due pistoni opposti per aprire e chiudere le dita della pinza pneumatica.



Applicazioni tipiche di cilindri combinati e pinze



COMPONENTI ELETTROPNEUMATICI DI COMANDO E DI PILOTAGGIO

Elettrovalvole

Contatti elettrici, Finecorsa e Sensori

**Logica Elettromeccanica, Relè,
Temporizzatori, Contatori**

Sistema Elettropneumatico

Un automatismo con blocco di attuazione pneumatico e blocco logico elettrico prende il nome di sistema «elettropneumatico»

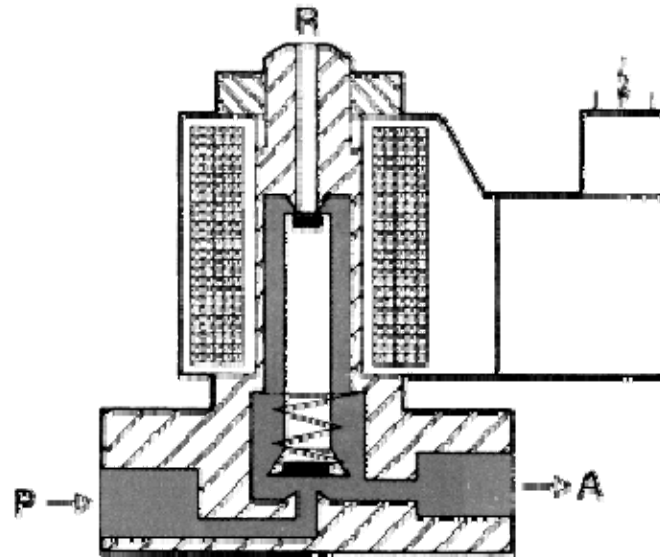
I segnali di comando inviati agli attuatori dall'unità di elaborazione di tipo elettrico sono elettrici e quindi debbono essere convertiti in segnali pneumatici, mediante distributori pneumatici a comando elettrico, detti anche semplicemente elettrovalvole

Inoltre disponendo di un'unità d'elaborazione realizzata con dispositivi elettromeccanici quali temporizzatori, contattori, contattori, ecc è necessario che ad essa arrivino segnali di ritorno di tipo elettrico

Allo scopo si utilizzano dispositivi elettrici a contatti quali microinterruttori, contattori, finecorsa, ecc..., che rilevano informazioni sul campo come i corrispondenti elementi pneumatici

Elettrovalvola 3/2

Le Elettrovalvole sono anche indicate con il nome di valvole a solenoide o elettromagnetiche. In esse la posizione di riposo è quella a solenoide diseccitato. Per piccole portate sono ad azionamento diretto con il solenoide che agisce direttamente sulla valvola di distribuzione.

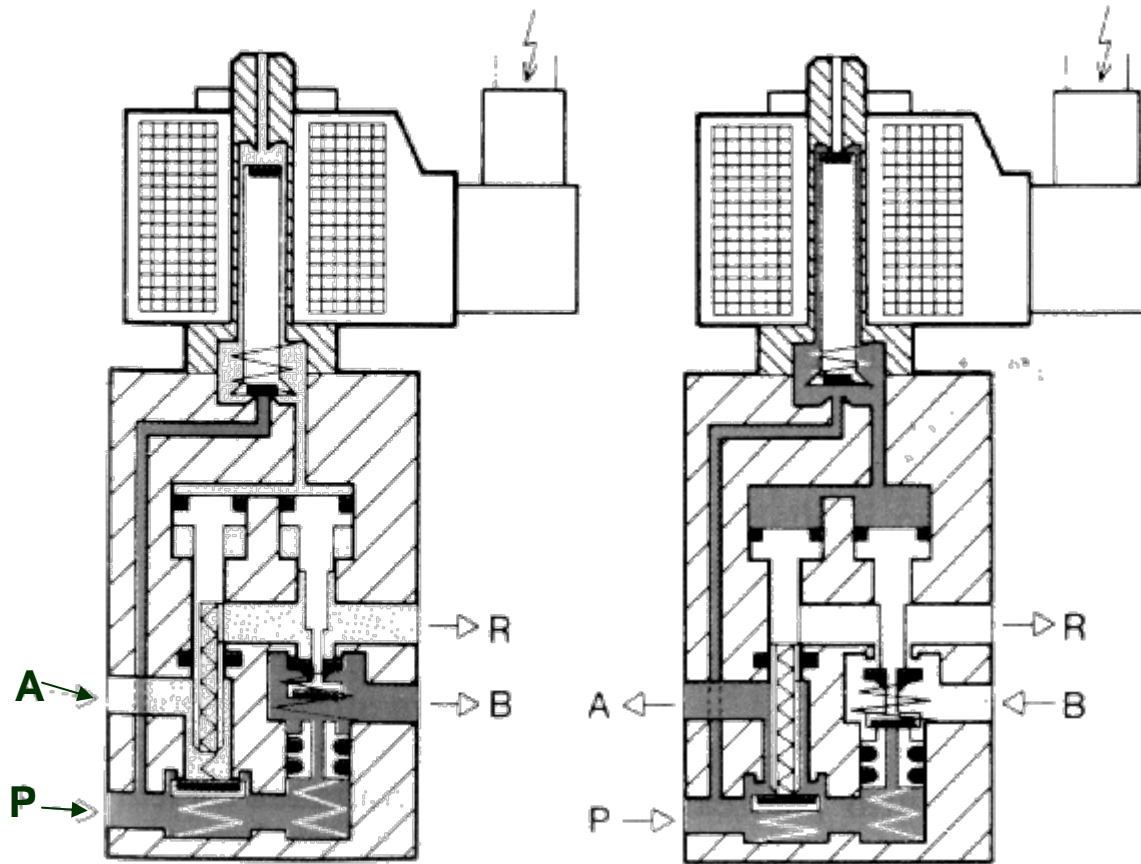


Elettrovalvola 3/2 ad
azionamento diretto e
ritorno a molla

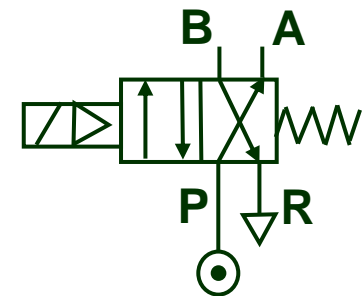


Per portate medio-grandi sono ad azionamento indiretto, ovvero servopilotate: il cassetto della valvola viene azionato pneumaticamente da un servopilota consistente in una elettrovalvola 3/2 miniaturizzata. Possono essere ad uno o a due solenoidi: nelle prime, in assenza di eccitazione la posizione di riposo è mantenuta per effetto di una molla. Le seconde sono bistabili e le due posizioni si ottengono azionando le due bobine.

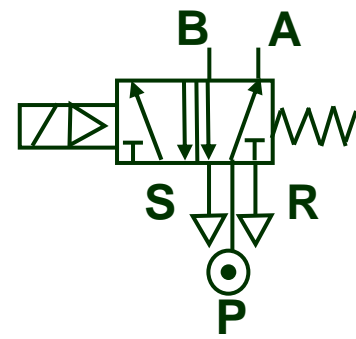
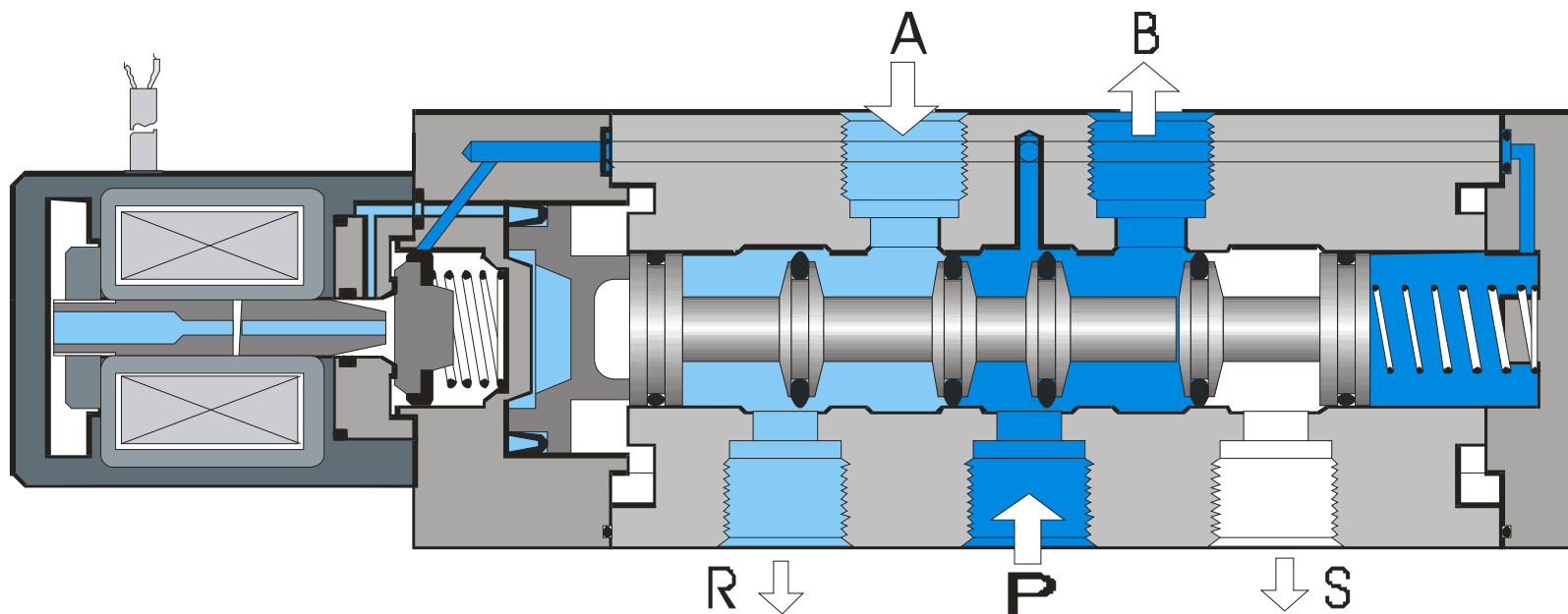
Elettrovalvola 4/2



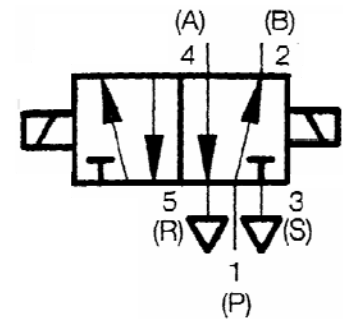
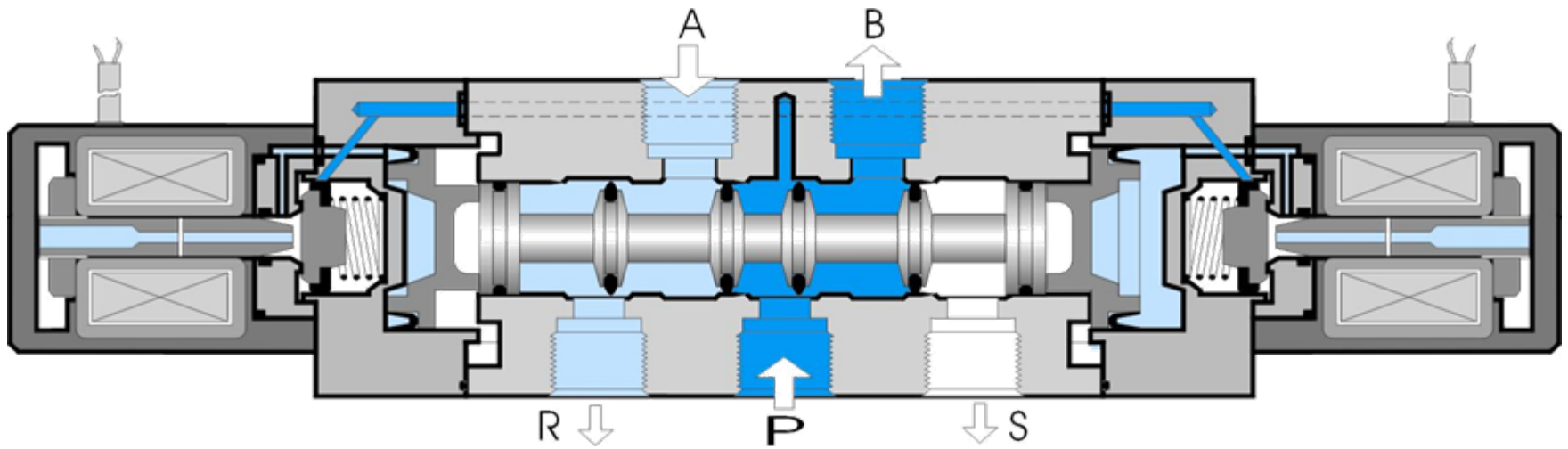
Elettrovalvola 4/2
ad azionamento
con servopilota e
ritorno a molla



Valvola 5/2 monostabile con solenoide



Valvola 5/2 bistabile a 2 solenoidi



Elementi di sequenza elettromeccanici

Nei comandi elettropneumatici gli elementi di sequenza sono realizzati mediante i seguenti dispositivi:

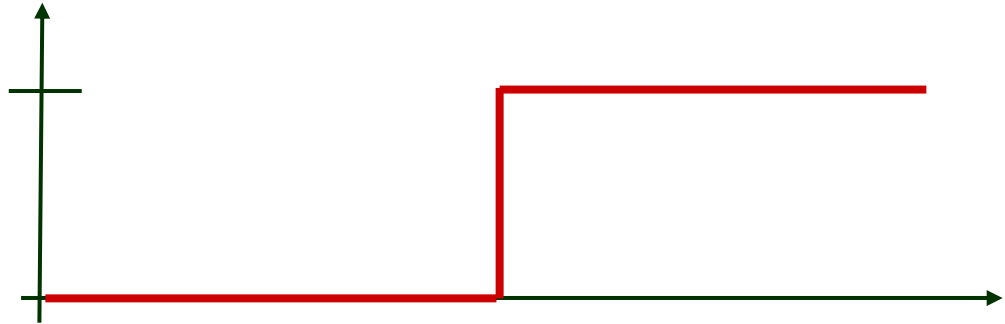
- **Contatti elettrici**
- **Finecorsa elettromeccanici**
- **Sensori o interruttori di prossimità**

Contatti elettrici

Contatto chiuso
Circola corrente
Lampada accesa



Contatto aperto
Non Circola corrente
Lampada spenta



NA

Normalmente aperto

NA = 0 non passa corrente

NA = 1 passa corrente



NC

Normalmente chiuso

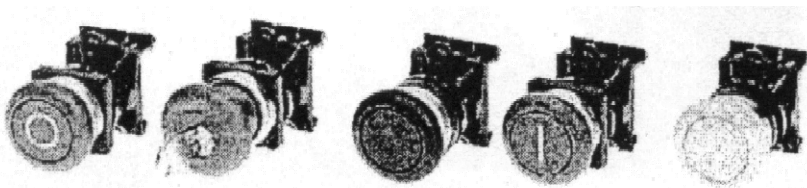
NC = 0 passa corrente

NC = 1 non passa corrente

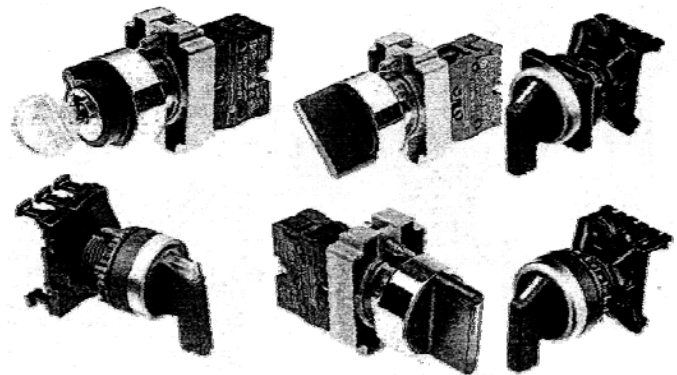
Pulsanti e selettori

Sono degli organi di comando che si trovano a diretto contatto dell'operatore a servono ad interrompere o chiudere un circuito elettrico, In base a precise norme di sicurezza debbono sempre lavorare a tensioni inferiori a 110 volt. Ne esistono di vari tipi, sia come struttura meccanica, sia come caratteristiche elettriche. Essi sono sempre montati su quadri di comando (pulsantiere) ed in certi casi sugli armadi dell'apparecchiatura stessa.

Pulsanti

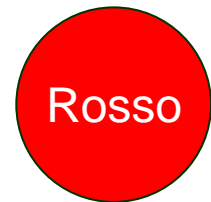


Selettori



Pulsanti

Sono organi di comando che aprono o chiudono un circuito, ma lo mantengono in tale posizione solo fino a quando vengono tenuti premuti. Sono quindi degli organi che servono soltanto a trasmettere degli impulsi di tipo digitale (on - off). In commercio ve ne sono di diversi tipi: a tasto, a fungo, a tasto luminoso, a tasto con tenuta stagna. Tutti comunque possono avere contatti singoli o doppi o multipli normalmente chiusi o normalmente aperti. I tasti dei pulsanti sono di diversi colori, in quanto ogni colore viene usato per indicare una certa funzione, ad esempio:



Emergenza



Intervento

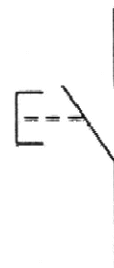


Avviamento

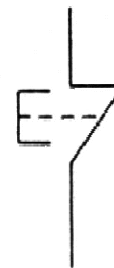
Simboli

Circuito singolo

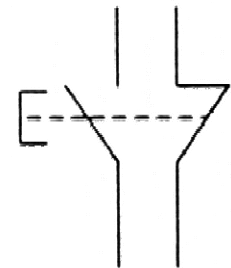
circuito doppio



NA



NC



NA/NC

Selettori

Strutturalmente sono simili ai pulsanti, e servono per selezionare parti di circuiti elettrici.

Possono avere due o più posizioni e a differenza dei pulsanti dopo il loro azionamento mantengono la posizione dei contatti in una determinata posizione fino ad un successivo intervento.

Vengono usati anche per includere o escludere certi dispositivi.

Possono avere uno o più contatti per posizione ed in certi casi il loro comando è abbinato ad un pulsante che può essere premuto in una o più posizioni.

Costruttivamente possono essere a tasto, a leva, a pulsante o a chiave; quest'ultima può essere estratta in una sola o più posizioni.

Simboli



Con posizione neutra



Con passaggio senza interruzione

Microinterruttori (finecorsa meccanici)

Possono essere paragonati a dei pulsanti, in quanto possono aprire o chiudere dei circuiti elettrici.

Mentre i pulsanti sono azionati dalla mano dell'operatore i microinterruttori sono sempre azionati meccanicamente attraverso la presenza di un organo meccanico.

Sul mercato esistono un'infinità di tipi, a seconda dell'applicazione a cui sono destinati, hanno contatti normalmente chiusi o aperti, possono essere a semplice o a doppi contatti.



Contatto NA

NA = 0 non passa corrente
NA = 1 passa corrente



Contatto NC

NC = 0 passa corrente
NC = 1 non passa corrente

Lampade

Sono organi di segnalazione ottica che servono ad avvisare il conduttore o manutentore di una apparecchiatura quando una certa funzione è avvenuta, oppure quando si è verificato un inconveniente o una anomalia.

Sono normalmente alimentate a 110 volt, ma sono dotate di un piccolo autotrasformatore che riduce la tensione a 24 volt.

Possono assumere diverse colorazioni in funzione dell'evento ed in particolare:

Rosso	Pericolo od allarme
Giallo	Attenzione
Verde	Sicurezza

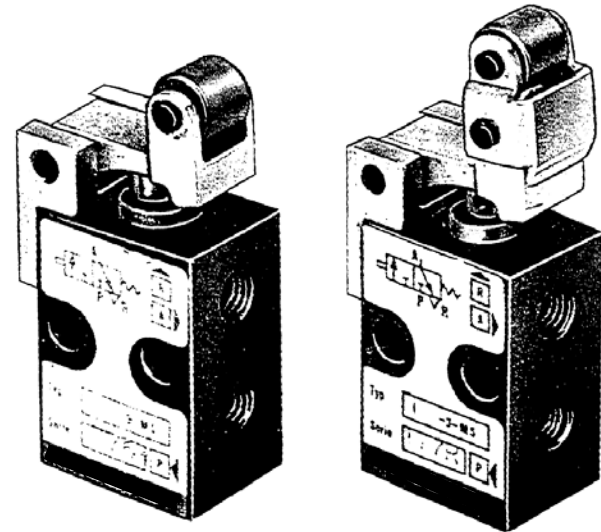
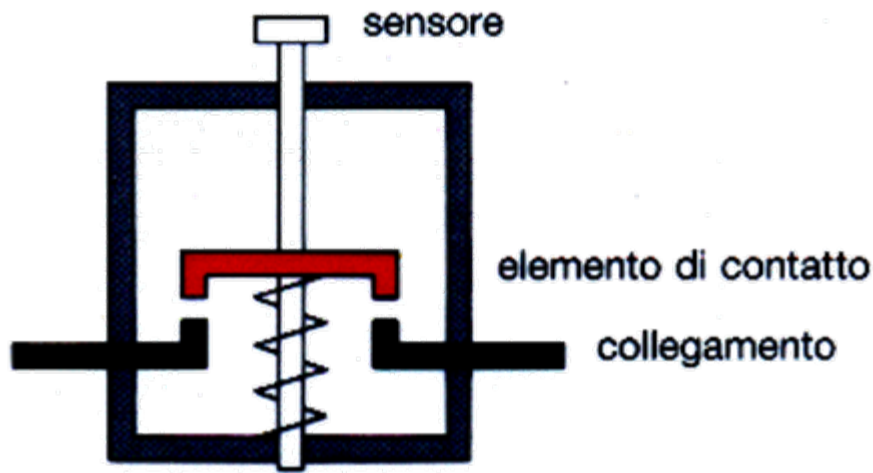
Sensori

Nei progettare una macchina o un impianto automatico o nel metterlo in funzione si ha bisogno di conoscere, durante i vari cicli di lavorazione, le varie posizioni assunte da carrelli, torrette, slitte, pistoni ecc. A questo scopo trovano largo impiego gli interruttori di posizionamento o di prossimità detti comunemente fine corsa.

In particolare il fine corsa è quell' interruttore di posizionamento che viene posto nella parte esterna della corsa che si vuole controllare.

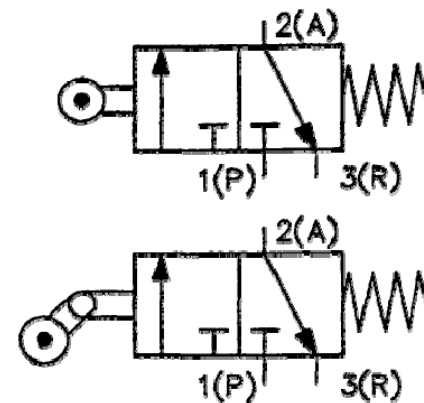
Il funzionamento degli interruttori di posizionamento si distinguono in: elettromeccanici, magnetici, elettronici, induttivi, capacitivi, ottici.

Sensore di finecorsa elettromeccanico

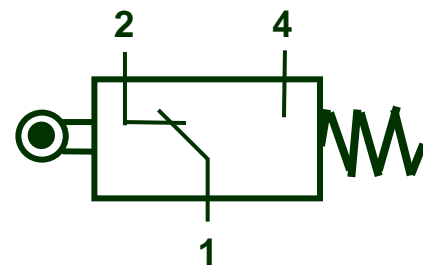
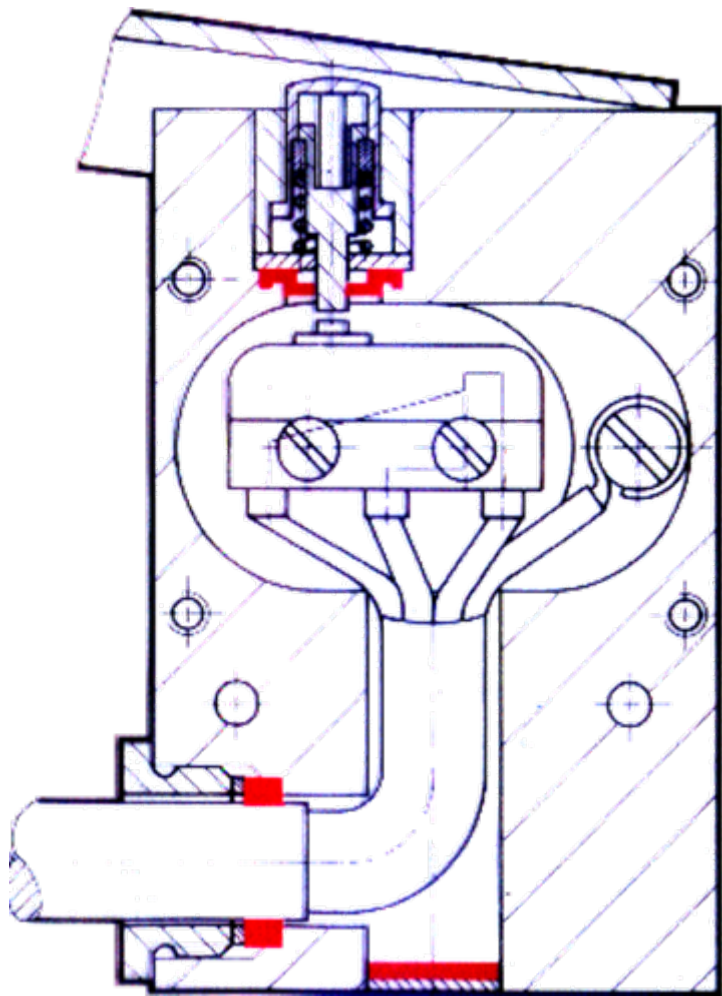


L'azionamento di un elemento di commutazione stabilisce un ponte tra due contatti elettrici, chiudendo un circuito elettrico.

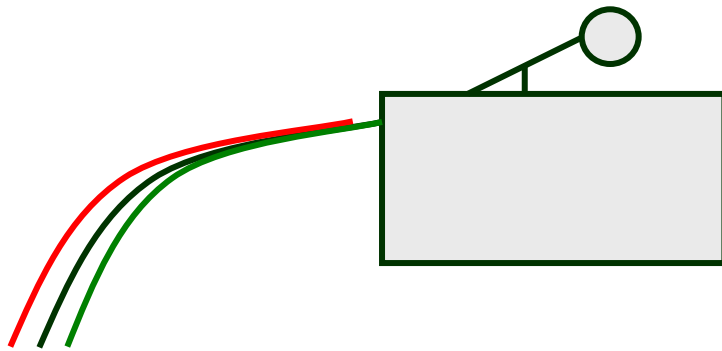
L'azionamento può avvenire manualmente o meccanicamente



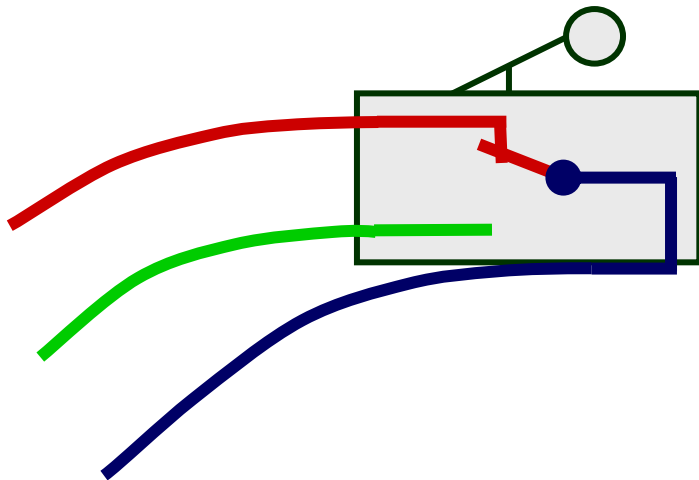
Fincorsa elettromeccanico



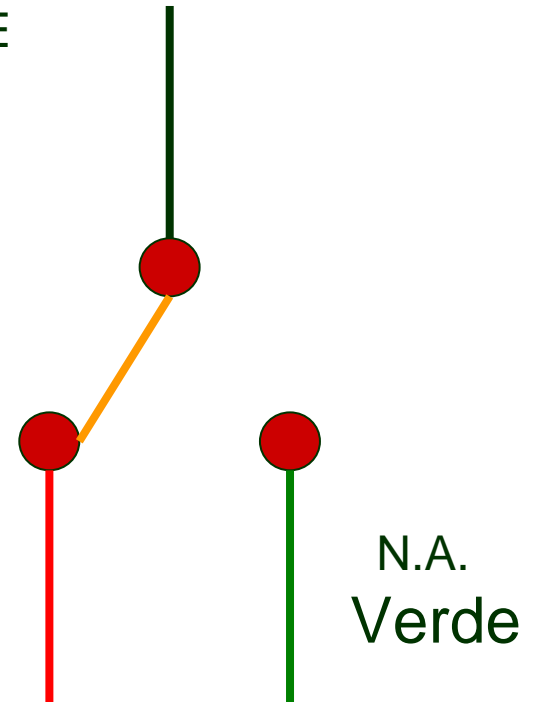
Collegamenti nel sensore elettromeccanico (I colori sono riferiti ai capicorda)



COMUNE
Nero



N.C.
Rosso



Sensori di Prossimità

I sensori di prossimità debbono rilevare la presenza di un oggetto in una certa regione di spazio senza interagire meccanicamente con l'oggetto stesso.

In generale, un sensore di prossimità è caratterizzato dalla generazione di un campo stazionario (magnetico, elettrico, ottico, acustico, fluido, etc.) in una certa regione di spazio (emettitore).

Un trasduttore opportuno rileva i parametri di campo e genera un segnale di uscita dipendente dai valori rilevati (ricevitore).

La presenza di un oggetto rilevabile entro lo spazio di azione produce alterazioni del campo generato, che causano variazioni dei parametri rilevati dal ricevitore, generando variazioni dei parametri di uscita.

Sensori di prossimità basati su variazioni di campo magnetico

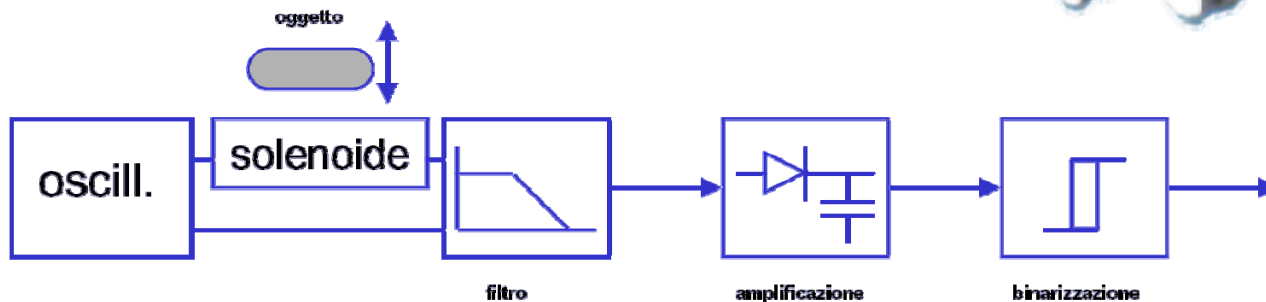
Un campo magnetico opportunamente generato viene alterato dalla presenza dell'oggetto da rilevare

- campo generato da solenoide stazionario viene perturbato dalla presenza di oggetti ferromagnetici che si magnetizzano per induzione (sensori ad induzione)**
- una sorgente (es. magnete permanente) viene fissata all'oggetto mobile, quindi il flusso magnetico concatenato al ricevitore cambia con in cambiare della posizione relativa (sensori a contatto REED)**

Sensori di prossimità ad induzione magnetica

Schema strutturale

- interazione di un oggetto metallico con un campo magnetico alternato
- la presenza dell'oggetto metallico altera la frequenza dell'oscillazione
- un filtro passa-basso opportunamente tarato trasforma la variazione di frequenza in una variazione di ampiezza



SENSORI MAGNETICI TIPO REED

Costituiti da due componenti

- una sorgente di campo magnetico, di solito un magnete permanente, collegata all'oggetto mobile (emettitore)
- un dispositivo di commutazione a contatti elettrici ospitato in una piccola ampolla in vetro contenente gas inerte

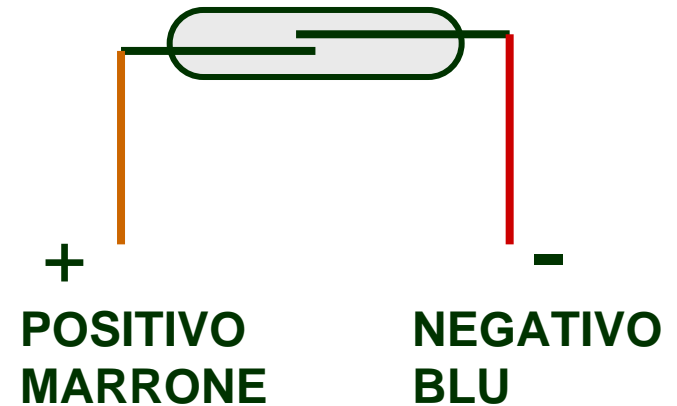
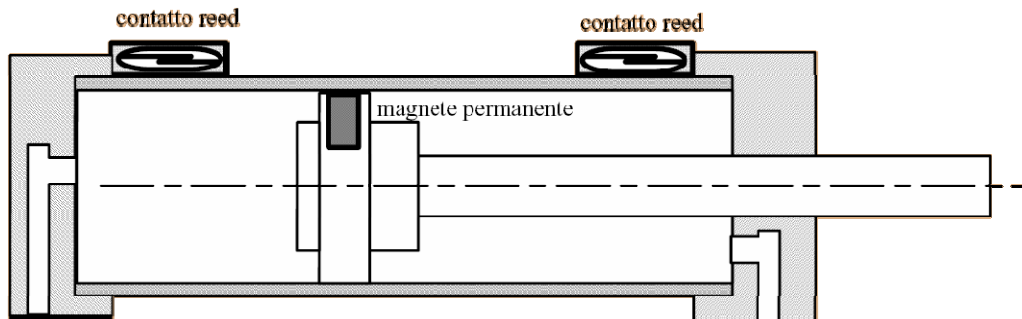
funzionamento

- il dispositivo di commutazione è costituito da due lamine elastiche di materiale paramagnetico che, in assenza di campo esterno, hanno una posizione di riposo tale da evitare il contatto tra i due estremi (contato aperto)
- la presenza di un campo magnetico con asse polare opportunamente disposto provoca la magnetizzazione per induzione con polarità opposte delle due lamine, i cui estremi si attraggono, portando alla chiusura del contatto elettrico
- il contatto si effettua con dei "Reed" i quali sono realizzati dentro un bulbo di vetro, ove si trova un gas inerte con una lamina piatta di rodio, che chiude il circuito quando è sottoposta ad un campo magnetico

Applicazione di sensori a contatto REED

Molto frequente come sensore di fine corsa in apparati con parti mobili

- costi contenuti
- ingombri ridotti
- elevata affidabilità e robustezza
- bassa frequenza di commutazione



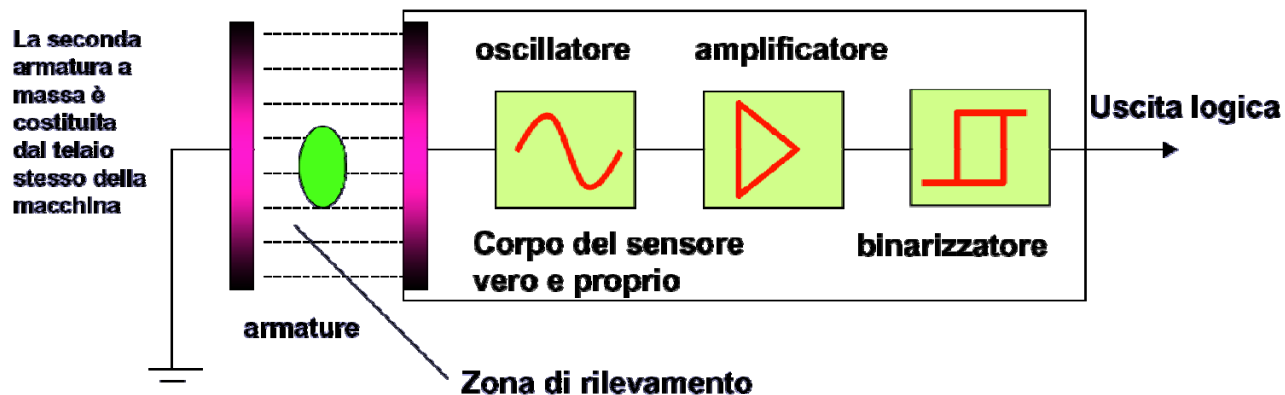
Esempio:
finecorsa integrati di
attuatori lineari
pneumatici

- magnete inglobato nel pistone
- camicia di materiale diamagnetico

Sensori di prossimità di tipo capacitivo

Basati sulla generazione di un campo elettrico tra le armature di un condensatore, avente intensità variabile periodicamente, i cui parametri sono modificati a seguito di eventuali modifiche delle caratteristiche del dielettrico per effetto della presenza dell'oggetto

- idonei al rilevamento di oggetti non metallici (vetro, plastica, etc)

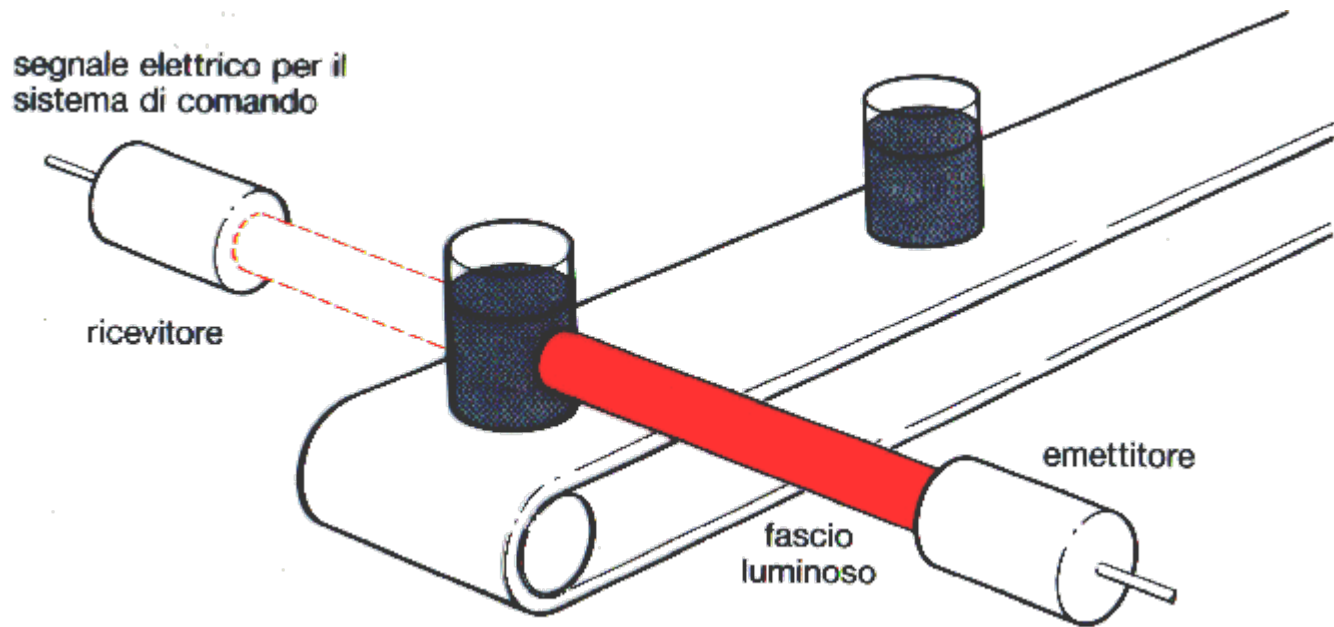


Sensori a fotocellula

Un sistema molto diffuso per il rilevamento di posizione di oggetti, di livelli, di fori ecc., sono le fotocellule. Esse si dividono essenzialmente in tre modelli a in base al metodo di rilevamento: a sbarramento o unidirezionali, a riflessione con catarifrangente, a reflex o tasteggio diretto.

- Le fotocellule a sbarramento si compongono di due parti: l'emettitore di luce e l'elemento fotosensibile presente nel ricevitore. Il fascio di luce che esce dall'emettitore tramite una lente focale viene concentrato su un ricevitore, questo essendo sensibile al cambiamento di luce che lo investe, cambia la sua condizione logica e quindi dà o nega un segnale.
- Le fotocellule a riflessione sono costruite in un unico blocco che contiene l'emettitore di luce e il ricevitore fotosensibile. La luce emessa è del tipo infrarosso e, per evitare l'influenza della luminosità esterna, la luce viene modulata. Il funzionamento delle fotocellule a riflessione viene agevolato con l'ausilio di un catarifrangente che viene montato sul lato opposto alla fotocellula stessa, in quanto come già detto l'unità emettitrice e quella ricevente sono montate nello stesso contenitore.
- Le fotocellule reflex o a tasteggio diretto si differenziano dalle precedenti in quanto l'oggetto che devono rilevare non interrompe il fascio di luce, ma lo riflette. Sono costruite in un unico contenitore dove risiede l'emettitore dell'infrarosso modulato e il ricevitore.

Sensore ottico per il controllo del livello di riempimento



La barriera fotoelettrica consiste di un elemento emettitore ed un elemento ricevitore. L'emettitore alimentato da corrente elettrica, emette luce infrarossa (diodi ad emissione di luce: LED)
Il ricevitore è un commutatore elettronico (fototransistor) che reagisce alla luce infrarossa: chiude il circuito quando è irradiato e lo apre quando non c'è luce infrarossa.

Elementi logici elettromeccanici

Le unità di elaborazione realizzate con tecnologia elettrica utilizzano:

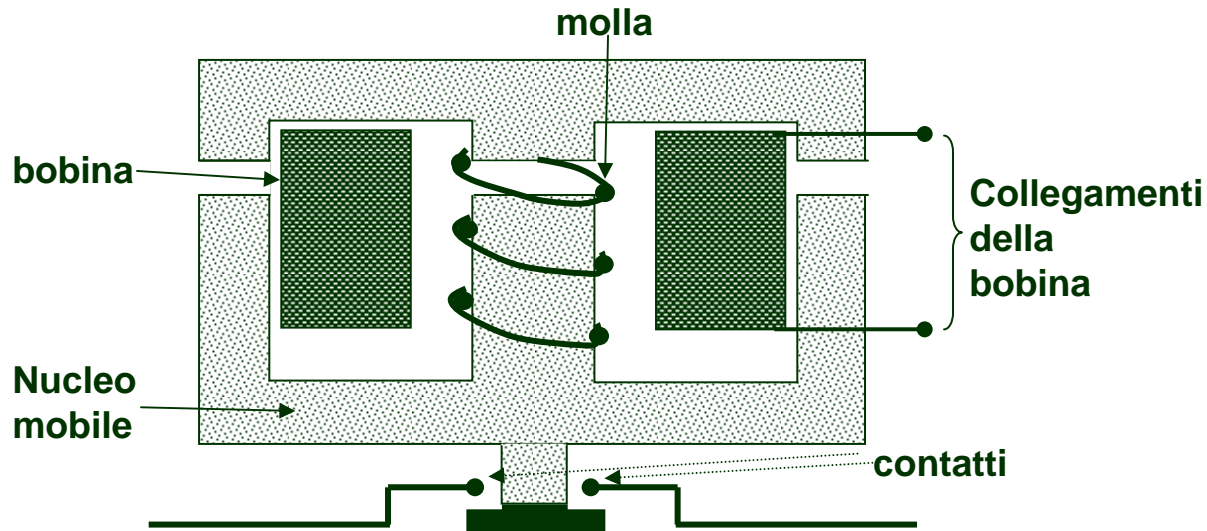
Contattori o più comunemente relé o teleruttori

Temporizzatori

Contattori elettromeccanici

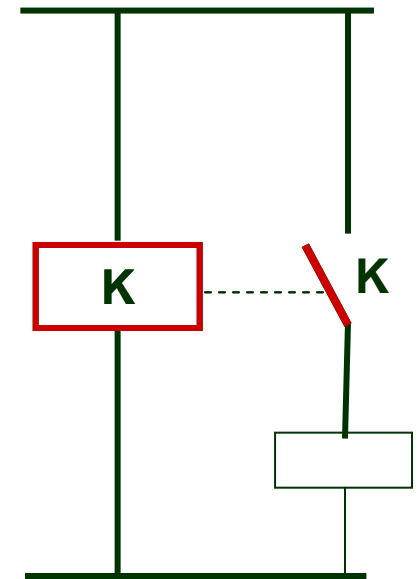
Relè: schema di principio

Quando si rilascia un pulsante, si ripristinano le condizioni precedenti al suo intervento. Affinché questo non avvenga, nei circuiti elettrici il pulsante non comanda mai direttamente per esempio un motore, una elettrovalvola o delle resistenze, ma li aziona sempre tramite un relè.

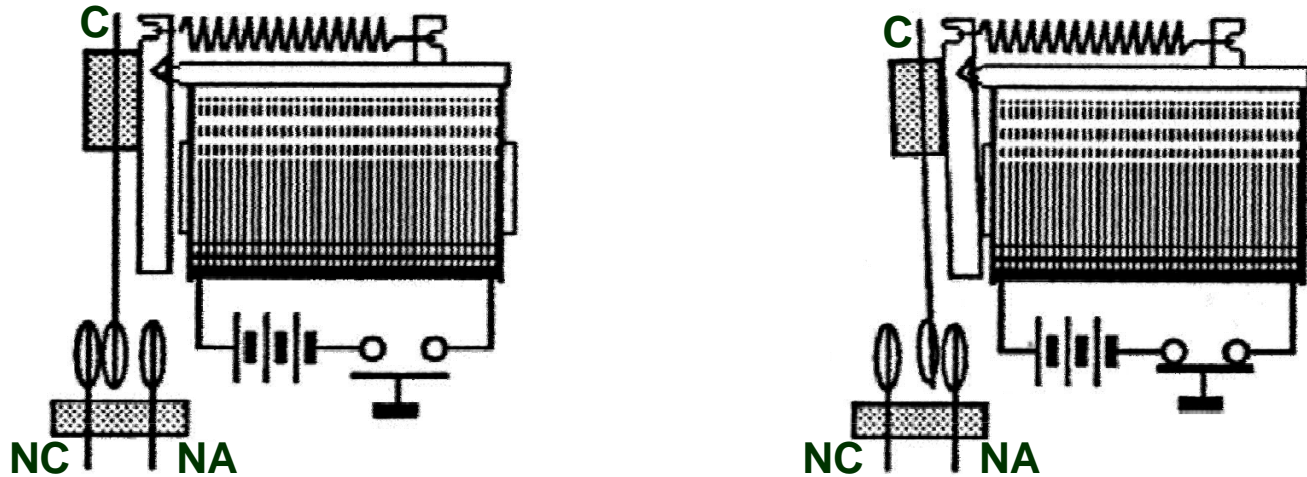


Contatti:

- semplice NA
- Semplice NC
- Doppio scambio 1NA + 1 NC
- Doppio scambio 2NA + 2 NC



Relè: schema fisico



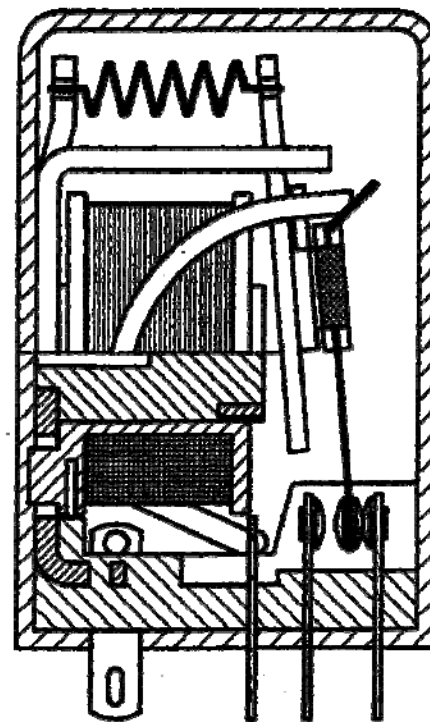
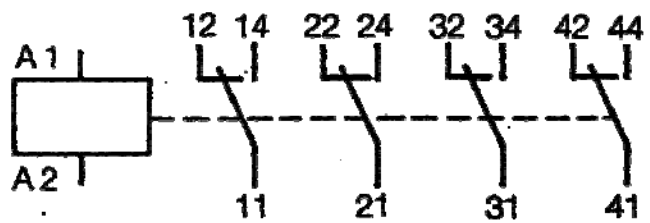
Il relè è costituito da un elettromagnete (nucleo con bobina), da un'ancora mobile posta ad un'estremità del nucleo e mantenuta distante dallo stesso mediante l'azione di una molla e da un certo numero di contatti.

Quando la bobina dell'elettromagnete è percorsa da corrente, l'ancora viene attratta ed agisce meccanicamente sui contatti che possono venire chiusi o aperti secondo la loro posizione iniziale.

I contatti possono essere:

Normalmente aperti (N.A.) quando l'azione di attrazione che subisce l'ancora ne provoca la chiusura. Normalmente chiusi (N.C.) quando l'azione che subisce l'ancora ne provoca l'apertura. Di scambio quando il contatto chiude un circuito e ne apre un altro. Quando la corrente inviata alla bobina viene interrotta la parte mobile ritorna ed i contatti riprendono la posizione di riposo.

Relè



Il contattore

Il contattore si può definire come un dispositivo meccanico di manovra ad azionamento automatico; esso è previsto per un numero elevato di manovre. Il contattore assume una sola posizione di riposo ed è capace di stabilire, interrompere, sopportare le correnti in condizioni ordinarie e in condizioni di sovraccarico che si stabiliscono nel circuito. Nella condizione di riposo, cioè con la bobina diseccitata, i contatti principali del contattore sono aperti; se invece fossero chiusi l'apparecchio si definirebbe chiuso a riposo. La forma costruttiva più diffusa è quella a pacco, denominazione derivata dalla forma stessa dell'apparecchio. Le operazioni di chiusura e di apertura di un contattore si eseguono alimentando e togliendo tensione alla bobina dell'elettromagnete che serve a dare il movimento alla parte mobile del contattore stesso.

L'insieme della bobina e del nucleo magnetico prende il nome di elettromagnete.

Il nucleo elettromagnetico è composto da due parti:

- parte fissa, dove è solitamente montata la bobina
- parte mobile, solidale al supporto di sostegno dei contatti mobili.

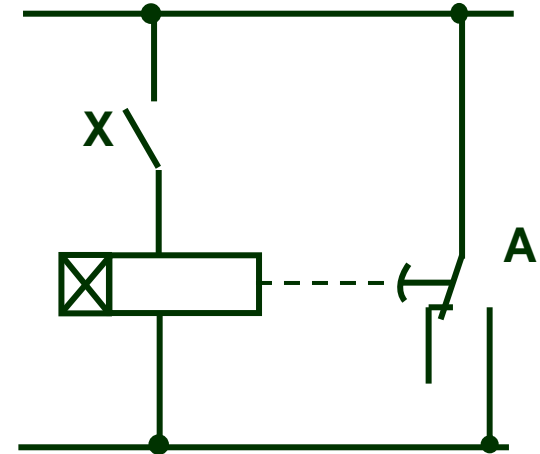
I contatti di un contattore si distinguono in:

- Contatti principali o di potenza, cioè costruiti in modo tale da sopportare la corrente del carico.
- Contatti ausiliari, che sono utilizzati per attivare segnalazioni, consensi, interblocchi, autoeccitazione e altre possibili funzioni ausiliarie.

Temporizzatori

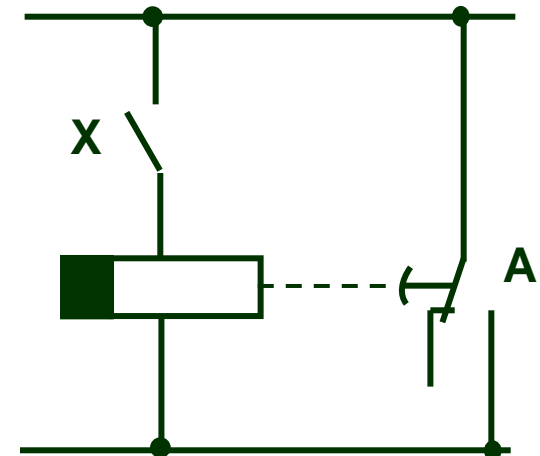
Temporizzatore ritardato all'attivazione

Dopo la chiusura del circuito elettrico di comando, ad opera del segnale in ingresso, il relè si attiva e chiude il circuito elettrico di uscita con un certo ritardo



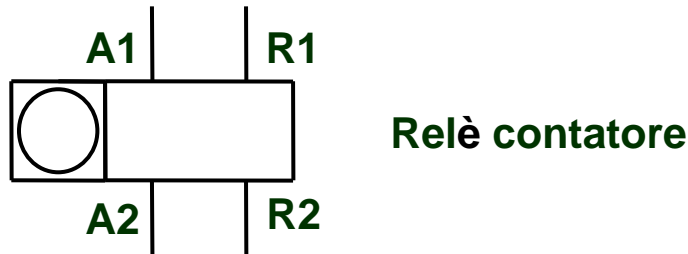
Temporizzatore ritardato alla disattivazione

Quando il segnale d'ingresso cessa e si apre il circuito elettrico che alimenta il relè, il circuito di uscita si apre con un certo ritardo



Relè contatore

Questo relè ha una bobina di set e una di reset. Il relè sente il fronte di salita del segnale, e ogni volta che si presenta incrementa la variabile del contatore. Quando questa variabile ha raggiunto il valore voluto, allora apre o chiude un circuito.

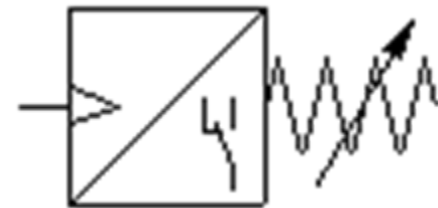
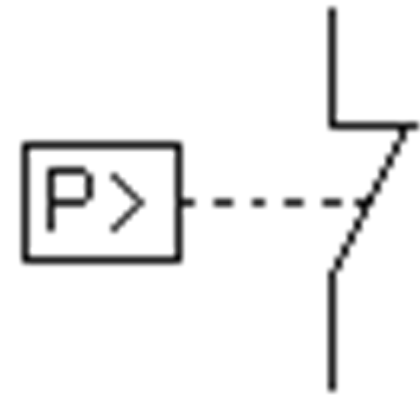


Il relè si eccita dopo che è stato contato un numero predefinito di impulsi di corrente fra le connessioni A1 e A2. Se viene applicato un potenziale fra le connessioni R1 e R2, il contatore viene resettato al suo valore predefinito. Con questo relè si può realizzare uno Stop automatico in un Ciclo Continuo.

Pressostato (interruzione)

Interruttore che si apre quando viene superata la pressione di inserzione preimpostata del sensore di pressione analogico. I pressostati vengono creati utilizzando un interruttore generale di interruzione e impostando una etichetta.

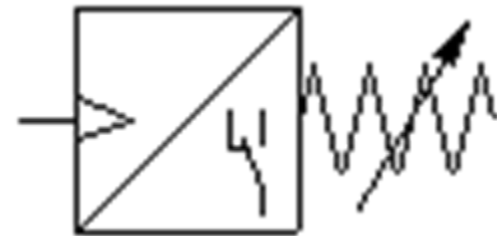
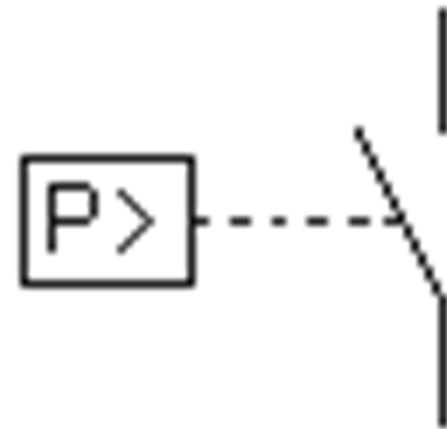
Il sensore di pressione misura la pressione e aziona il pressostato quando viene superata la pressione di inserzione regolabile.



Pressostato (chiusura contatto)

L'interruttore si chiude quando viene superata la pressione di inserzione preimpostata del sensore di pressione analogico. I pressostati vengono creati utilizzando un interruttore generale di interruzione e impostando una etichetta.

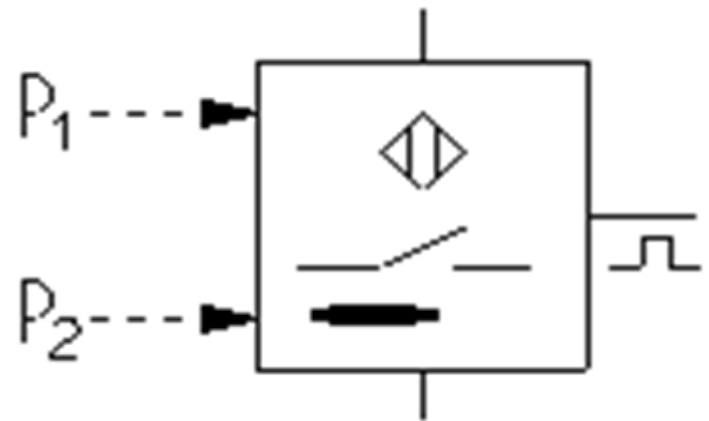
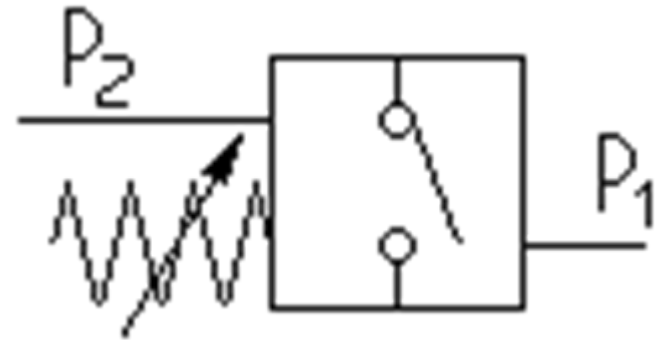
Il sensore di pressione misura la pressione e aziona il pressostato quando viene superata la pressione di inserzione regolabile.



Pressostato a pressione differenziale

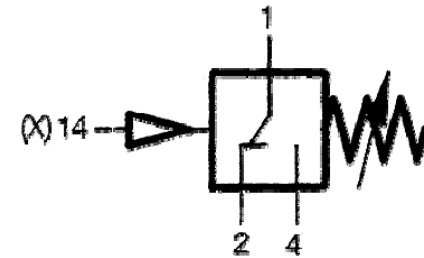
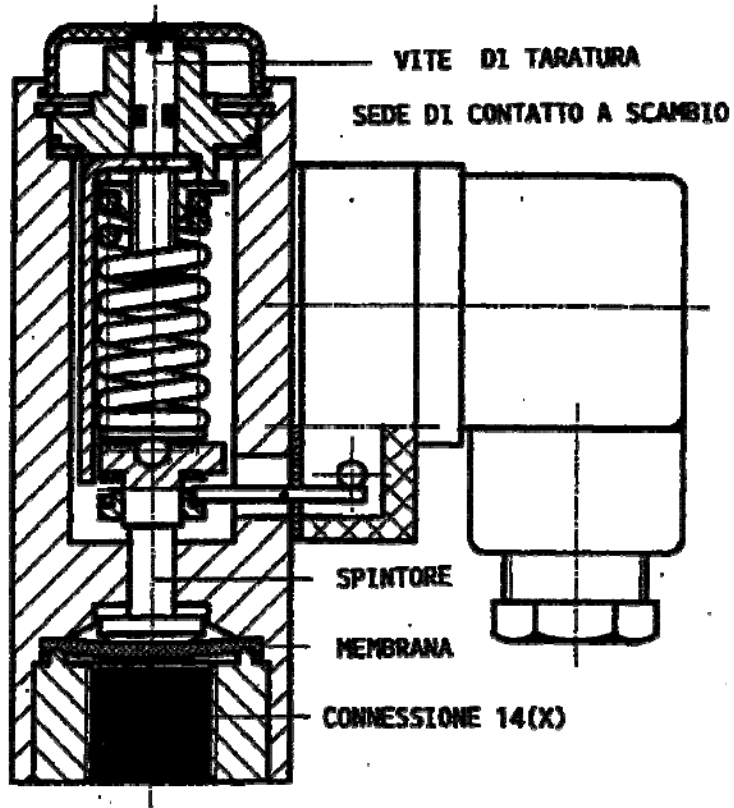
Il pressostato a pressione differenziale può servire da pressostato (connessione P1), da interruttore azionato dal vuoto (connessione P2) oppure da pressostato a pressione differenziale (P1-P2). Il rispettivo convertitore pneumatico-elettrico viene azionato quando la differenza di pressione fra P1 e P2 supera la pressione di inserzione regolabile.

Convertitore pneumatico - elettrico genera un segnale elettrico se viene superata la pressione differenziale impostata del pressostato a pressione differenziale.








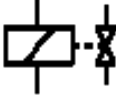


Pressostato

Trasduttore pneumo-elettrico tarabile



Elettropneumatica: simbologia

	Interruttore di chiusura a contatto		Interruttore di Interruzione
	Pulsante (chiusura di contatto)		Pulsante (Interruzione)
	Interruttore di arresto (chiusura di contatto)		Interruttore di arresto (Interruzione)
	Relè (bobina)		Solenoidi di valvola

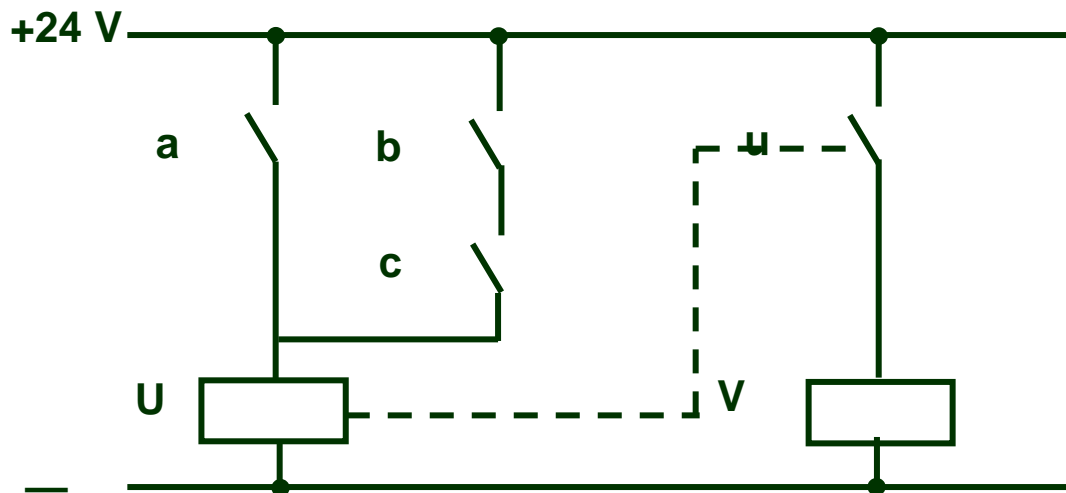
Schemai elettrici funzionali

Lo schema funzionale è costituito da due rette orizzontali che rappresentano il circuito di alimentazione e da un certo numero di rette verticali, ciascuna delle quali rappresenta un circuito completo

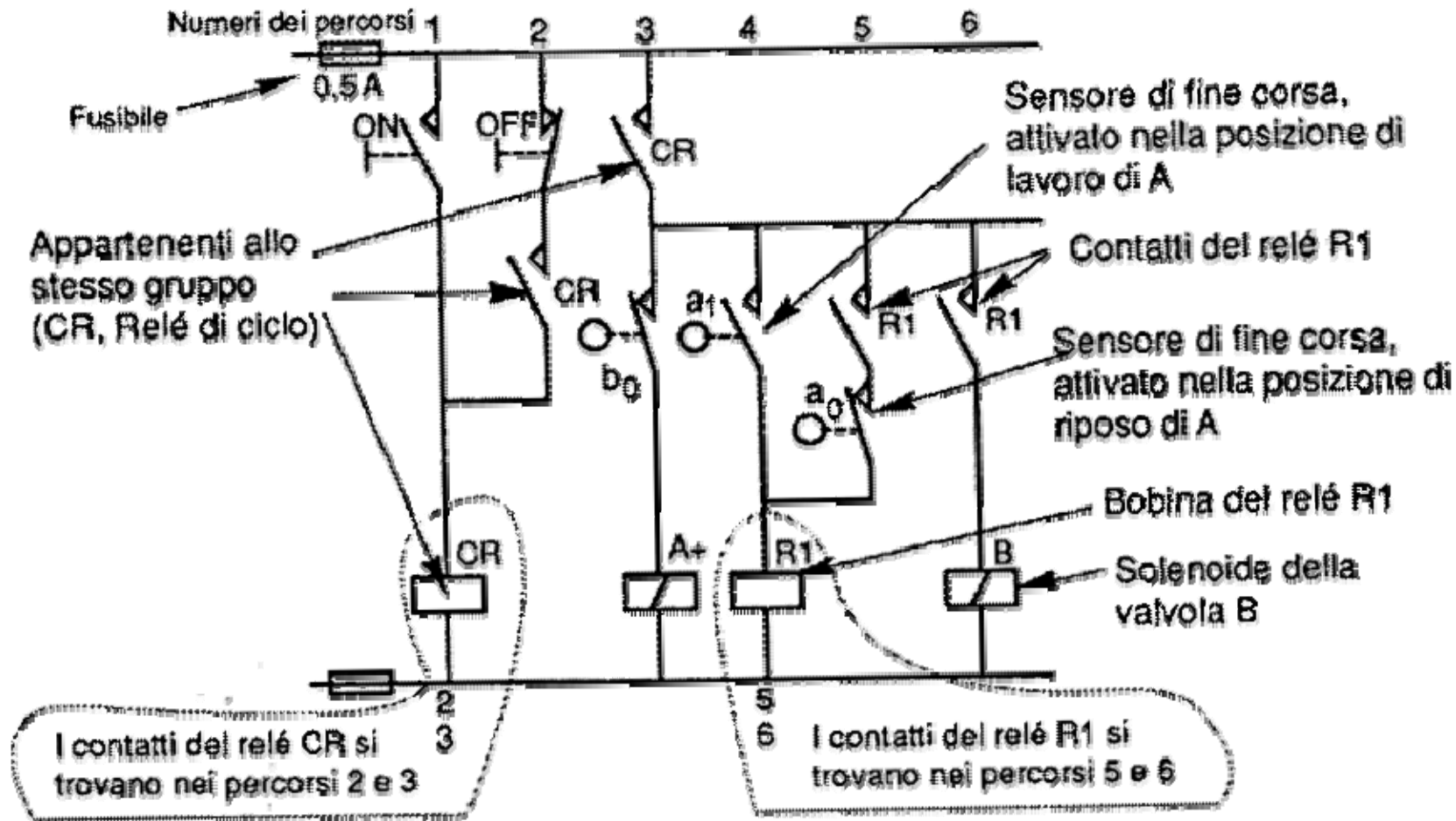
Ogni circuito inserito nelle rette verticali è composto da elementi ordinati dall'alto al basso secondo una logica funzionale

I circuiti vengono disegnati da sinistra verso destra secondo l'ordine temporale di entrata in funzione


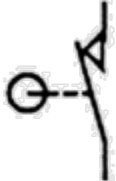


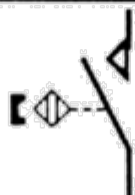
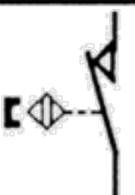
Elementi di uno stesso dispositivo debbono essere indicati nello schema dalla stessa lettera.



Riferimenti incrociati dei contatti



Principali simboli dei sensori di fine corsa

Sensori azionati con leva a rullo			
Normalmente aperto (N.A.)		Normalmente aperto (N.A.) contatto chiuso	
Normalmente chiuso (N.C.)		Normalmente chiuso (N.C.) contatto aperto	
Sensori di cilindro azionati magneticamente			
Normalmente aperto (N.A.)		Normalmente aperto (N.A.) contatto chiuso	

Realizzazione elettrica delle funzioni logiche

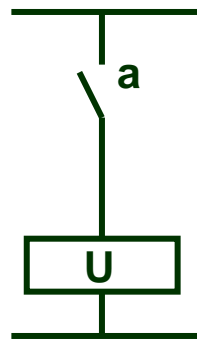
NOTA: $a = 0$ significa contatto disattivato

$a = 1$ significa contatto attivato

ma non bisogna associare la definizione al concetto di continuità elettrica:

infatti un contatto a è NA la sua attivazione ($a=1$) stabilisce la continuità, ma se a è un contatto NC la sua attivazione provoca l'interruzione del circuito

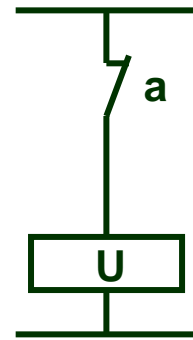
FUNZIONE YES



Contatto NA

a	U
0	0
1	1

FUNZIONE NOT

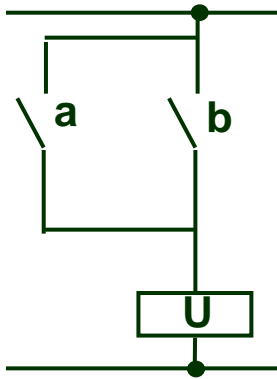


Contatto NC

a	U
1	0
0	1

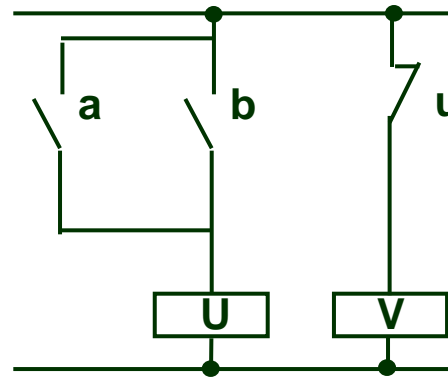
Funzioni logiche

FUNZIONE OR



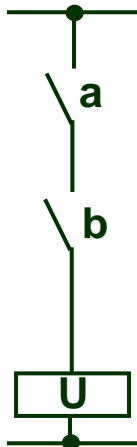
a	b	U
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

FUNZIONE NOR



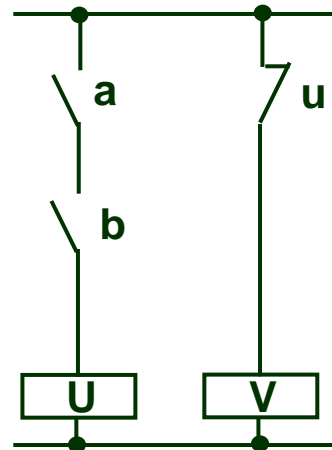
a	b	U	V
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

FUNZIONE AND



a	b	U
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

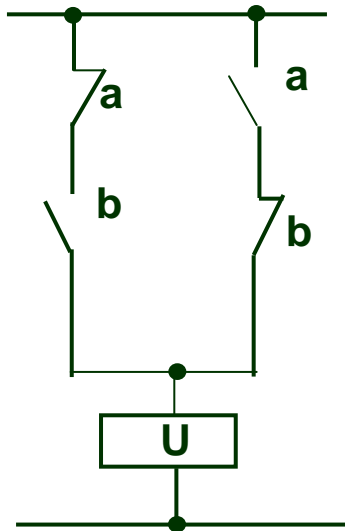
FUNZIONE NAND



a	b	U	V
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

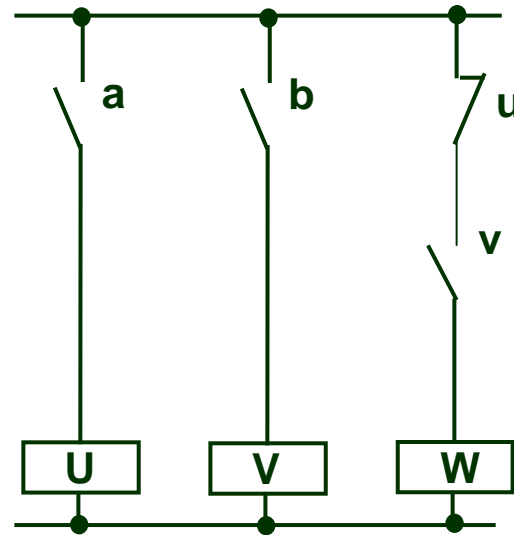
Funzioni logiche

FUNZIONE XOR



a	b	U
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

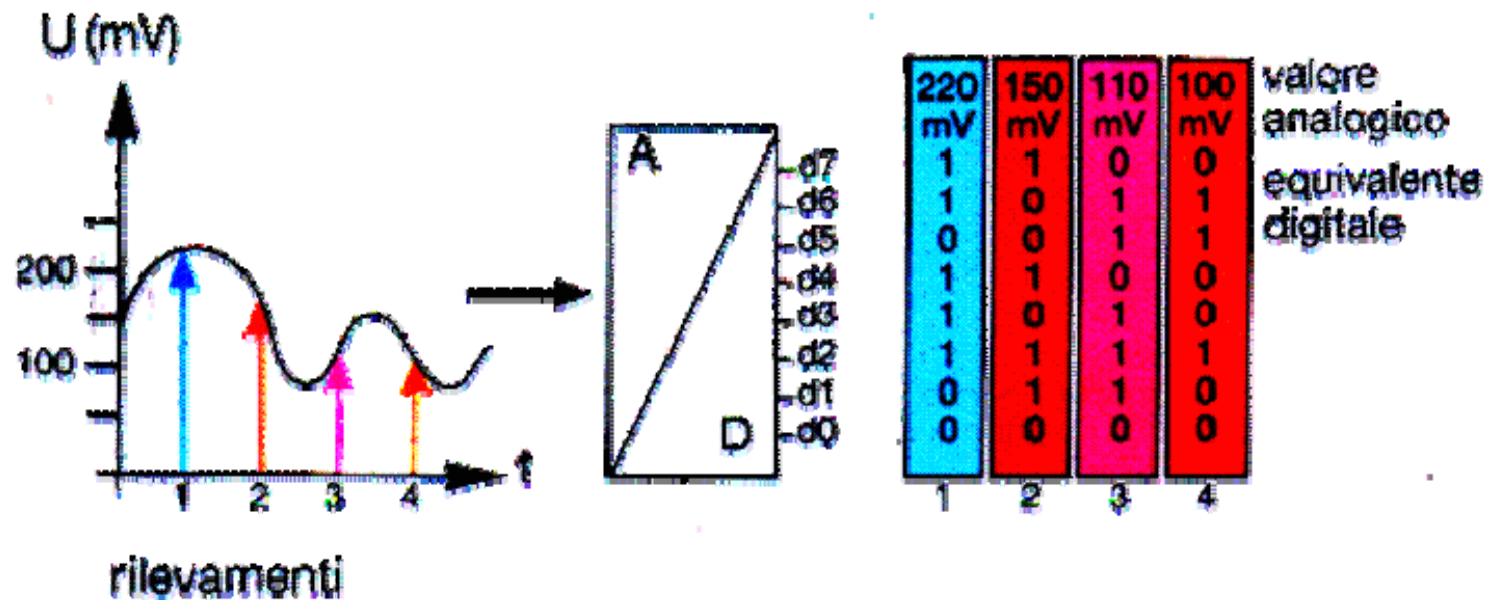
FUNZIONE NOT INIBIZIONE



a	b	U	V	W
0	0	0	0	0
0	1	0	1	1
1	0	0	1	0
1	1	1	0	0

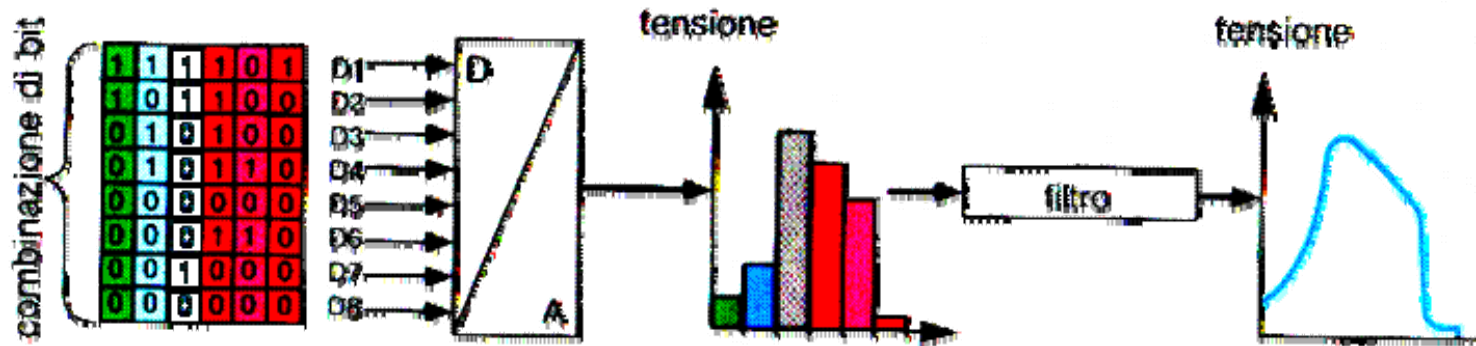
Conversione e adattamento dei segnali

Quando i sensori forniscono segnali analogici e il sistema di elaborazione può “capire” solo segnali digitali si deve realizzare una conversione analogico digitale mediante CONVERTITORI A/D



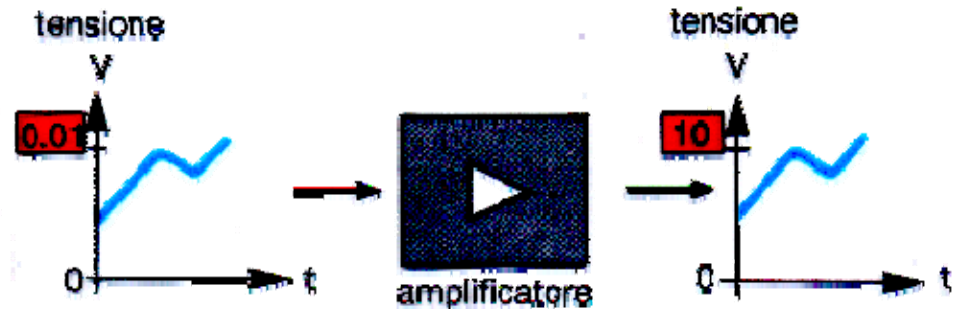
Conversione Digitale-analogica

Negli attuatori spesso è necessario trasformare segnali digitali in segnali analogici mediante CONVERTITORI D/A

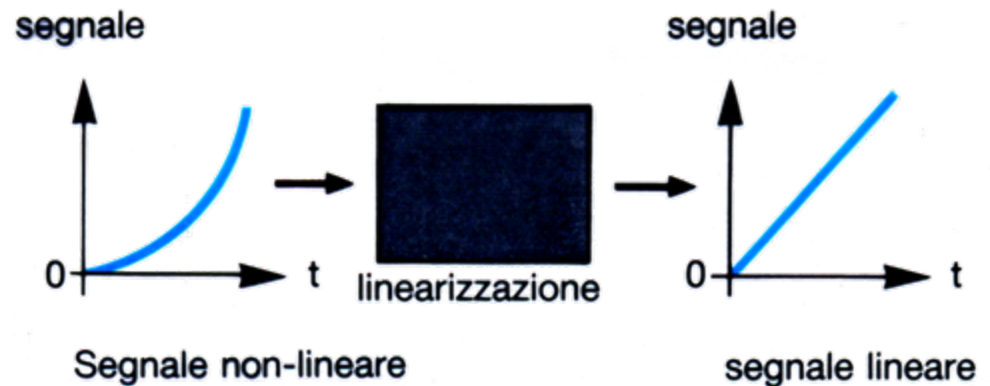


Amplificazione e linearizzazione

Se un dispositivo fornisce un segnale di valore troppo basso per poter essere elaborato, il segnale deve essere amplificato



Quando il segnale prodotto da un dispositivo non è lineare e la sua elaborazione richiede segnali lineari, allora si deve effettuare una linearizzazione del segnale



TEORIA ELETTRICA DI BASE

L'elettricità

Leggi di base

La potenza

Campo elettrico

Campo magnetico

Corrente alternata

Trasformatori

LEGGI DI BASE

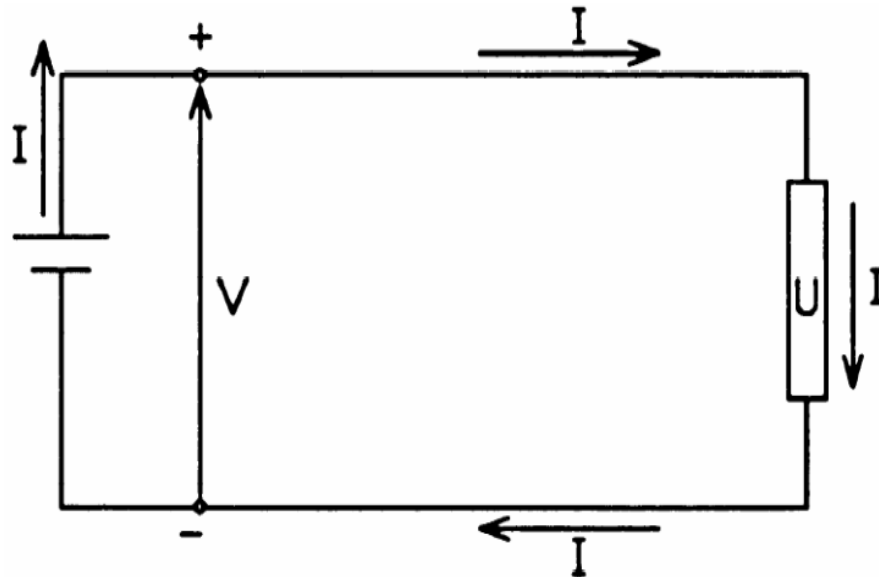
Circuito elettrico

Un circuito elettrico è formato da:

- Generatore di tensione
- Conduttore di collegamento
- Utilizzatore

Nel generatore di tensione si ha una trasformazione di energia di natura diversa (meccanica, chimica etc.) in energia elettrica.

Nell'utilizzatore l'energia elettrica viene trasformata nella forma di energia desiderata (es. meccanica: è il caso del motore elettrico; termica etc.) quindi l'utilizzatore è, in pratica, un **CONVERTITORE**



Legge di Ohm

Il movimento degli elettroni è ostacolato dagli urti con gli ioni atomici che fanno parte della struttura del conduttore. Questo ostacolo al flusso degli elettroni viene quantificato con una grandezza denominata **RESISTENZA ELETTRICA** misurata in **OHM**.

Le tre grandezze (**V – I – R**) sono legate fra loro dalla dipendenza dell'intensità di corrente

1 - dalla tensione, a resistenza costante

2 - dalla resistenza, a tensione costante

La legge di Ohm precisa che l'intensità di corrente **I è direttamente proporzionale alla tensione **V** e inversamente proporzionale alla resistenza **R**.**

Le relazioni possibili sono le seguenti:

$$I = \frac{V}{R} \quad R = \frac{V}{I} \quad V = R \times I$$

Il parallelo con l'Idraulica

Il salto di pressione in una condotta è proporzionale alla portata di fluido che vi scorre, così come la differenza di potenziale tra due punti di un conduttore è proporzionale alla corrente che vi passa

$$\Delta P \equiv Q$$

$$\Delta V \equiv I$$

Multipli e sottomultipli di uso più frequente

Prefisso	Fattore di moltiplicazione	Simbolo	Valore
Tera	10^{12}	T	1000000000000
Giga	10^9	G	1000000000
Mega	10^6	M	1000000
kilo	10^3	k	1000
etto	10^2	h	100
deca	10^1	da	10
unità	10^0		1
deci	10^{-1}	d	0.1
centi	10^{-2}	c	0.01
milli	10^{-3}	m	0.001
micro	10^{-6}	μ	0.000001
nano	10^{-9}	n	0.000000001
pico	10^{-12}	p	0.000000000001

Sistema Metrico

Grandezza	Unità primaria	Unità normalmente usate
Corrente(I)	Ampere(A)	Milliampere (mA) = 10^{-3} Amp Microampere (μ A) = 10^{-6} Amp Nanoampere(nA) = 10^{-9} Amp
Tensione(V)	Volt (V)	MilliVolt (mV) = 10^{-3} Volt MicroVolt (μ V) = 10^{-6} Volt
Resistenza(R)	Ohm (Ω)	Kiloohm ($k\Omega$) = 10^3 Ohm Megaohm ($M\Omega$) = 10^6 Ohm

Applicazione della Legge di Ohm

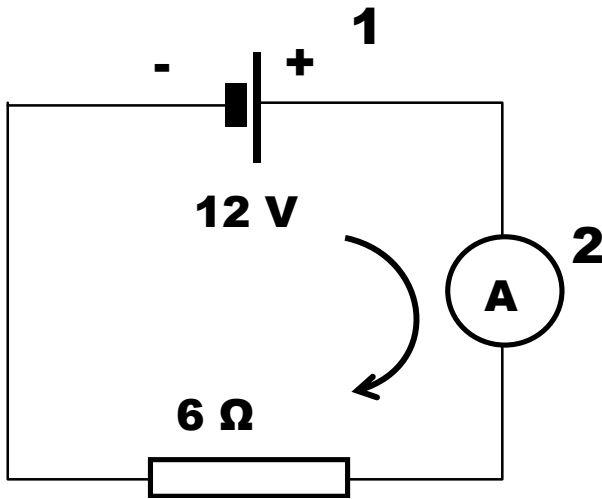


Fig. 1

$$I = V / R = 12 / 6 = \\ = 2 \text{ Ampere}$$

1. rappresenta una batteria a 12 V con l'indicazione del polo positivo e negativo
2. rappresenta un amperometro, cioè uno strumento per misurare la corrente (analogo ad un misuratore di portata) e che presumibilmente ha resistenza zero
3. rappresenta un resistore avente la resistenza uguale a 6 Ohm

Voltmetro

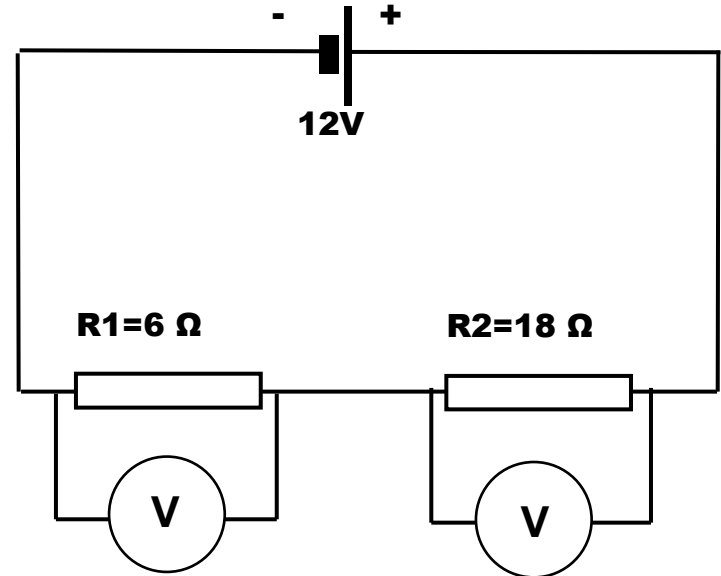
Per calcolare la caduta di tensione che si verifica tra i capi di ciascuna resistenza si applica la legge di Ohm:

$$V = I \times R$$

$$V1 = I \times R1 = 0,5 \times 6 = 3 \text{ V}$$

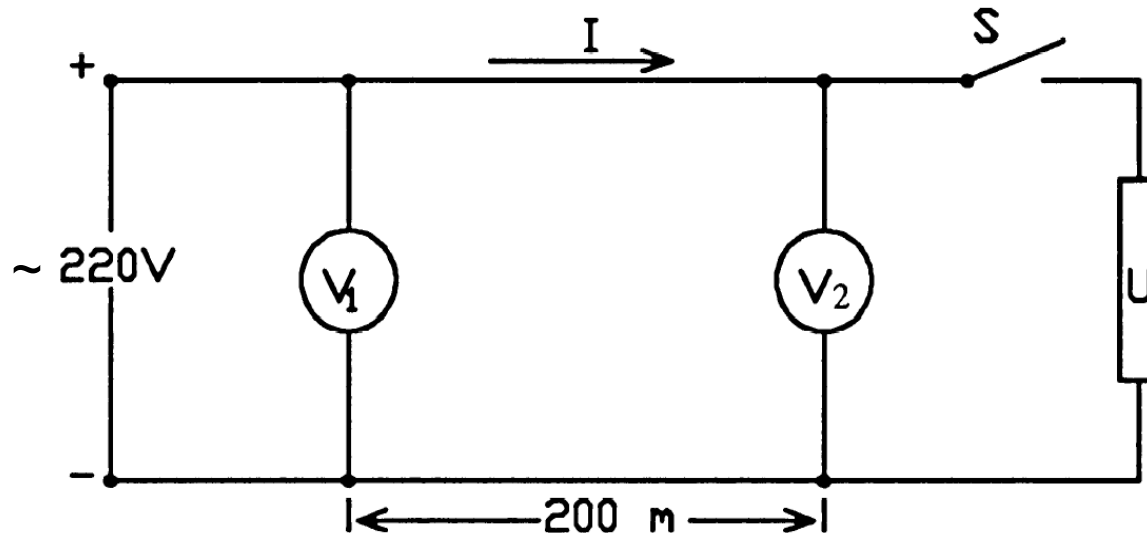
$$V2 = I \times R2 = 0,5 \times 18 = 9 \text{ V}$$

Lo strumento adoperato per misurare la tensione si chiama voltmetro e, diversamente dallo strumento che serve per misurare la pressione idraulica, richiede due collegamenti, cioè misura in realtà la DIFFERENZA di tensione tra i due capi.



Resistenza dei conduttori

Si pensi di aver realizzato l'allacciamento di un utilizzatore distante 200 m dalla linea di alimentazione a 220 V



Con interruttore (S) aperto si ha: $I = 0$ $V = 220$ V

Con interruttore (S) chiuso si ha ed es. $I = 15$ A $V_1 = 220$ V $V_2 = 190$ V

Si vede che con circuito percorso da corrente si verifica una caduta di tensione tra inizio e fine linea. Nel caso dell'esempio tale caduta vale 30 Volt. Il fatto non deve stupire poiché il conduttore presenta un ostacolo al passaggio degli elettroni, cioè presenta una sua resistenza R_L (resistenza della linea)

La Resistività

Per la legge di OHM si può scrivere: $V = I \times R_L$
e ciò conferma che si verifica una caduta di tensione solo quando
passa corrente. Nel caso dell'esempio: $V = 30 \text{ V}$ $I = 15 \text{ A}$

$$R_L = \frac{V}{I} = \frac{30}{15} = 2 \Omega \text{ (Ohm)}$$

La sezione del conduttore è la superficie utile [mm²] per il passaggio della corrente.

Materiale impiegato:

conduttori di pari lunghezza e sezione, ma di materiale differente, presentano resistenze diverse. La dipendenza della resistenza da materiale è indicata come RESISTIVITA' [ρ] e dall'indagine sperimentale risulta:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad \text{cioè} \quad \rho = \frac{R \times S}{L} \quad [\Omega \text{ mm}^2] \quad [m]$$

La resistività è la resistenza di un conduttore di 1 m di lunghezza e di 1 mm² di sezione:

La resistività di alcuni materiali

Valore di ρ per alcuni materiali a 20 ° C

Materiali	ρ in $\mu\Omega$ m
argento	0,016
Rame	0,018
oro	0,022
alluminio	0,028
zinco	0,06
ottone	0,07
ferro	0,1
platino	0,106
stagno	0,11
piombo	0,208
carbone	66,667

Effetto Joule

Un conduttore può variare la sua temperatura sia per riscaldamento esterno, sia al passaggio di corrente. In questo secondo caso si dice che ha riscaldamento per effetto JOULE

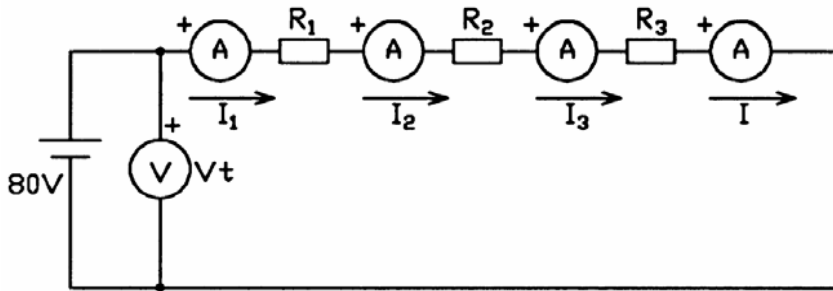
Come conseguenza si nota un aumento della resistenza.

I materiali hanno diversa struttura interna per cui, a parità di T, la variazione di R sarà diversa da materiale a materiale. Il parametro che caratterizza la variazione di resistenza di un particolare materiale si chiama COEFFICIENTE DI TEMPERATURA, viene indicato con " α " e la sua unità di misura è l'inverso del grado centigrado ($1/^\circ\text{C}$). Il coefficiente di temperatura rappresenta la variazione di resistenza di un conduttore di 1Ω dovuta alla variazione di temperatura di 1°C .

Per gli avvolgimenti in rame delle macchine elettriche, le norme C.E.I. prevedono che i valori di resistenza degli stessi siano valutati a 75°C .

Collegamenti in serie

Nel collegamento IN SERIE le resistenze sono collegate "una dietro l'altra" in modo che le stesse sono attraversate dalla stessa corrente. Esaminiamo il comportamento della **corrente** e della **tensione**:



Comportamento della corrente

$$V_t = 80V \quad R_1 = 10\Omega \quad R_2 = 20\Omega \quad R_3 = 50\Omega$$

Gli amperometri hanno tutti la stessa indicazione, 1A, per cui $I_1 = I_2 = I_3 = I_t$

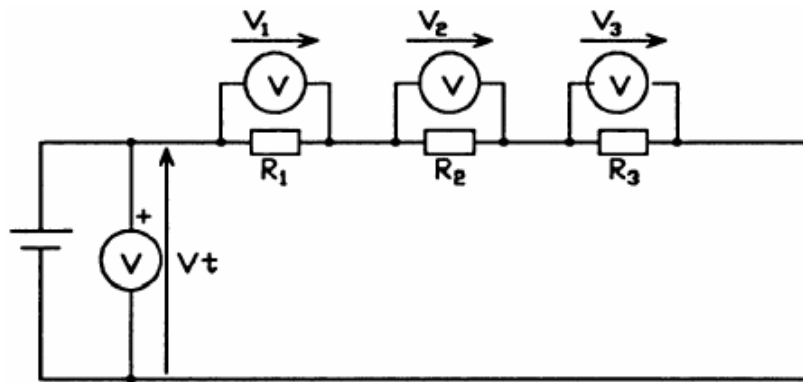
Comportamento della tensione

Verificato che la corrente è uguale in tutte le resistenze, si inseriscono dei Voltmetri in modo da misurare la tensione ai morsetti (V_t) e le tensioni ai capi di ogni resistenza. I Voltmetri danno le seguenti indicazioni:

$$V_1 = 10V \quad V_2 = 20V \quad V_3 = 50V \quad V_t = 80V$$

Si può constatare che:

- ogni tensione parziale è inferiore a quella totale
- la tensione totale è uguale alla somma delle tensioni parziali



$$V_t = V_1 + V_2 + V_3$$

Resistenza equivalente (serie)

Applicando la legge di Ohm ad ogni resistenza è possibile eseguire una verifica con il calcolo:

$$V1 = R1 \times I = 10 \times 1 = 10V$$

$$V2 = R2 \times I = 20 \times 1 = 20V$$

$$V3 = R3 \times I = 50 \times 1 = 50V$$

$$Vt = v1 + V2 + V3 = (R1 + R2 + R3) I$$

Pertanto la caduta di tensione è proporzionale al valore della resistenza. Se le tre resistenze collegate in serie vengono sostituite da un'unica resistenza di valore $R_s = R1 + R2 + R3 = 10 + 20 + 50 = 80\Omega$, il generatore eroga la stessa corrente di prima;

$$I = \frac{Vt}{R_s} = \frac{80}{80} = 1 \text{ A}$$

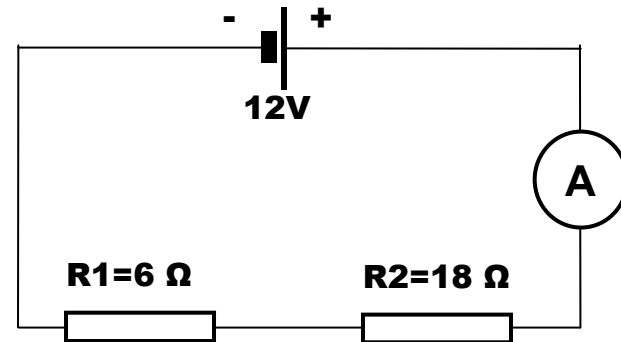
La resistenza $R_s = 80\Omega$ sostituisce l'intero collegamento, perciò viene chiamata **RESISTENZA EQUIVALENTE**

Nel collegamento in serie la resistenza equivalente è uguale alla somma dei valori delle resistenze parziali:

$$R_s = R1 + R2 + \dots + R_n$$

Esempio: Resistenze in serie

Molto spesso un circuito comprende più di una resistenza, per cui è necessario considerare il loro effetto complessivo. L'esempio mostrato in figura illustra un circuito con due resistenze in serie. Siccome tutta la corrente che percorre il circuito deve attraversare entrambe le resistenze, la resistenza totale si può calcolare semplicemente sommando le due resistenze:



$$R_{\text{tot}} = R_1 + R_2 = 6 + 18 = 24 \Omega$$

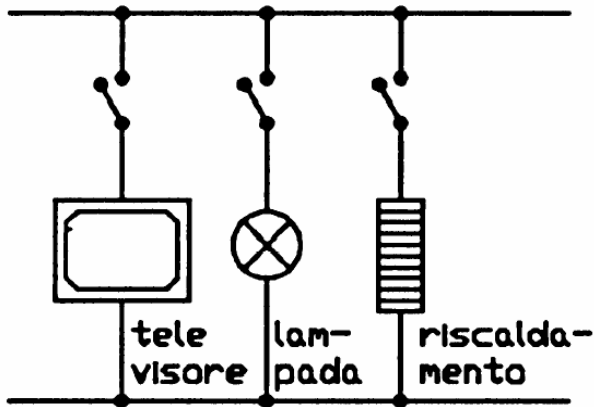
Applicando la legge di Ohm, si ha:

$$I = V / R_{\text{tot}} = 12 / 24 = 0,5 \text{ A}$$

E se $R_1 = 15 \Omega$ e $R_2 = 45 \Omega$ Quale sarebbe stato il valore della corrente?

Con quale valore di resistenza si sarebbe potuto avere una corrente di 6A?

Collegamento in parallelo

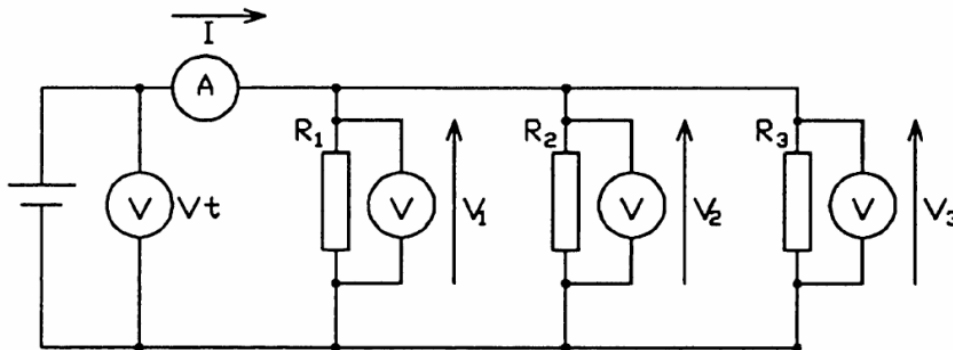


Negli impianti elettrici è possibile inserire o disinserire indipendentemente degli utilizzatori. Questo è caratteristico del collegamento in parallelo: gli utilizzatori sono allacciati parallelamente uno dall'altro allo stesso generatore di tensione.

Esaminiamo il comportamento della **tensione** e della **corrente**

Comportamento della tensione

$$V_t = 80V \quad R_1 = 10\Omega \quad R_2 = 20\Omega \quad R_3 = 50\Omega$$

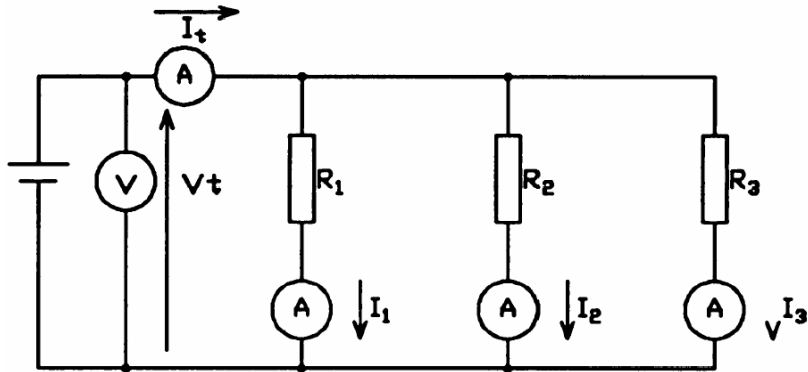


I voltmetri danno tutti la stessa indicazione: $V=80V$

Se le resistenze vengono collocate in parallelo, su tutte le resistenze si stabilisce la medesima tensione:

$$V_t = V_1 = V_2 = V_3$$

Legge di Kirchoff



$V_t = 80V$ $R_1 = 10\Omega$ $R_2 = 20\Omega$ $R_3 = 50\Omega$
Nello stesso circuito di prima, verificato che la tensione ai capi di ogni resistenza è uguale, si inseriscono degli amperometri in modo da misurare la corrente che attraversa ogni singola resistenza e la corrente complessiva erogata dal generatore.

Applicando la legge di OHM ad ogni resistenza è possibile eseguire una verifica con il calcolo:

Gli amperometri danno le seguenti indicazioni:

$$I_1 = 8A \quad I_2 = 4A \quad I_3 = 1,6A \quad I_t = 13,6A$$

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3$$

Si può constatare che:

- ogni corrente parziale è inferiore a quella totale
- *la corrente totale è uguale alla somma delle correnti parziali*

Questa è nota come Legge di Kirchoff:

“La somma algebrica delle correnti di un nodo è uguale a zero”

$$I_1 = \frac{V_t}{R_1} = \frac{80}{10} = 8A$$

$$I_2 = \frac{V_t}{R_2} = \frac{80}{20} = 4A$$

$$I_3 = \frac{V_t}{R_3} = \frac{80}{50} = 1,6A$$

Resistenza equivalente (parallelo)

Pertanto la corrente è inversamente proporzionale al valore della resistenza. Il generatore di tensione ($V_t = 80V$) alimenta le tre resistenze e fornisce un'intensità di corrente $I_t = 13,6A$.

Si avrebbe questa stessa intensità di corrente anche se, al posto delle tre resistenze, ci fosse un'unica *resistenza equivalente*, che per la legge di Ohm assume il valore di:

$$R_p = \frac{V_t}{I_t} = \frac{80}{13,6} = 5,88\Omega$$

Risulta evidente che la resistenza equivalente è minore della più piccola resistenza parziale del parallelo.

Ricaviamo il legame tra resistenza equivalente e le resistenze parziali.

Dato che: $I_t = I_1 + I_2 + I_3$

per la legge di Ohm avremo

$$\frac{V_t}{R_p} = \frac{V_t}{R_1} + \frac{V_t}{R_2} + \frac{V_t}{R_3} \quad \text{da cui} \quad \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \left[\dots + \frac{1}{R_n} \right]$$

Nel caso di due resistenze in parallelo si ha:

$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

e se $R_1 = R_2 = R$ allora $R_p = \frac{R}{2}$

Esempio: Resistenze in parallelo

Se le resistenze sono collegate in parallelo, come illustrato in figura, nel circuito si creano due percorsi per la corrente.

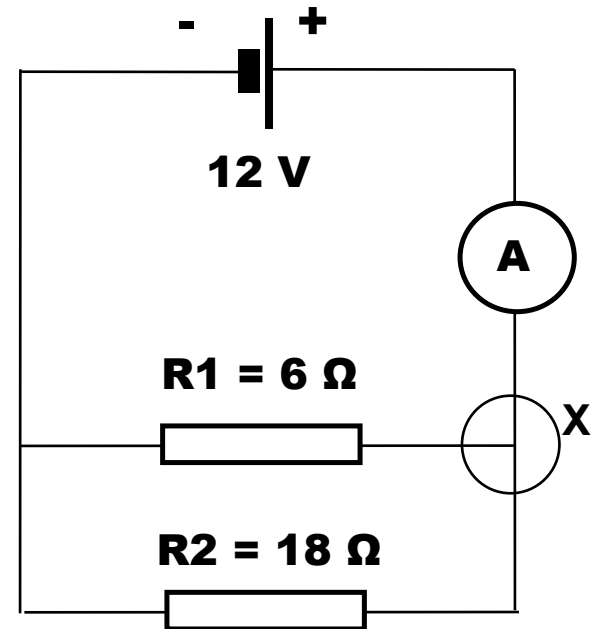
La resistenza effettiva del circuito si può calcolare utilizzando la seguente formula:

$$1 / R_{\text{tot}} = 1 / R_1 + 1 / R_2 = 1/6 + 1/18 = 4/18$$

per cui: $R_{\text{tot}} = 18 / 4 = 4,5 \Omega$

Applicando la legge di Ohm, come prima, si ha:

$$I = V / R_{\text{tot}} = 12 / 4,5 = 2,67 \text{ A}$$

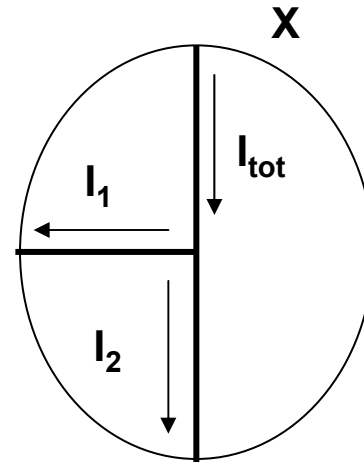


In questo caso se si volesse avere ancora una corrente totale di 6A quali valori di resistenza bisognerebbe adottare?

E se avessimo 10 resistenze uguali in parallelo di 20 Ω ciascuna, quale sarebbe il valore della corrente totale?

Legge di Kirchoff

Esaminiamo più da vicino ciò che accade nel nodo X:



“La somma algebrica delle correnti nel nodo è uguale a zero”

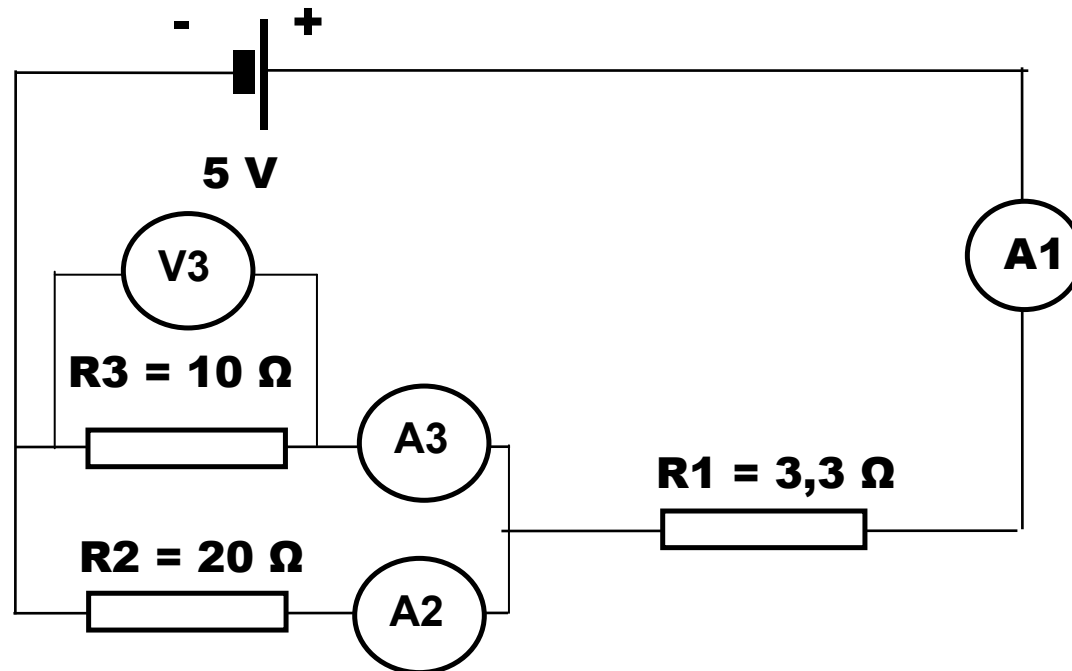
In altri termini la corrente totale che entra in un nodo è uguale alla corrente totale che ne esce.

Le correnti che entrano sono considerate positive, mentre le correnti che escono sono considerate negative, perciò nel caso del nodo X in figura:

$$I_{tot} - I_1 - I_2 = 0 \quad \text{oppure:} \quad I_{tot} = I_1 + I_2$$

Esempio

Si calcolino le indicazioni degli amperometri e del voltmetro inseriti nel circuito della figura



LA POTENZA

Potenza elettrica

Si consideri il seguente esempio:

- In un cantiere due paranchi azionati da due motori elettrici sollevano pesi uguali per uguale altezza.
- Evidentemente compiono lo stesso lavoro ($F \cdot h$). Uno esegue il sollevamento in 10 s, l'altro in 40 s
- Volendo definire le caratteristiche parametriche dei due motori, è chiaro che il lavoro appare una grandezza inadeguata: i due motori risulterebbero uguali. Invece è evidente che il primo ha una "capacità di svolgere lavoro" maggiore del secondo.
- La grandezza adatta a caratterizzare i motori è la **POTENZA**. Il simbolo della grandezza è P .

Definizione di Potenza

La potenza rappresenta il lavoro che può essere compiuto nell'unità di tempo, e la sua unità di misura è il Watt (W):

$$\text{Potenza} = \frac{\text{Lavoro}}{\text{tempo}} = \frac{\text{Energia}}{\text{tempo}} = \frac{\text{Joule}}{\text{s}} \quad [\text{Watt}]$$

L'Energia è quindi la potenza sviluppata nell'unità di tempo:

$$\text{Energia} = \text{Potenza} \times \text{tempo} = \text{Wattora (Wh)}$$

$$1 \text{ Wh} = 1\text{W} \times 3.600\text{s} = 3600 \text{ J}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ Kwh} &= 1000 \text{ Wh} = \\ &= 1000 \text{ W} \cdot 3.600 \text{ s} = \\ &= 3.600.000 \text{ J} \end{aligned}$$

L'aspetto pratico di misurare l'energia in Kwh appare così evidente.

$$\begin{aligned} P &= \frac{E}{t} = \frac{V \cdot I \cdot t}{t} = V \cdot I \\ P &= V \cdot I \quad [\text{W}] \end{aligned}$$

La legge di Joule

La tensione fra due punti può anche essere vista come il lavoro compiuto per portare una carica unitaria da un punto all'altro.

Se nell'unità di tempo vengono portate I cariche da un estremo all'altro di un resistore, tra i quali esiste la differenza di potenziale V , si compirà, dunque, un lavoro per unità di tempo pari a VI , cioè il resistore sarà interessato da una *Potenza VI*.

$$P = \frac{E}{t} = \frac{V \cdot I \cdot t}{t} = V \cdot I \text{ [W]}$$

L'Energia associata alla potenza VI che interessa un resistore viene dissipata, o meglio trasformata in un altro tipo di energia: calore. Applicando la legge di Ohm la potenza dissipata sarà espressa da:

$$P = R \times I^2 \text{ [W]}$$

Potenza dissipata da una resistenza

Partendo dall'espressione della potenza elettrica $P = V \cdot I$

Se alla tensione V si sostituisce l'espressione data dalla legge di Ohm $V = R \cdot I$ si ottiene $P = V \cdot I = (R \cdot I) \cdot I$ cioè

$$P = R \cdot I^2$$

Se invece alla corrente I si sostituisce l'espressione

$$I = \frac{V}{R} \text{ si ottiene } P = V \cdot I = V \cdot \frac{V}{R} \text{ cioè } P = \frac{V^2}{R}$$

In definitiva, il calcolo della potenza può avvenire con le seguenti tre relazioni:

$$P = V \cdot I$$

$$P = R \cdot I^2$$

$$P = \frac{V^2}{R}$$

La potenza dissipata da una resistenza è proporzionale al quadrato della corrente oppure al quadrato della tensione.

Quantità di calore dissipato

Gli apparecchi formati da sole resistenze possono utilizzare l'energia che ricevono solamente trasformandola in calore e vengono quindi chiamati elementi inerti.

La quantità di calore che essi possono produrre si ottiene dal valore di energia elettrica che essi dissipano, corrispondente a:

$$E = R \times I^2 \times t$$

dove t rappresenta il tempo durante il quale avviene il passaggio della corrente I. Se t è in sec l'energia sarà in joule, se t è espresso in ore essa sarà in wattora.

Per conoscere l'energia dissipata in calore, occorrerà moltiplicare l'energia per l'equivalente del calore (1wh= 0,860 Cal o anche 1kcal = 4186 Joule).

Quindi l'energia dissipata in Calorie sarà:

$$E[\text{Cal}] = 0,00024 R \times I^2 \times t \text{ (t in sec)}$$

$$E[\text{Cal}] = 0,860 R \times I^2 \times t \text{ (t in ore)}$$

Potenza elettrica nel collegamento in serie

Si consideri il seguente circuito:

Essendo noti i valori della tensione e della resistenza per il calcolo della potenza si avrà:

$$P = \frac{V^2}{R_1} = \frac{220^2}{107} = 452,3 \text{ W}$$

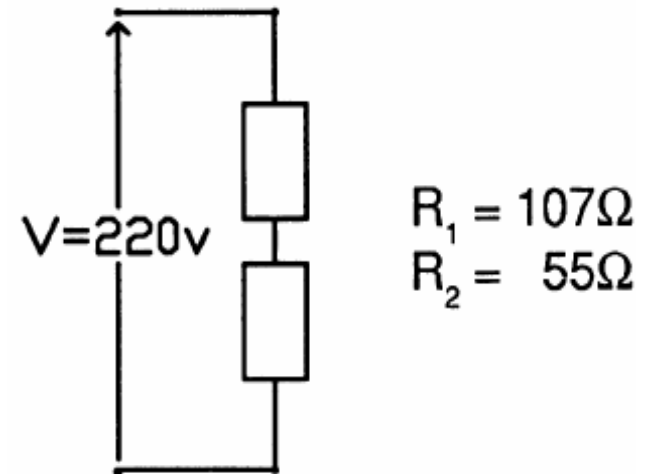
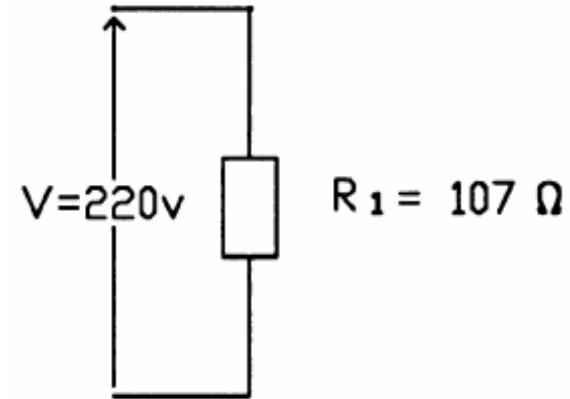
Mantenendo invariata la tensione, ad R1 si metta in serie una resistenza R2:

La resistenza equivalente è:

$$R_s = R_1 + R_2 = 107 + 55 = 162\Omega$$

Pertanto la potenza sarà:

$$P' = \frac{V^2}{R_s} = \frac{220^2}{162} = 298,9 \text{ W}$$



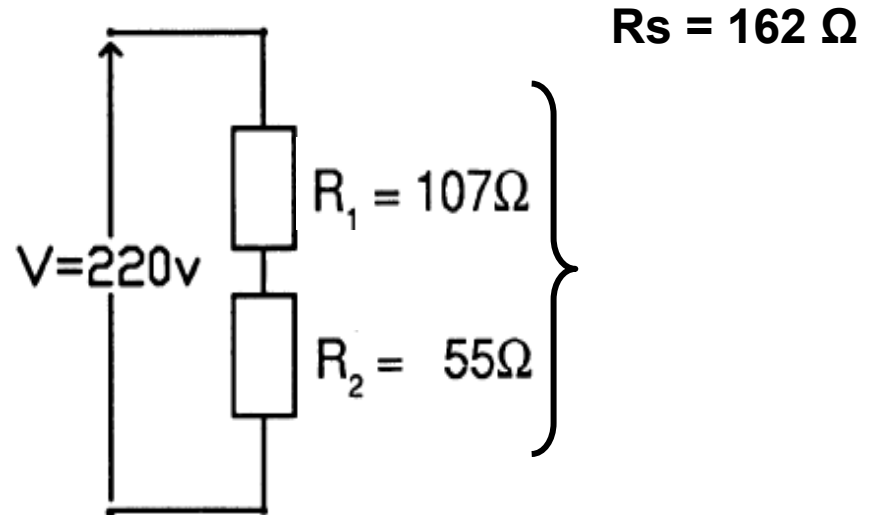
Mantenendo costante la tensione, se si amplia il collegamento in serie con resistenze aggiuntive, la potenza totale assorbita diminuisce.

Potenza totale dissipata da resistenze in serie

Si calcoli la corrente:

$$I = \frac{V}{R_s} = \frac{220}{162} = 1,36 \text{ A}$$

e quindi la potenza dissipata da ciascuna resistenza:



Potenza in R1 $P_1 = R_1 \cdot I^2 = 107 \cdot 1,36^2 = 197,32\text{W}$

Potenza in R2 $P_2 = R_2 \cdot I^2 = 55 \cdot 1,36^2 = 101,43\text{W}$

POTENZA TOTALE = $P_1 + P_2 = 197,32 + 101,43 = 298,75 \text{ W}$ che è, in pratica, la potenza prima calcolata per l'insieme delle resistenze in serie.

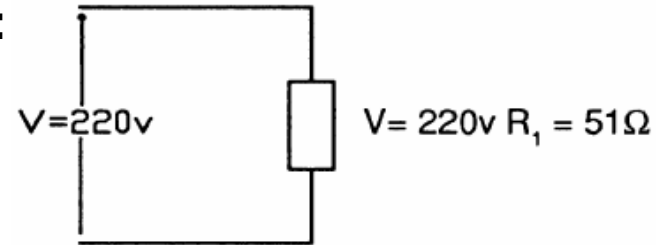
Quindi se si hanno più resistenze in serie la potenza totale è uguale alla somma delle potenze parziali relative alle singole resistenze:

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

Potenza elettrica nel collegamento parallelo

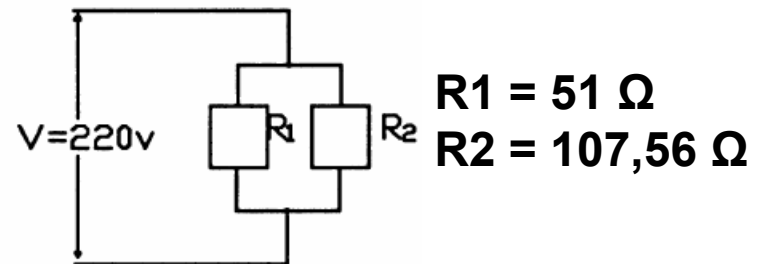
Si abbia il circuito rappresentato di seguito:

$$P_1 = \frac{V^2}{R_1} = \frac{220^2}{51} = 949W$$



Mantenendo invariata la tensione, si ponga una resistenza R_2 in parallelo ad R_1 :

$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{51 \cdot 107,56}{51 + 107,56} = 34,6 \Omega$$



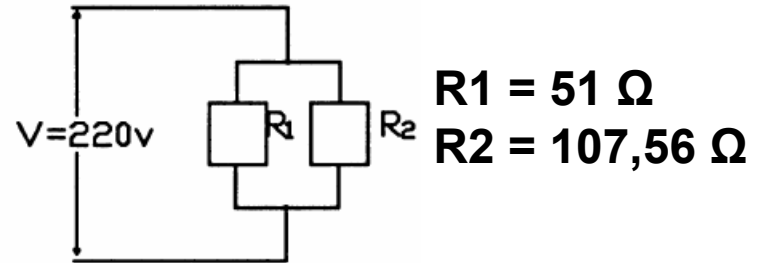
La potenza TOTALE è:

$$P_t = \frac{V^2}{R_p} = \frac{220^2}{34,6} = 1398,8W$$

Potenza totale dissipata da resistenze in parallelo

Si calcoli ora la Potenza su R2:

$$P_2 = \frac{V^2}{R_2} = \frac{220^2}{107,56} = 450 \text{ W}$$



Ricordando che la potenza in R1 è $P_1 = 949 \text{ W}$, se si sommano i valori trovati si ottiene:

$$P_t = P_1 + P_2 = 949 + 450 = 1399 \text{ W}$$

che è, in pratica, la potenza precedentemente calcolata per l'insieme delle due resistenze in parallelo.

Si possono perciò trarre le seguenti conclusioni:

- alimentando a tensione costante se si amplia il collegamento in parallelo con resistenze aggiuntive la potenza assorbita totale aumenta;
- se si hanno più resistenze in parallelo la potenza totale è uguale alla somma delle potenze parziali relative alle singole resistenze:

$$P_t = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

La POTENZA in Idraulica

In un circuito idraulico la potenza viene calcolata moltiplicando la portata per la pressione, cioè :

$$\begin{aligned} \text{Potenza (in Watt)} &= \text{Portata (l/sec)} \times \text{Pressione (pa)} = \\ &= \frac{\text{Portata (l/min)}}{60} \times \text{Pressione (bar)} \times \frac{1000}{100000} = \\ &= \frac{\text{Portata (l/min)} \times \text{Pressione (bar)}}{600} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ Pascal} &= 1 \text{ N / m}^2 \\ 1 \text{ Bar} &= 100000 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Così come in un sistema elettrico, la potenza si calcola moltiplicando la corrente per la tensione, cioè come si è visto:

$$\text{Potenza(Watt)} = \text{Corrente (Ampere)} \times \text{Tensione (Volt)}$$

$$W = I \times V \quad \text{oppure} \quad V \times I \quad \text{cioe'} \quad RI \times I = R I^2$$

Il prodotto degli Ampere per i Volt fornisce il valore della potenza direttamente in Watt, che è l'unità di potenza conforme del sistema di unità di misura anche se per comodità spesso si utilizzano unità come il Kilowatt (10^3 W) o il Milliwatt (10^{-3} W).

Perdite e Rendimenti

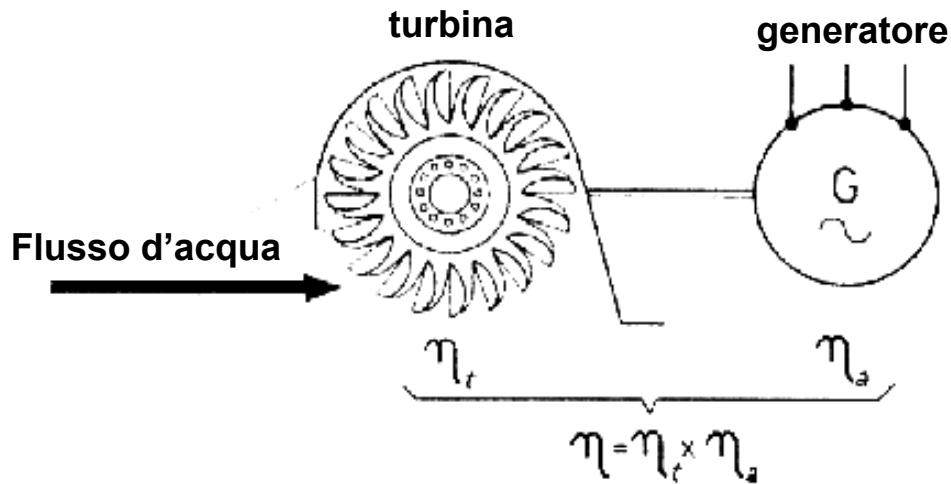
Se chiamiamo con P_a la potenza assorbita da un generico apparecchio, ossia la potenza che entra da un generatore o in un utilizzatore, con P_u la potenza utilizzata, ossia quella che viene impiegata per lo scopo previsto, e con P_p la potenza perduta, ossia dissipata in calore entro la macchina e non più recuperabile, deve essere, $P_a = P_u + P_p$ ossia la potenza entrante corrisponde alla somma di quella utilizzata più quella perduta ed il rendimento è dato dal rapporto:

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

fra la potenza utile (o resa) e la potenza assorbita dalla macchina. Se due macchine lavorano in serie (dal punto di vista energetico, ossia in modo che l'energia in uscita da una di esse entri nell'altra, come fra una turbina e un alternatore), il loro rendimento globale è dato dal prodotto dei rendimenti parziali.

Bilancio energetico

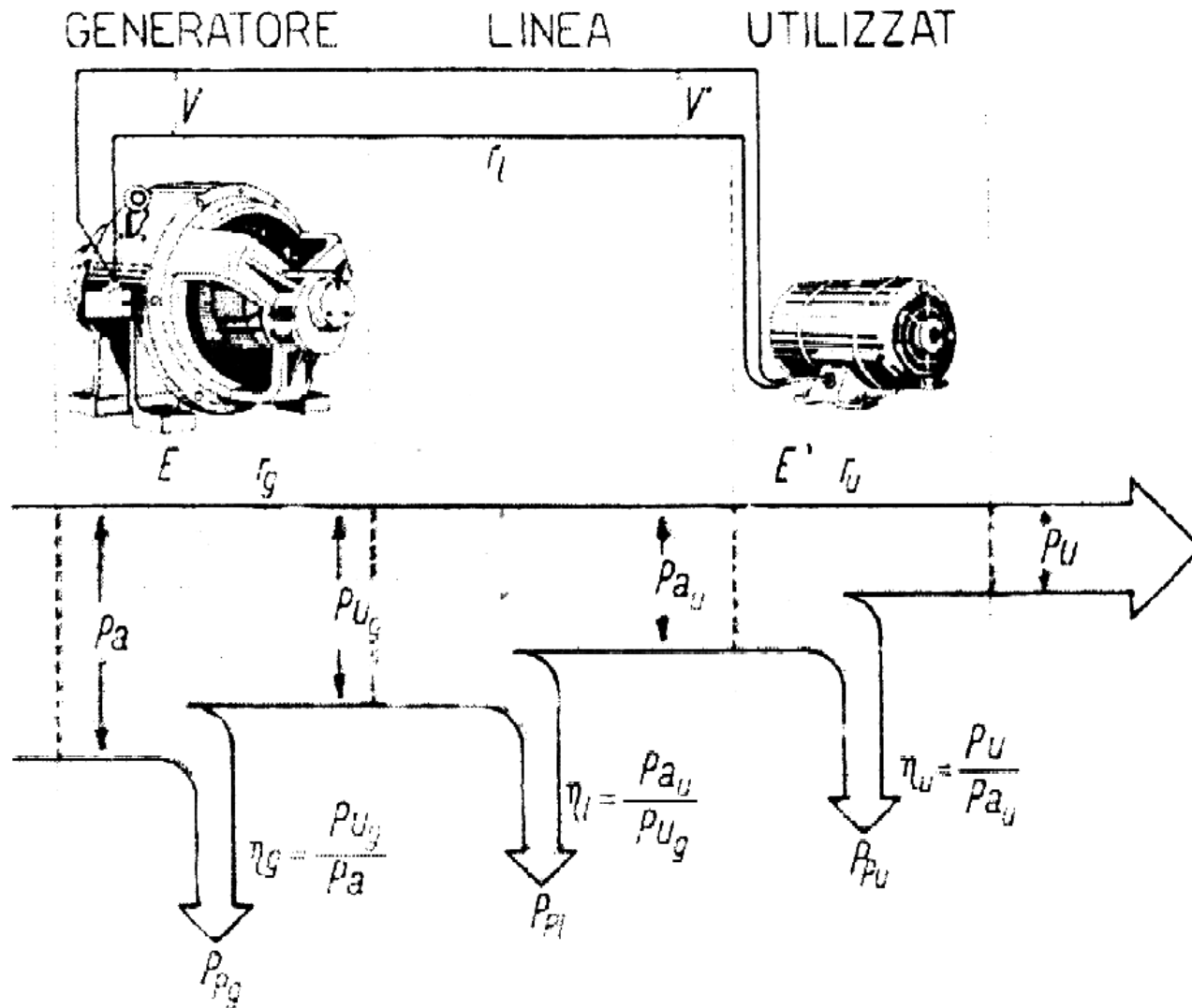
Si può così impostare il bilancio energetico complessivo di un circuito elettrico, che a titolo di esempio supponiamo formato da un generatore, da una linea e da un utilizzatore attivo (motore).



La potenza assorbita sarà quella del generatore, la potenza utile finale sarà quella del motore, le perdite per

effetto joule si avranno lungo tutti i conduttori ossia: entro il generatore, nella linea, e nel motore.

Rendimento finale

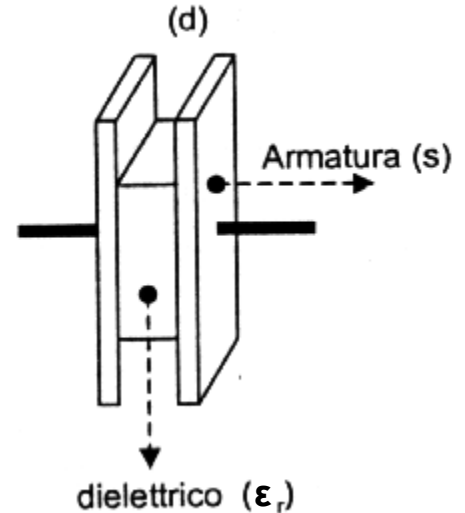


CAMPO ELETTRICO

Il Campo Elettrico

Si definisce il campo elettrico come la porzione di spazio vuoto in cui si manifestano delle forze attrattive o repulsive di tipo coulombiano sui corpi elettrizzati che vi vengono introdotti. Il campo elettrico si ottiene in pratica fra due lamine metalliche chiamate armature, separate fra di loro da un isolante solido, liquido o gassoso, chiamato dielettrico.

Un sistema del genere si può definire come un sistema atto ad immagazzinare energia elettrica sotto forma **ELETTROSTATICA** e prende il nome di condensatore. L'attitudine di un condensatore ad accumulare sulle sue armature una carica elettrica e quindi energia nel suo dielettrico viene definita dalla capacità **C** corrispondente a:



$$C = \frac{Q}{V}$$

Costante Dielettrica

La Capacità è pari al rapporto fra la carica Q che si può ottenere e la tensione V fra le armature: un condensatore ha maggior capacità se può dare una carica più elevata con una tensione inferiore

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$$

ϵ_0 = Costante dielettrica del vuoto $8,858 \times 10^{-12}$ F/m

ϵ_r = Costante dielettrica del materiale

La capacità si misura in Farad (F), corrispondente ad una carica di un coulomb accumulata con una differenza di potenziale di un volt. Si tratta di un valore molto elevato per cui sono più usati i suoi sottomultipli quali:

mF = 10^{-3} F millifarad

μ F = 10^{-6} F microfarad

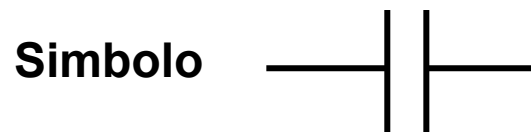
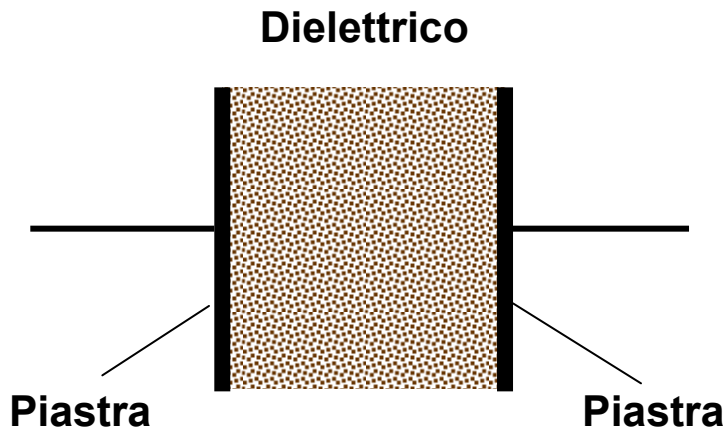
nF = 10^{-9} F nanofarad

pF = 10^{-12} F picofarad

La CAPACITÀ

Un condensatore è costituito da due piastre separate da un materiale isolante detto dielettrico.

Un condensatore, in un circuito elettrico, ha una funzione analoga a quella di un accumulatore in un sistema idraulico, in quanto è un dispositivo che immagazzina energia, in questo caso la carica elettrica. Maggiore è la superficie della piastra e minore lo spessore del dielettrico, maggiore sarà la capacità.



L'unità di capacità è il FARAD (F) che di solito è troppo grande per l'uso pratico, e quindi i sottomultipli più usati sono:

micro-Farad (μF), nano-Farad (nF) o pico-Farad (pF) dove:

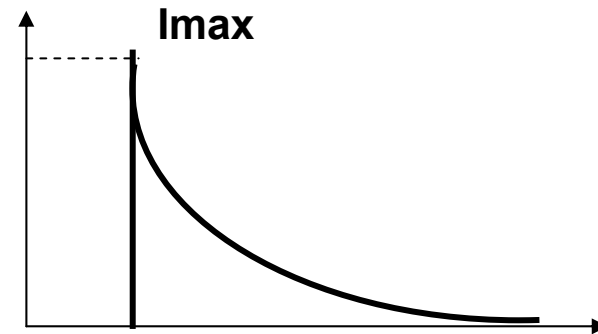
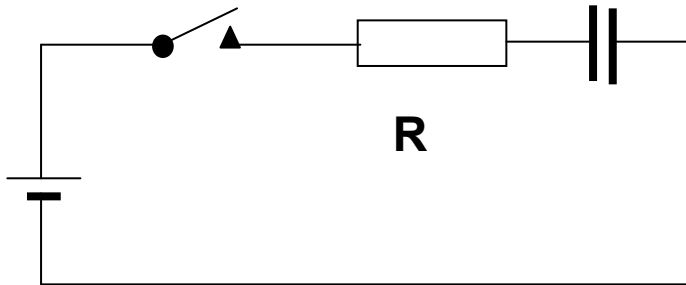
$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$$

$$1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$$

$$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

Il Condensatore

Un condensatore in un circuito fa sì che, quando si applica una differenza di tensione alle due armature, la corrente massima che passa inizialmente attraverso il condensatore, dopo un certo periodo di tempo, scende gradualmente a zero.

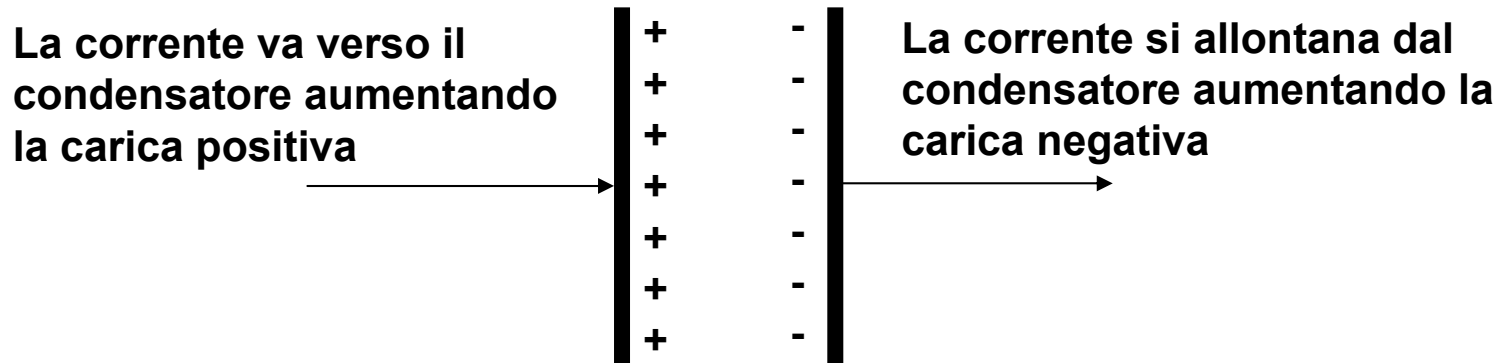


Interruttore chiuso

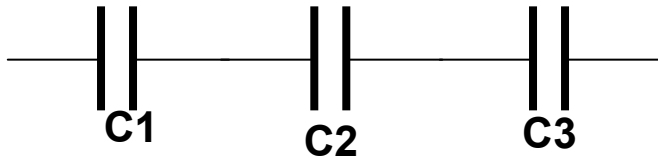
La presenza della resistenza (R) in figura è ovvia perché, se non ci fosse, il condensatore provocherebbe direttamente un corto circuito tra i terminali della batteria quando il commutatore viene chiuso, provocando un livello di corrente iniziale molto elevato.

Corrente Capacitiva

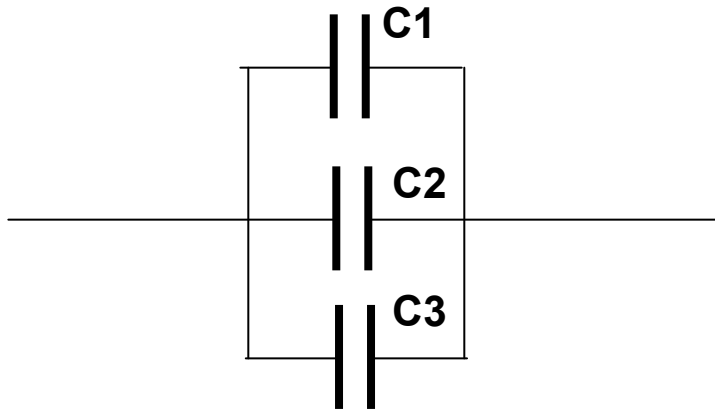
A prima vista può sembrare difficile visualizzare il passaggio di corrente attraverso il passaggio di condensatore dato che le due piastre sono separate da un materiale isolante. In realtà la corrente non passa “attraverso” il condensatore, è soltanto l’accumulo delle cariche che dà l’impressione che ciò accada.



Condensatori in serie / parallelo



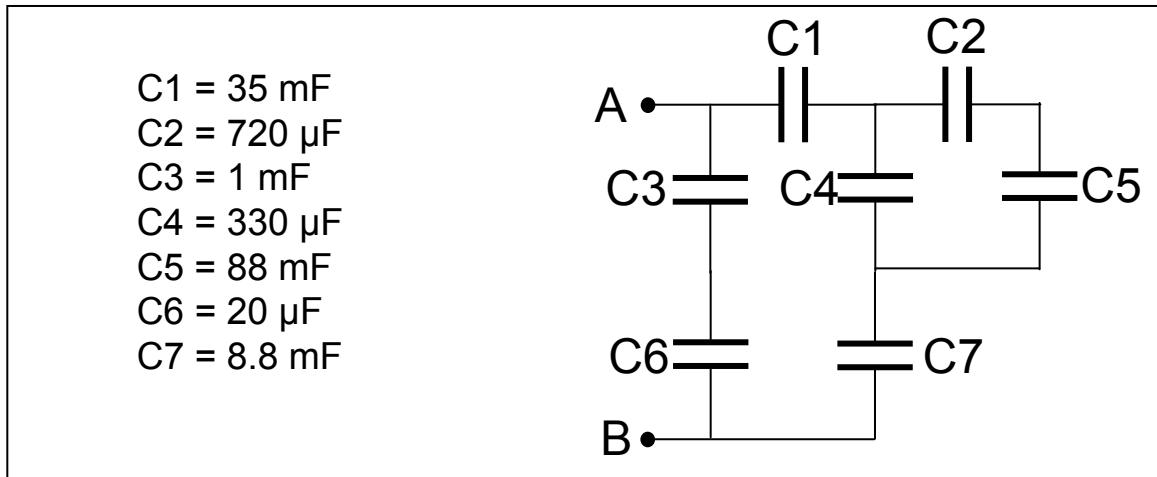
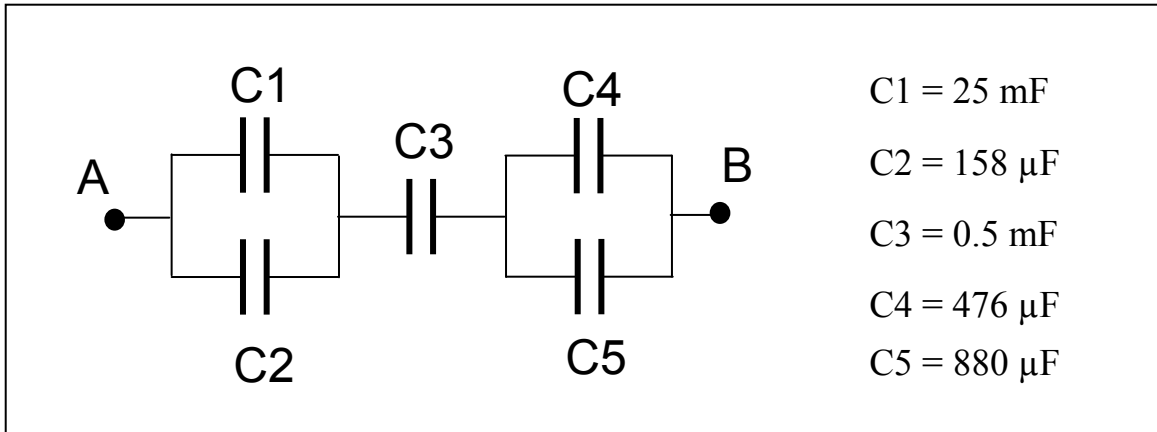
$$\frac{1}{C_{\text{tot}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$



$$C_{\text{tot}} = C_1 + C_2 + C_3$$

Esercizi

Determinare il valore di capacità equivalente dei circuiti sottostanti.



Condensatore ed Induttanza

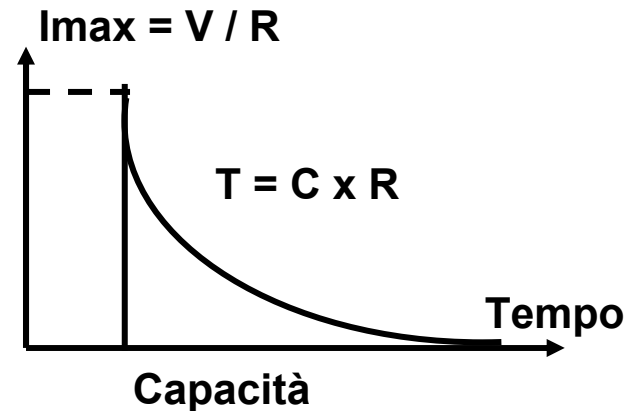
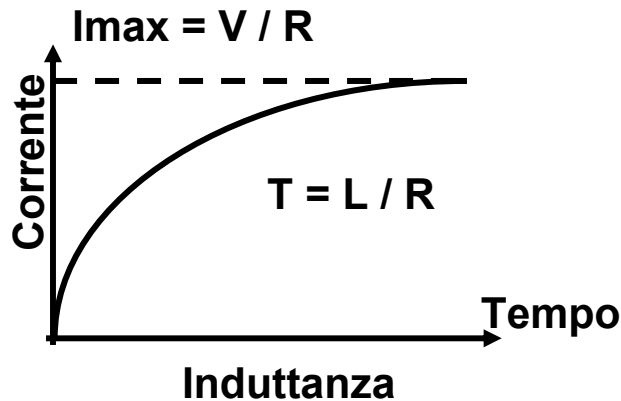
Chiudendo i contatti del circuito che alimenta il condensatore, si provoca un picco di corrente (I_{max}) che, anche in questo caso, viene determinato applicando la legge di Ohm:

$$I = V / R$$

Dopo il picco iniziale, la corrente gradualmente scende a zero seguendo una legge esponenziale con una costante di tempo data da:

$$T = C \times R \quad \text{dove} \quad T = \text{sec}; \quad C = \text{Farad}; \quad R = \text{Ohm}$$

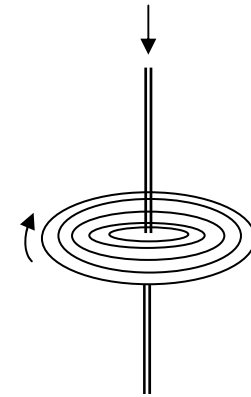
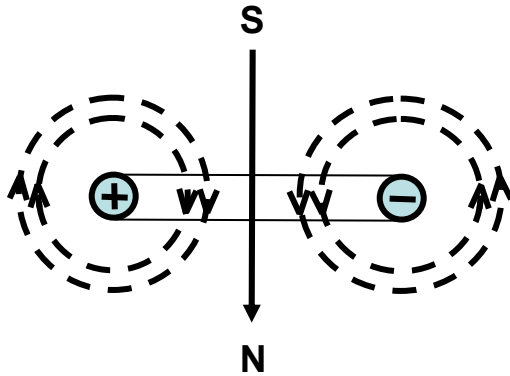
Assumiamo ancora una volta che la corrente si riduca a zero dopo un periodo pari a 5 volte la costante di tempo. L'effetto è opposto a quello di un' induttanza, come si può vedere nella figura seguente



CAMPO MAGNETICO

Il campo magnetico

Un conduttore percorso da corrente elettrica genera attorno a sé un campo magnetico.
Se con tale conduttore si forma una spira il campo magnetico genera un polo Sud e un polo Nord:



L'intensità di tale campo è data da:

$$H = \frac{N \times I}{l} = \text{Asp/cm}$$

Dove:

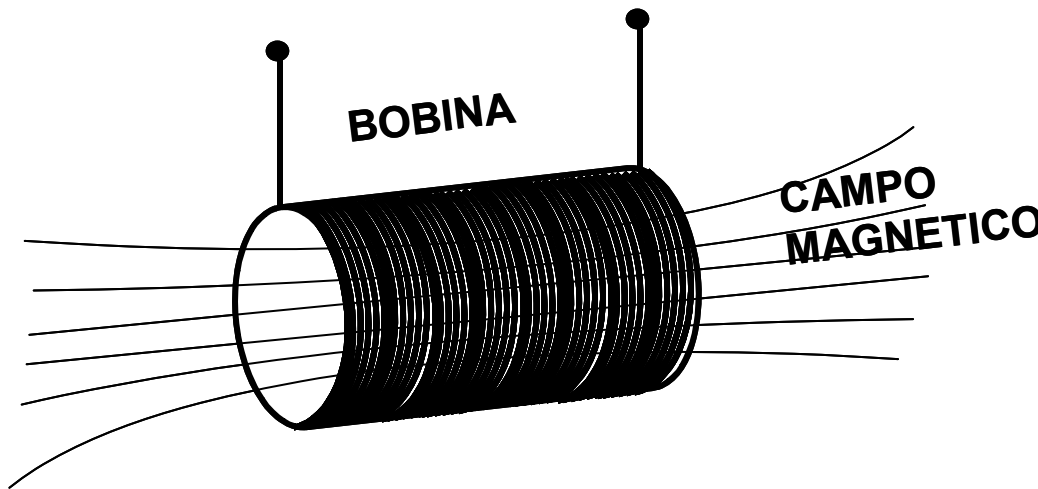
N = numero di spire

I = corrente circolante

L = lunghezza del solenoide

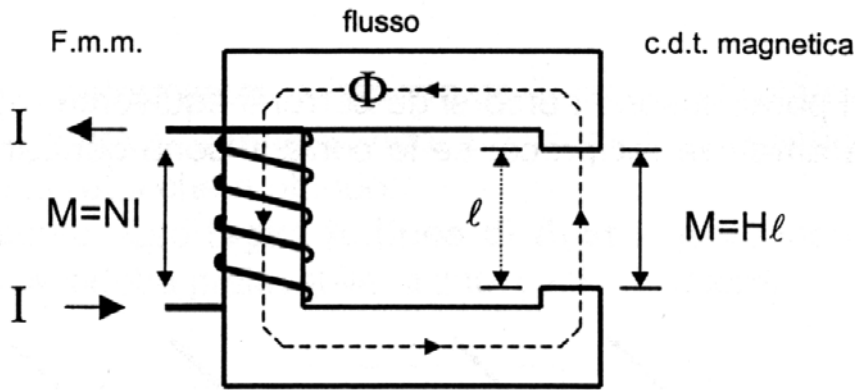
La BOBINA

Molti componenti elettrici sfruttano la relazione che c'è tra la corrente elettrica ed il campo magnetico. Quando un filo è percorso da corrente, si crea un campo magnetico con asse perpendicolare al filo stesso. Analogamente, se un filo viene spostato all'interno di un campo magnetico, nel filo stesso verrà creata una corrente INDOTTA (se il filo fa parte di un circuito chiuso). Se il filo è avvolto in una bobina, e viene percorso da corrente, si creerà un campo magnetico disposto secondo l'asse della bobina, come si vede in figura.



Quando ai terminali di una bobina si applica una differenza di potenziale, la corrente che la attraversa genera un campo magnetico. Man mano che questo aumenta, si genera una tensione secondaria opposta a quella applicata, conosciuta come fem di ritorno (forza elettromotrice)

Il circuito magnetico

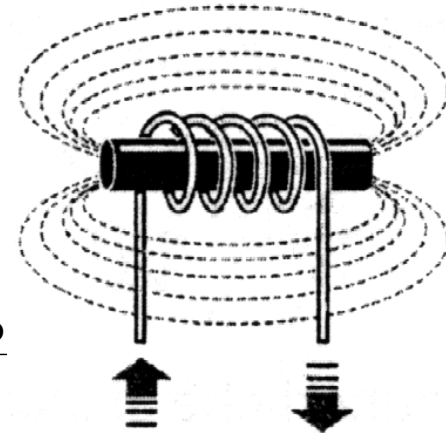


Forza magnetica	$H = \frac{NI}{l}$	(A/m)
Induzione magnetica	$B = \frac{\Phi}{S}$	(Wb/m ²)
Permeabilità magnetica	$\mu = \frac{B}{H}$	(H/m)
Riluttanza	$= \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{S}$	(H ⁻¹)

Quando una corrente elettrica percorre l'avvolgimento genera un flusso magnetico (Φ) nel nucleo e la sua proprietà di produrre flusso si chiama induttanza, indicata con il simbolo L . Più è grande l'induttanza dell'avvolgimento più è grande il flusso generato da una certa corrente. L'unità di induttanza è l'henry, che ha per simbolo H ed è definita da:

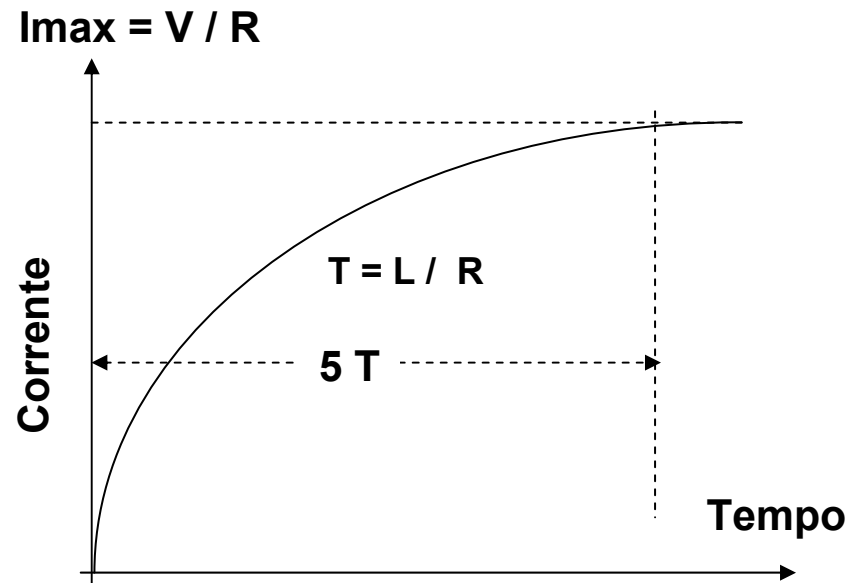
$$\text{Induttanza} = \frac{\text{Numero di spire dell'avvolgimento} \times \text{flusso magnetico}}{\text{Corrente che percorre l'avvolgimento}}$$

$$L = \frac{N\Phi}{I} \text{ [Henry]}$$



L'INDUTTANZA

Il campo magnetico tende ad opporsi al passaggio di corrente nella bobina cercando di annullare la differenza di tensione. L'effetto sulla rete è perciò di creare un ritardo tra l'applicazione della tensione e l'aumento della corrente fino al suo valore massimo. In termini relativi, detto ritardo po' essere breve (alcuni millisecondi) ma la corrente in realtà aumenta gradualmente come illustrato in figura. La proprietà delle bobine di resistere alla variazione di corrente è detta INDUTTANZA (L) e la sua unità di misura è l'HENRY(H).

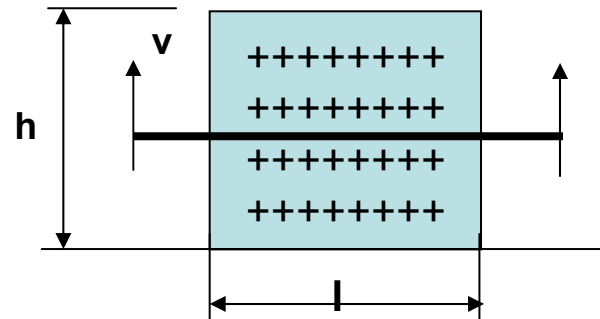
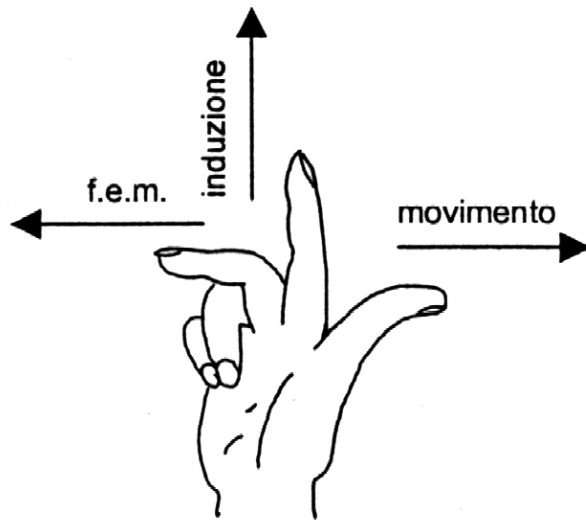


Un Henry è definito come l'induttanza di un circuito in cui viene prodotta una forza elettromotrice indotta di un Volt quando la variazione di corrente avviene alla velocità di 1 Ampere al secondo.

Forza Elettromotrice Indotta

Un conduttore rettilineo che si muove attraversando un campo magnetico uniforme, sia spostandosi in linea retta che ruotando, taglia le linee di flusso generando una forza elettromotrice indotta prelevabile ai suoi capi, di valore:

$$e = \mathbf{B}lv$$



Per determinare il verso della f.e.m. indotta, si applica la regola di Fleming della mano destra cioè il pollice indica il senso del moto del conduttore, l'indice la direzione del campo magnetico, il medio il senso della f.e.m. indotta.

Il movimento di una spira in un campo magnetico, che variando l'entità del flusso che l'attraversa genera una f.e.m., rappresenta il principio di funzionamento dei generatori.

Azioni meccaniche

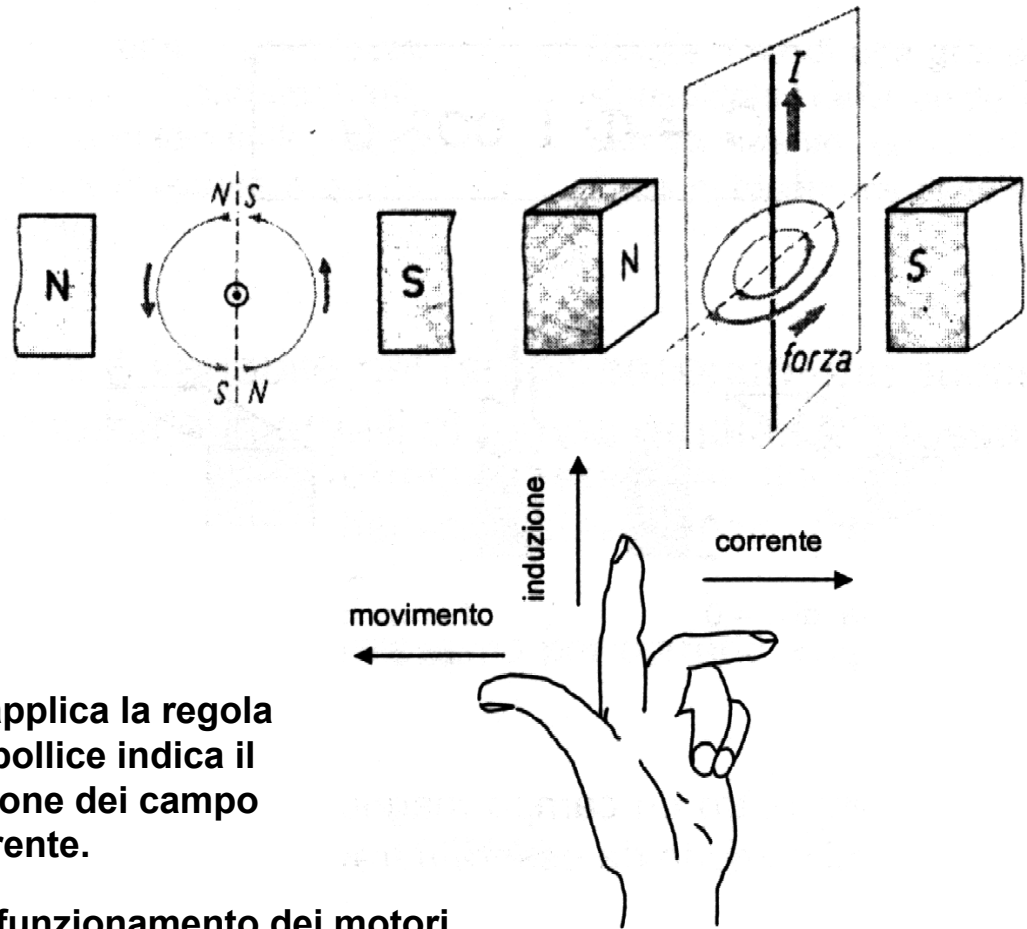
Se si immerge un conduttore attraversato da corrente in un campo magnetico, si mettono in relazione il campo magnetico generato dalla corrente che attraversa il conduttore, con il campo magnetico in cui lo stesso conduttore è immerso.

Per il principio delle forze di attrazione e repulsione ne risulta quindi che il conduttore è spinto a muoversi in modo da allontanare poli dello stesso nome e di avvicinare poli di nome contrario: ha cioè origine una forza meccanica che spinge il conduttore a spostarsi, detta **forza elettromagnetica**, che si misura in newton.

$$F = BI l$$

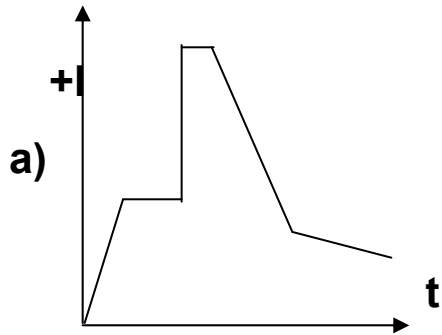
Per determinare il verso del moto, si applica la regola di Fleming della mano sinistra cioè il pollice indica il verso del movimento, l'indice la direzione del campo magnetico, il medio il senso della corrente.

Questa f.e. rappresenta il principio di funzionamento dei motori.



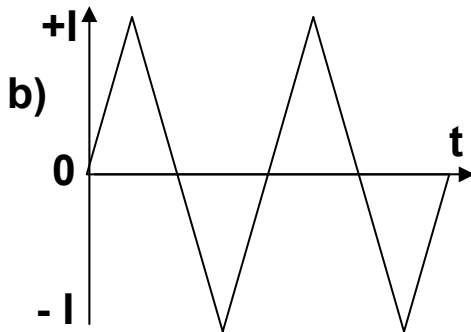
Tensioni e Correnti alternate sinusoidali

Corrente Alternata

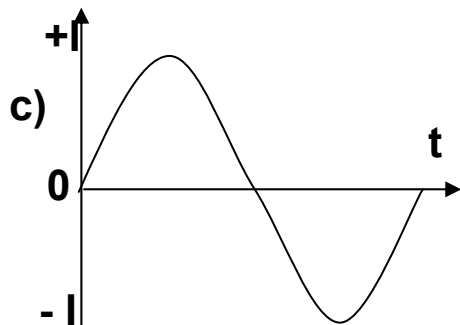


Nei circuiti in corrente continua (cc.) la corrente fluisce in un solo senso e non ha variazioni nel tempo.

Quando il senso della corrente varia e si ha un ciclo di variazione ripetitivo, allora si parla di **CORRENTE ALTERNATA (ca.)**.



La corrente in figura(a) si considera ancora una corrente continua perché nonostante vari nel tempo mantiene sempre la stessa direzione e non segue una legge ciclica. Le correnti rappresentate in (b) e (c) vengono definite entrambe correnti alternate dato che la corrente passa alternativamente da valori positivi a negativi ripetendo sempre lo stesso ciclo.



La più comune forma d'onda dei sistemi in ca. è l'**ONDA SINUSOIDALE** rappresentata in (c) che è tipica della rete di distribuzione elettrica nazionale.

Grandezze in corrente alternata

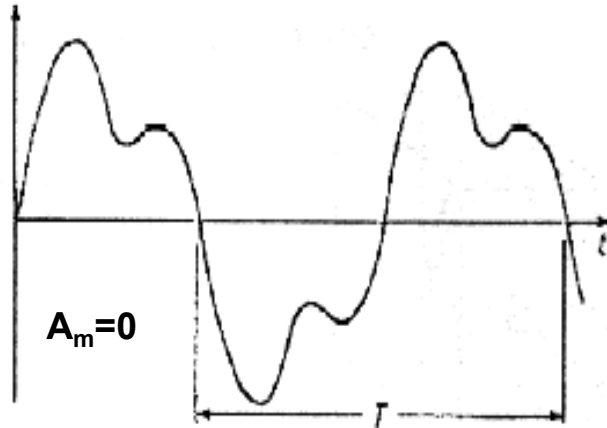


Diagramma di una grandezza periodica alternata, caratterizzata dall'aver un valore medio nullo, l'area della parte positiva è uguale a quella della parte negativa

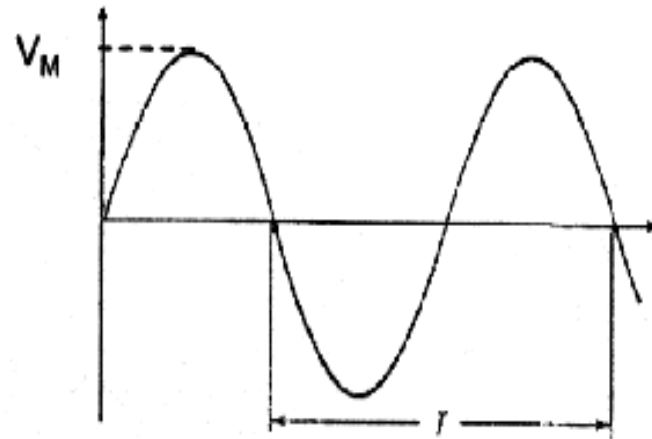


Diagramma di una grandezza alternata sinusoidale, nella quale l'andamento è corrispondente ai valori assunti dalle funzioni trigonometriche seno e coseno.

Una corrente periodica è variabile nel tempo secondo una successione preordinata in modo che essa assuma a intervalli di tempo regolari lo stesso valore.

Grandezze in corrente alternata

T = PERIODO

f = FREQUENZA

l'intervallo che passa fra due valori uguali
1/T rappresenta l'inverso del periodo, indica il numero di volte in cui la corrente, assume in un secondo, il medesimo valore: si misura in periodi al secondo cioè in hertz (Hz).

VALORE ISTANTANEO

è il valore che la grandezza assume in un determinato istante.

VALORE MASSIMO
o AMPIEZZA

è il valore più elevato che la grandezza raggiunge durante un periodo.

VALORE MEDIO

è la media aritmetica di tutti i valori assunti durante un periodo

VALORE EFFICACE

Rappresenta il valore della corrente alternata che si dovrebbe assegnare ad una corrente continua per ottenere la stessa energia termica per effetto Joule.

Per il valore efficace e quello massimo per correnti sinusoidali valgono le seguenti relazioni:

$$I_e = 0,707 I_M \quad \text{oppure} \quad I_M = \sqrt{2} I_e = 1,41 I_e$$

Generazione della c.a.

La generazione di tensioni alternate sinusoidali avviene negli ALTERNATORI.

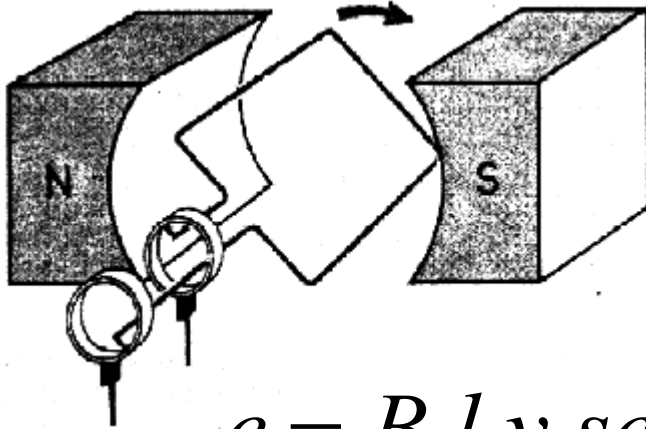
Il loro funzionamento si basa sul fenomeno dell'induzione elettromagnetica che viene ad esplicarsi attraverso un movimento di rotazione relativa tra un campo magnetico ed un sistema di conduttori indotti.

Sono costituiti da una parte fissa denominata STATORE e da una parte rotante denominata ROTORE.

Sullo statore è disposto l'avvolgimento indotto dal quale vengono prelevate, le tensioni sinusoidali, mentre sul rotore è montato il sistema induttore eccitato da una sorgente ausiliaria di corrente continua.

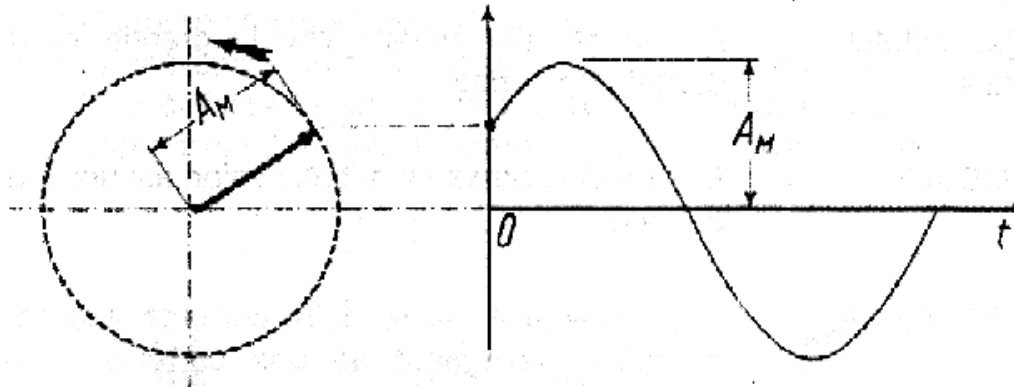
Il moto relativo è una rotazione del rotore con una certa velocità angolare imposta, ad esempio da una turbina.

Generazione di una tensione alternata



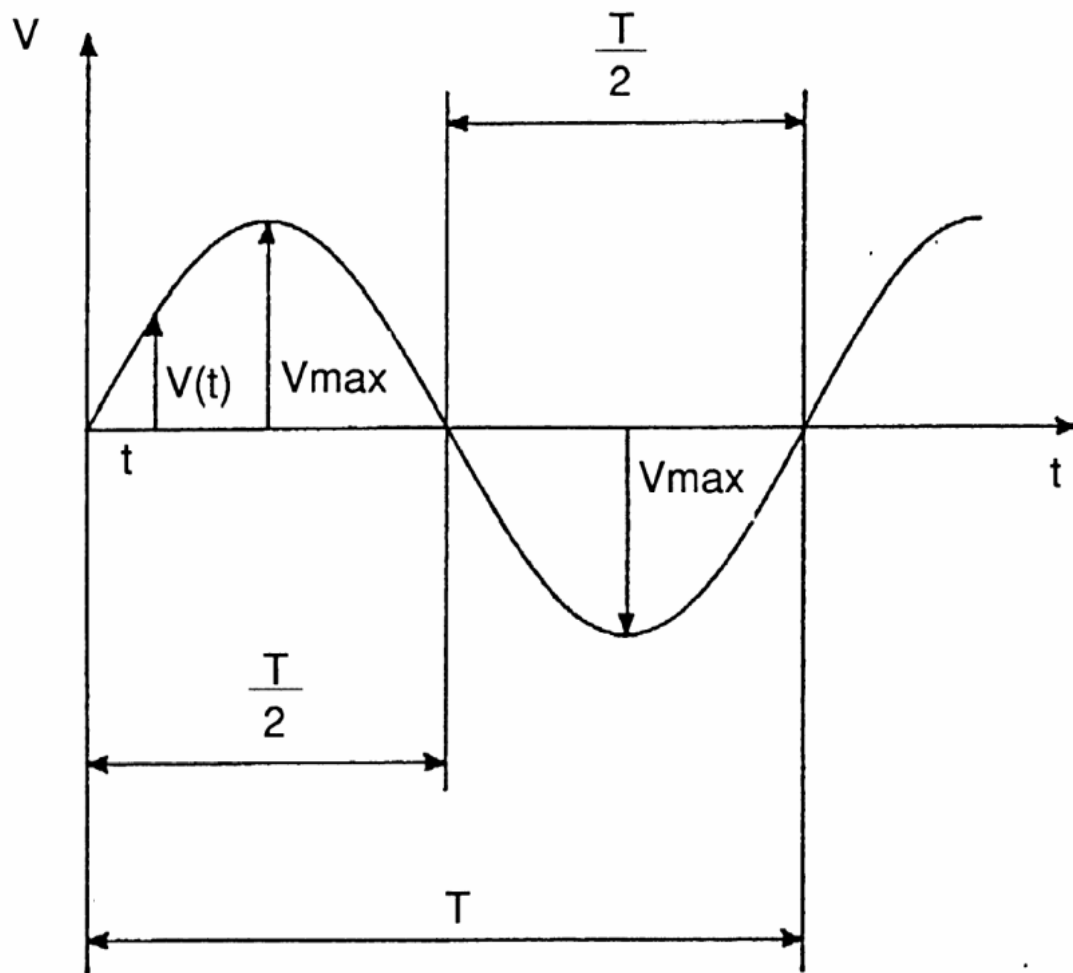
I lati attivi della spira, ruotando tagliano le linee di flusso a generano una f.e.m. il cui valore è massimo quando la spira è orizzontale (posizione di taglio del massimo numero di linee di flusso) e nullo quando verticale, (non si tagliano linee di flusso).

$$e = B l v \text{sen} \omega t$$

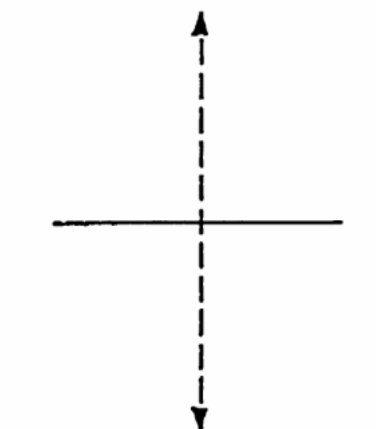


Rappresentazione vettoriale di una grandezza sinusoidale: Il vettore A_M ha una lunghezza proporzionale all'intensità della grandezza e orientamento uguale alla posizione del raggio corrispondente alla sinusoide nell'istante zero (origine dell'asse delle ascisse)

Tensione (corrente) sinusoidale osservata all'oscilloscopio



VALORI POSITIVI



VALORI NEGATIVI

Caratteristiche della corrente alternata sinusoidale

La TENSIONE (corrente) assume

- "ALTERNATIVAMENTE" valori positivi e negativi, come avere un generatore che cambia polarità ad ogni semionda
- Il MODO di variazione segue l'andamento della funzione matematica SENO: da qui tensione (corrente) alternata sinusoidale.

TUTTI i possibili valori della grandezza sono compresi tra un valore massimo positivo, $+ V_{max}$, ed un valore massimo negativo $- V_{max}$. In valore assoluto i valori massimi sono uguali.

VALORE MASSIMO E VALORE ISTANTANEO

- Il valore V_{max} , detto anche AMPIEZZA, è il valore più grande possibile di una tensione (corrente) alternata. Il valore istantaneo, V , è il valore che assume di volta in volta la tensione all'istante considerato.

Frequenza e Periodo

PERIODO

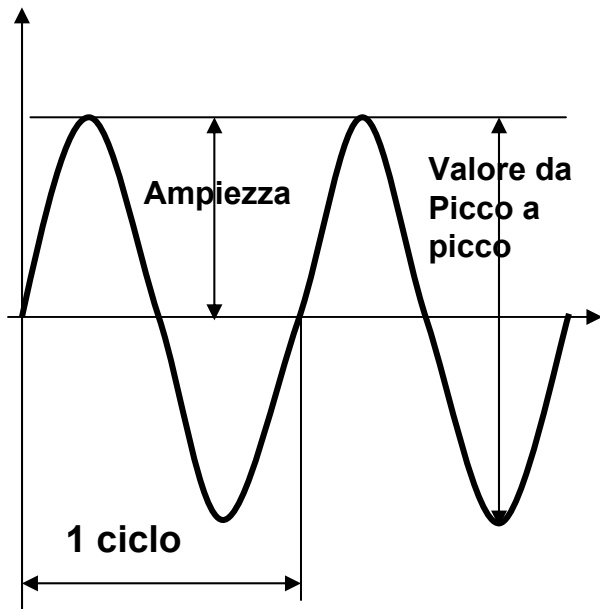
- Tutti i possibili valori della grandezza sono assunti in un determinato intervallo di tempo, T , dopo di che i valori si ripetono identici ad intervalli pari a T . Questo intervallo di tempo, di durata T , rappresenta il PERIODO della tensione (corrente) alternata sinusoidale. Si nota che nel periodo, T , avviene, una oscillazione completa della grandezza. Per la tensione di rete italiana:
 - $T = 0,02 \text{ s} = 20 \times 10^{-3} \text{ s} = 20 \text{ ms}$

FREQUENZA

- NUMERO DI PERIODI DIVISO PER IL TEMPO IMPIEGATO
- Simbolo della grandezza = f
- Unità di misura = Hertz (Hz); Per la tensione di rete italiana: $f=50 \text{ Hz}$

La Frequenza

Partendo da zero, la corrente sale fino ad un valore positivo massimo per poi scendere a zero e successivamente arrivare ad un valore massimo negativo da cui risale a zero. Questa sequenza viene ripetuta in continuazione. In figura sono definiti alcuni termini usati nei sistemi in ca.



La sequenza da zero al massimo, al minimo e poi di nuovo a zero viene detta **CICLO** ed il numero di cicli che si verifica in un secondo viene definita **FREQUENZA**. La frequenza si misura in **HERTZ(Hz)**:

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ ciclo/secondo}$$

(In Europa la frequenza delle reti nazionali è di 50 Hz, mentre in America del Nord è di 60 Hz).

Valore Quadratico Medio

Il valore massimo della corrente si definisce AMPIEZZA o VALORE DI PICCO e la differenza tra la corrente massima e minima viene anche definita valore da picco a picco (pari a due volte l'ampiezza).

Su un ciclo completo (o una serie di cicli completi), il valore medio della corrente è uguale a zero, poiché la metà positiva del ciclo viene esattamente “annullata” dalla metà negativa.

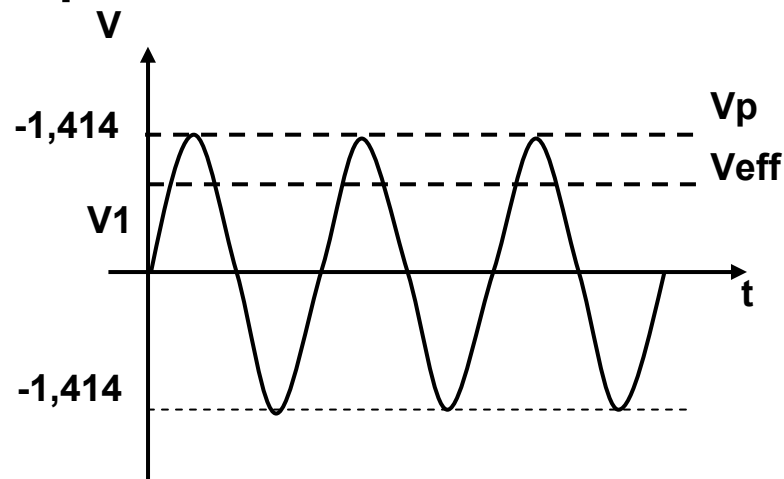
Invece di definire la corrente alternata utilizzando il suo valore di picco (ampiezza) è più significativo definire il suo valore RMS (Root Mean Square). Matematicamente il valore RMS si definisce come “la radice quadrata della media dei valori della corrente elevati al quadrato” durante un ciclo completo.

In pratica il valore RMS di una corrente alternata è quel valore che produce lo stesso effetto termico di una corrente continua dello stesso valore e comunemente si chiama

VALORE EFFICACE.

Root Mean Square

Nel caso di un'onda sinusoidale, i valori RMS e di picco sono collegati dall'espressione:



Valore di picco = 1,414 x Valore RMS

Valore RMS = 0,707 x Valore di picco

Dove 1,414 = $\sqrt{2}$

D'ora in poi con V ed I in c.a. si intenderanno i valori efficaci (RMS)

Valore efficace

Il valore efficace di una tensione o di una corrente alternata viene indicato con lettere maiuscole senza alcun pedice:

valore efficace della tensione = V

valore efficace della corrente = I

valore massimo

$$\text{valore efficace} = \frac{\text{valore massimo}}{\sqrt{2}}$$

Quando si dice che la tensione DI RETE vale 220V o 380V ci si riferisce al VALORE EFFICACE. Per i valori massimi si avrà, rispettivamente:

$$\text{Vmax} = \sqrt{2} \cdot 220 = 311 \text{ V}$$

$$\text{Vmax} = \sqrt{2} \cdot 380 = 537 \text{ V}$$

Circuiti in corrente alternata

Circuito con sola resistenza

Alimentando una resistenza con una tensione sinusoidale la corrente che la percorre è ancora sinusoidale, con lo stesso periodo e quindi con la stessa frequenza della tensione. Entrambe passano per lo zero ed assumono il valore massimo nello stesso istante: tensione e corrente sono "in fase".

Il valore efficace della corrente è dato dal rapporto tra il valore efficace della tensione e la resistenza:

$$I = \frac{V}{R}$$

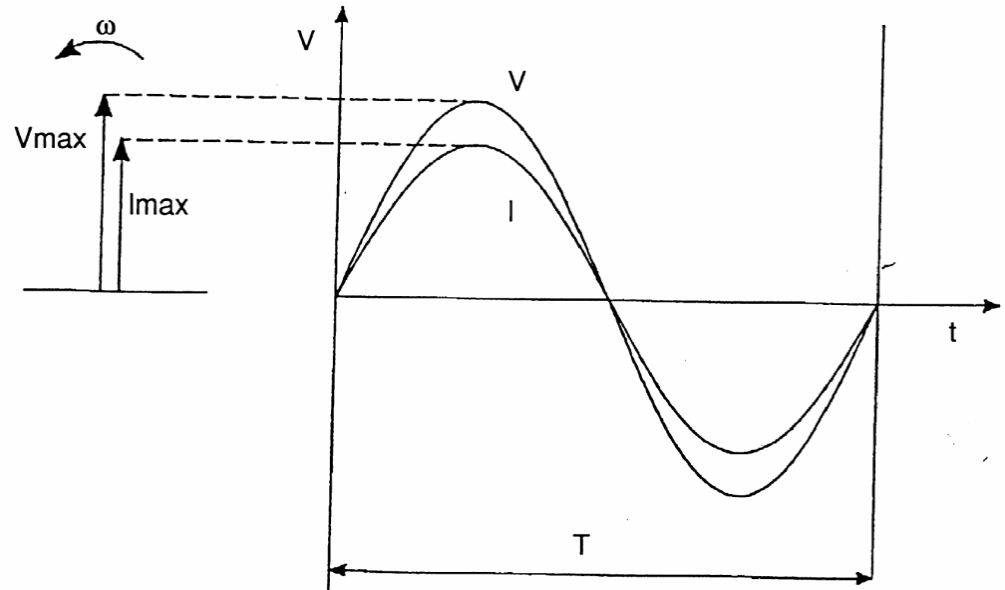
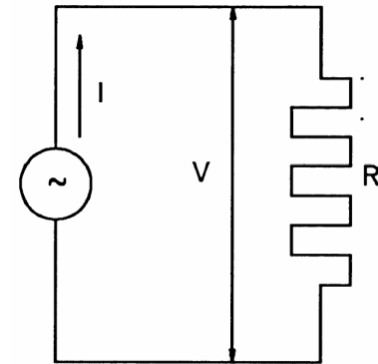


Diagramma vettoriale

Diagramma cartesiano

Resistenza in c.a.

L'effetto di resistenza in un circuito in ca. è uguale a quello che ha in un circuito in cc.

Potrà quindi ancora essere applicata la legge di Ohm, che lega i valori della corrente, della tensione e della resistenza, cioè si potrà scrivere:

$$I = \frac{V}{R}$$

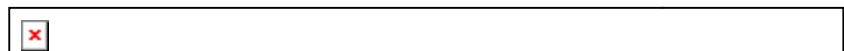
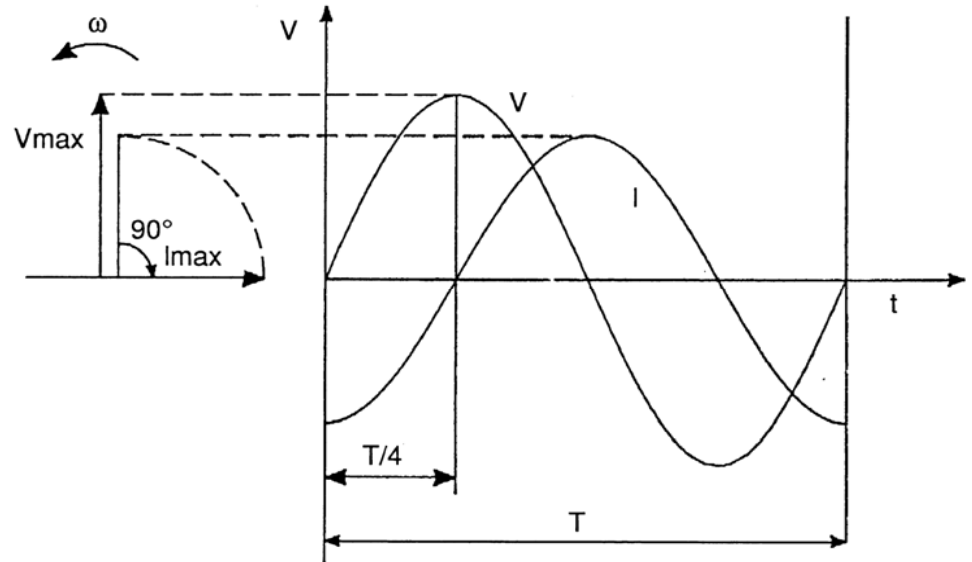
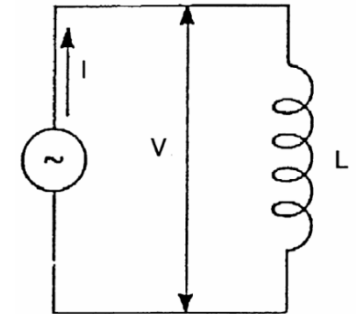
Anche gli effetti di resistenze in serie o in parallelo sono gli stessi di quelli dei circuiti in cc.

Circuito con sola induttanza

Il comportamento è quello tipico delle bobine, presenti in molte applicazioni elettromeccaniche:

avvolgimenti nei trasformatori, nei generatori, nei motori... Viene fatta l'ipotesi che la bobina sia ideale, cioè sia nulla la resistenza della bobina stessa. La corrente che percorre l'induttanza è ancora sinusoidale, con lo stesso periodo e perciò con la stessa frequenza della tensione.

La corrente però, rispetto alla tensione, passa per lo zero e raggiunge valori massimi in tempi diversi, spostati tra loro di una quantità pari ad un quarto di periodo: le grandezze sono sfasate tra loro, più precisamente, la **CORRENTE E' IN RITARDO** sulla tensione di $T/4$.



Corrente in ritardo

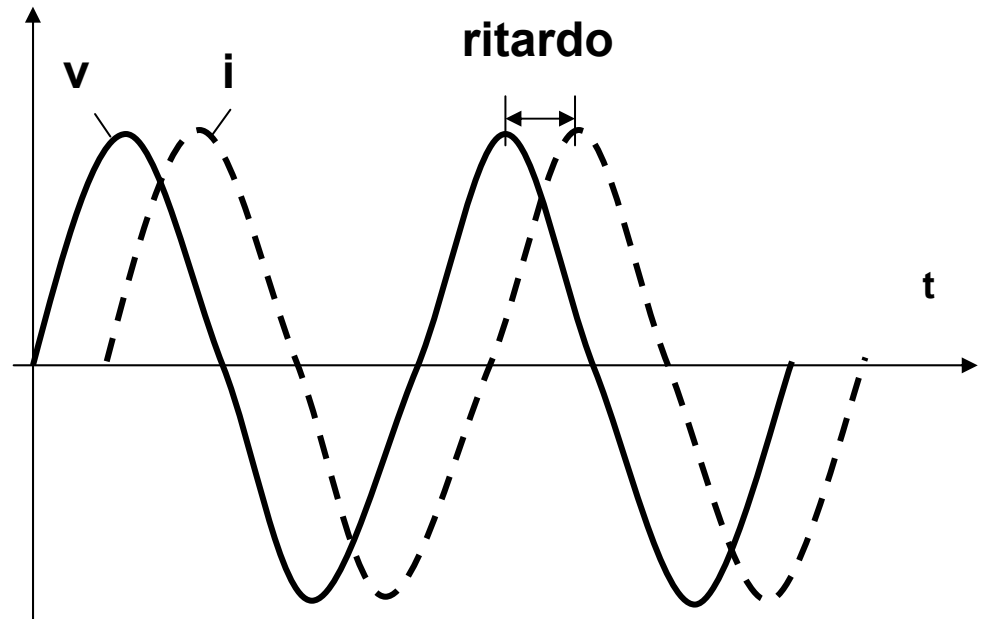
Come è già stato detto in precedenza, l'induttanza provoca degli effetti al variare delle condizioni circuitali, cioè, in un circuito in cc. quando un componente di tipo induttivo viene commutato.

Fondamentalmente, una induttanza provoca un ritardo tra la tensione applicata e l'incremento della corrente fino al suo massimo valore.

In un sistema in ca. dove la tensione viene fatta variare in continuazione ci sarà nuovamente un ritardo tra la tensione applicata e la corrente risultante, ma questa avrà un andamento con RITARDO costante tra le forme d'onda della tensione e della corrente.

Induttanza in c.a.

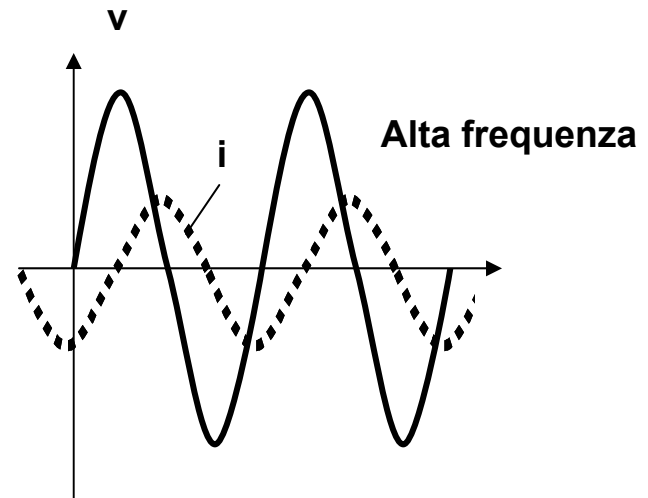
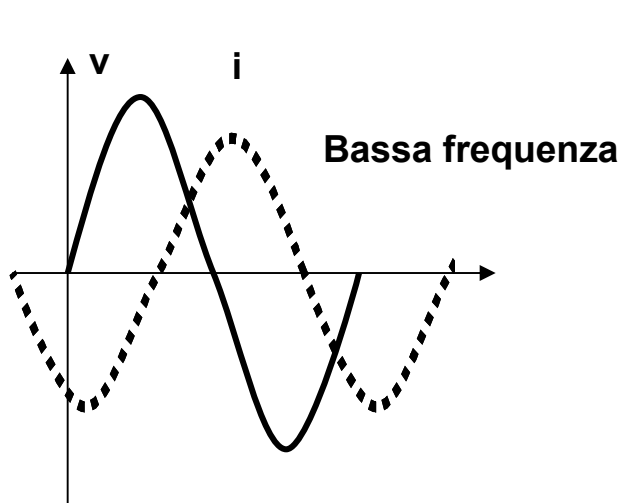
Come si può vedere, la corrente raggiunge il suo valore di picco sempre dopo la tensione.



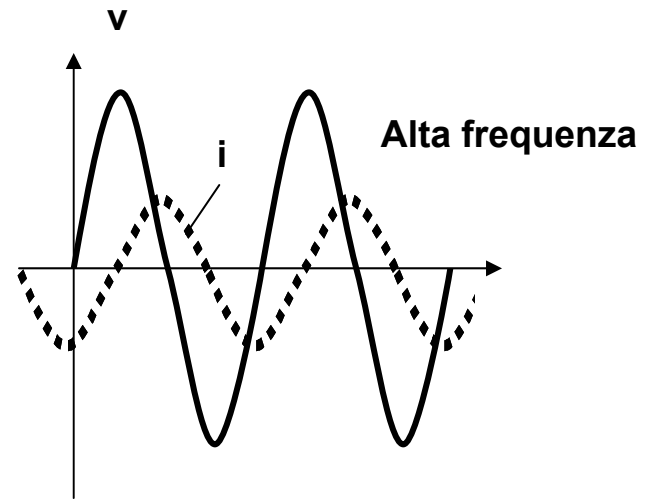
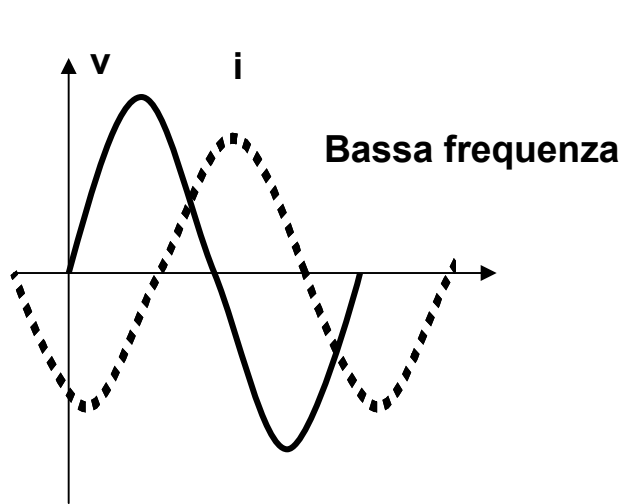
Nel caso di una induttanza pura (resistenza uguale a zero), il ritardo è di circa 1/4 di ciclo, ma siccome una bobina ha sempre una certa resistenza, il ritardo sarà un po' inferiore a 1/4 di ciclo. Quando due forme d'onda non coincidono si dice che sono "fuori fase", di una quantità definita DIFFERENZA DI FASE. se un intero ciclo è di 360° , allora, nel caso di figura, il ritardo della corrente rispetto alla tensione è di 90° (1/4 di ciclo) cioè $\pi/2$.

L'effetto dell'induttanza

Poiché l'effetto dell'induttanza è di creare un ritardo tra la tensione applicata e la corrente risultante, si potrebbe verificare che la tensione vari tanto rapidamente da non dare il tempo alla corrente di raggiungere il suo normale valore massimo prima che la tensione inverta il segno. Ciò comporta che più elevata è la frequenza della tensione applicata, minore sarà l'intensità della corrente.



Reattanza Induttiva



In effetti l'induttanza in questo caso si comporta come una resistenza; ciò significa che, anche se il suo valore di picco della tensione rimane lo stesso, l'induttanza riduce l'intensità della corrente risultante man mano che aumenta la frequenza della tensione di alimentazione. La proprietà dell'induttanza di ridurre l'intensità di corrente viene definita **REATTANZA INDUTTIVA (X_L)** e si può calcolare con la formula:

$$X_L = 2\pi \times f \times L \quad [\Omega] \quad \text{dove: } f = \text{frequenza di alimentazione in Hz}$$

$L = \text{induttanza in Henry}$

X_L è data in OHM poiché ha lo stesso effetto della resistenza L e si può usare nella legge di Ohm, cioè:

$$I = V / X_L$$

Circuito con sola capacità

L'impiego dei condensatori è molto diffuso in elettronica. Nelle applicazioni elettrotecniche è spesso usato in combinazione con le bobine. Ciò è legato al suo comportamento, opposto a quello delle bobine, che permette di modificare le perdite dovute allo sfasamento delle grandezze elettriche, tensione e corrente (problema del rifasamento), provocato dalla presenza di bobine nei circuiti. Sono anche usati in circuiti elettrici dove sono presenti processi di commutazione. A causa delle continue variazioni di polarità del generatore, nel circuito si ha circolazione di corrente dovuta alle continue fasi di carica e scarica dal condensatore.

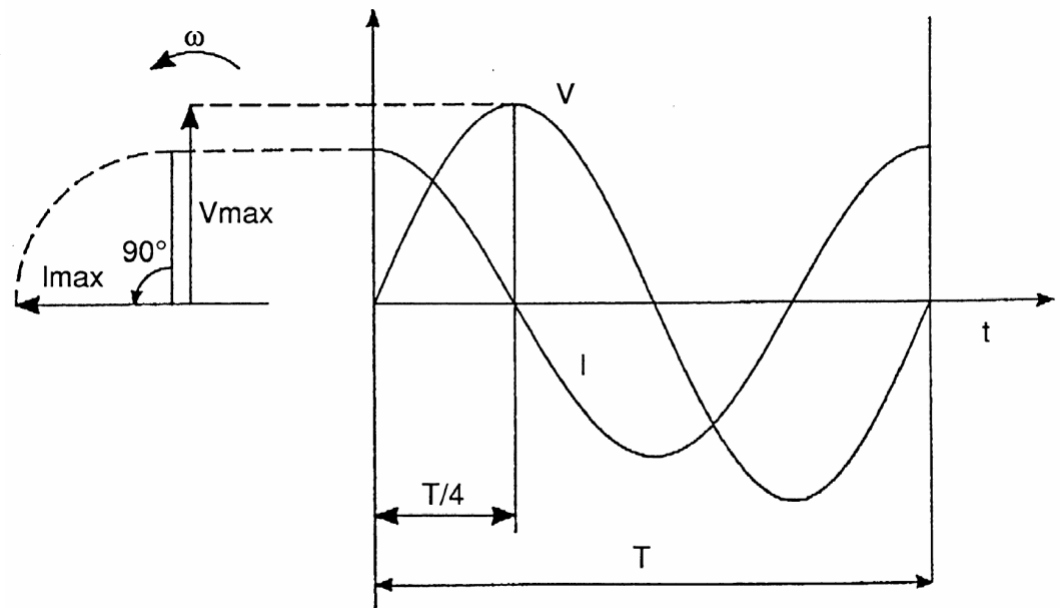
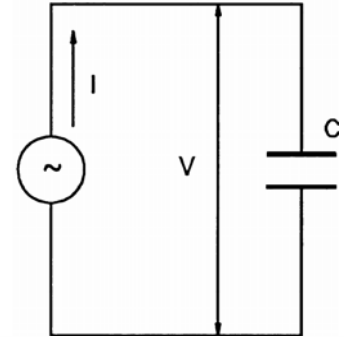


Diagramma vettoriale

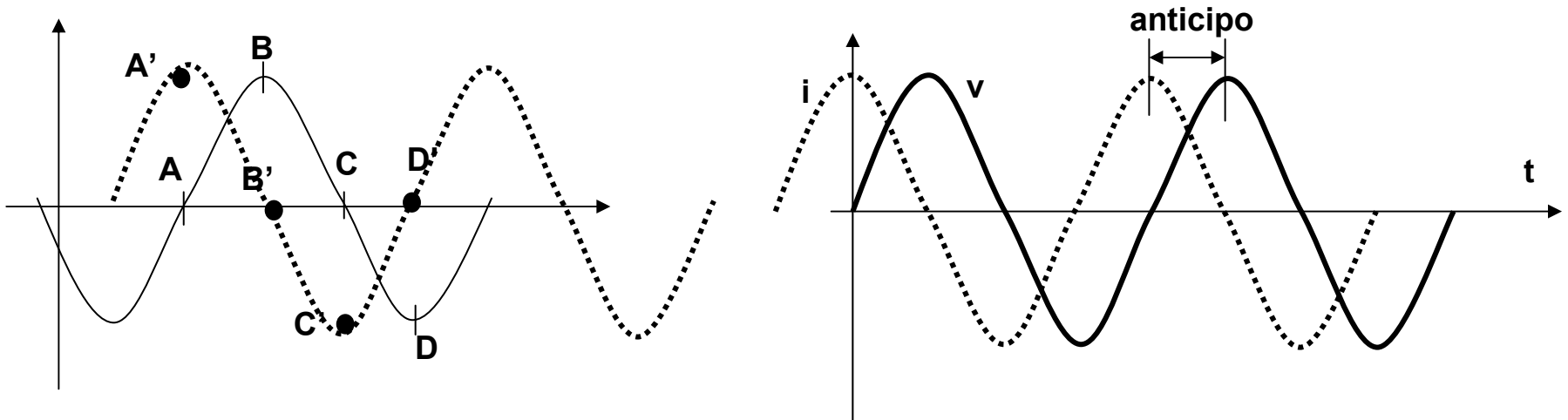
Diagramma cartesiano

Capacità in c.a.

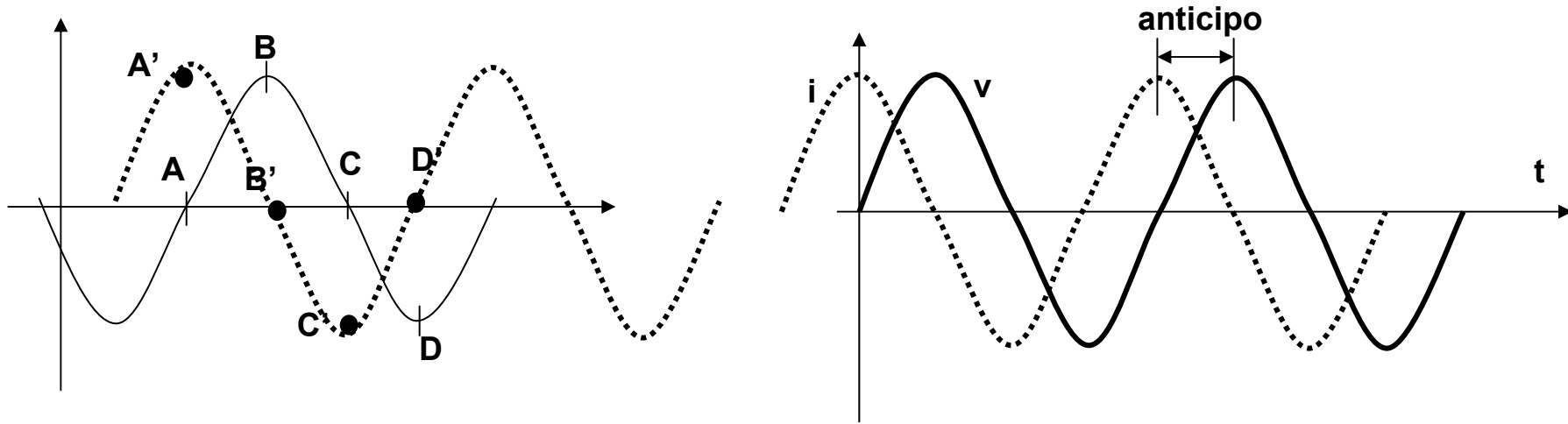
L'effetto di un condensatore in un circuito in ca. non si può evidenziare facilmente, ma è possibile arguirlo partendo dagli effetti che provoca in un circuito a cc. Si deve tener presente che attraverso un condensatore passa corrente solo se la differenza di tensione tra le armature è variabile e che l'intensità di corrente è data da:

$$I = C \times \text{velocità di variazione della tensione}$$

cioè quanto più rapidamente varia la tensione, tanto maggiore sarà l'intensità della corrente.



La corrente ANTICIPA



La corrente risultante avrà perciò l'andamento indicato in che mostra una differenza di fase tra la corrente e la tensione ma questa volta la corrente ANTICIPA la tensione.

Per un carico puramente capacitivo, l'anticipo di fase è di 1/4 di ciclo o di 90° ma, se si considera il caso reale in cui c'è l'effetto della resistenza, l'anticipo di fase potrebbe essere di poco inferiore a 90° .

Reattanza Capacitiva

Perciò, una caratteristica importante di un condensatore è che lascia passare una corrente in ca., ma non una corrente in cc. Inoltre, più rapida è la variazione di tensione tra le armature del condensatore, maggiore sarà l'intensità della corrente che lo attraversa, e questo implica che maggiore è la frequenza dell'alimentazione in ca., minore sarà la "resistenza" opposta dal condensatore al passaggio di corrente. La resistenza effettiva di un condensatore è detta **REATTANZA CAPACITIVA** (X_c) e si calcola con la seguente formula:

$$X_c = \frac{1}{2 \pi f C}$$

dove: f = frequenza di alimentazione in Hz

C = capacità in Farad

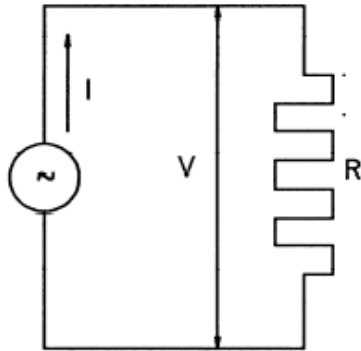
Reattanza Capacitiva

Come per la reattanza induttiva, X_c ha l'Ohm come unità di misura e si può usare nella legge di Ohm:

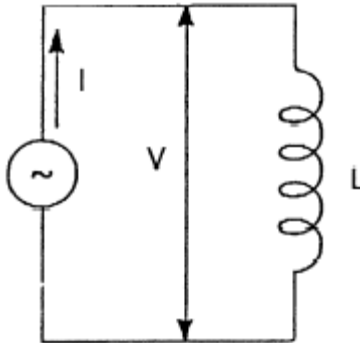
$$I = \frac{V}{X_c}$$

Dalla formula di calcolo di X_c si può vedere che se la frequenza aumenta, X_c diminuisce e si avrà una corrente maggiore. Inoltre, se $f = 0$, cioè in un circuito in cc., X_c diventa infinita, cioè (dalla legge di Ohm) $I = 0$ confermando con ciò che attraverso un condensatore non può passare corrente in cc. La capacità del condensatore di bloccare una corrente cc. e di lasciar passare una corrente alternata può rivelarsi molto utile quando, ad esempio, si sovrappone una c.a. ad una cc. ed è necessario separarle.

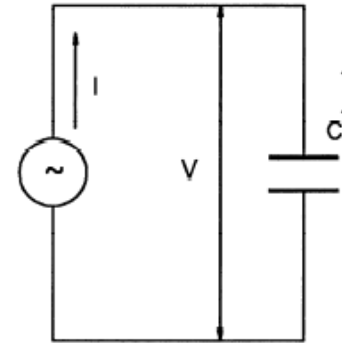
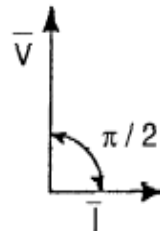
Riassumendo



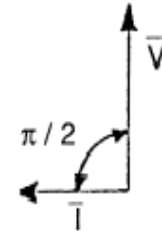
RESISTIVO



INDUTTIVO



CAPACITIVO

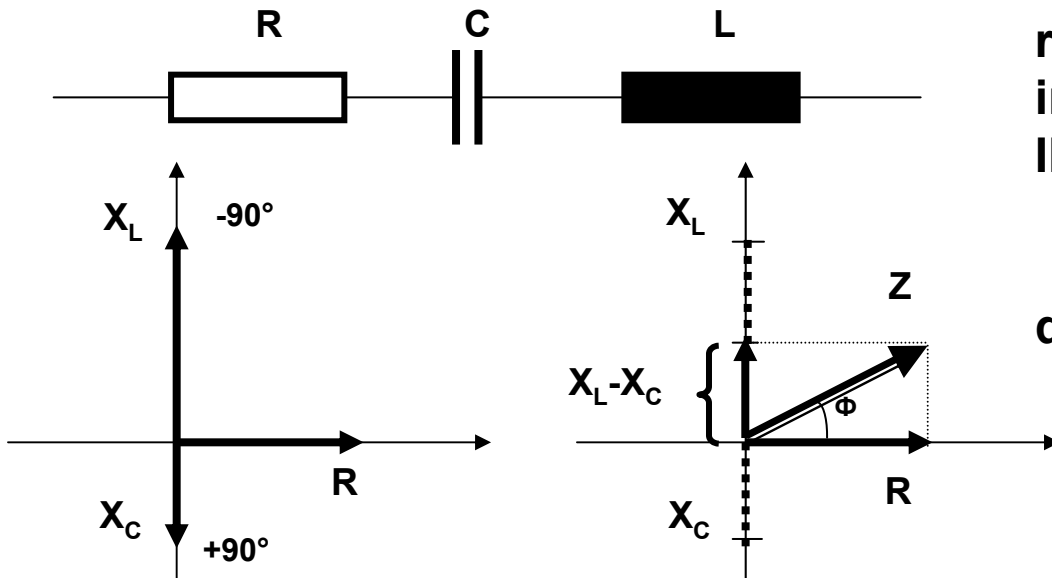


RISPETTO ALLA TENSIONE del generatore la corrente risulta:

- in fase nel circuito puramente resistivo;
- sfasata di $\pi/2$ (90°) in ritardo nel circuito puramente induttivo
- sfasata di $\pi/2$ (90°) in anticipo nel circuito puramente capacitivo.

Impedenza

Per poter calcolare la corrente in un circuito in ca., è necessario considerare non solo la mera resistenza del circuito, ma anche la resistenza effettiva (reattanza) dei componenti induttivi o capacitivi. Considerando la figura seguente in cui sono collegati in serie tre tipi di componenti, per calcolare la resistenza complessiva si deve tenere conto della differenza di fase introdotta dalla induttanza e dalla capacità, e sommare “geometricamente” le tre componenti usando il cosiddetto diagramma vettoriale.



L'effetto complessivo di resistenza, capacità ed induttanza prende il nome di **IMPEDENZA (Z)**:

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2$$

quindi:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Cos(Φ)

La differenza di fase totale tra corrente e tensione rilevabile dal diagramma vettoriale ed è data dall'angolo Φ :

$$\cos(\Phi) = R / Z$$

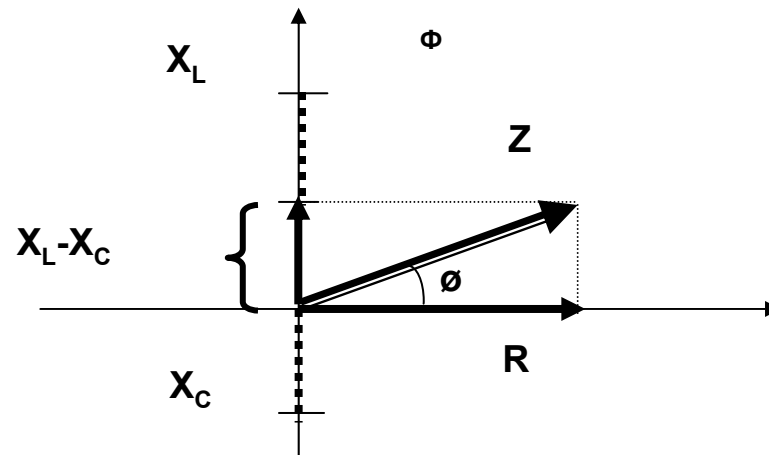


Fig.39

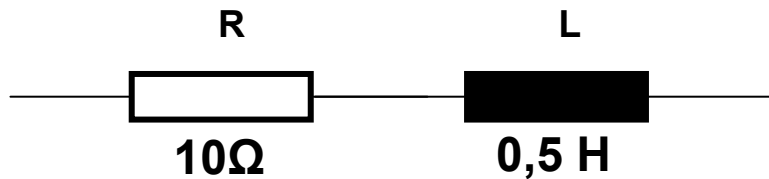
Esempio

La bobina di un solenoide ha una resistenza di 10Ω e un'induttanza di $0,5\text{H}$ (con capacità trascurabile). E' stata costruita per lavorare con una tensione alternata a 240 V e 50 Hz .

Se si vuole adoperare il solenoide con una alimentazione a 60 Hz , qual è il valore della tensione che si deve applicare perché la corrente nel solenoide sia la stessa ?

Soluzione

Il solenoide si può considerare come una resistenza e un'induttanza in serie



Essendo $I = V / Z$ allora si ha:

$$\frac{V_1}{Z_1} = \frac{V_2}{Z_2}$$

$$\text{Da cui } V_2 = V_1 \times \frac{Z_2}{Z_1} = 240 \sqrt{\frac{R^2 + (X_{L_2})^2}{R^2 + (X_{L_1})^2}} =$$

$$= 240 \sqrt{\frac{100 + (2\pi \times 60 \times 0,5)^2}{100 + (2\pi \times 50 \times 0,5)^2}} = 288 \text{ V}$$

Potenza elettrica in alternata

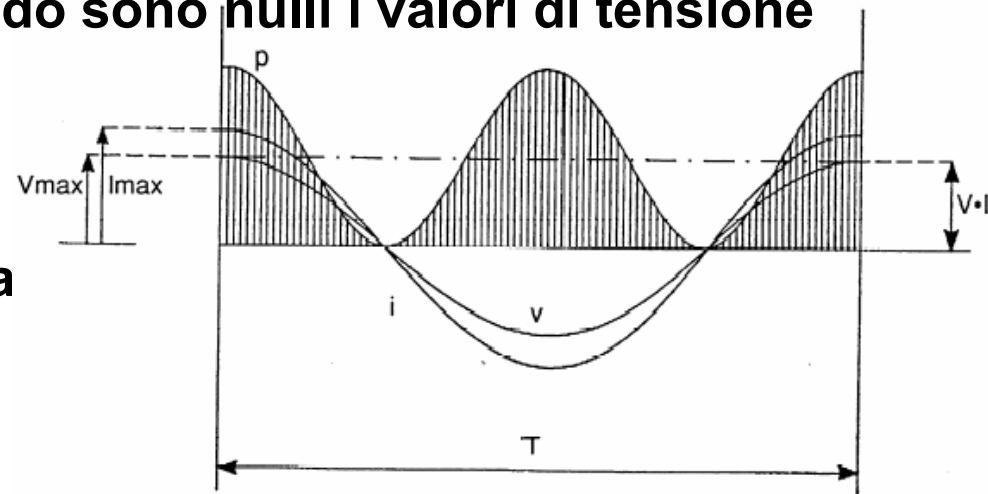
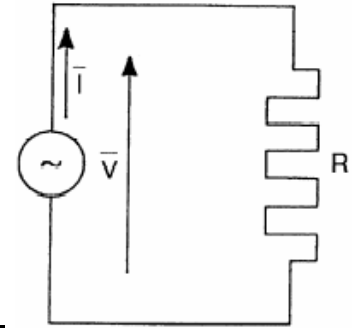
In corrente continua, se V è la tensione impressa agli estremi di una resistenza percorsa dalla corrente I , la potenza è $P = V \cdot I$

In alternata, però, tensione e corrente variano da istante a istante, per cui il loro prodotto sarà variabile.

Di conseguenza la relazione $P = V \cdot I$ è l'espressione della **POTENZA ISTANTANEA**. Con riferimento ad un circuito

puramente resistivo la potenza istantanea ottenuta dal prodotto dei valori tensione \cdot corrente in ogni istante, assume valore massimo quando tensione e corrente assumono anch'essi valore massimo, ed è nulla quando sono nulli i valori di tensione e corrente.

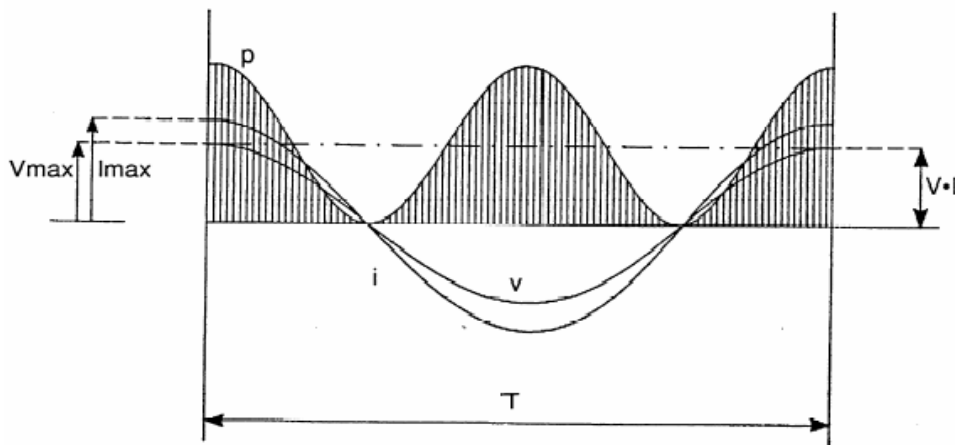
Si osserva anche che la potenza si mantiene sempre positiva: significa che in ogni istante si ha trasmissione di potenza dal generatore all'utilizzatore.



Potenza attiva

In un circuito in corrente alternata che ha solo resistenze (senza induttanze o capacità), la tensione e la corrente sono in fase. Per la trasformazione della potenza elettrica, ad esempio in calore, è importante la **POTENZA MEDIA** trasmessa in un periodo.

Questa può essere ottenuta sostituendo l'area tratteggiata (racchiusa dalla curva della potenza istantanea) e calcolata per un periodo T con un rettangolo di base uguale al periodo T e di area uguale alla precedente. L'altezza di tale rettangolo è la potenza media che viene anche chiamata **POTENZA ATTIVA** o **REALE**; viene indicata con P ed è misurata in **WATT (W)**.



$$P = \frac{V_{max} I_{max}}{2}$$

Potenza Attiva

Ricordando il legame tra valore massimo ed efficace, si ha:

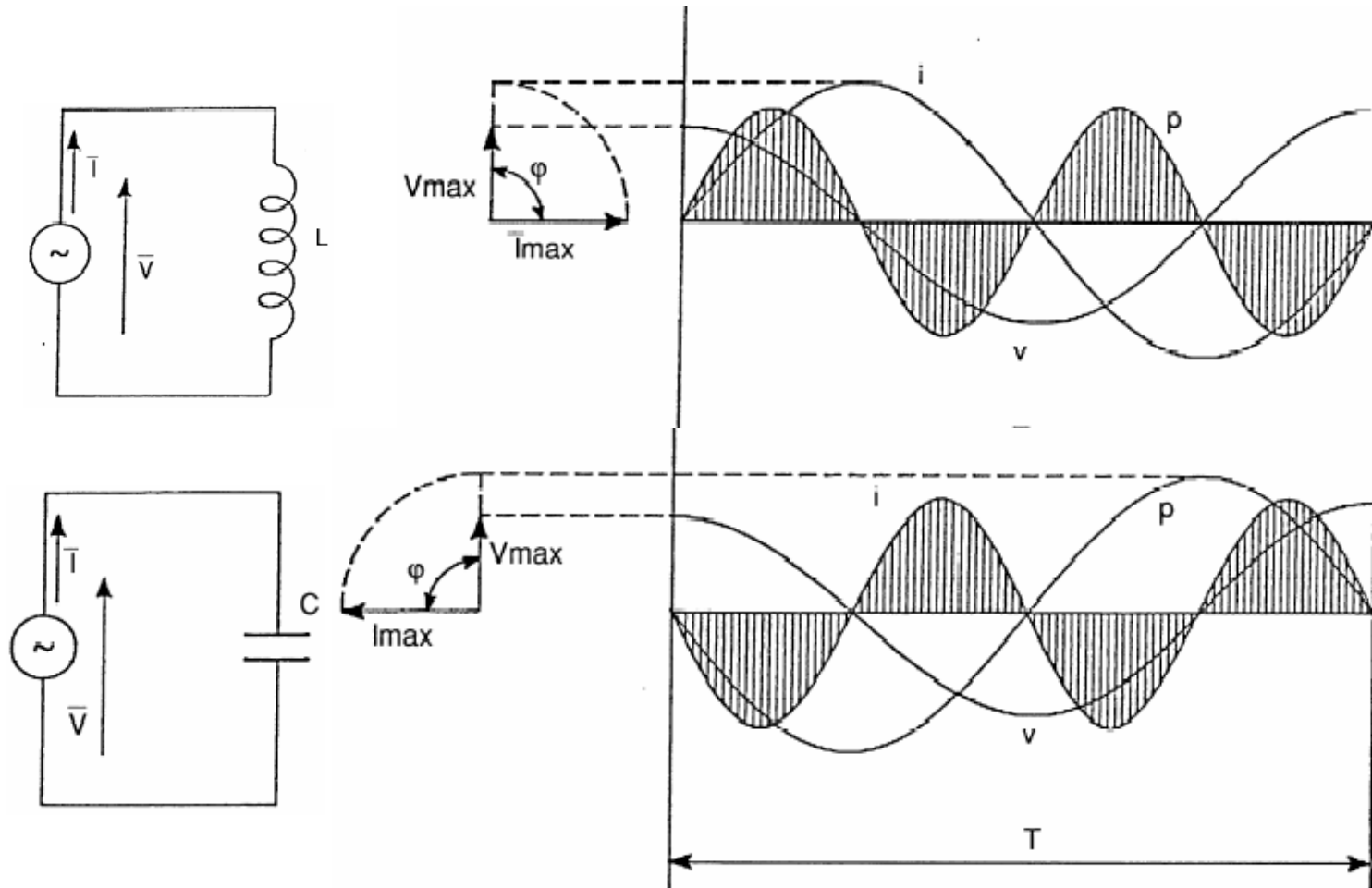
$$P = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$$

$$P = V \cdot I \text{ (W)}$$

In definitiva:

**LA POTENZA ATTIVA E' DATA DAL
PRODOTTO DEL VALORE EFFICACE
DELLA TENSIONE PER IL VALORE
EFFICACE DELLA CORRENTE.**

Diagrammi della potenza istantanea per circuiti induttivi e capacitivi



Potenza reattiva

Dai diagrammi della potenza istantanea per circuiti induttivi o capacitivi, si osserva che la potenza istantanea ha andamento sinusoidale:

- **POSITIVA** la trasmissione di potenza avviene dal generatore all'utilizzatore (durante la semionda positiva si ha un accumulo di energia nella bobina o nel condensatore);
- **NEGATIVA** la trasmissione di potenza avviene dall'utilizzatore verso il generatore (durante la semionda negativa l'energia accumulata in precedenza viene restituita al generatore).

Potenza reale

LE DUE SEMIONDE POSITIVE E NEGATIVE SONO UGUALI per cui, se si considera la potenza media in un periodo, questa risulta nulla : NON VIENE QUINDI EROGATA POTENZA REALE (ad esempio sotto forma di calore).

Ciò è perfettamente coerente in quanto l'unico componente che dissipa potenza (attiva) è la resistenza, mentre nei condensatori e nelle induttanze (elementi reattivi) si ha solo accumulo e restituzione di energia.

La potenza "SCAMBIATA" nei circuiti con elementi reattivi viene chiamata POTENZA REATTIVA (Q) ed è misurata in VAR (volt. ampère reattivi):

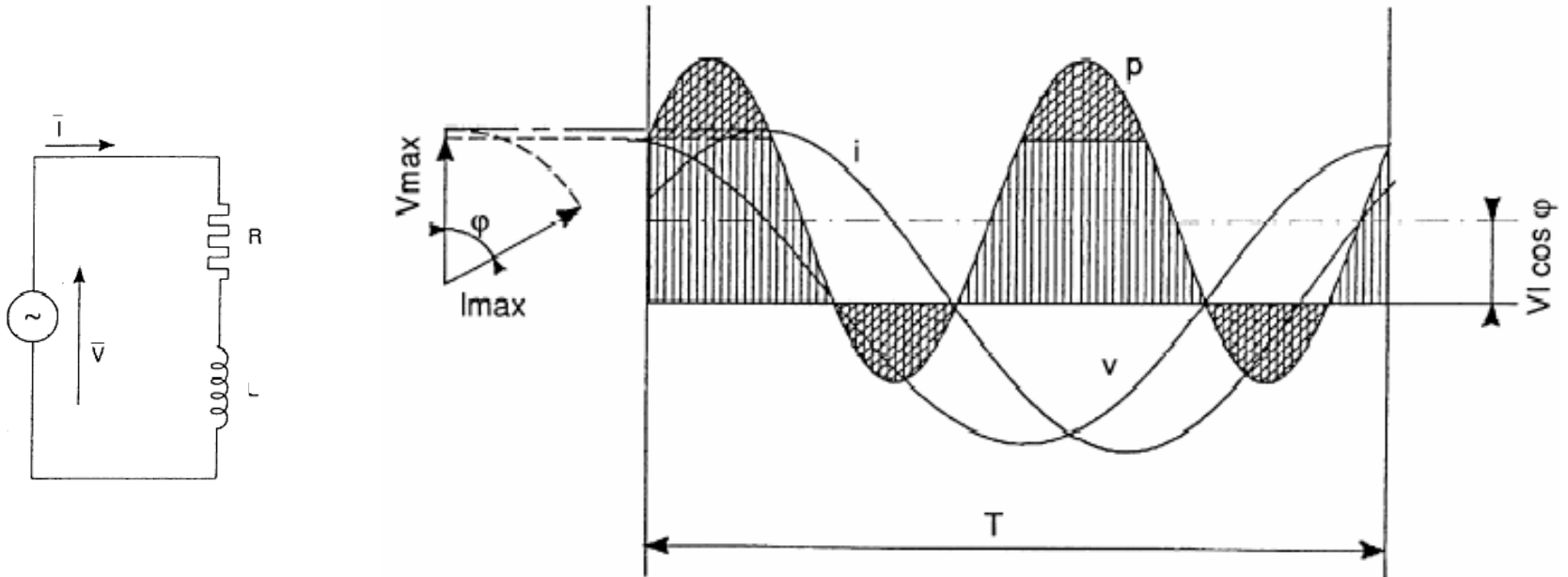
$$Q = V \cdot I$$

Si ricordi che tensione e corrente sono sfasati di 90°. La potenza reattiva nell'induttanza è indicata con Q_L e considerata positiva, mentre quella con condensatore è indicata con Q_C ed è considerata negativa.

Fattore di potenza

Generalmente un circuito presenta un carico formato da una RESISTENZA e da una REATTANZA.

In un circuito di questo tipo tensione e corrente sono sfasate di un angolo φ ($0^\circ < \varphi < 90^\circ$) e la corrente è in ritardo sulla tensione. Normalmente in un circuito reattivo sono riconoscibili componenti di potenze positive e negative.



Fattore di potenza

Le onde positive presentano aree maggiori di quelle negative: significa che la potenza fornita dal generatore all'utilizzatore è sempre maggiore di quella che quest'ultimo restituisce al primo. Se dall'area positiva si sottrae quella negativa, la rimanente rappresenta la potenza utilizzata dal carico (potenza reale o attiva).

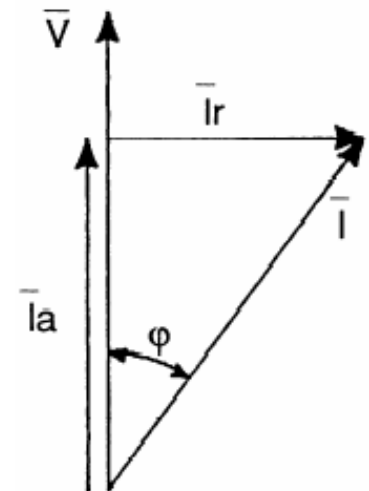
Indicando con I_a (attiva) la componente in fase con la tensione e con I_r quella in quadratura (reattiva) si ha:

$$\text{POTENZA ATTIVA} = P = V \cdot I_a \text{ (W)} \quad \text{POTENZA REATTIVA} = Q = V \cdot I_r \text{ (VAR)}$$

Osservando che i vettori I_a , I_r ed I costituiscono un triangolo rettangolo

$$I_a = I \cos \varphi \quad I_r = I \sin \varphi \text{ e quindi}$$
$$P = V \cdot I \cos \varphi \text{ (W)} \quad \text{e} \quad Q = V \cdot I \sin \varphi \text{ (VAR)}$$

Dove $\cos \varphi = \text{FATTORE DI POTENZA}$ (angolo di sfasamento)





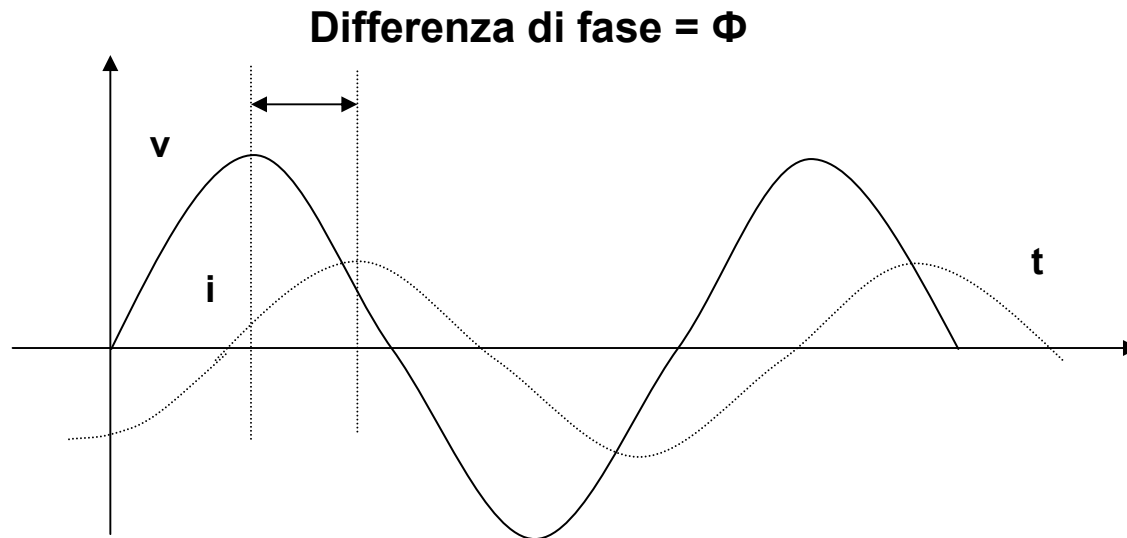
La Potenza Nominale (o apparente)

In pratica il fattore di potenza è un numero compreso tra 0 e 1 ed è uguale al coseno dell'angolo corrispondente alla differenza di fase cioè:

$$\text{Fattore di Potenza} = \cos(\Phi) = R / Z$$

In un circuito di tipo puramente resistivo, in cui la tensione e la corrente sono in fase si ha $\Phi = 0$ e $\cos(\Phi) = 1$ e quindi:

$$\text{Potenza (Watt)} = V \times I \times 1$$



La Potenza Nominale (o apparente)

In un circuito in cui ci sia solo induttanza o capacità (cosa possibile solo in teoria, poiché tutti i circuiti hanno una certa resistenza), si ha $\Phi = 90^\circ$ e $\cos(\Phi) = 0$. In questo caso la potenza dovrebbe essere uguale a 0, con la conseguenza che tutta l'energia immagazzinata nell'induttanza e nel condensatore durante una prima metà di ciclo viene restituita nella seconda metà e perciò la potenza netta risultante sarà uguale a zero.

Le potenze nominali sono molto spesso misurate in VOLTAMPERE (VA) cioè:

$$\text{Potenza (VA)} = V \times I$$

Per questo la misura del valore VA di un solenoide permette di determinare la corrente se si conosce la tensione di alimentazione cioè:

$$I = \text{VA} / V$$

E poiché $P = V \cdot I \cos \varphi$ (W) ne consegue che:

$$\text{Potenza (Watt)} = \text{Potenza(VA)} \times \text{fattore di Potenza}$$

Esempio

La bobina di un solenoide alimentato in c.a. a 110 V e 50 Hz ha una resistenza di 10Ω e un'induttanza di 0,5H (con una capacità trascurabile): si calcoli la potenza del solenoide in Watt e il valore VA.

Le formule necessarie

$$X_L = 2\pi \times f \times L$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$V = Z I$$

$$\text{Potenza (VA)} = V \times I$$

$$\text{Fattore di potenza} = \cos(\Phi) = R / Z$$

$$\text{Potenza (Watt)} = \text{VA} \times \text{Fattore di Potenza}$$

Soluzione

Impedenza (Z) = 157 Ω

Corrente (I) = V/Z = 110/157 = 0,7 Ampere

quindi il valore di VA = 110 x 0,7 = 77 VA

Fattore di potenza = cos (Φ) = R / Z = 10/157 = 0,064

pertanto

la potenza (Watt) = VA x Fattore di Potenza = 77 x 0,064 = 4,9 W

TRASFORMATORI

Proprietà dei Trasformatori

Scopo principale dei trasformatori è di modificare i parametri che definiscono la potenza, da questa proprietà deriva appunto il nome di trasformatore.

Ricordiamo che la potenza elettrica si esprime come prodotto dei due fattori: tensione e corrente, si può avere, ad esempio una potenza di 10Kw, tanto con una tensione di 200 volt e corrente di 50 ampere, quanto una tensione di 10kv e corrente di 1 ampere.

In generale data una determinata potenza se si aumenta la tensione diminuisce in proporzione la corrente, e viceversa. Il trasformatore adempie appunto alla funzione di mutare il valore di questi due parametri consentendo quindi di alimentare macchine e apparecchi previsti per una tensione diversa da quella della rete.

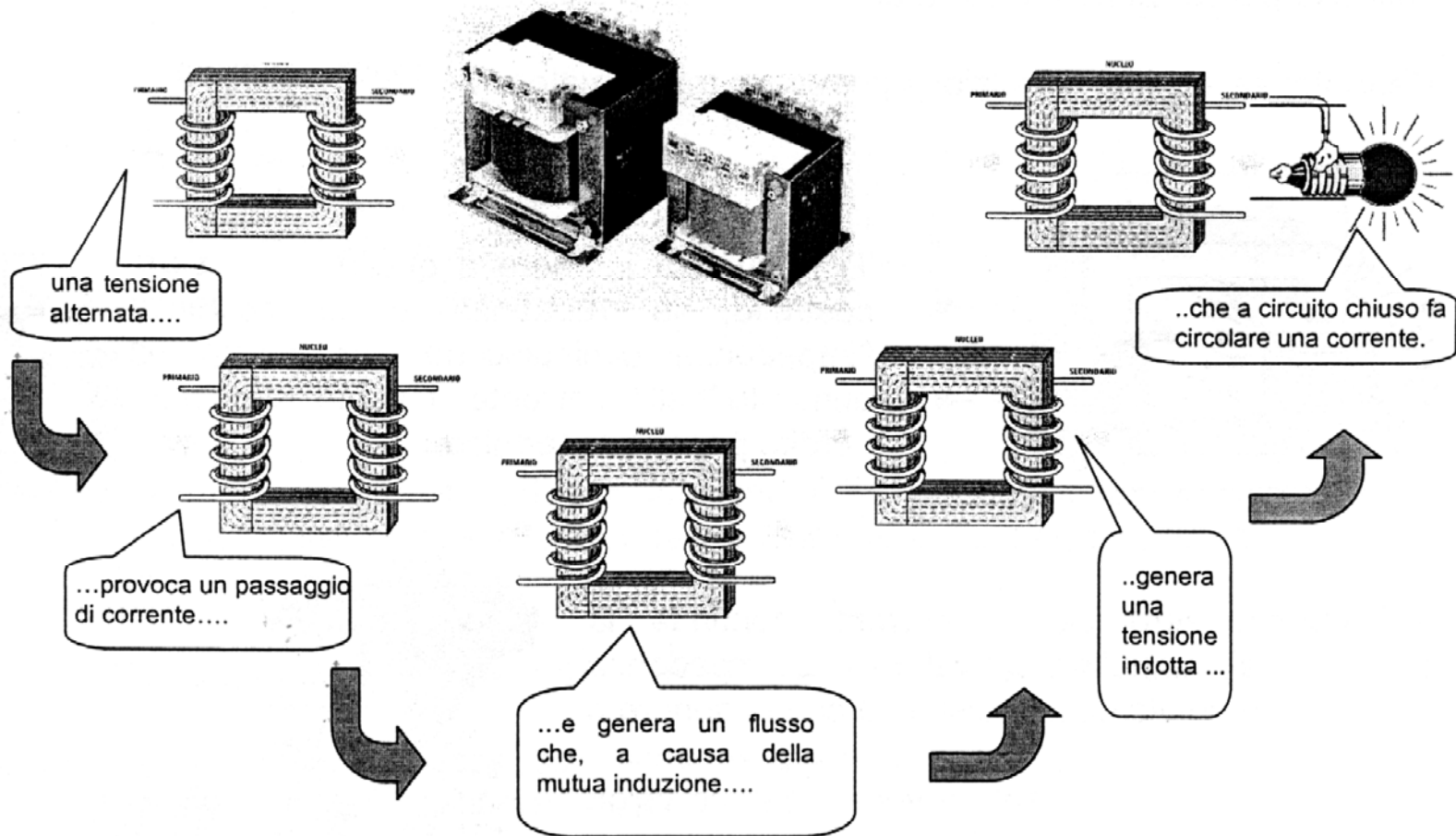
Lo scopo per il quale il trasformatore è stato inventato, è quello del trasporto dell'energia elettrica a grande distanza.

E' costituito da due circuiti detti "avvolgimenti ", formati da spire isolate elettricamente tra loro, ed avvolte su di un nucleo di ferro. L'avvolgimento che riceve corrente dalla linea di alimentazione viene chiamato "**primario**", mentre quello che la fornisce all'utilizzatore viene chiamato "**secondario**".

Alimentando con una tensione alternata il primario del trasformatore, si ha in esso un passaggio di corrente che crea nel nucleo un flusso alternato.

Questo flusso concatenandosi con il secondario, a causa del fenomeno della mutua induzione, vi genera una tensione indotta che, a secondario chiuso su di un carico, fa circolare in esso una corrente.

Processo di trasformazione

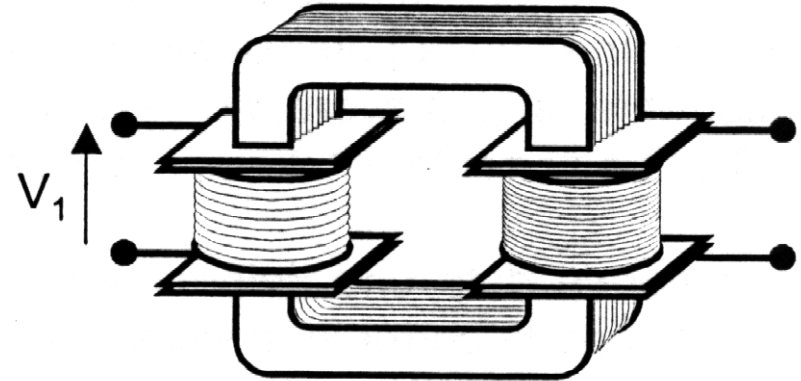


Alimentando il trasformatore con una corrente continua, si genera un flusso costante, e quindi nel secondario non si induce nessuna tensione

Corrente primaria a vuoto

Alimentando il trasformatore con una tensione alternata ,quando il secondario è aperto, si ha nel primario un passaggio di corrente di intensità molto debole, detta corrente a vuoto o di magnetizzazione.

Il valore della corrente a vuoto dipende dalla tensione primaria applicata e dall'impedenza del circuito primario.



$$I_0 = \frac{V_1}{Z_1}$$

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_{L1}^2}$$

$$X_L = 2\omega fL$$

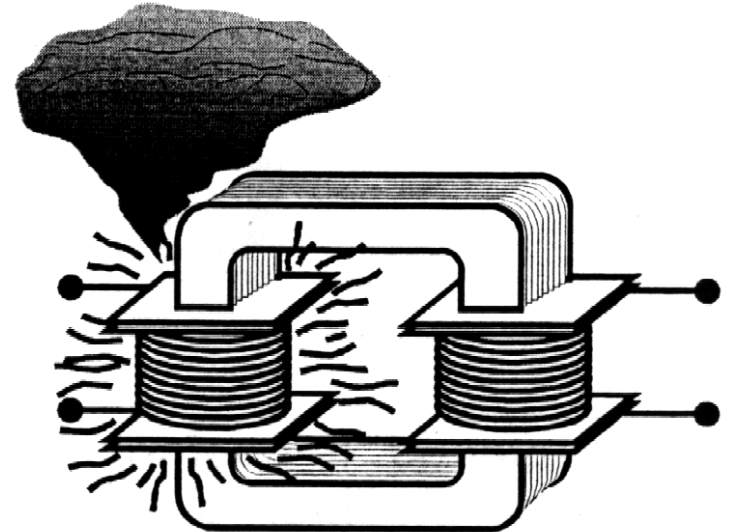
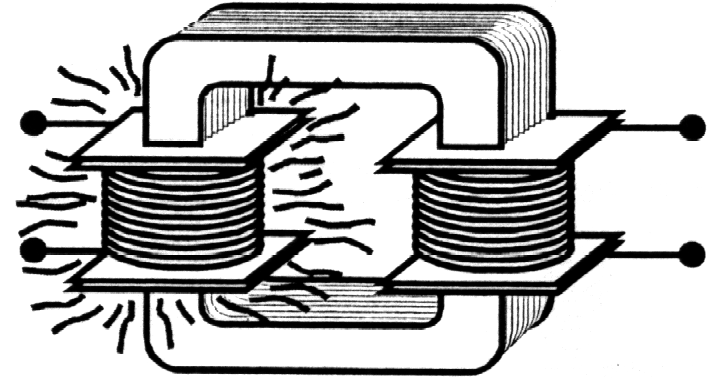
L'impedenza primaria del trasformatore ha sempre un valore tale da dar luogo ad un passaggio di una piccola corrente a vuoto, e quindi di provocare nel trasformatore stesso una piccola perdita per effetto termico.

Poiché l'impedenza dipende, oltre che dalla resistenza, anche dalla reattanza che, come si è visto, varia al variare della frequenza , si ha che il trasformatore viene costruito per funzionare ad una determinata frequenza.

Da evitare

Se a parità di tensione primaria il trasformatore viene fatto funzionare a:

- 1) frequenza inferiore a quella per cui è stato costruito; la reattanza e di conseguenza l'impedenza diminuiscono per cui si ha un aumento della corrente a vuoto e quindi delle perdite per effetto termico.
- 1) frequenza zero, cioè in corrente continua: la reattanza si annulla, il valore dell'impedenza coincide con quello della resistenza che in genere è molto piccolo.
Di conseguenza, la corrente a vuoto assume valori molto elevati, tali da bruciare il trasformatore e provocare un cortocircuito sulla linea.



Relazione tra corrente primaria e secondaria

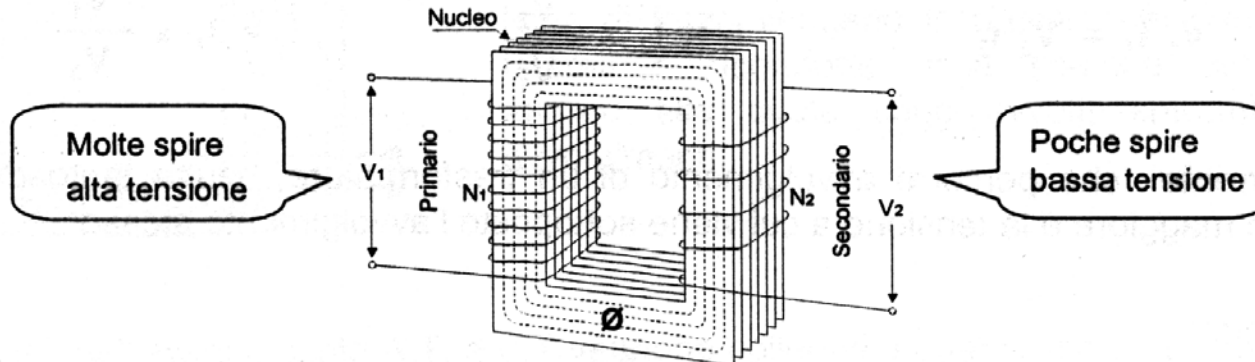
Il rapporto tra il numero di spire del secondario ed il numero di spire del primario, corrisponde al rapporto tra la tensione secondaria e quella primaria e viene detto:

"Rapporto di trasformazione (K)".

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

La relazione esistente tra il numero di spire e le tensioni può essere spiegata dal fatto che, essendo il flusso magnetico uguale ad ogni sezione del nucleo, in ogni spira, sia del primario che del secondario, si ha la stessa f.e.m., quindi:

- **maggiore** è il numero di spire di un avvolgimento, maggiore è la tensione prelevabile ai suoi capi.
- **minore** è il numero di spire di un avvolgimento, minore è la tensione prelevabile ai suoi capi



In un trasformatore, se si escludono le perdite, la potenza assorbita dal primario è uguale a quella fornita dal secondario all'impedenza del circuito esterno:

$$V_1 \times I_1 = I_2 \times V_2 \quad \text{E quindi:} \quad I_1 = I_2 \times \frac{V_2}{V_1} \quad I_2 = I_1 \times \frac{V_1}{V_2}$$

RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI COMANDI AUTOMATICI

- Ciclo di lavoro e Fasi
- Diagramma delle Fasi
- Analisi dei segnali di comando

La logica dei Circuiti

Le lettere dell'alfabeto si usano per indicare i cilindri: A, B, C,

Azionamento che fa uscire il pistone = A+, B+, ...

Azionamento che fa entrare il pistone = A-, B-, ...

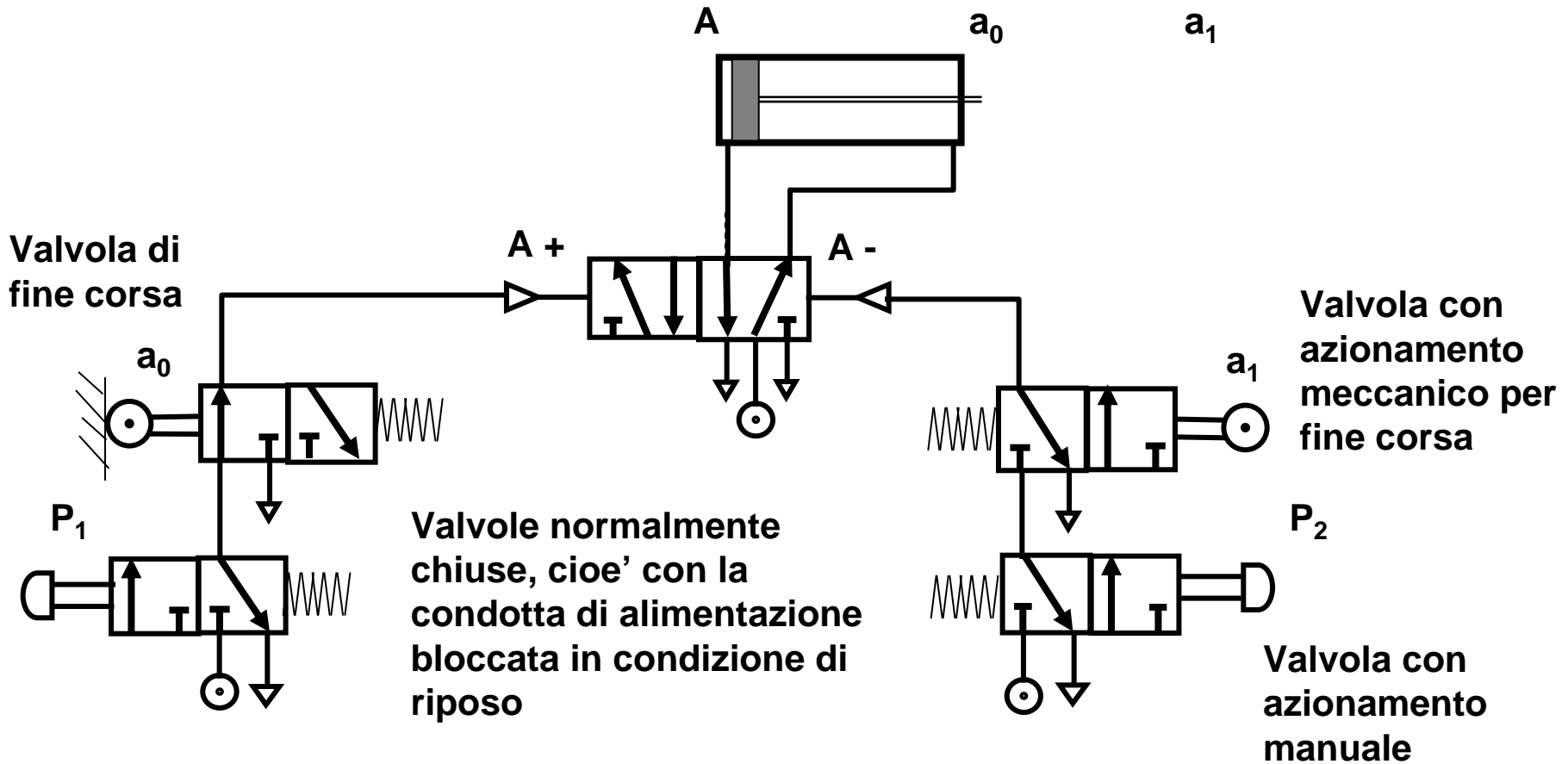
Fine corsa pistone dentro = a_0 (punto di fine corsa)

Fine corsa pistone fuori = a_1 (punto di fine corsa)

4 condizioni di verifica della logica

1. Do un comando
2. Verifico la correttezza
3. Eseguo il comando
4. Verifico che sia eseguito

Realizzazione di un Circuito



Ciclo

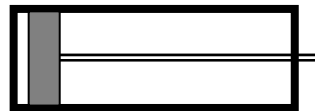
Si definisce CICLO l'insieme dei movimenti che sono compiuti partendo dalla condizione di riposo e ritornando nella condizione di riposo

A+ e' il movimento che porta fuori il pistone

A- e' il movimento che porta dentro il pistone,

Il CICLO più semplice si può rappresentare con:

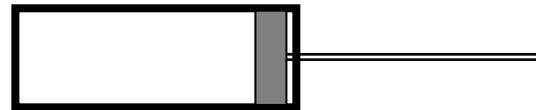
A+ A-



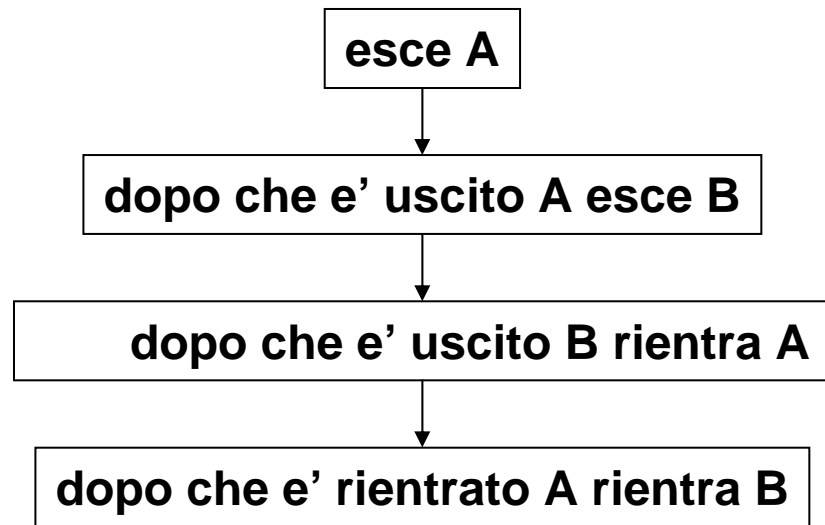
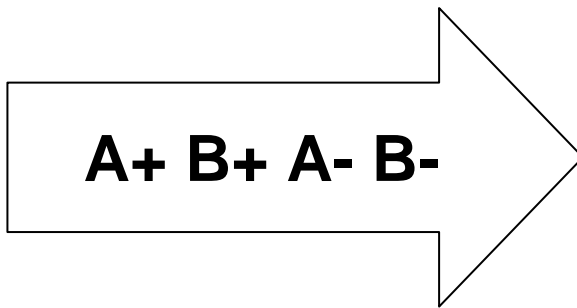
Condizione di riposo

oppure

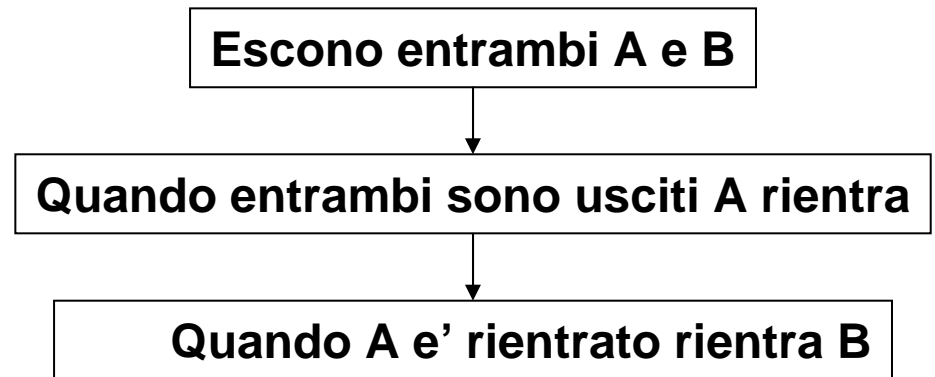
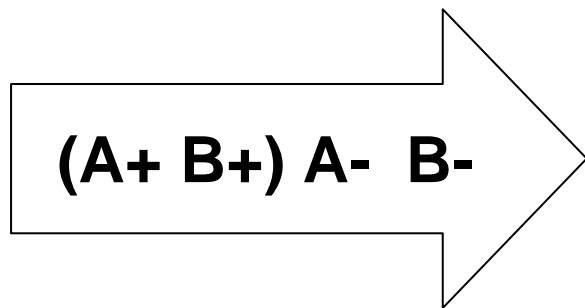
A- A+



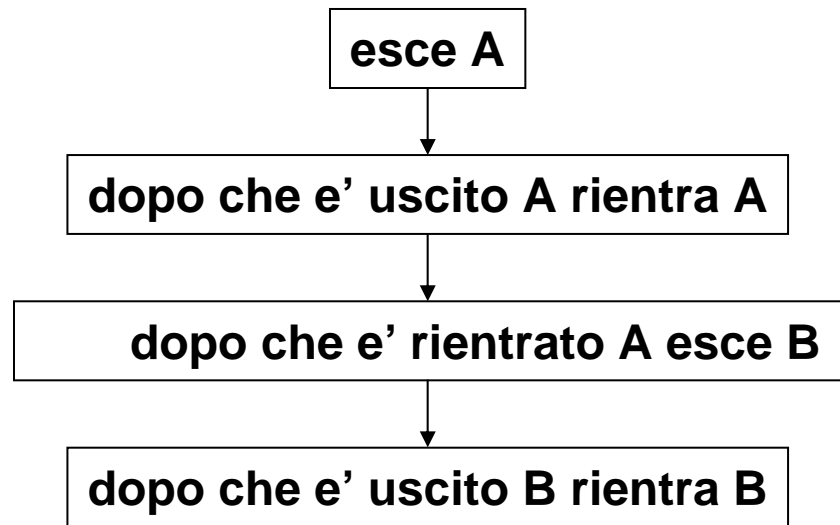
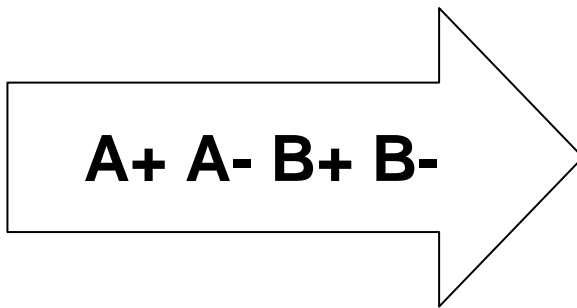
Ciclo a due Cilindri: A+ B+ A- B-



Ciclo a due Cilindri: (A+ B+) A- B-



Ciclo a due Cilindri: A+ A- B+ B-



Le fasi nel ciclo

Nel Ciclo precedente ci sono 4 fasi:

LA FASE E' LA PARTE DI LAVORO IN CUI AVVENGONO MOVIMENTI
SIMULTANEI

Si possono avere tre tipi di CICLI:

a) CICLO MANUALE

Un ciclo e' MANUALE quando per realizzare ciascuna fase di lavoro necessita un comando manuale

b) CICLO SINGOLO (O SEMIAUTOMATICO)

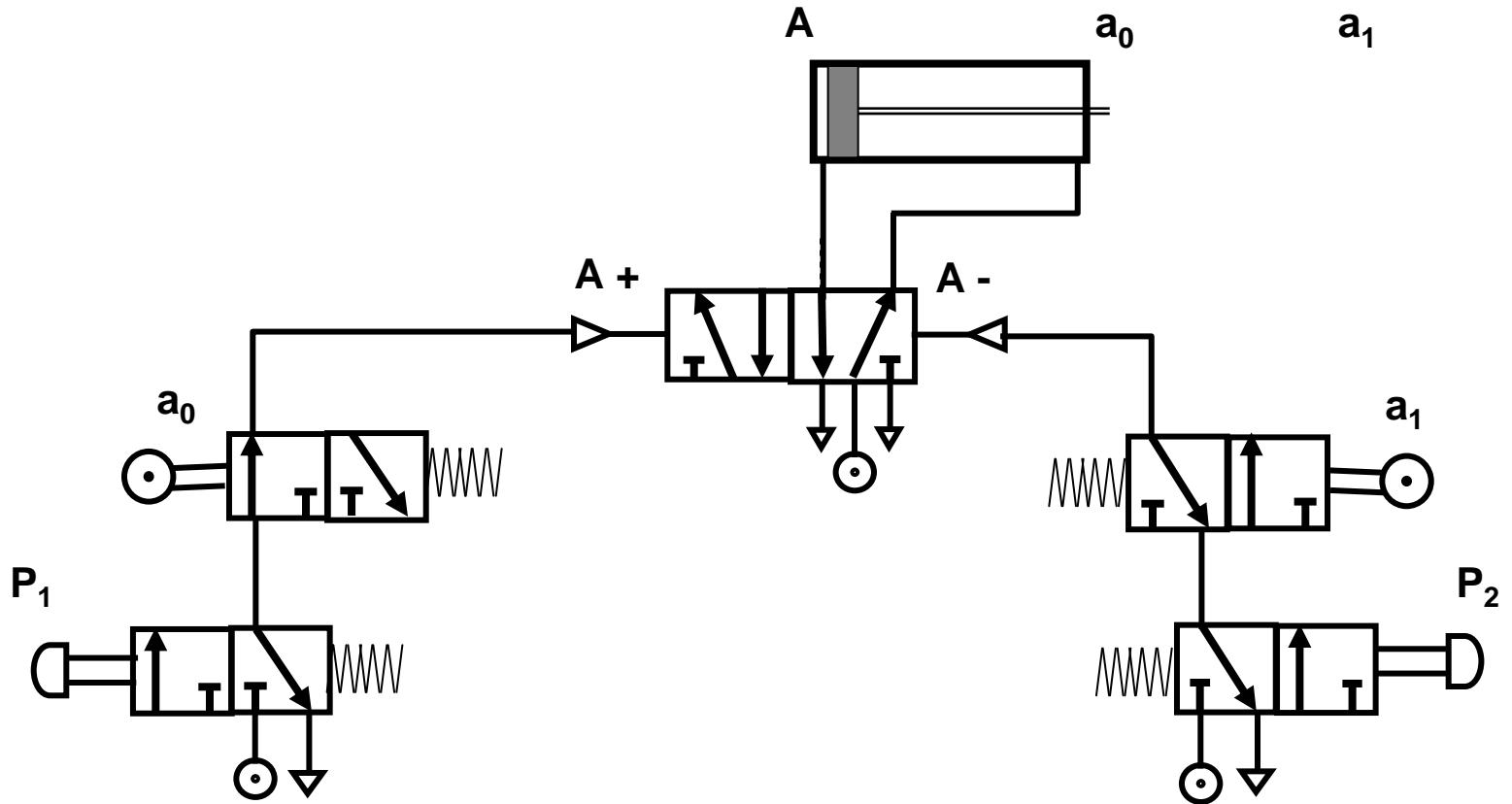
Un ciclo e' SINGOLO quando viene richiesto un solo comando per eseguire tutto il ciclo (Es.: la pressa)

c) CICLO CONTINUO (O AUTOMATICO)

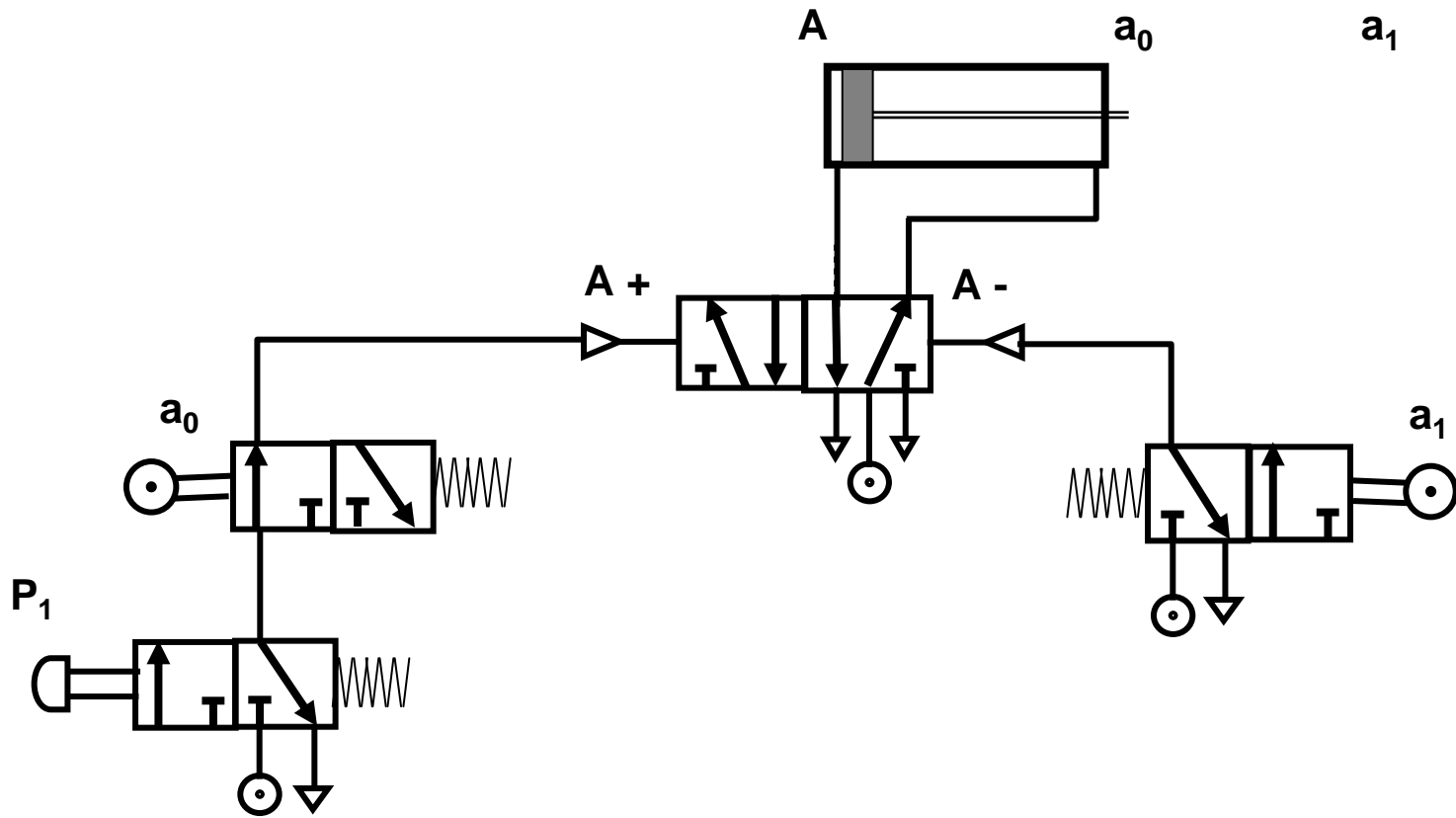
Un ciclo e' CONTINUO quando richiede un comando per avviare il primo ciclo e poi automaticamente va avanti per tanti altri cicli finché non avviene un altro comando che arresta la macchina (Es.: un contatore)

Può esserci un comando detto SELETTORE DI CICLO che stabilisce come la macchina deve lavorare

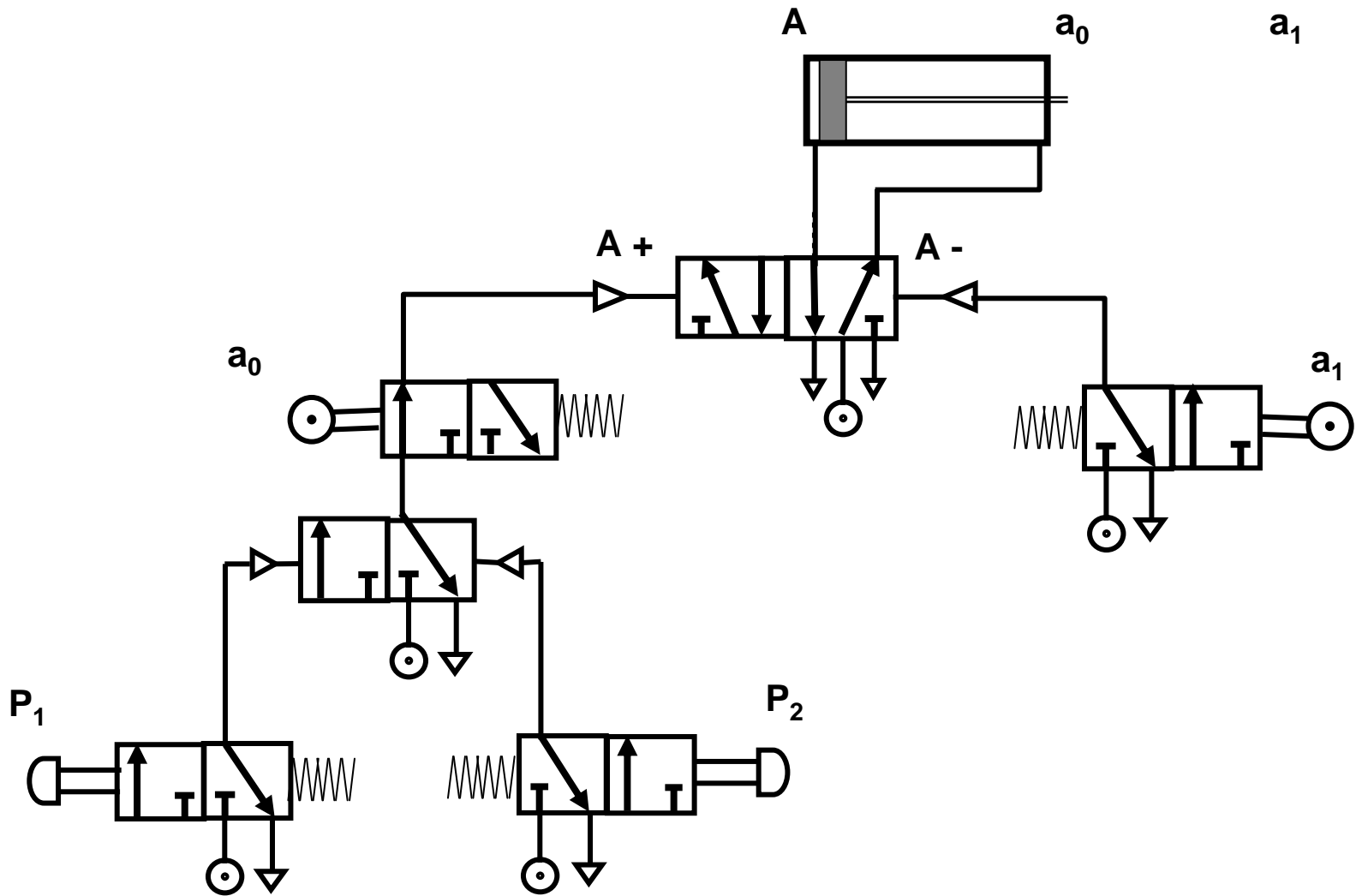
Ciclo Manuale



Ciclo Singolo



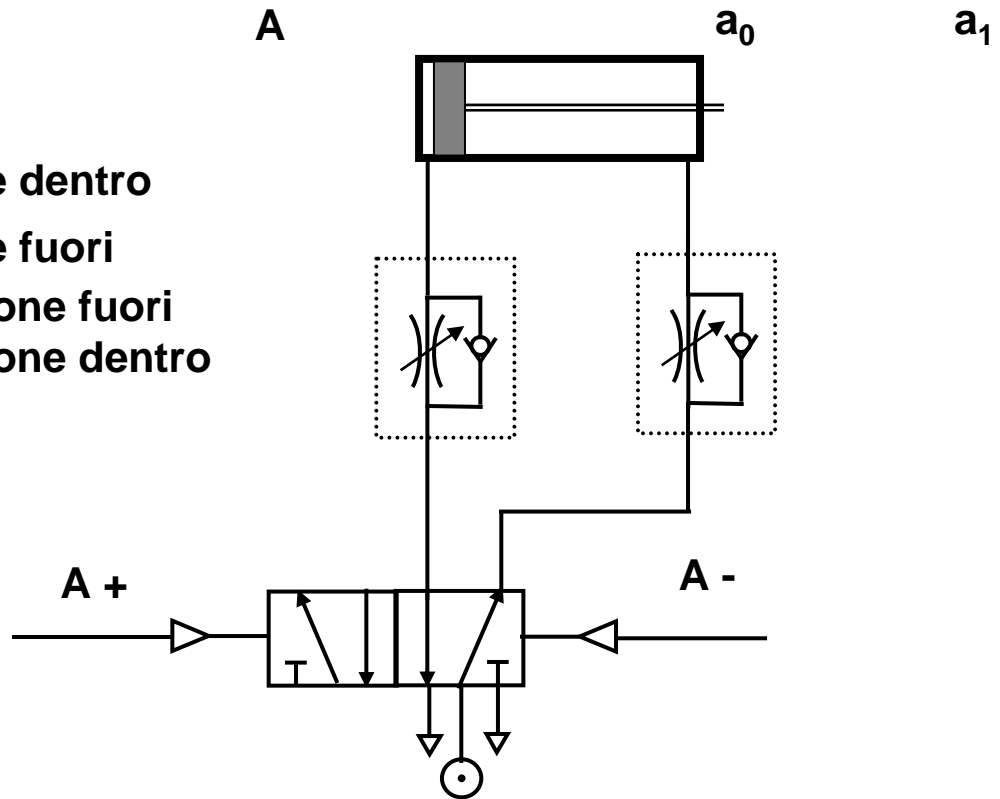
Ciclo Continuo



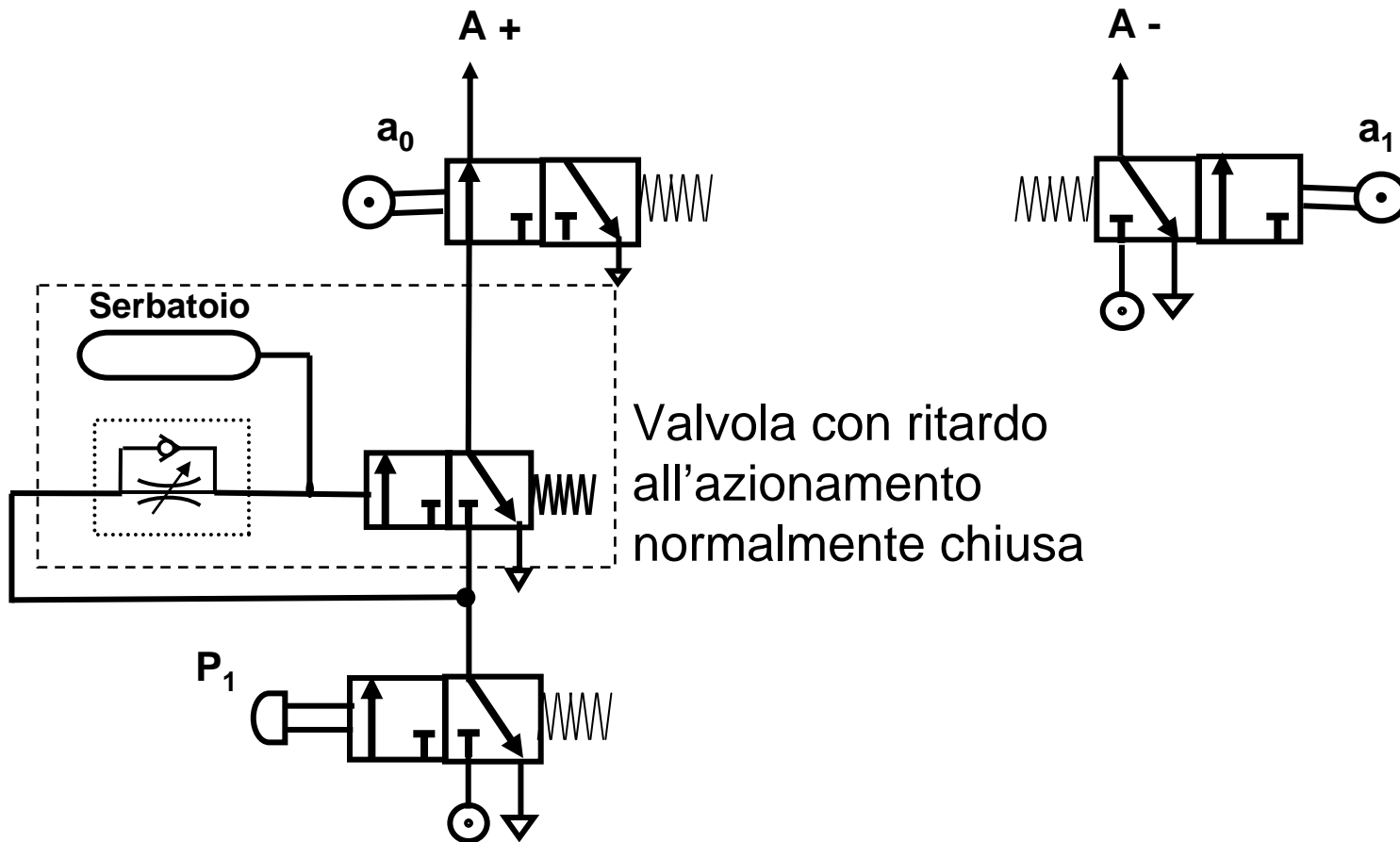
Circuito di Potenza

NEL SEGUITO SI FARA' RIFERIMENTO A QUESTO CIRCUITO DI POTENZA

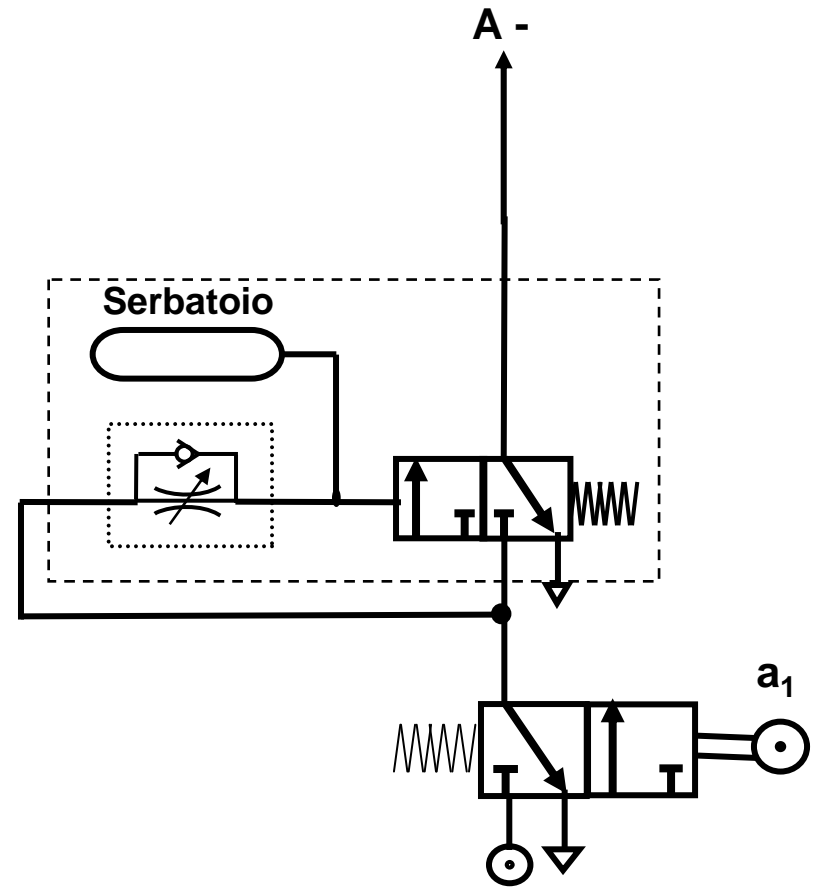
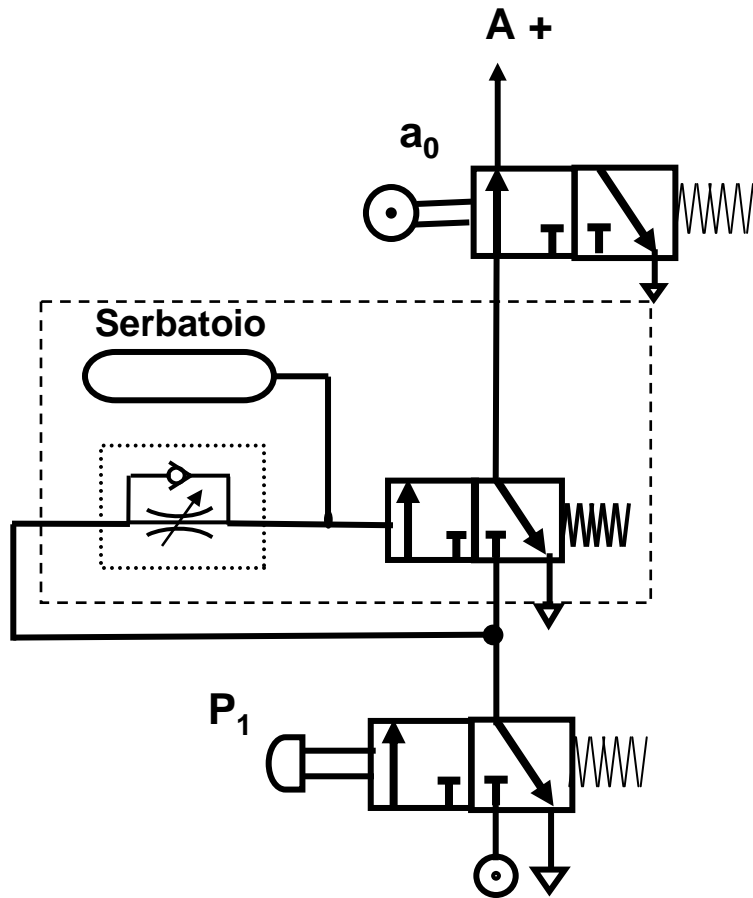
- A** = cilindro corrente
- a₀** = fine corsa pistone dentro
- a₁** = fine corsa pistone fuori
- A +** = azionamento pistone fuori
- A -** = azionamento pistone dentro



Ciclo singolo con uscita temporizzata



Ciclo singolo con uscita e rientro temporizzati



Esercizio del flip-flop

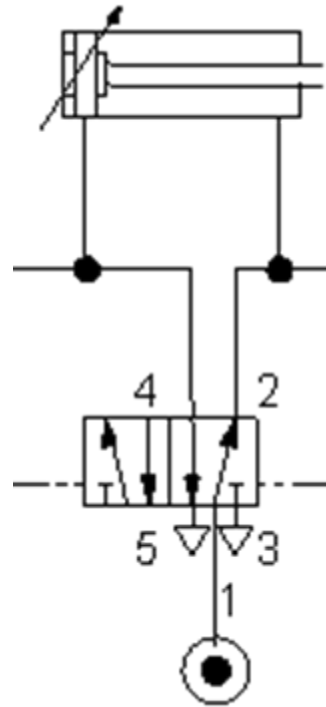
Realizzare il ciclo manuale A+ A- con un solo pulsante:

- Premo il pulsante → esce A
- Premo il pulsante → rientra A

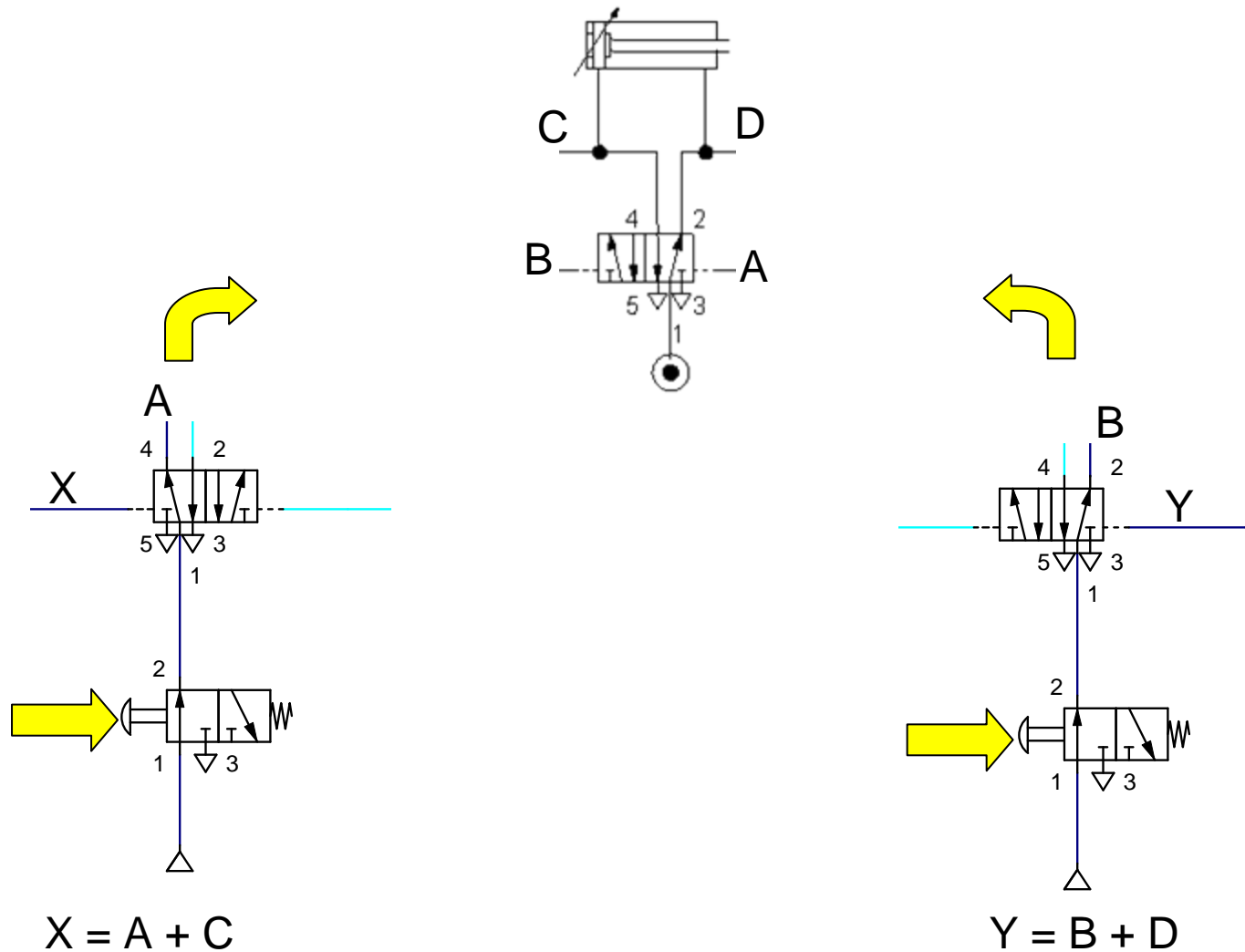
Componenti:

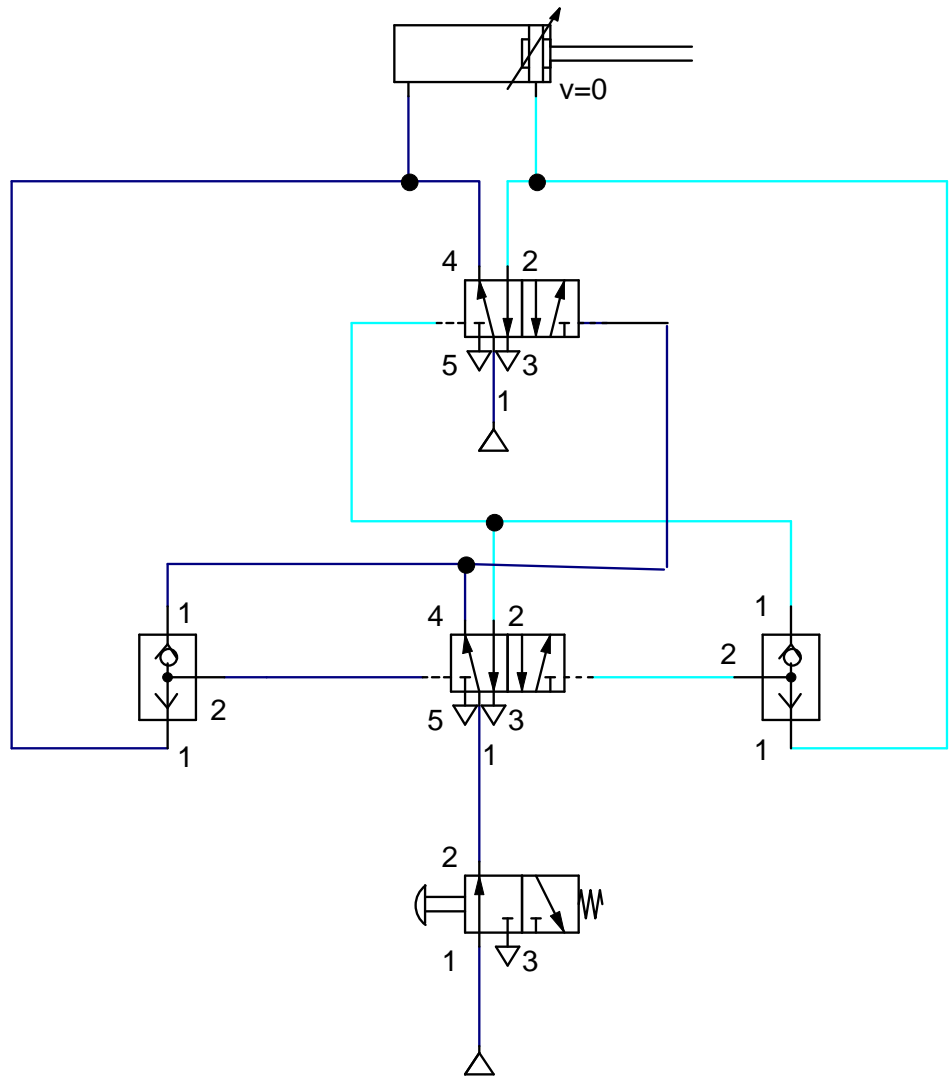
- 1 cilindro a D.E.
- 2 valvole 5/2
- 2 valvole OR
- 1 pulsante

Innanzitutto si deve alimentare il cilindro

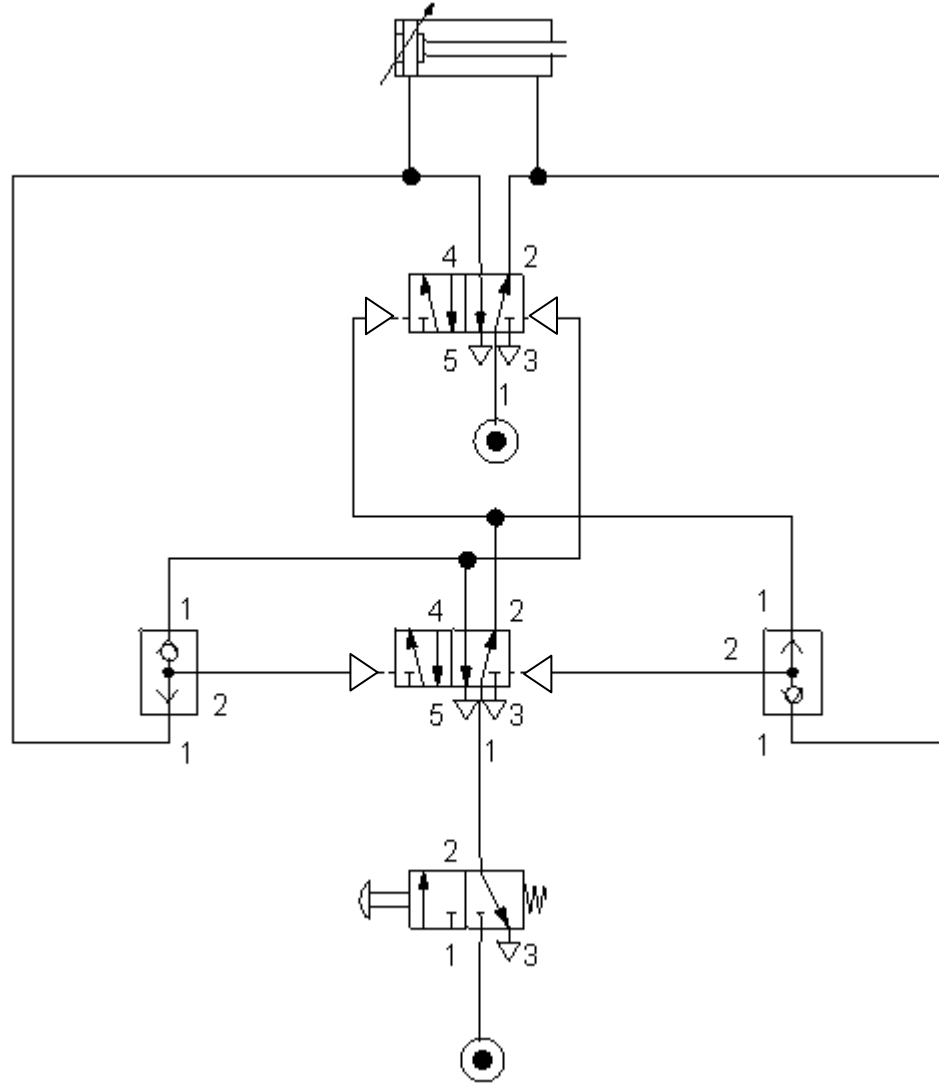


Con l'altra bistabile si debbono distinguere i due consecutivi segnali del pulsante





FLIP-FLOP



Metodo grafico per la definizione dei cicli di lavoro

Per descrivere un ciclo di lavoro sono utilizzate alcune convenzioni abituali:

1. gli attuatori si indicano con le lettere maiuscole A, B, C,
2. il segno + fatto seguire alla lettera indica la corsa d'andata (fuoriuscita dello stelo); ad esempio A+ indica la corsa d'andata del cilindro A
3. il segno - fatto seguire alla lettera indica la corsa di ritorno (rientro dello stelo); ad esempio A- indica la corsa di ritorno del cilindro A
4. Per analogia con i segni, la posizione del cilindro con stelo rientrato si dice negativa, quella con stelo fuoriuscito si dice positiva
5. Considerando il distributore di potenza che comanda un attuatore si dice lato negativo quello relativo alla corsa di ritorno dello stelo, si dice lato positivo quello relativo alla corsa d'andata
6. il ciclo può essere descritto indicando consecutivamente i movimenti delle varie fasi; ad esempio:

A+ B+ C+ A- B- C-

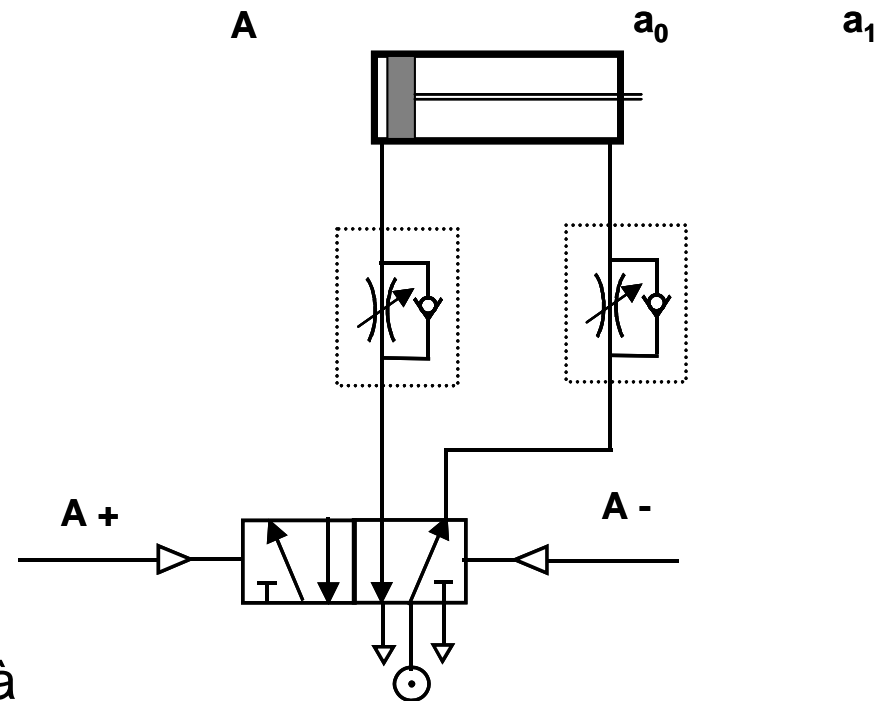
qualora in una fase ci sia il movimento contemporaneo di più attuatori, questo dovrà essere indicato ponendolo necessariamente entro parentesi, ad esempio

A+ B+ C+ A- (B-C-)

Convenzione sui distributori di potenza

Si fa notare che ogni fase del ciclo può iniziare solo quando è terminata la fase precedente, per questo ad esempio la corsa d'andata del cilindro B nella seconda fase avviene dall'istante in cui A è arrivato a fine corsa

Quando si dice corsa contemporanea di due o più cilindri si deve intendere che partono tutti insieme, essendo azionati contemporaneamente a seguito dello stesso evento, ma non necessariamente che procedono insieme per tutta la corsa, le velocità e le corse possono anche essere diverse



Definizione dei segnali di comando

La successione dei movimenti, ognuno dei quali legato ad un evento precedente, ci permette di definire i segnali di comando del ciclo e di passare ad una sua descrizione in forma tabellare.

- I finecorsa relativi ad ogni attuatore si indicano con le lettere minuscole a, b, c, \dots . Seguite dal pedice 0 o 1 a seconda che si tratti rispettivamente del finecorsa azionato dallo stelo in posizione negativa o di quello azionato dallo stelo in posizione positiva
- Lo start si indica con la lettera m .

Consideriamo il ciclo

A+ B+ C+ A- B- C-

E osserviamo che:

- Il moto **B+** può avvenire solo dopo che **A** ha ultimato la propria corsa di andata e quindi ha azionato il finecorsa a_1 ; quindi a_1 è il segnale di comando del movimento **B+**. Ciò si può indicare in una tabella, ponendo a_1 nella colonna della seconda fase immediatamente sotto **B+**
- Il moto **C+** non può avvenire finché **B** non ha azionato b_1 , pertanto b_1 è il segnale di comando del movimento **C+**; la tabella diviene

Ciclo A+ B+ C+ A- B- C-

Fase	1	2	3	4	5	6	7
Moto	A+	B+	C+	A-	B-	C-	A+
Segnale	c_0	a_1	b_1	c_1	a_0	b_0	c_0

dove si è sottolineato che l'ultimo movimento del ciclo, essendo questo ripetuto con continuità, deve precedere il primo movimento del ciclo successivo. La procedura descritta diventa immediata una volta che si sia scritta la prima riga della tabella (riga dei moti)

Allo scopo basta seguire il metodo illustrato dalla tabella che segue per il ciclo indicato:

Ciclo A+ B+ C+ A- (B-C-)

A+ B+ C+ A- (B-C-)

Fase	1	2	3	4	5
Moto	A+	B+	C+	A-	B-C-
Segnale	b_0	a_1	b_1	c_1	a_0
	c_0				

Il fatto che b_0 e c_0 siano posti in colonna con A+ significa che la fase può avvenire solo quando b_0 e c_0 sono entrambi azionati, in altre parole quando il loro prodotto logico AND vale 1. Per completare i due esempi occorre inserire solo il segnale di start ovvero quello che dà il via al ciclo. Esso dovrà porsi in AND con i segnali di comando che consentono la prima fase.

Cicli definitivi

A+ B+ C+ A- B- C-

Fase	1	2	3	4	5	6
Moto	A+	B+	C+	A-	B-	C-
Segnale	c_0	a_1	b_1	c_1	a_0	b_0
	m					

A+ B+ C+ A- (B-C-)

Fase	1	2	3	4	5
Moto	A+	B+	C+	A-	B-C-
Segnale	b_0	a_1	b_1	c_1	a_0
	c_0				
	m				

Lettura del ciclogramma

A+ B+ C+ A- B- C-

Fase	1	2	3	4	5	6
Moto	A+	B+	C+	A-	B-	C-
Segnale	c_0	a_1	b_1	c_1	a_0	b_0
	m					

1. m e c_0 comandano A+,
2. a_1 comanda B+,
3. b_1 comanda C+,
4. c_1 comanda A-,
5. a_0 comanda B-,
6. b_0 comanda C-.

Impostazione dello schema per la costruzione del diagramma delle fasi

Ciclo	A+ B+ C+ A- (B-C-)					
Fase	1	2	3	4	5	
Moto	A+	B+	C+	A-	B-C-	
Segnale	b_0	a_1	b_1	c_1	a_0	
	c_0					
	m					
Attuatori	Diagramma delle fasi					Segnali attivi
+						a_1
A						
-						a_0
+						b_1
B						
-						b_0
+						c_1
C						
-						c_0

Preparazione schema ciclo

A+ B+ C+ A- B- C

Ciclo	A+ B+ C+ A- B- C-						
Fase	1	2	3	4	5	6	
Moto	A+	B+	C+	A-	B-	C-	
Segnale	c_0	a_1	b_1	c_1	a_0	b_0	
	m						
Attuatori	Diagramma delle fasi						Segnali attivi
+							a_1
A							a_0
-							b_1
+							b_0
B							c_1
-							c_0
+							
C							
-							

Stesura del diagramma dei movimenti

- I movimenti del ciclo di lavoro si rappresentano su appositi diagrammi di moto con i quali è possibile sia seguire lo svolgimento delle fasi attraverso cui si sviluppa il ciclo stesso, che procedere all'analisi dei segnali di comando
- Tale rappresentazione grafica si basa sulla tabella del ciclo la cui stesura abbiamo analizzato precedentemente
- Essa si ottiene disegnando i movimenti degli steli dei vari attuatori secondo i criteri descritti nell'esempio seguente relativo al ciclo A+ B+ C+ A- (B-C-)
- Per prima cosa si imposta lo schema come illustrato sopra, quindi si passa a rappresentare le corse e le soste degli steli fase per fase
- Nella fase 1 avviene la corsa di andata del cilindro A mentre B e C restano fermi nella posizione negativa raggiunta dall'ultimo movimento ad essi relativo

Rappresentazione della prima fase

Ciclo	A+ B+ C+ A- (B-C-)					
Fase	1	2	3	4	5	
Moto	A+	B+	C+	A-	B-C-	
Segnale	b_0	a_1	b_1	c_1	a_0	
	c_0					
	m					
Attuatori	Diagramma delle fasi					Segnali attivi
+	A					a_1
-						a_0
+	B					b_1
-						b_0
+	C					c_1
-						c_0

- Il segmento obliquo marcato rappresenta il passaggio dello stelo di A dalla posizione negativa a quella positiva ovvero la sua corsa di andata
- I due segmenti marcati orizzontali rappresentano le soste degli steli dei cilindri B e C nelle loro posizioni negative

Rappresentazione della seconda fase

- Nella fase 2 si ha la corsa di andata di B e la sosta di A e di C rispettivamente nella posizione positiva e negativa

Ciclo	A+ B+ C+ A- (B-C-)					
Fase	1	2	3	4	5	
Moto	A+	B+	C+	A-	B-C-	
Segnale	b_0	a_1	b_1	c_1	a_0	
	c_0					
	m					
Attuatori	Diagramma delle fasi					Segnali attivi
+						a_1
A						
-						a_0
+						b_1
B						
-						b_0
+						c_1
C						
-						c_0

Le altre fasi

- Nella terza fase si ha la corsa di andata di C e la sosta di A e di B nella loro posizione positiva
- Nella fase quarta si ha la corsa di ritorno di A mentre B e C sono nella loro posizione positiva
- Nell'ultima fase si hanno contemporaneamente le corse di ritorno di B e di C mentre A è fermo nella sua posizione negativa

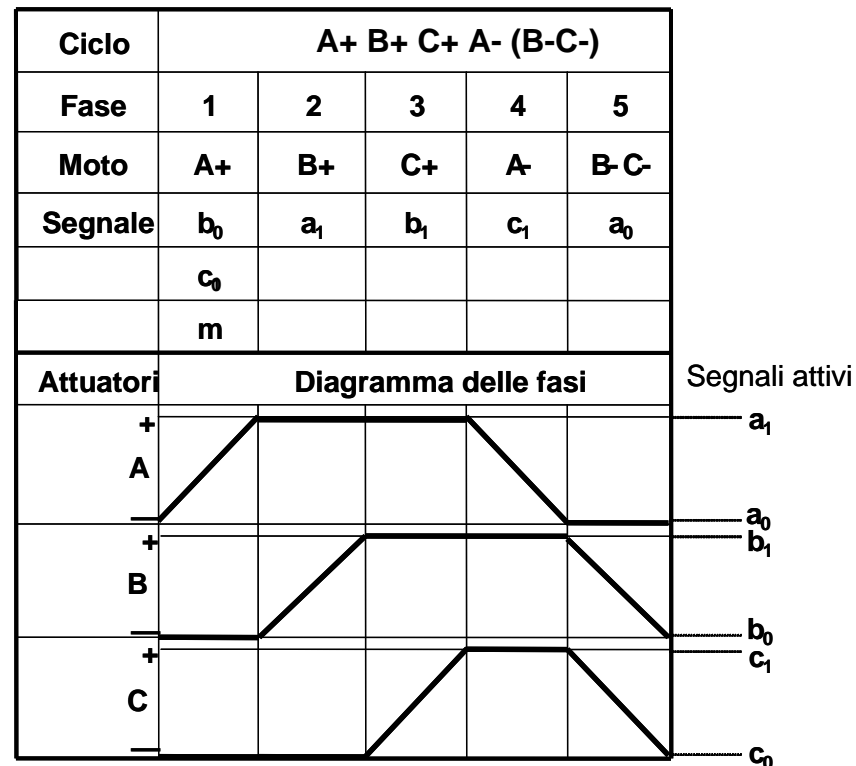


Diagramma A+ B+ C+ A- (B-C-)

Ciclo	A+ B+ C+ A- (B-C-)				
Fase	1	2	3	4	5
Moto	A+	B+	C+	A-	B- C-
Segnale	b ₀	a ₁	b ₁	c ₁	a ₀
	c ₀				
	m				

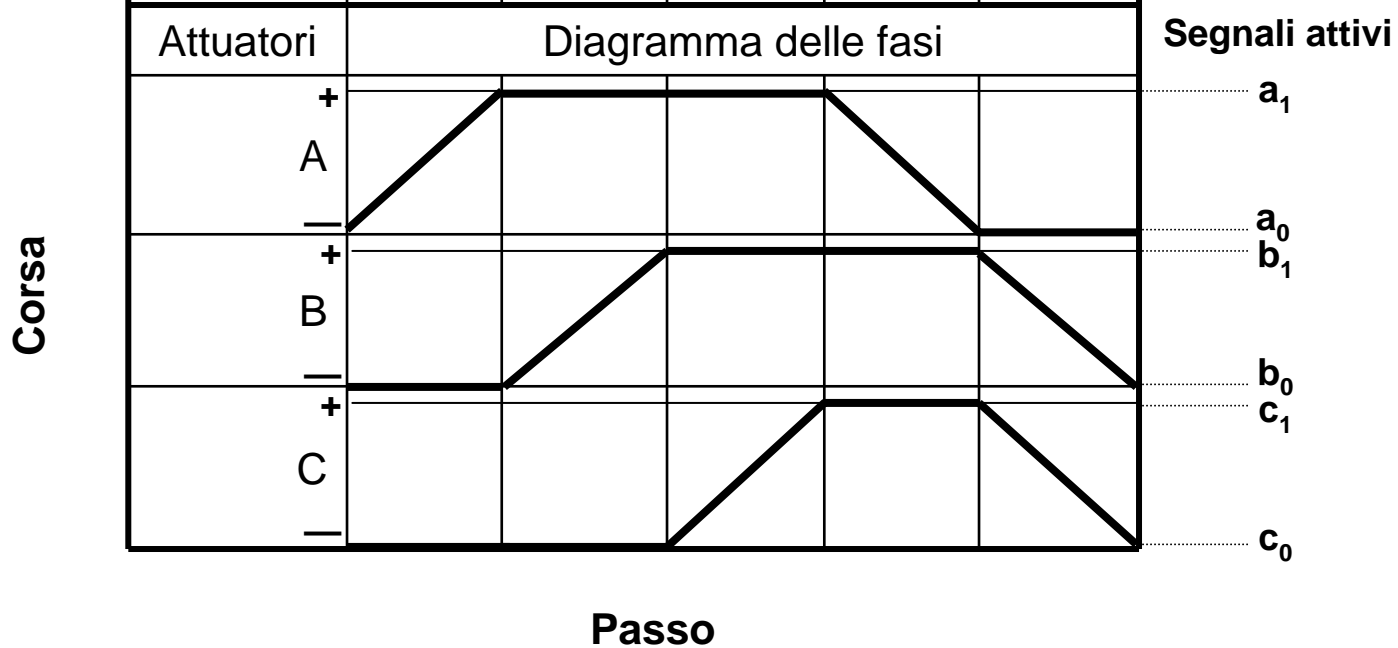
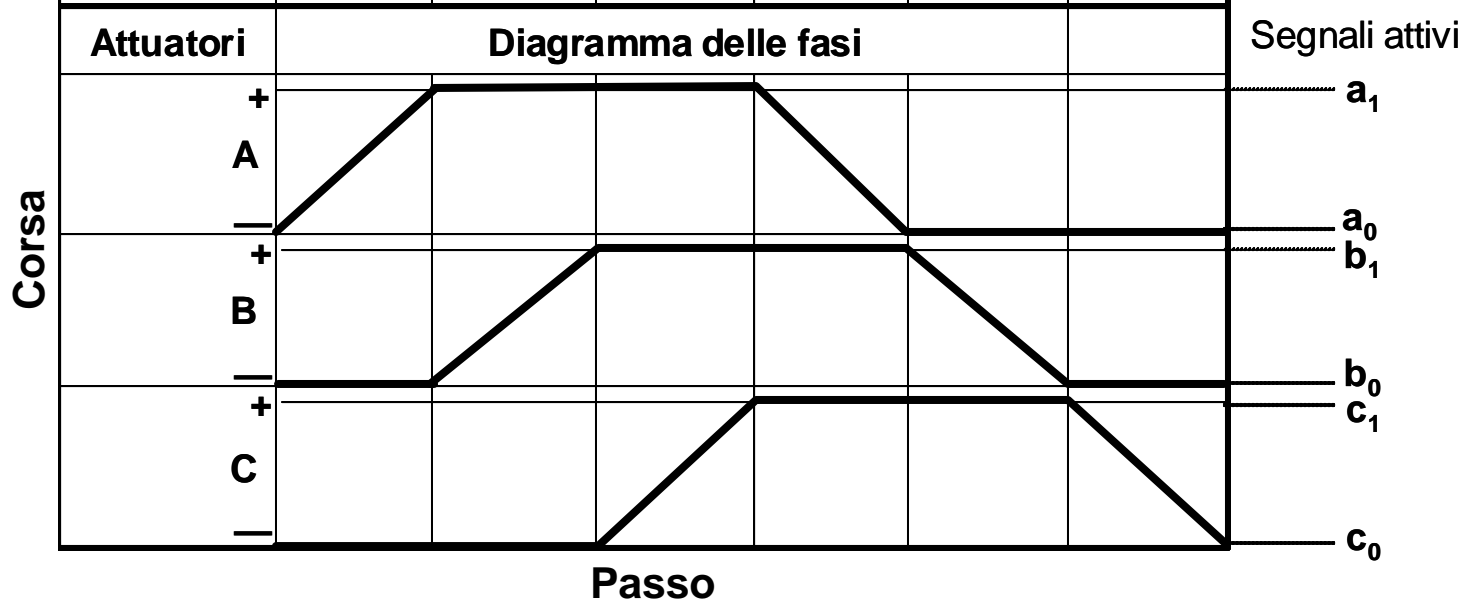


Diagramma A+ B+ C+ A- B- C-

Ciclo	A+ B+ C+ A- B- C-					
Fase	1	2	3	4	5	6
Moto	A+	B+	C+	A-	B-	C-
Segnale	c_0	a_1	b_1	c_1	a_0	b_0
	m					



Studio dei segnali di comando

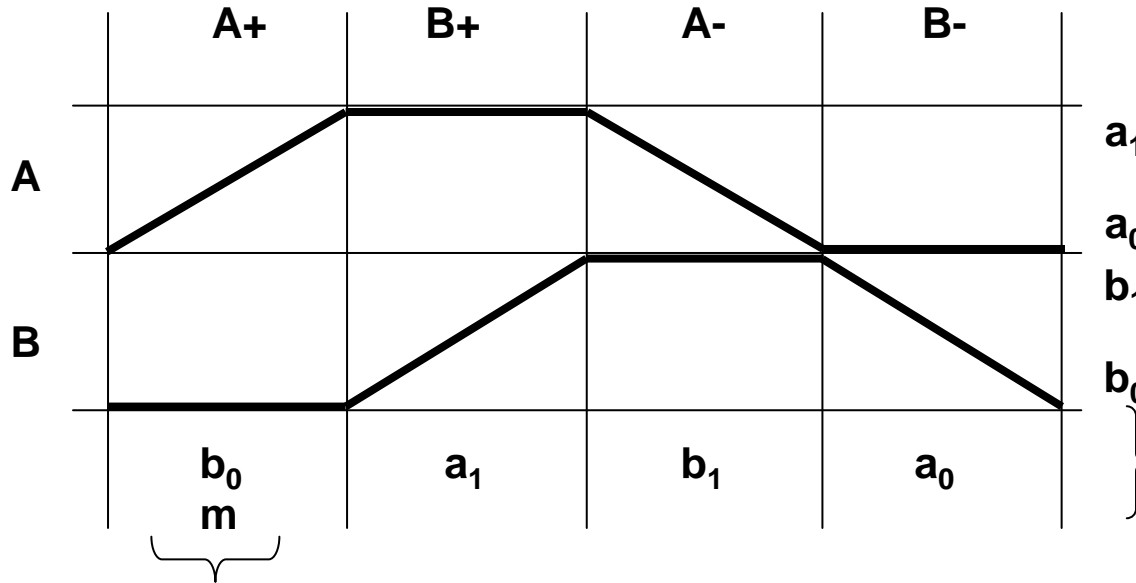
- Un segnale si dice **CONTINUO** quando resta attivo nella fase successiva a quella che lo ha generato
- Un segnale si dice **ISTANTANEO** quando si disattiva nella fase immediatamente successiva a quella che lo ha generato
- Un segnale continuo si dice **BLOCCANTE** quando il suo stato attivo non consente la prosecuzione del ciclo, impedendo la commutazione del distributore di potenza del cilindro da esso comandato:

Ciclo	-A+ B+ C+ A - (B-C-)					
Fase	1	2	3	4	5	
Moto	A+	B+	C+	A-	B- C-	
Segnale	b ₀	a ₁	b ₁	c ₁	a ₀	
	c ₀					
	m					
Fase	1	2	3	4	5	6
Moto	A+	B+	C+	A-	B-	C-
Segnale	c ₀	a ₁	b ₁	c ₁	a ₀	b ₀
	m					

un segnale continuo può essere bloccante se e solo se rimane attivo per almeno due fasi

I segnali sono tutti continui, ma non ci sono segnali bloccanti

Diagramma A+ B+ A- B-



Anche in questo caso i segnali sono tutti continui, ma non ci sono segnali bloccanti

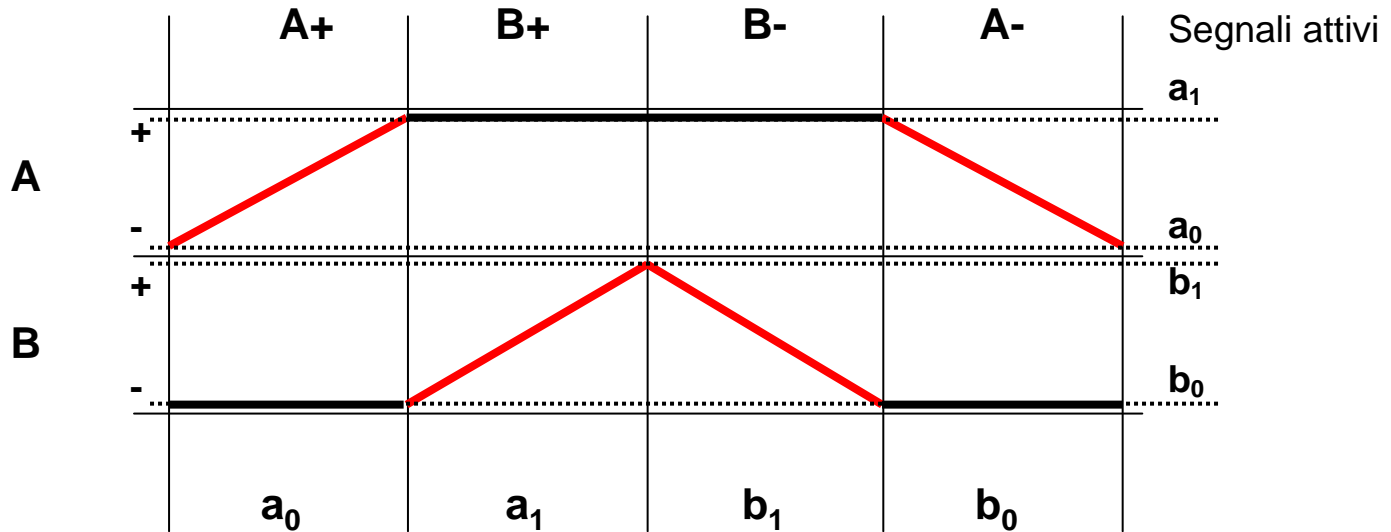
Segnali di comando della fase

L'inizio del ciclo avviene se entrambi a_0 e b_0 sono attivi

L'inizio della fase B+ avviene se a_1 è attivo ... e così via

- Se un segnale rimane attivo per una o più fasi si dice continuo
- Un segnale si dice istantaneo quando si disattiva nella fase successiva a quella che lo ha generato
- Un segnale si dice bloccante se non permette di evolvere il ciclo; Un segnale continuo può essere bloccante

A+ B+ B- A-



a₁ = segnale continuo

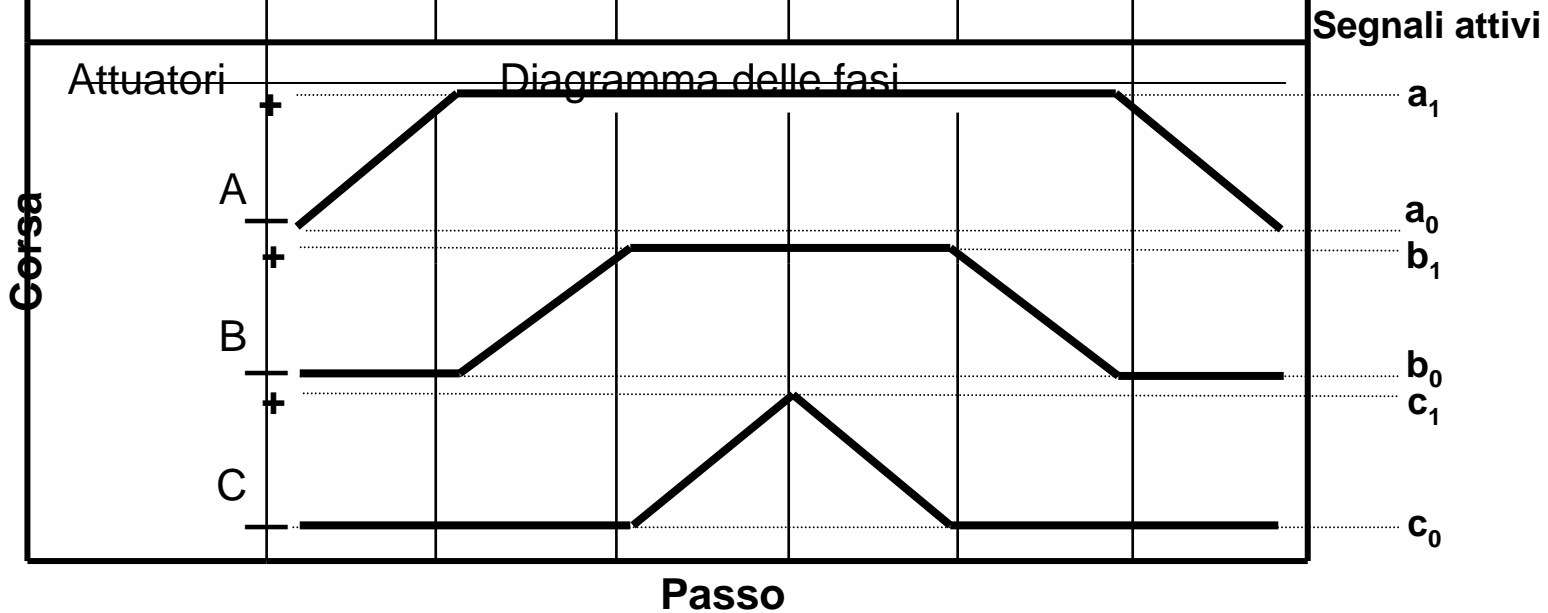
b₀ = segnale continuo

b₁ = segnale impulsivo, istantaneo

a₀ = segnale impulsivo, “

Ciclo A+ B+ C+ C- B- A-

Ciclo	A+ B+ C+ C- B- A-					
Fase	1	2	3	4	5	6
Moto	A+	B+	C+	C-	B-	A-
Segnale	a_0	a_1	b_1	c_1	c_0	b_0
	m					



Analisi dei segnali del ciclo

A+ B+ C+ C- B- A-

a_1, b_1, b_0, c_0 sono segnali continui

a_0 e c_0 sono segnali istantanei

Inoltre se si esamina a_1 si vede che dopo avere provocato l'uscita di B+ esso rimane attivo anche quando nella fase 5 il segnale c_0 deve fare rientrare B-: è chiaro che allora a_1 è un segnale bloccante. Lo stesso vale per b_1, c_0 e b_0 .

Fase	1	2	3	4	5	6
Moto	A+	B+	C+	C-	B-	A-
Segnale	a_0	a_1	b_1	c_1	c_0	b_0
	m					

Esercizi

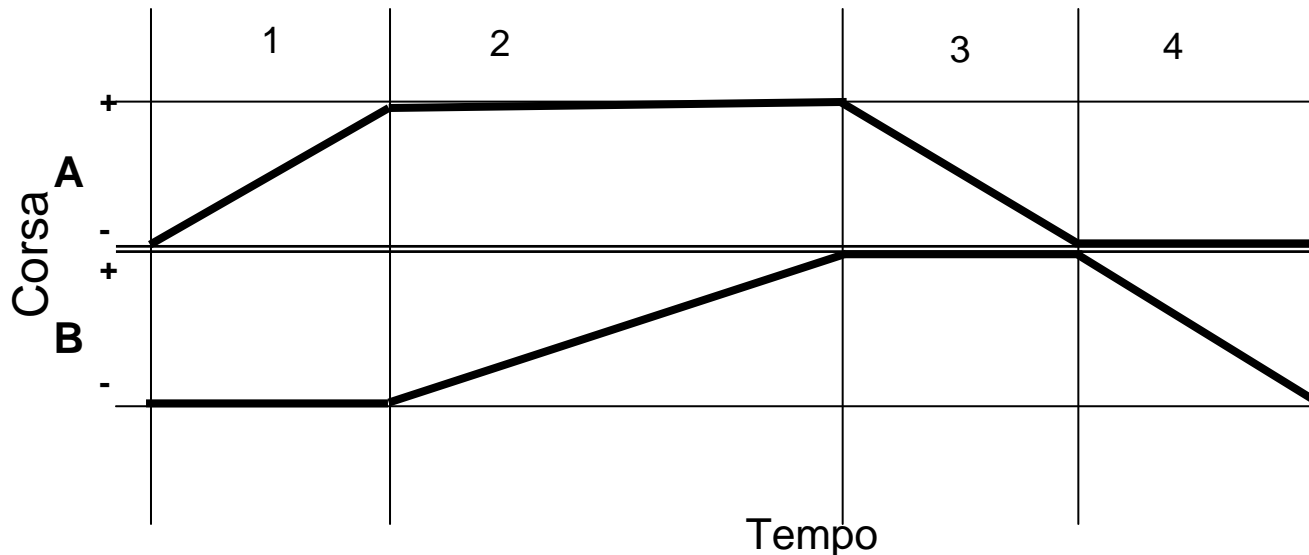
Disegnare il diagramma delle fasi e studiare i segnali dei seguenti cicli:

- 1) A+ B+ C+ B- (A-C-)
- 2) A+ A- B+ C+ B- C-
- 3) A- B+ C- A+ B- C+

Diagramma Corsa - Tempo

Il diagramma delle fasi, detto anche diagramma Corsa – Passo, fornisce tutte le informazioni essenziali per individuare e comandare i movimenti, ma non indica nulla sul tempo, che rappresenta comunque un dato essenziale per la corretta esecuzione dei cicli automatici. Per risolvere questo problema vengono utilizzati i diagrammi Corsa – Tempo, dove sull'asse orizzontale invece del “passo” viene riportato il tempo.

Riprendendo ad esempio il diagramma del pick and place, dove il moto B+ di traslazione dura più a lungo del moto A+ di chiusura della pinza.



Circuiti elettropneumatici elementari

- **Realizzazione di comandi elementari**
 - **Con memoria e temporizzazione**
 - **Funzioni logiche**

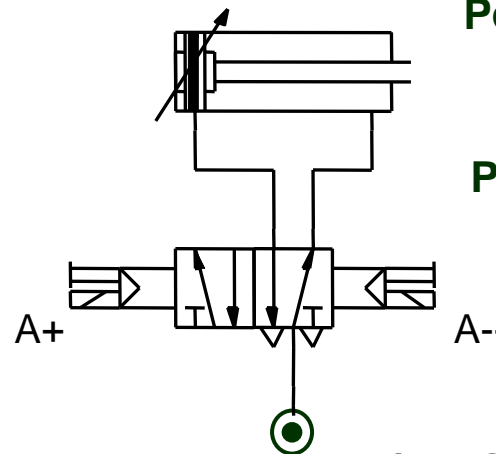
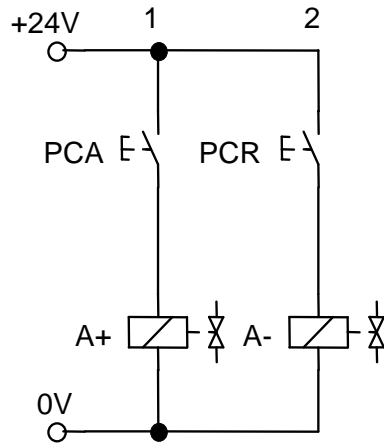
Schemi elettropneumatici

Sono costituiti da due parti separate:

- **Circuito di potenza pneumatico**
 - **Attuatori**
 - **Distributori a comando elettrico**
- **Circuito di comando elettrico**
 - **Disegnato a lato o sotto a quello pneumatico**

I due schemi sono uniti dal nome assegnato alle bobine dell'elettrovalvole che azionano la corsa del pistone.

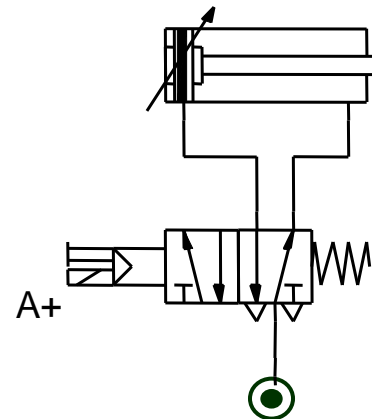
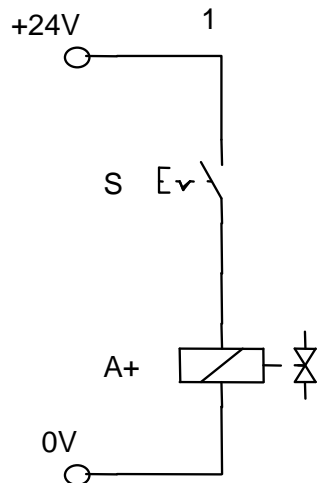
Funzione di memoria



Pca = Pulsante corsa di andata

Pcr = Pulsante corsa di ritorno

Elettrovalvola 5/2 BISTABILE

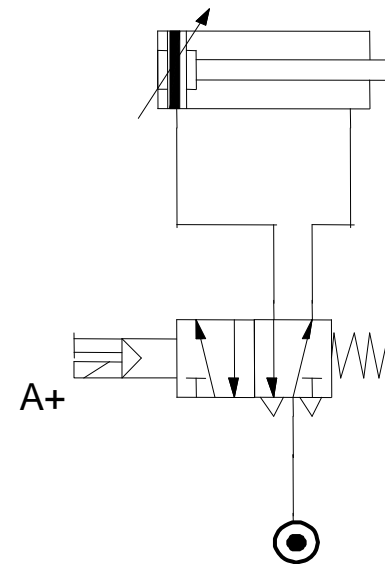
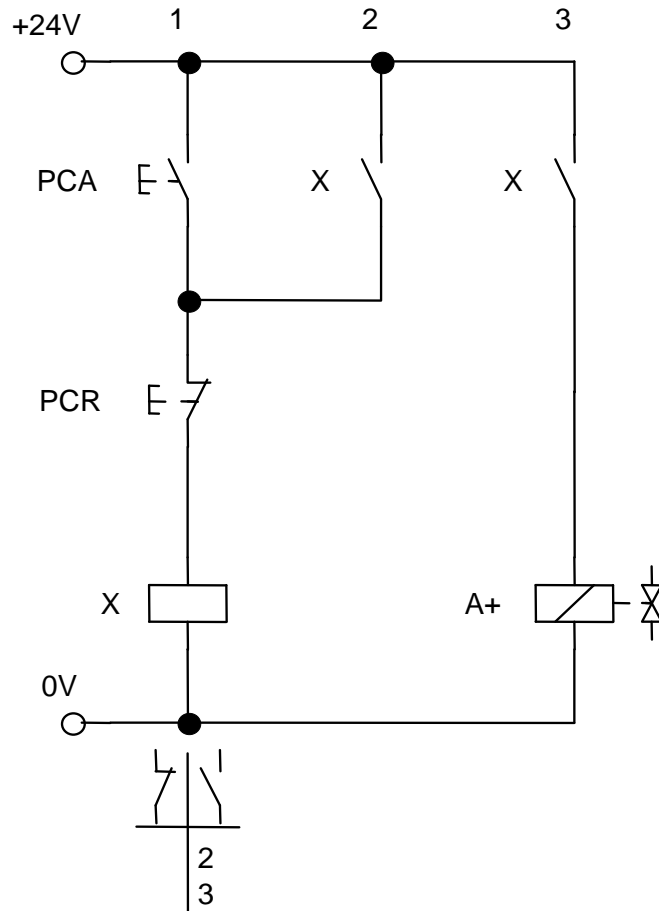


S = selettore elettrico stabile

Elettrovalvola 5/2 MONOSTABILE

Memorizzazione con circuito di autoritenuta

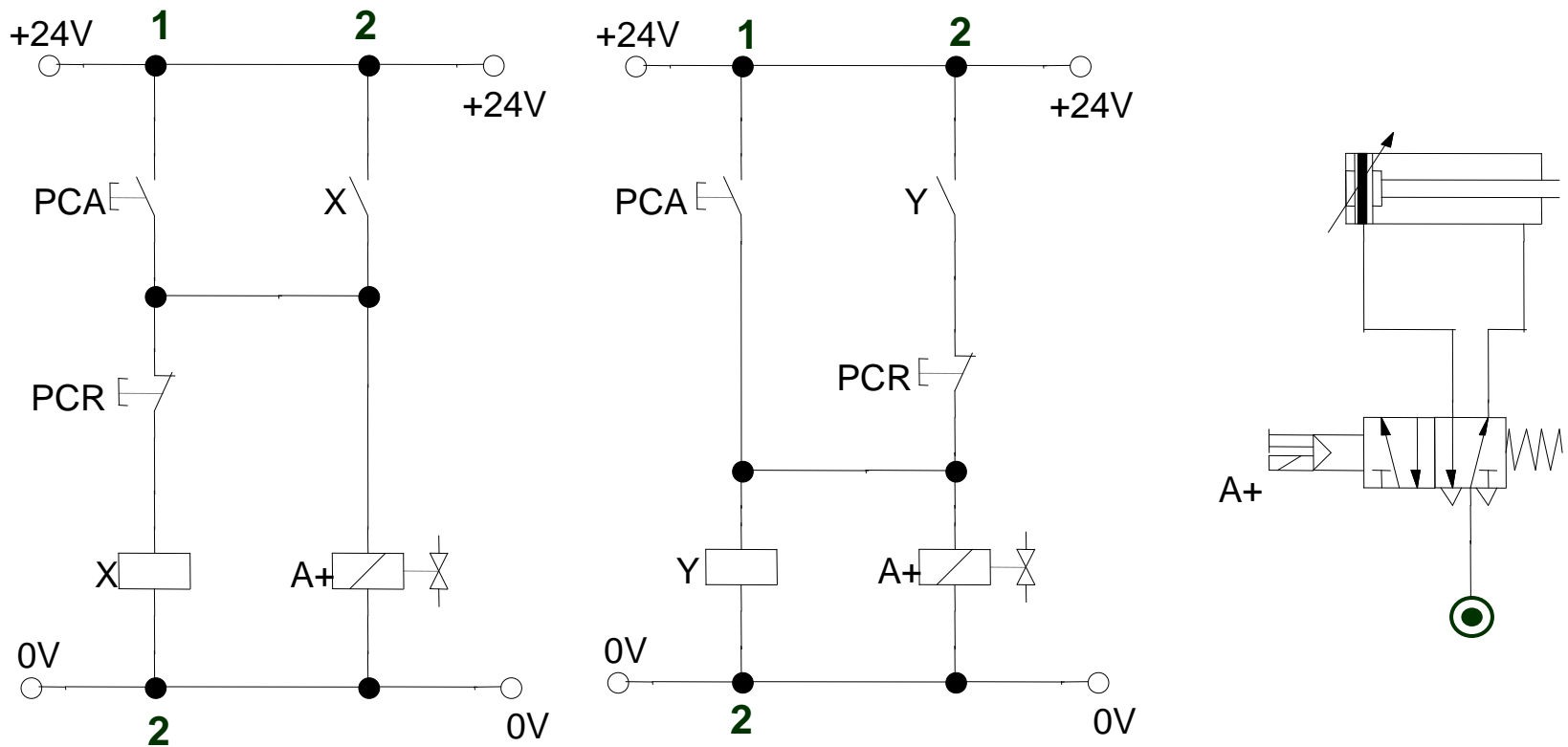
AUTORITENUTA A DISATTIVAZIONE PREVALENTE



Premendo Pca e Pcr contemporaneamente prevale la disattivazione

Memorizzazione con circuito di autoritenuta

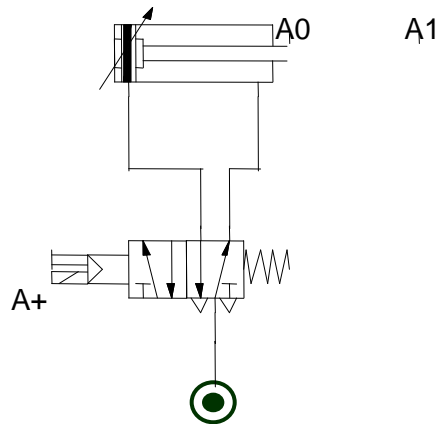
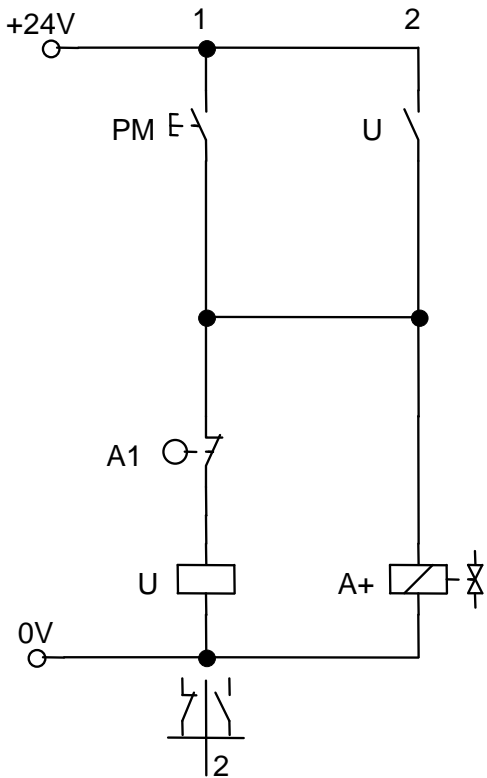
AUTORITENUTA AD ATTIVAZIONE PREVALENTE



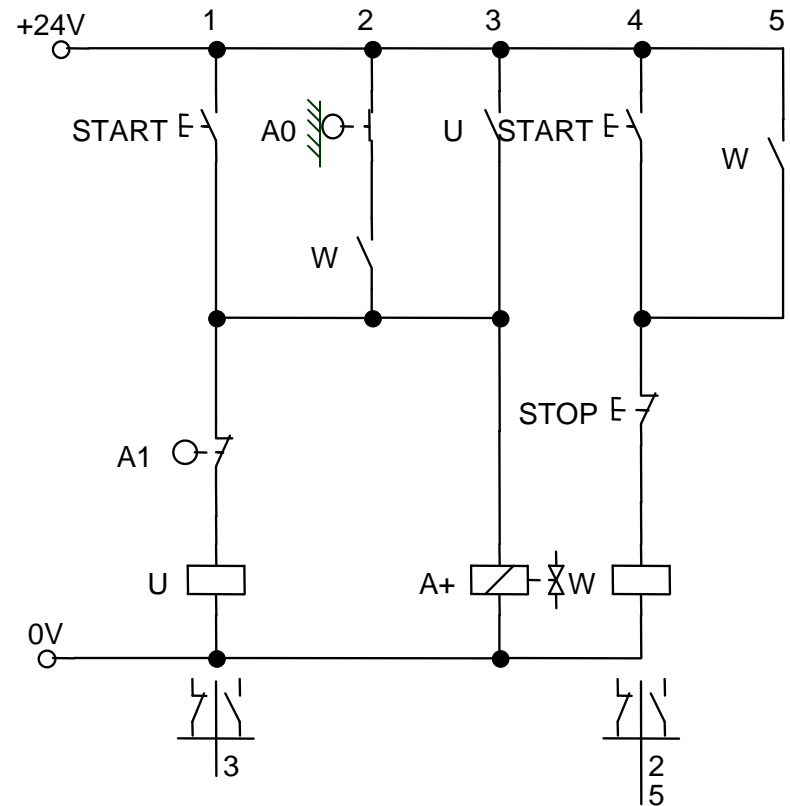
Premendo Pca e Pcr contemporaneamente prevale l'attivazione

Comando elettrico del ciclo A+ A- con distributore monostabile 5/2

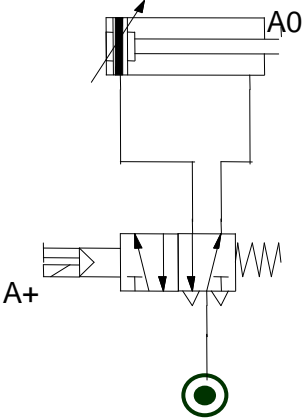
Comando semiautomatico con 1 relè monostabile



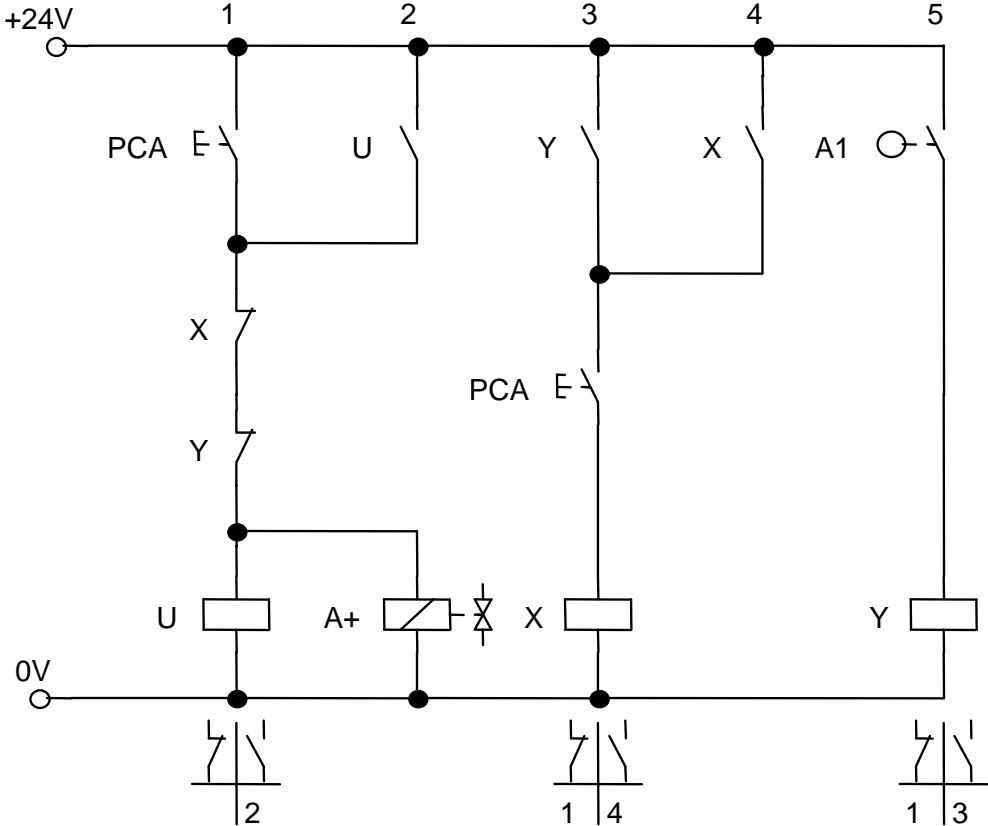
Comando automatico



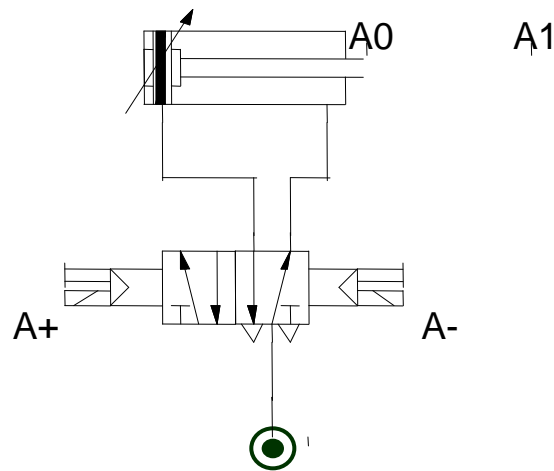
Comando semiautomatico con 2 relè monostabili CON ANTIRIPETITIVITÀ



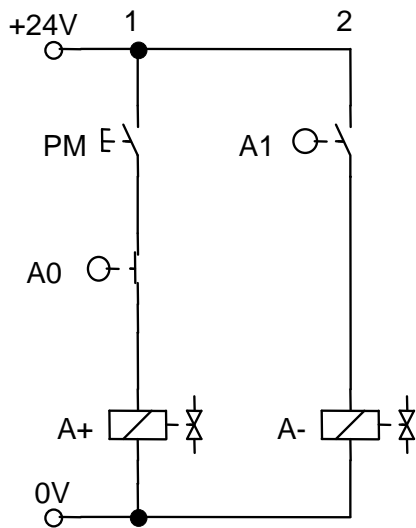
A1



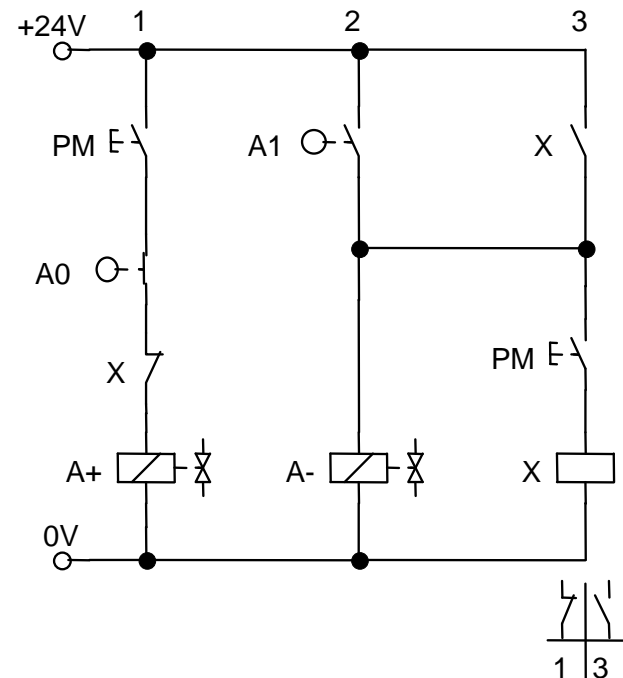
Comando elettrico del ciclo A+ A- di un cilindro a D.E. con distributore bistabile



COMANDO SEMIAUTOMATICO

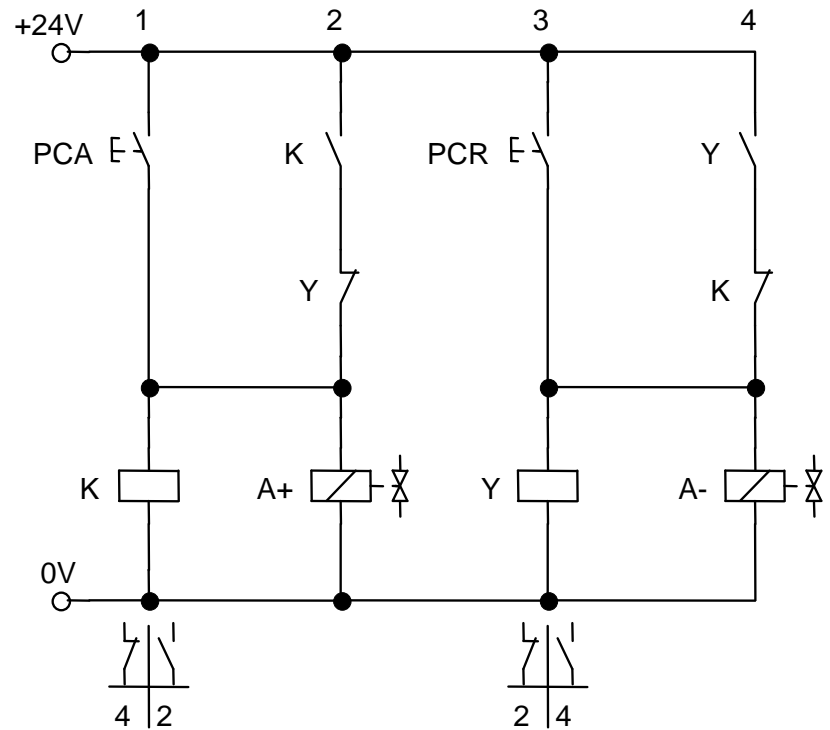
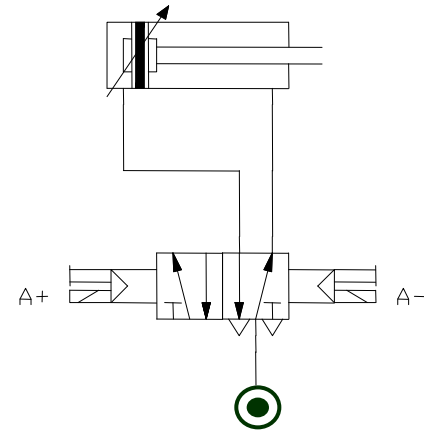
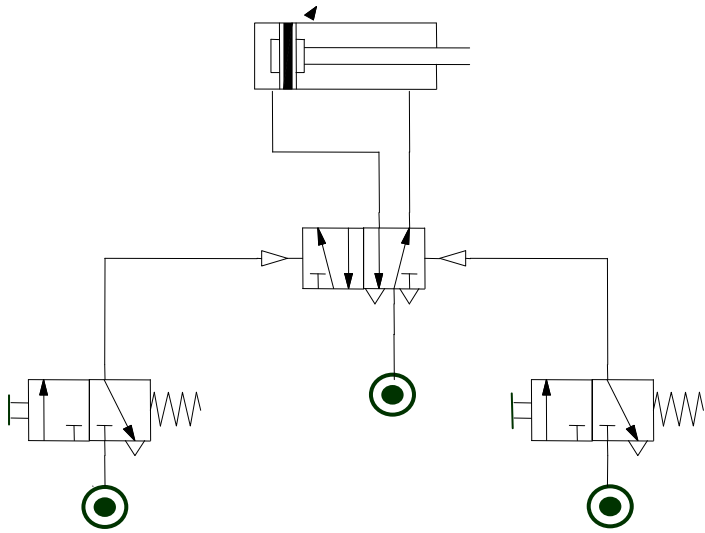


CON ANTIRIPETITIVITÀ



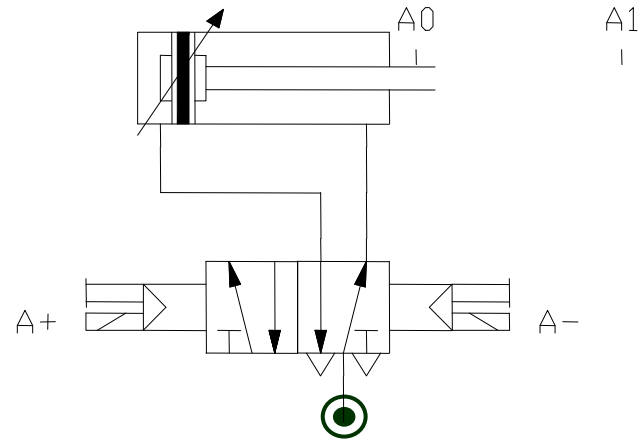
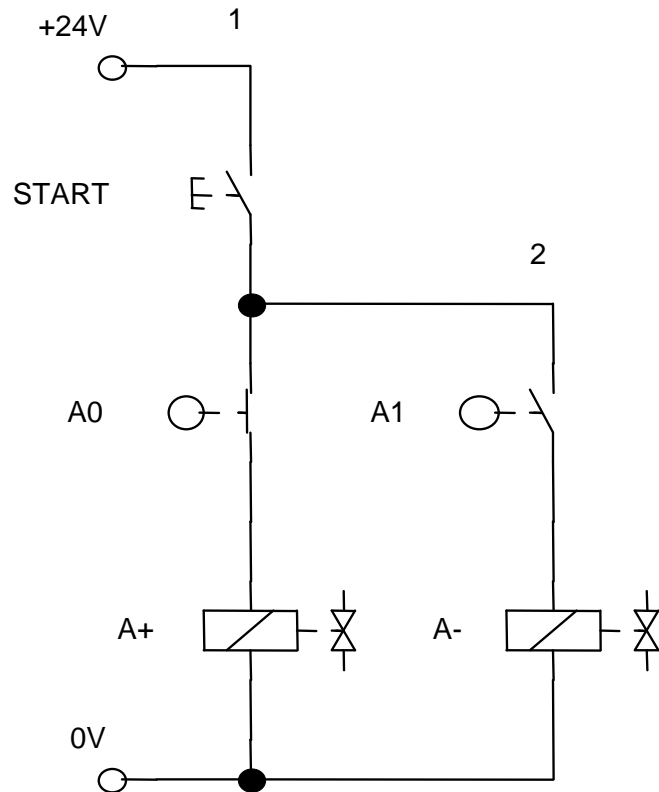
Esercizio

Pilotare un pistone con ciclo manuale con valvole bistabili e un pulsante per farlo uscire e un pulsante per farlo rientrare



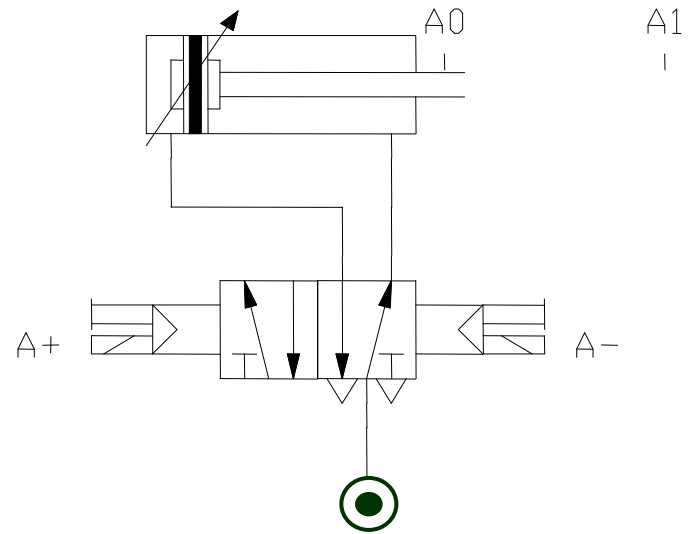
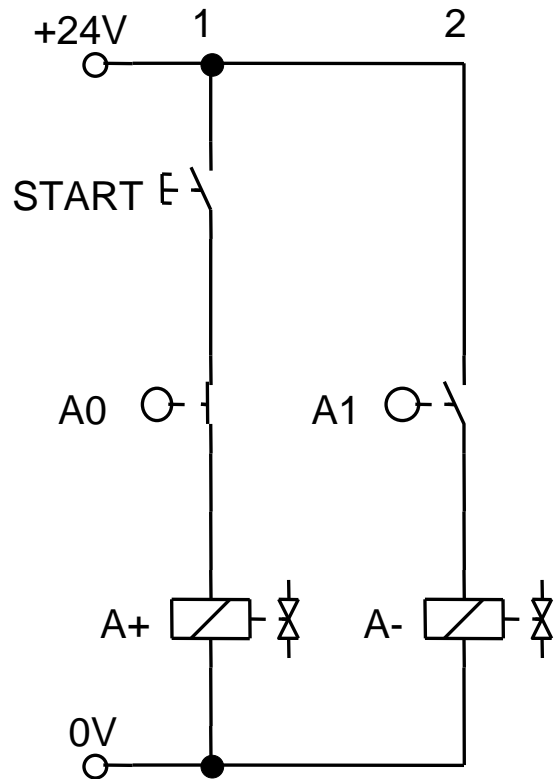
Ciclo Manuale in Elettropneumatica

CICLO MANUALE

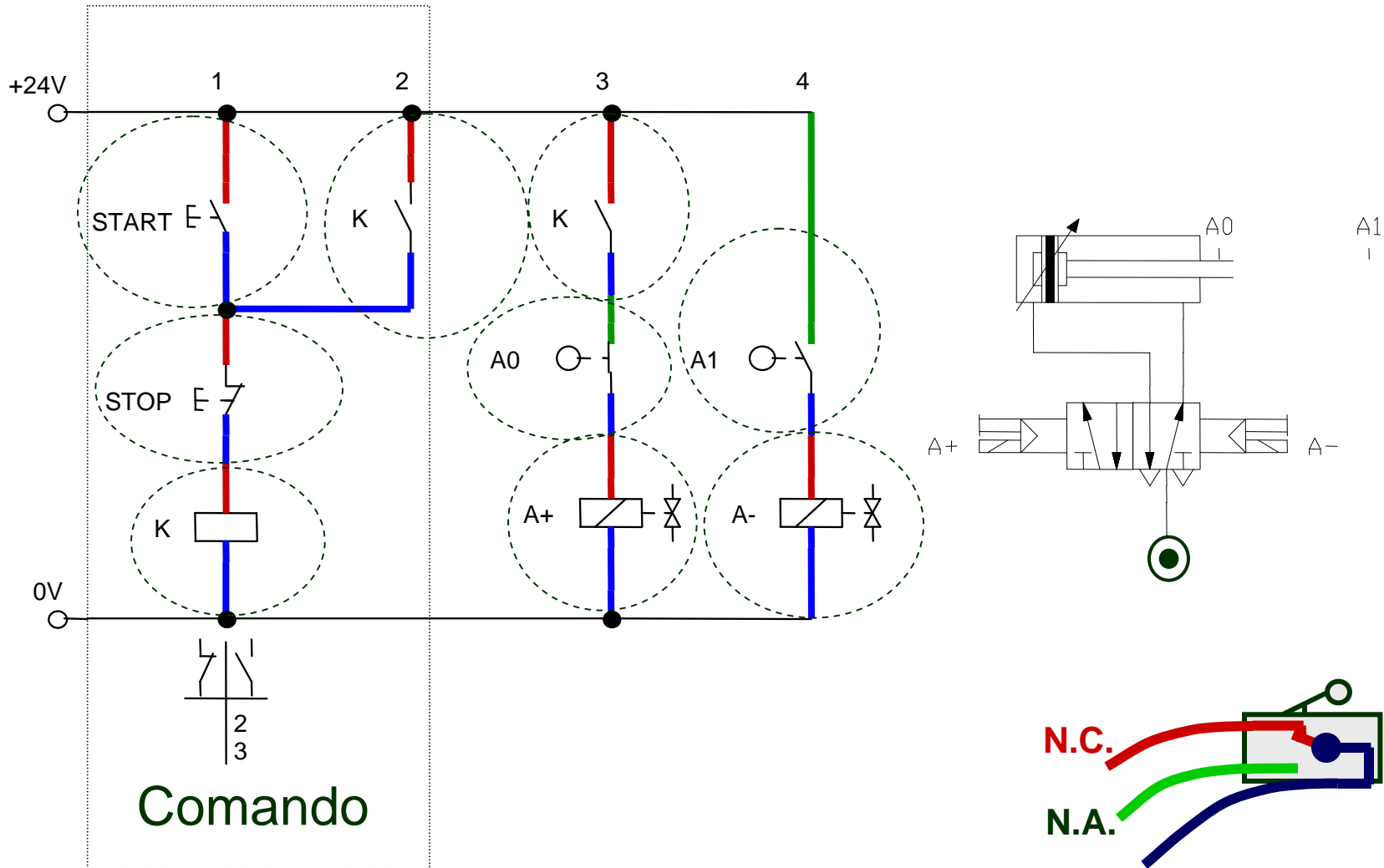


Ciclo Singolo in Elettropneumatica

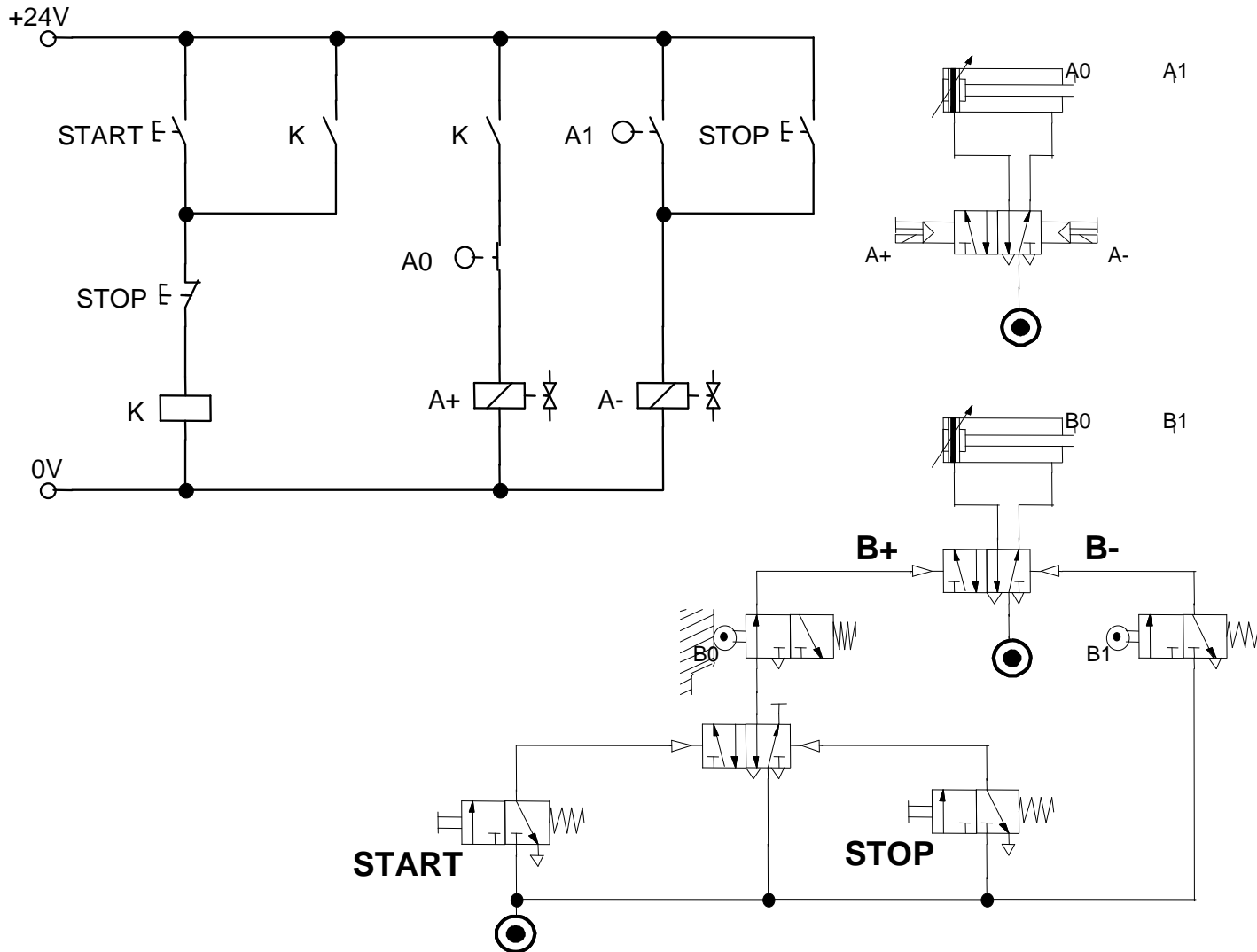
CICLO SINGOLO



Ciclo Continuo in Elettropneumatica

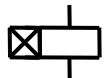


Confronto ciclo automatico pneumatico/elettropneumatico

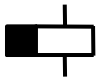


Ritardo del rientro del pistone

E' un circuito del tutto separato, realizzabile con i seguenti temporizzatori:

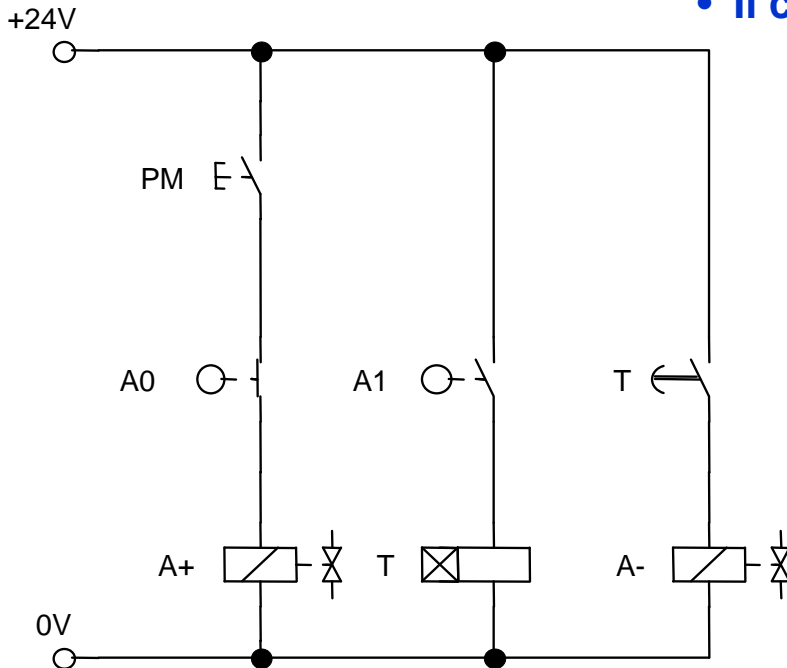


Temporizzatore ritardato all'eccitazione

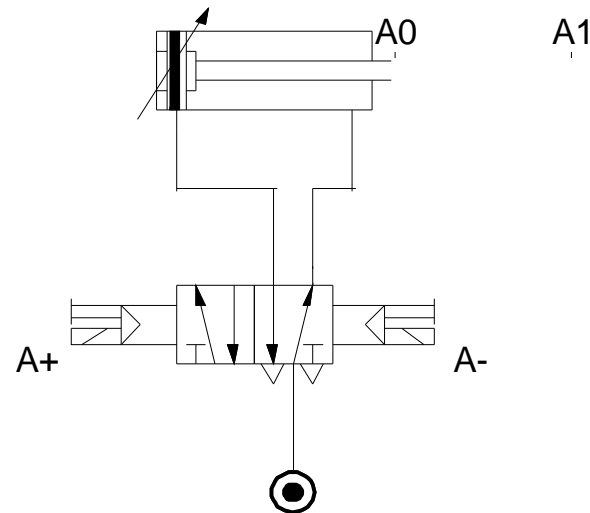


Temporizzatore ritardato alla diseccitazione

- La bobina del temporizzatore si eccita durante il passaggio della corrente e inizia il conteggio del tempo impostato, trascorso il quale il contatto T si chiude
- Il conteggio cessa al cessare della corrente



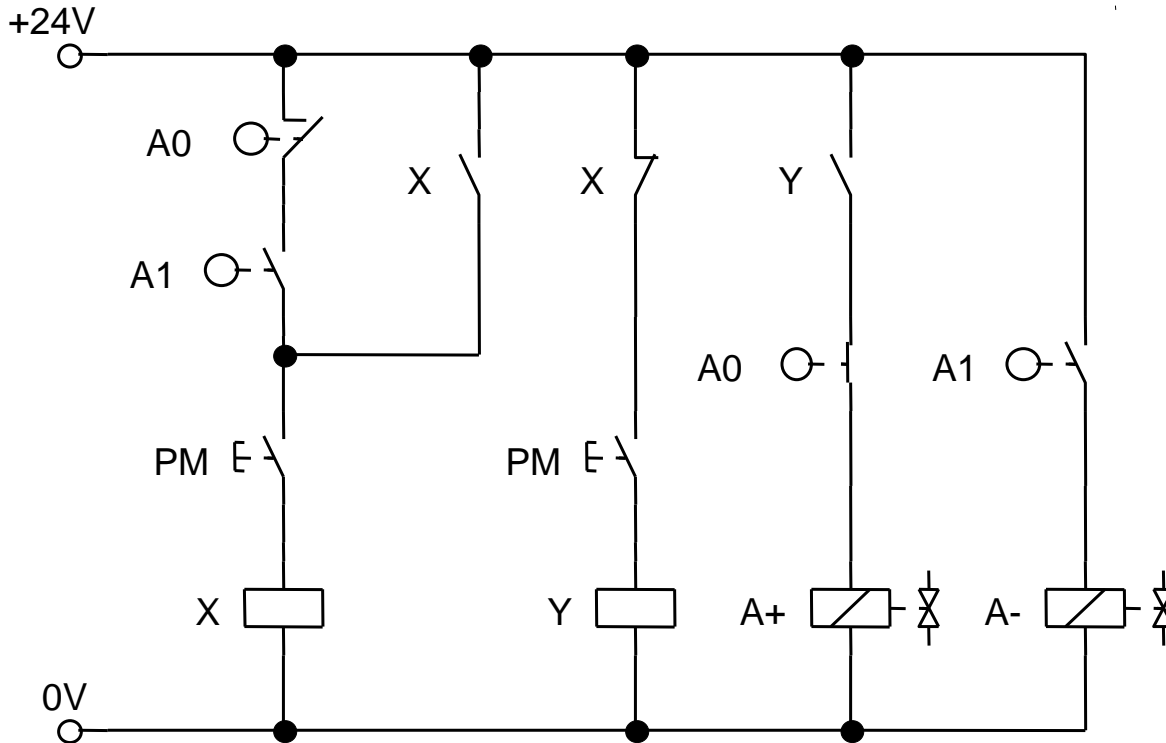
Ritardo di 10 sec



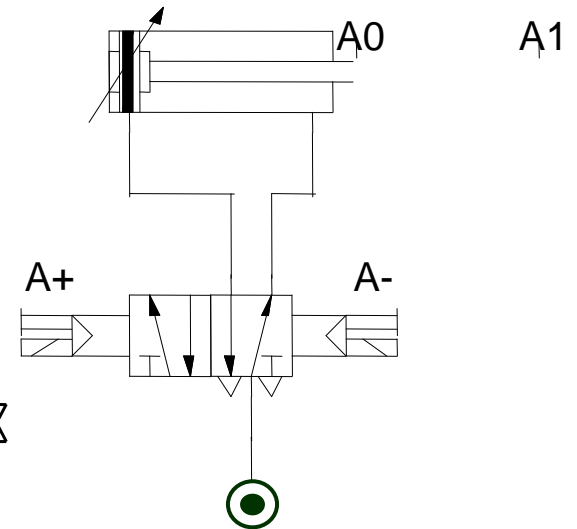
Bisogna sempre tenere presente quali sono gli eventi che danno inizio al conteggio del tempo

Circuito di antiripetitività

Ciclo semiautomatico



A+ = Pistone che esce
A- = pistone che entra



Tenendo premuto il pulsante PM a due contatti (un contatto sul relè X e un contatto sul relè Y) si fa uscire il pistone e quando il finecorsa NC a0 si disattiva, viene alimentata la bobina X che si autosostiene con il ramo di autoritenuta, apre l'alimentazione della bobina Y che a sua volta toglie l'alimentazione alla bobina A+ dell'elettrovalvola consentendo quindi il rientro di A

Esercizi

Disegnare un circuito elettropneumatico che realizza il ciclo A+ A- di un cilindro a D.E., con elettrovalvola bistabile, e con possibilità di comando sia automatico che semiautomatico

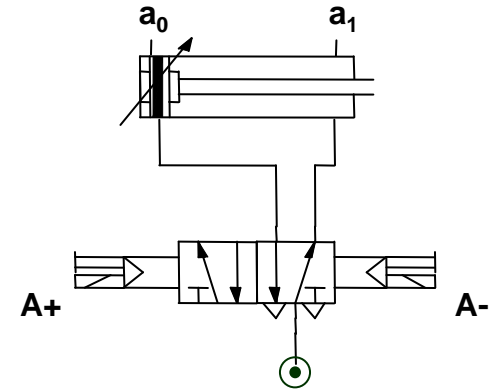
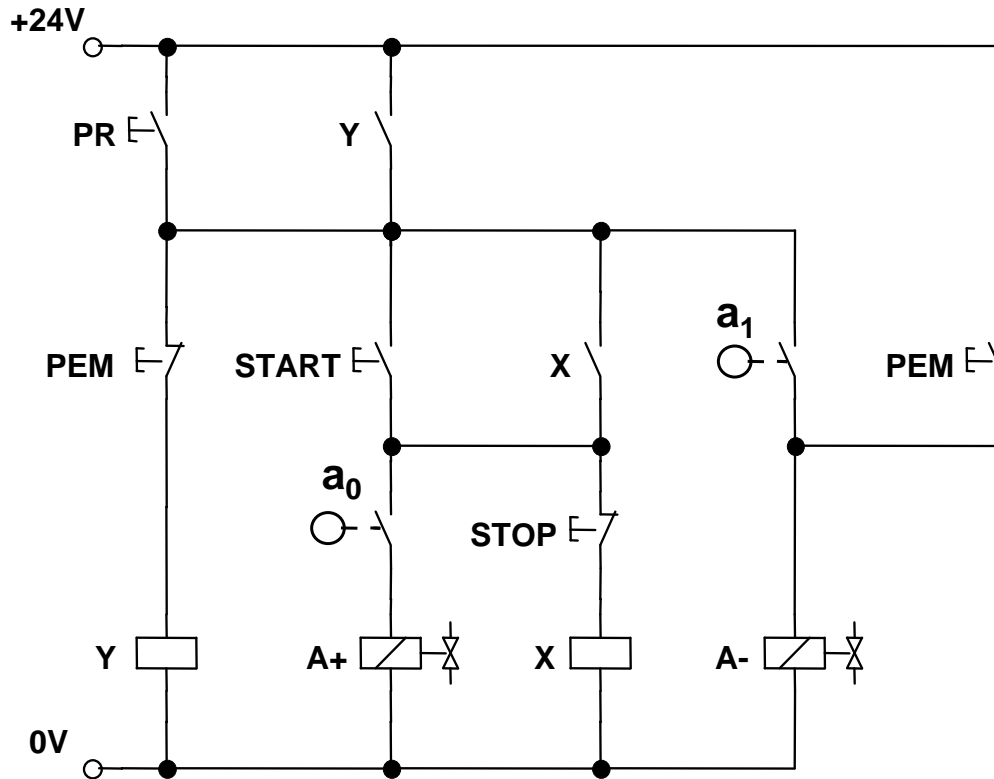
Realizzare un comando elettrico di sicurezza a due mani con la condizione di antiripetività per una pressa con un cilindro tandem

Si deve realizzare un ciclo semiautomatico temporizzato A+ A- di un cilindro a D.E. con le seguenti specifiche:

- **Il cilindro è comandato da un'elettrovalvola 5/2 unistabile**
- **Lo stelo deve sostare in posizione positiva per un certo intervallo di tempo t**

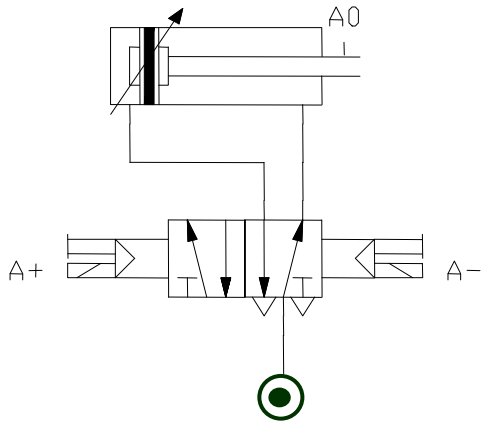
COMANDO DI EMERGENZA

PR = PULSANTE DI RIAVVIAMENTO
PEM = PULSANTE DI EMERGENZA

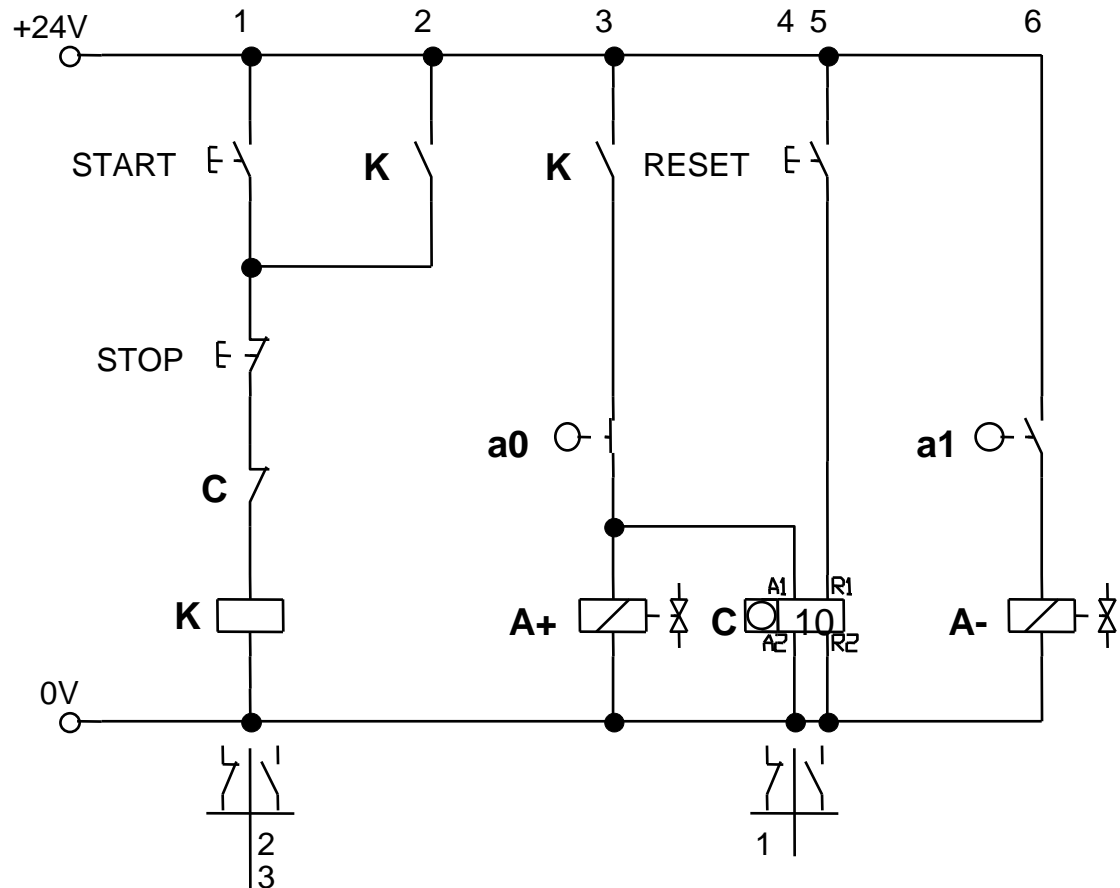


Quindi il comando di emergenza prevede un pulsante di avvio-riavvio con il quale si alimenta tutto il circuito, e un pulsante a due contatti, per l'arresto improvviso, dei quali uno NC per l'interruzione immediata della corrente di alimentazione e uno NA per forzare l'ultimo movimento del ciclo.

Ciclo Continuo con Contatore



A1
|



TECNICA DI COMANDO ELETROPNEUMATICO

- **Realizzazione di comandi complessi**
 - **Con segnali bloccanti**
 - **Metodo diretto**
 - **Metodo della cascata**

Comandi a logica cablata e comandi programmabili

Le apparecchiature che eseguono cicli automatici si suddividono in due gruppi:

- Sistemi a logica cablata**
- Sistemi programmabili**

Le unità di governo a logica cablata sono realizzate da elementi logici collegati da tubi o cavi elettrici al fine di consentire la rigida esecuzione di un certo ciclo di lavoro per cambiare il quale occorre modificare il circuito e le connessioni.

Nei sistemi programmabili invece i cicli di lavoro possono essere cambiati agendo solo su apposite memorie programmabili.

Realizzazione comandi a logica cablata

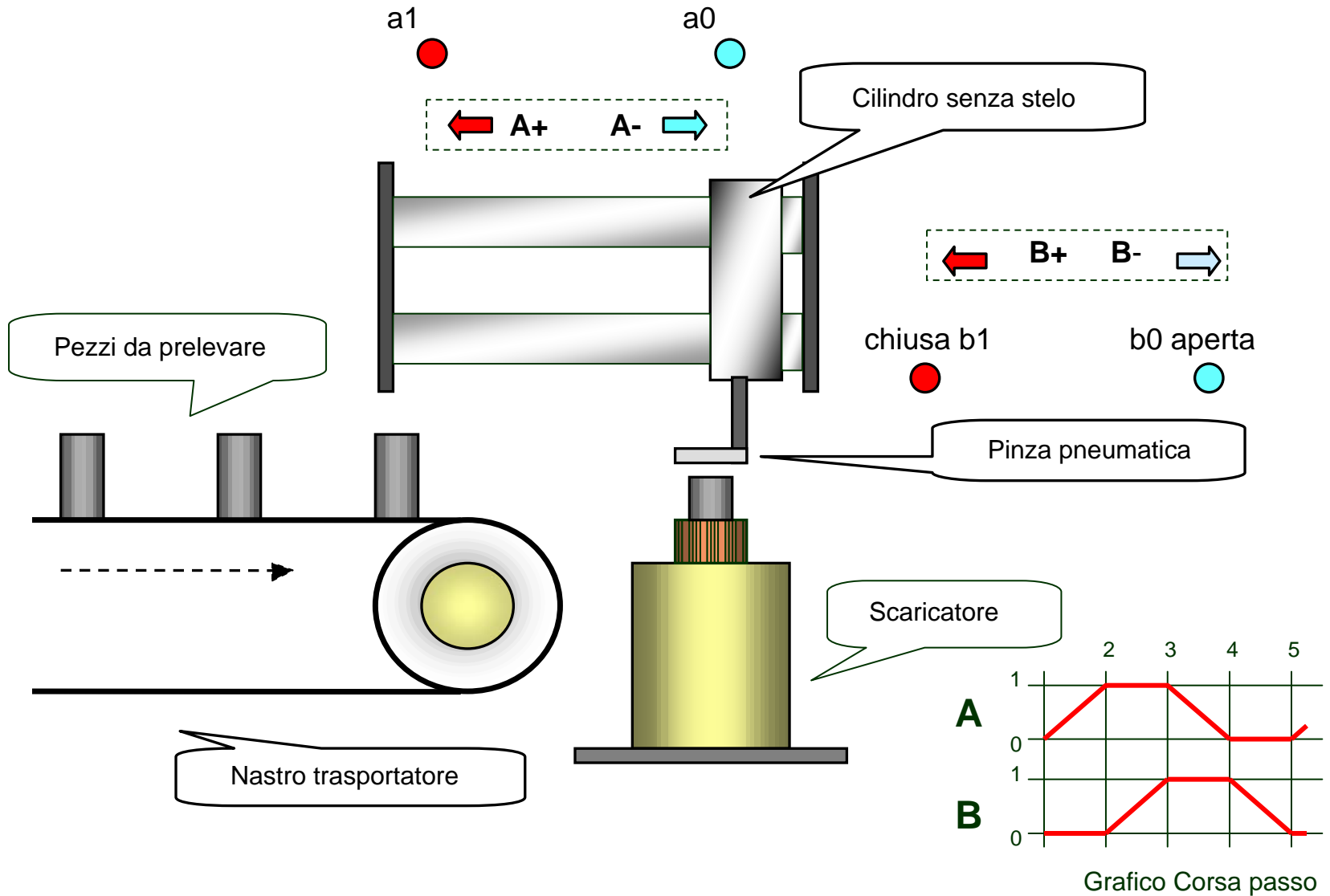
Un circuito può essere realizzato con diversi metodi secondo il tipo di segnali presenti nel ciclo e la complessità del sistema da realizzare:

- **Metodo diretto se non ci sono segnali bloccanti**
- **Metodo dei collegamenti per garantire maggiore sicurezza e per annullare i segnali bloccanti**
- **Metodo della cascata quando con i collegamenti non è possibile annullare tutti i segnali bloccanti**

Metodo diretto

Partendo dal diagramma delle fasi si sviluppano le azioni rappresentate, colonna per colonna, mediante i segnali di comando indicati, con uno o più percorsi di circuito elettrico in base alla sequenza da realizzare

Esempio applicativo di un semplice automatismo con ciclo (A+, B+, A-, B-)



Domanda e Risposta

Il cilindro senza stelo nella posizione di riposo è con il carrello tutto a destra, mentre la pinza a riposo ha le ganasce aperte.

Premendo il pulsante di avvio il carrello si sposta a sinistra con la pinza aperta. Alla fine della corsa (A+), la pinza aggancia il pezzo chiudendo le ganasce (B+). Il carrello si sposta di nuovo verso destra e alla fine della corsa (A-) le ganasce della pinza si aprono e rilasciano il pezzo (B-).

Domanda

Come parte il ciclo ?

Chi viene alimentato per primo?

Quando ricomincia il ciclo?

Quando si diseccita A+

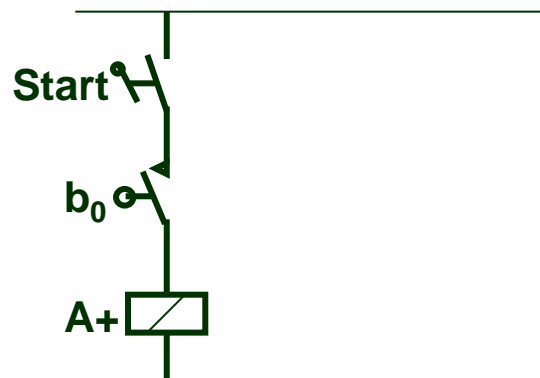
Risposta

Chiudendo l'interruttore di start

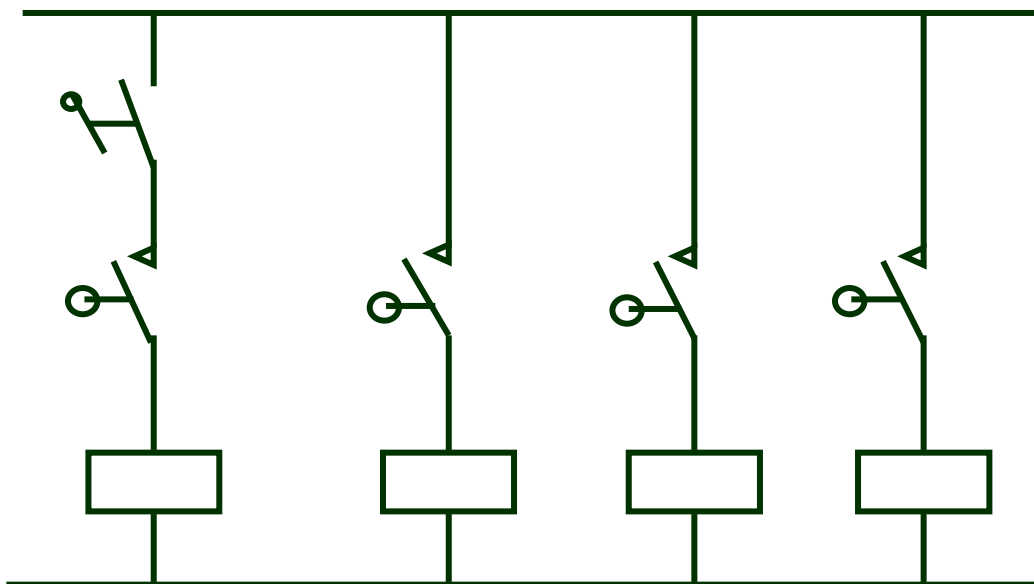
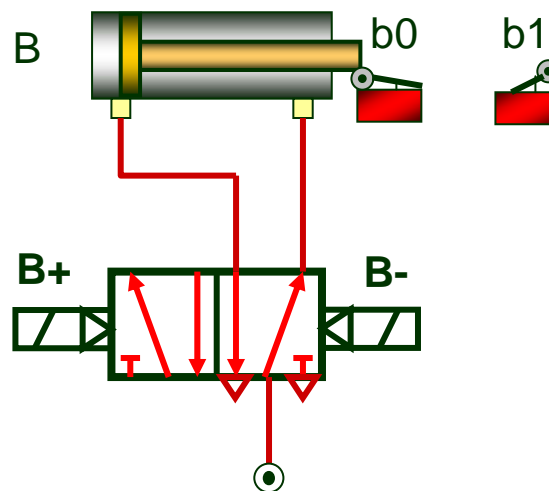
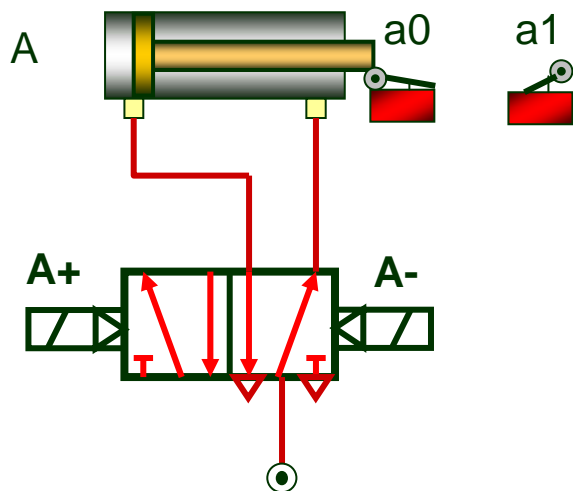
Il solenoide A+

Quando B è rientrato (b0)

Quando B esce (b0 si disattiva)

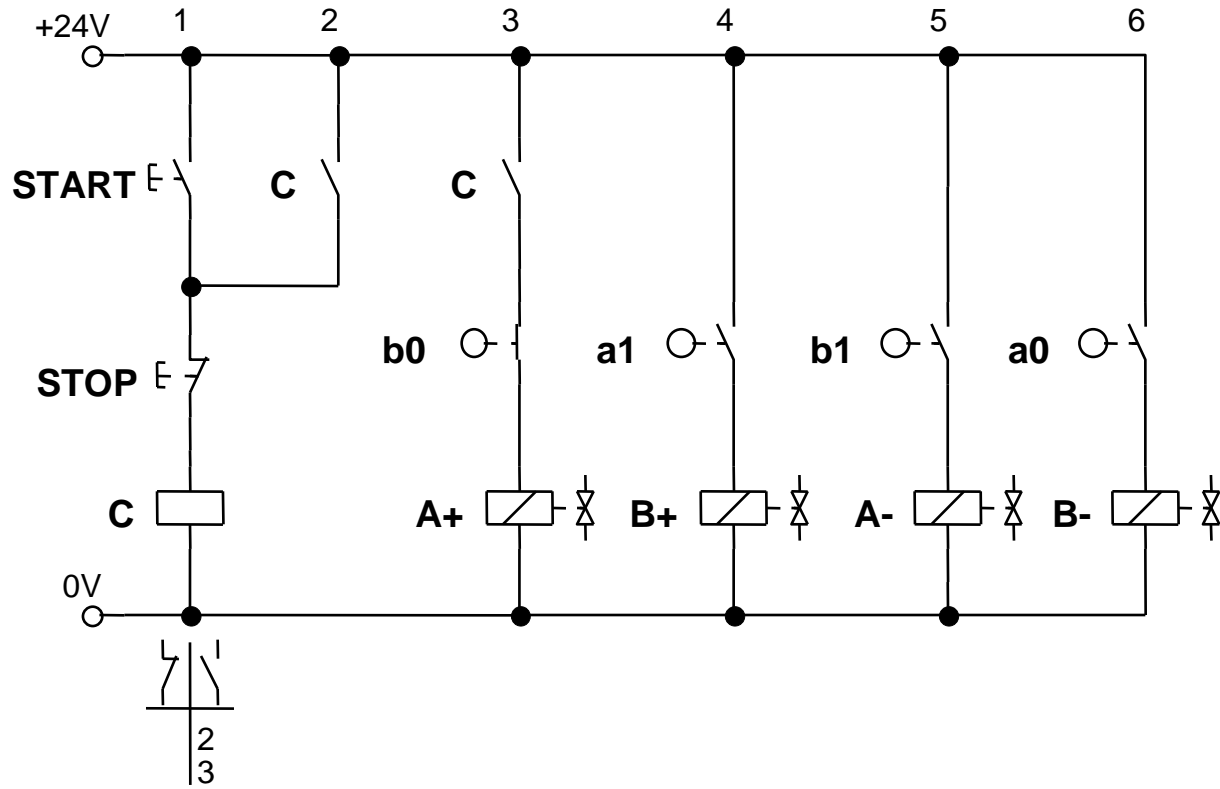
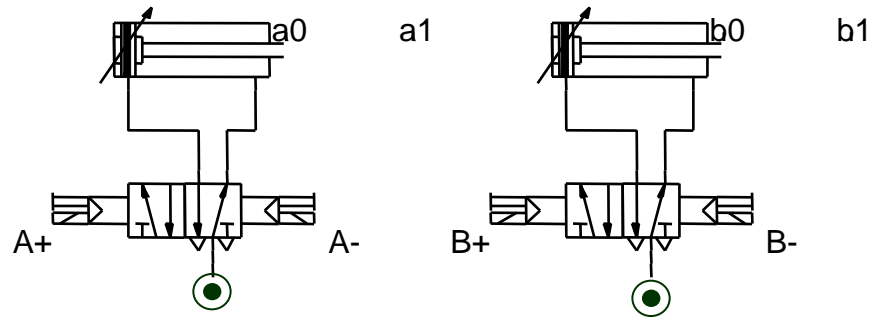


Esercizio: ciclo A+ B+ A- B-

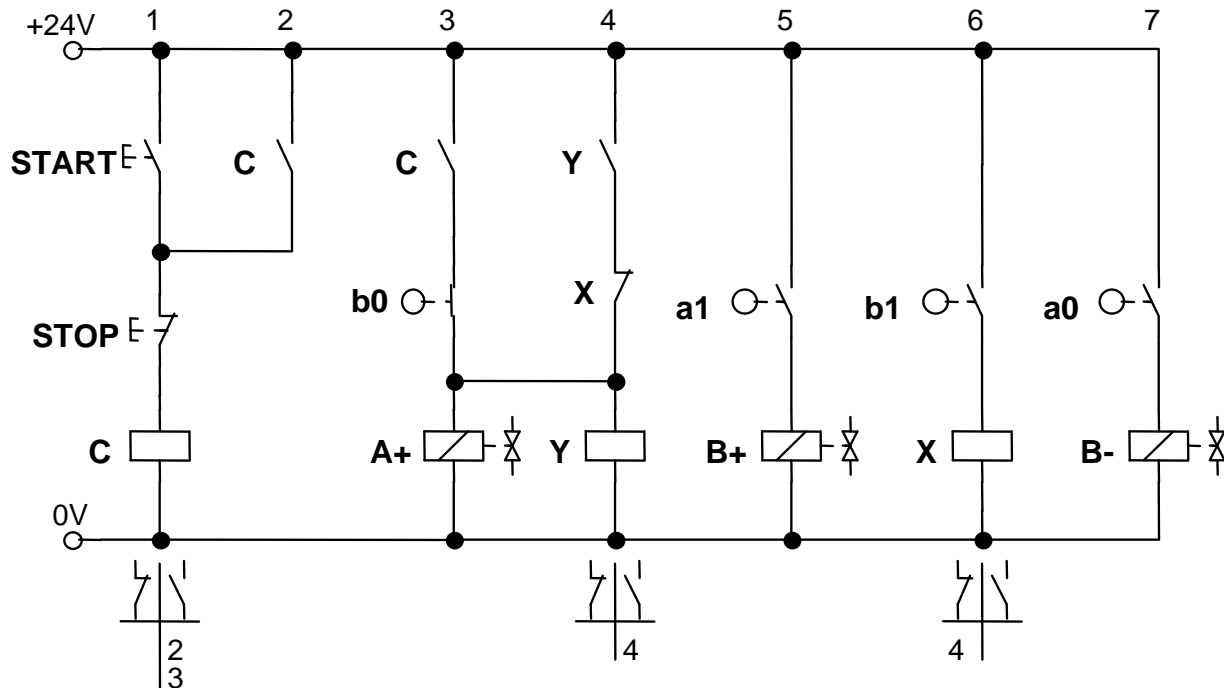
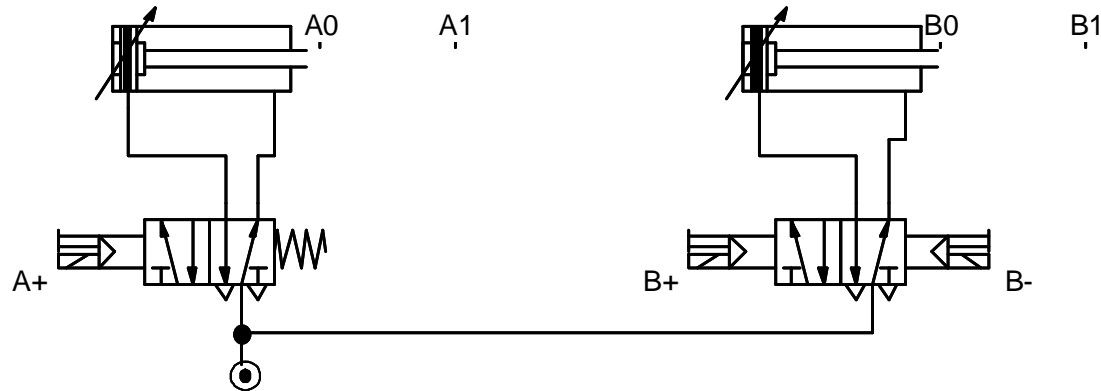


Completare lo schema elettropneumatico con il metodo diretto al fine di ottenere la seguente sequenza (A+B+A-B-)

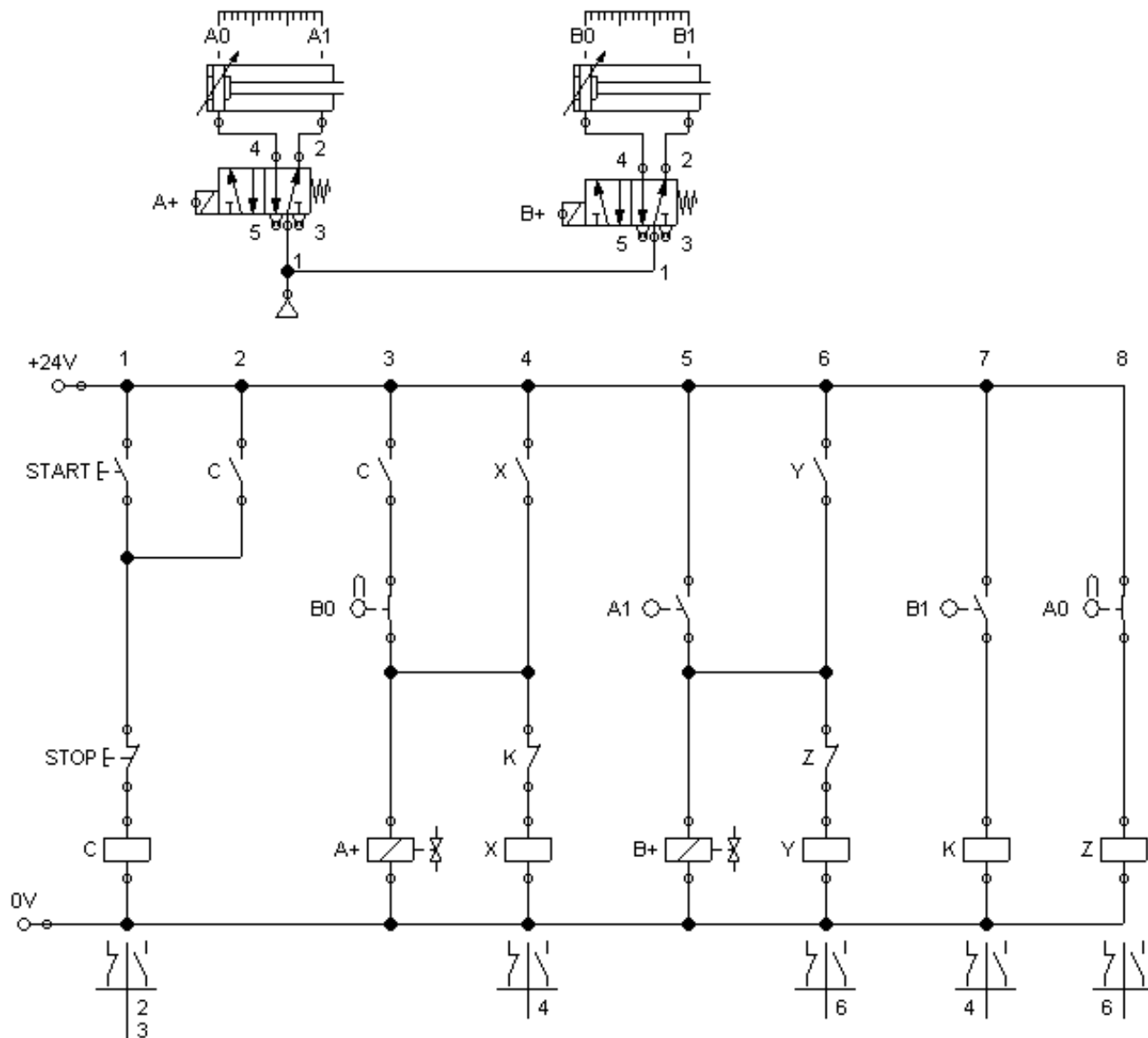
Soluzione



Soluzione con una elettrovalvola monostabile e una bistabile



Soluzione con due elettrovalvole monostabili



Esercizio della punzonatrice

Ciclo	A+ B+ B- A-			
Fase	1	2	3	4
Moto	A+	B+	B-	A-
Segnale	a_0	a_1	b_1	b_0
	M			
Attuatori	Diagramma delle fasi			
+				
A				
+				
B				
-				

Parte I

Parte II

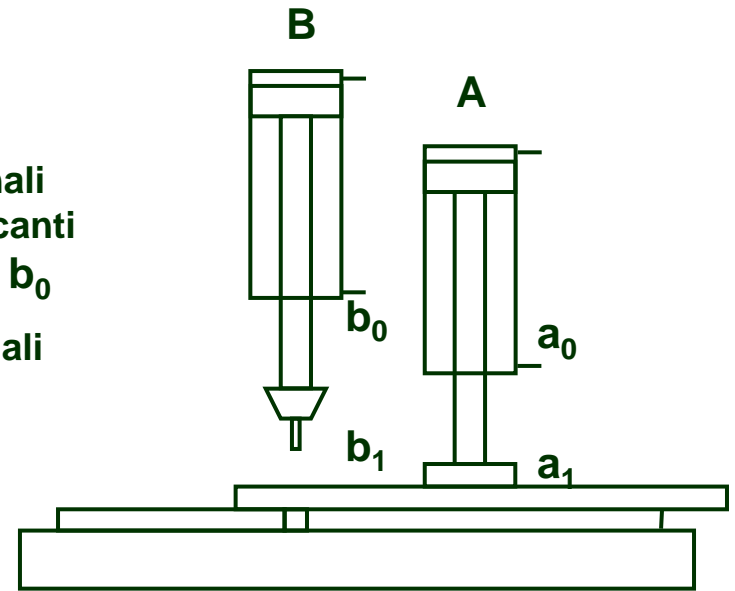
Segnali bloccanti = a_1, b_0

Segnali attivi a_1

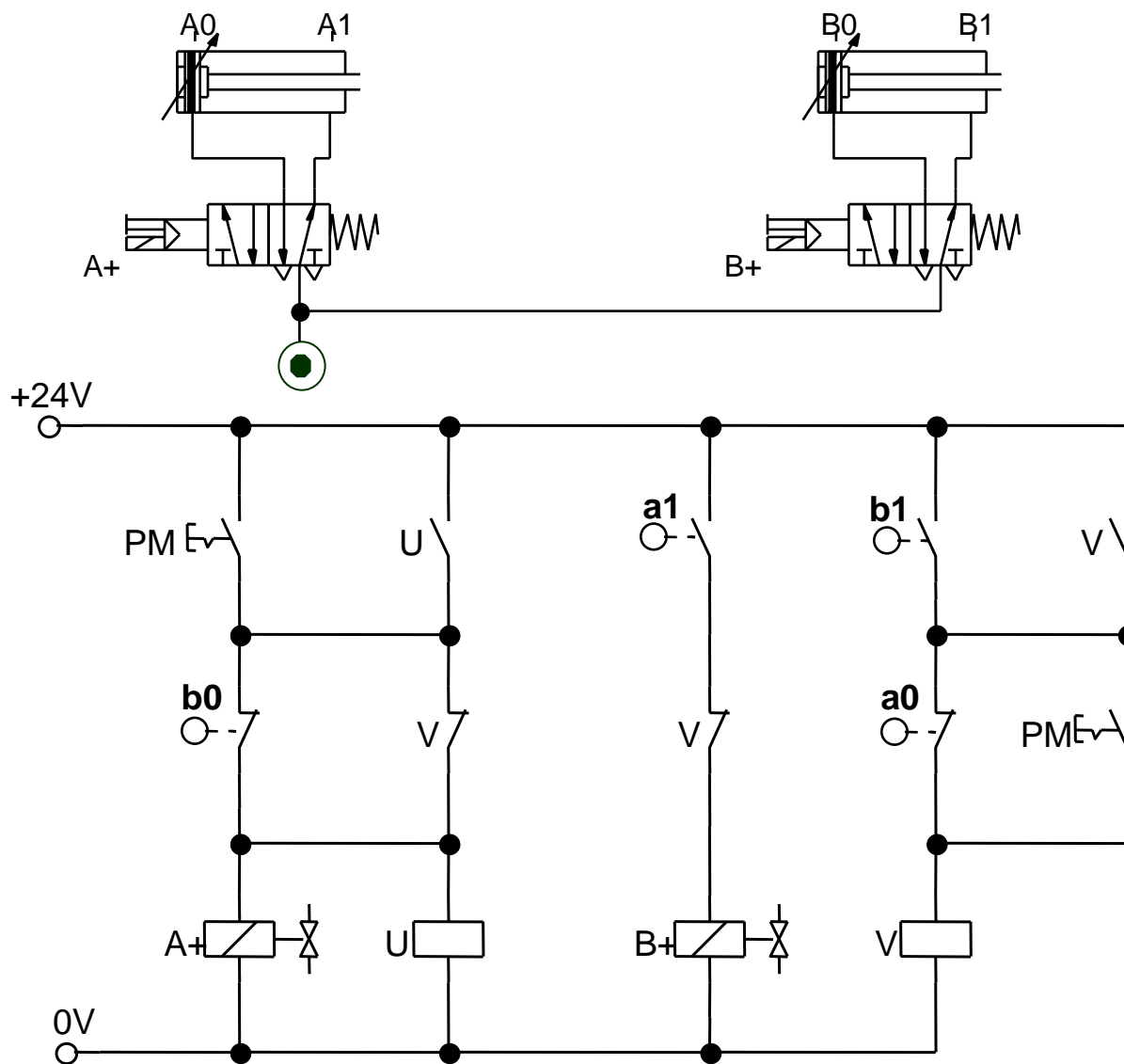
a_0

b_1

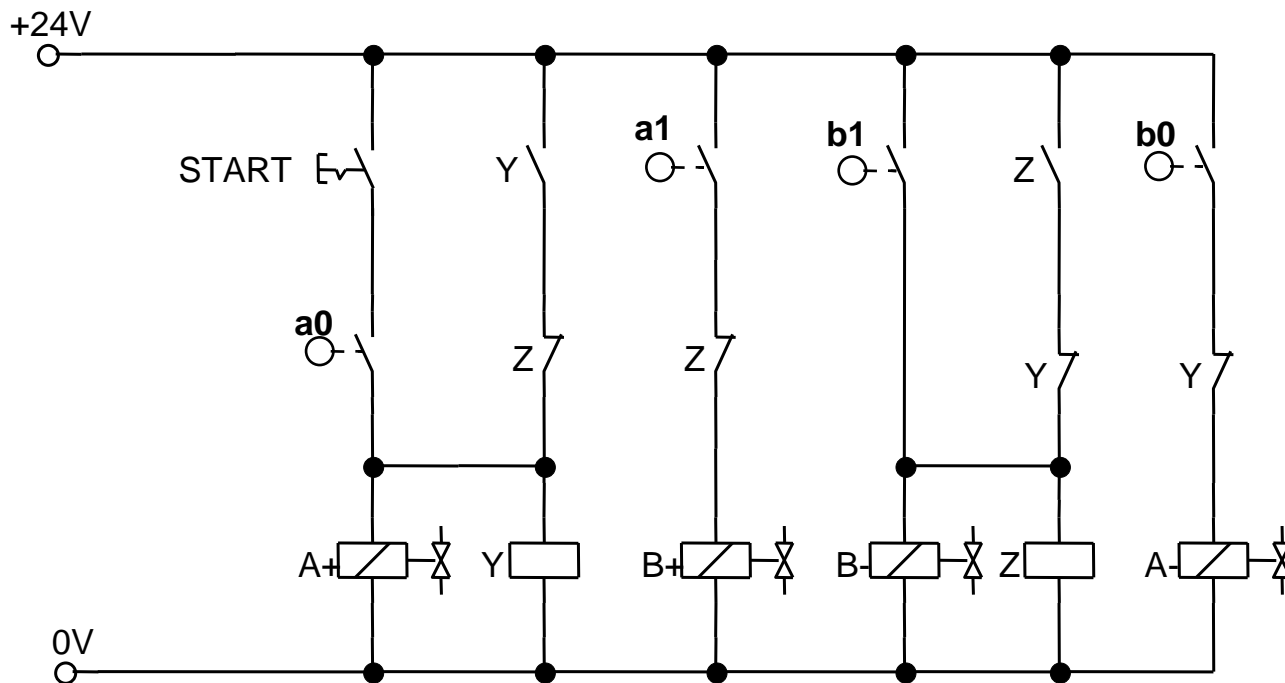
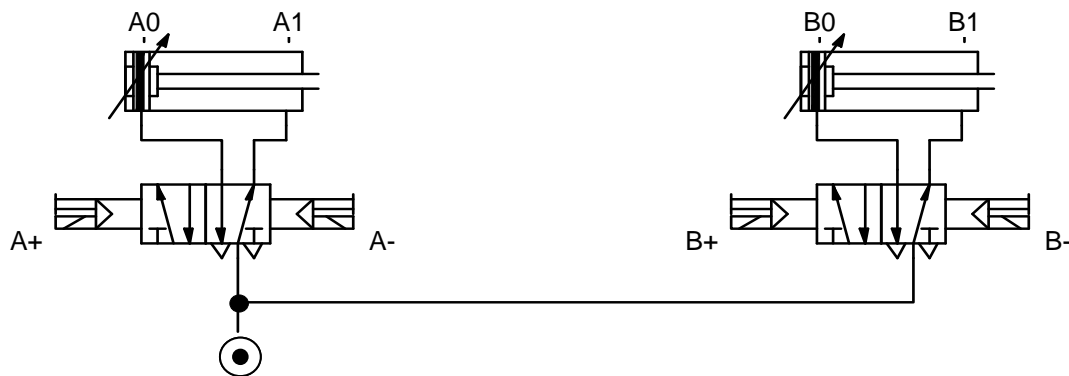
b_0



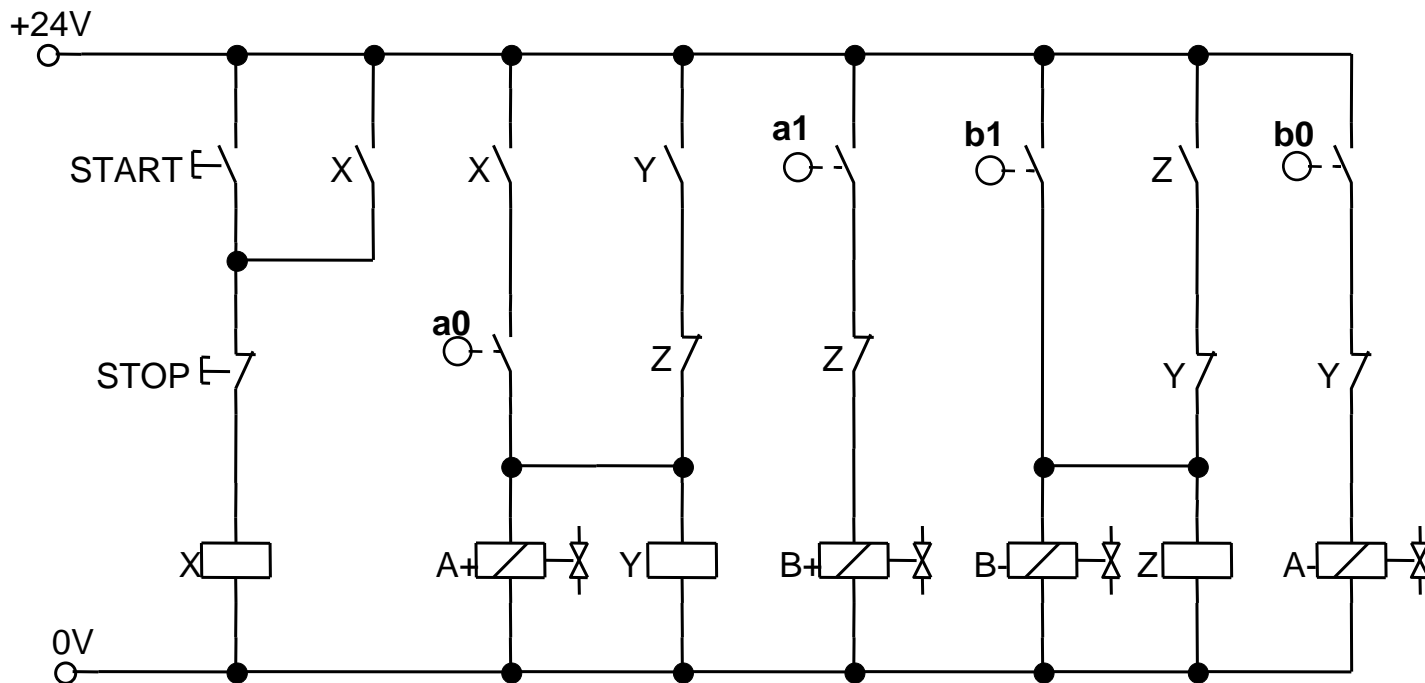
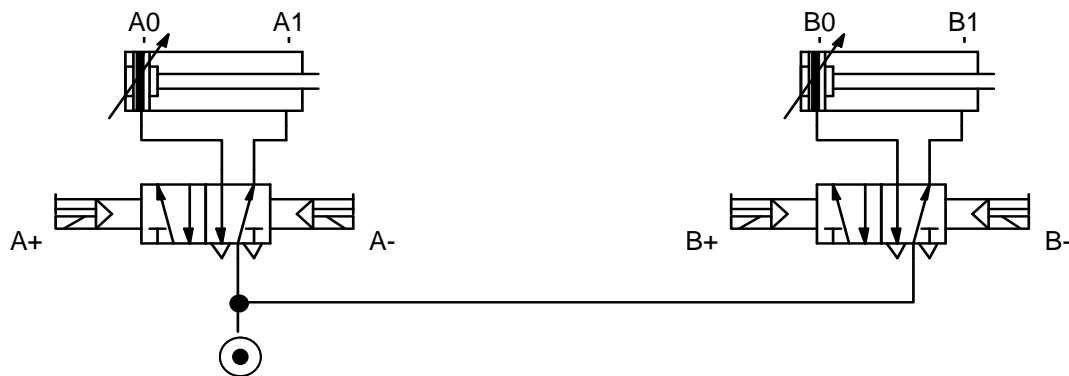
Ciclo automatico A+B+B-A- con distributori monostabili



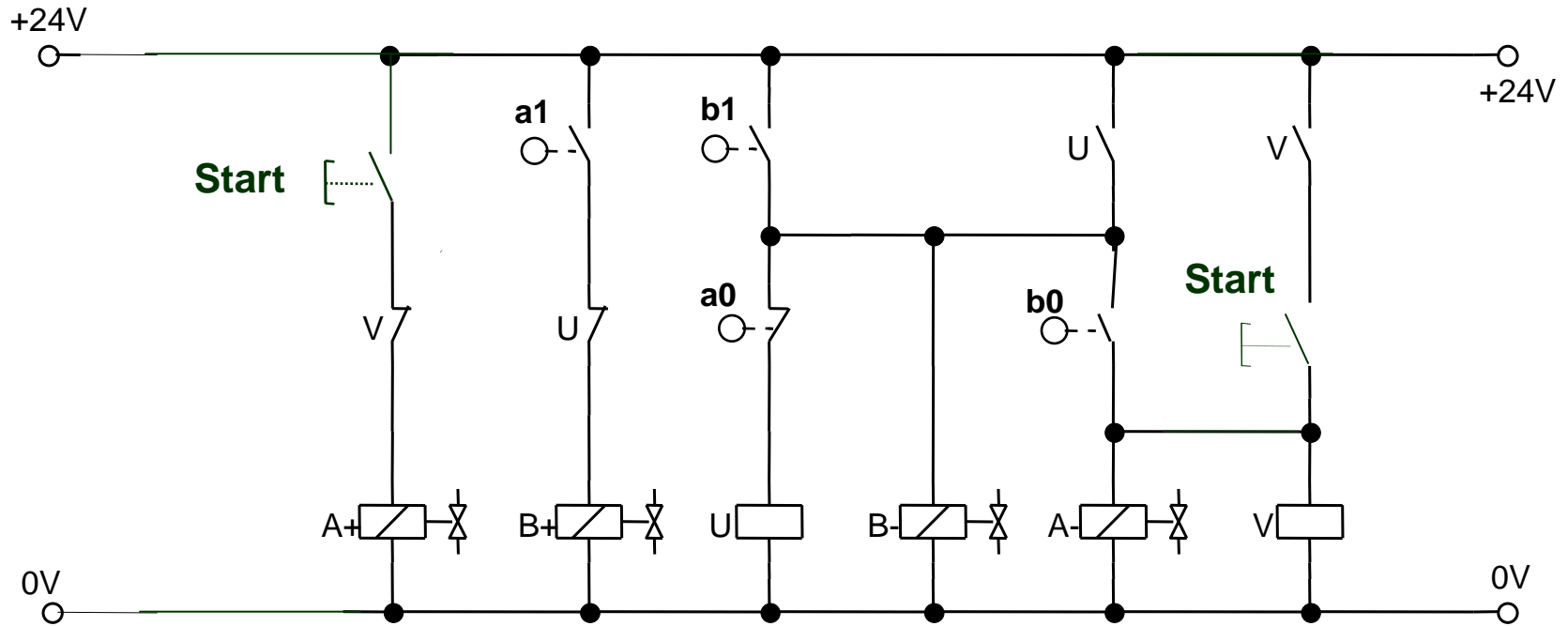
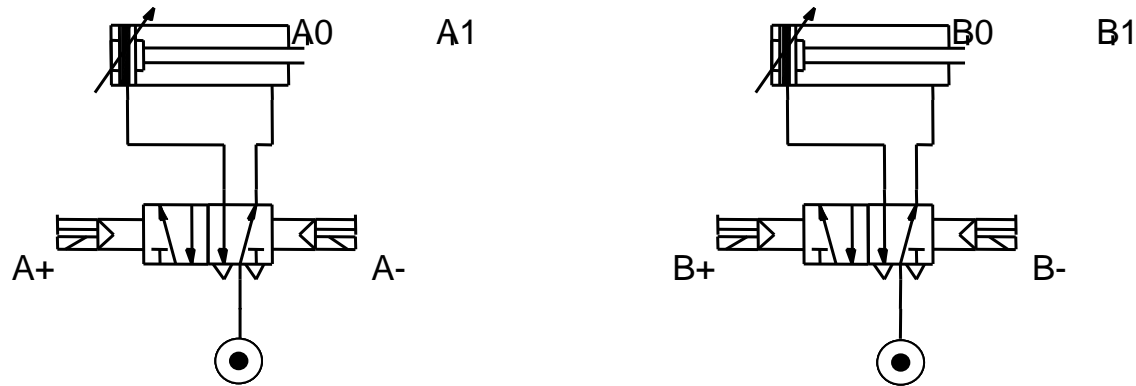
Ciclo automatico A+B+B-A- con distributori bistabili



Ciclo automatico A+B+B-A- con distributori bistabili



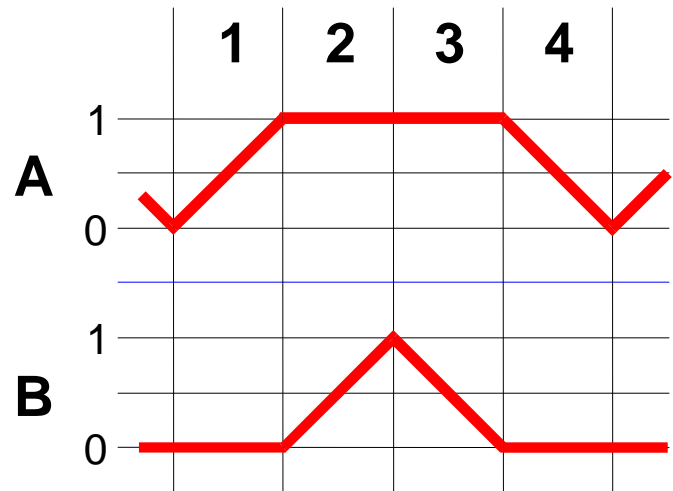
Ciclo semiautomatico A+B+B-A- con distributori bistabili e antiripetitività



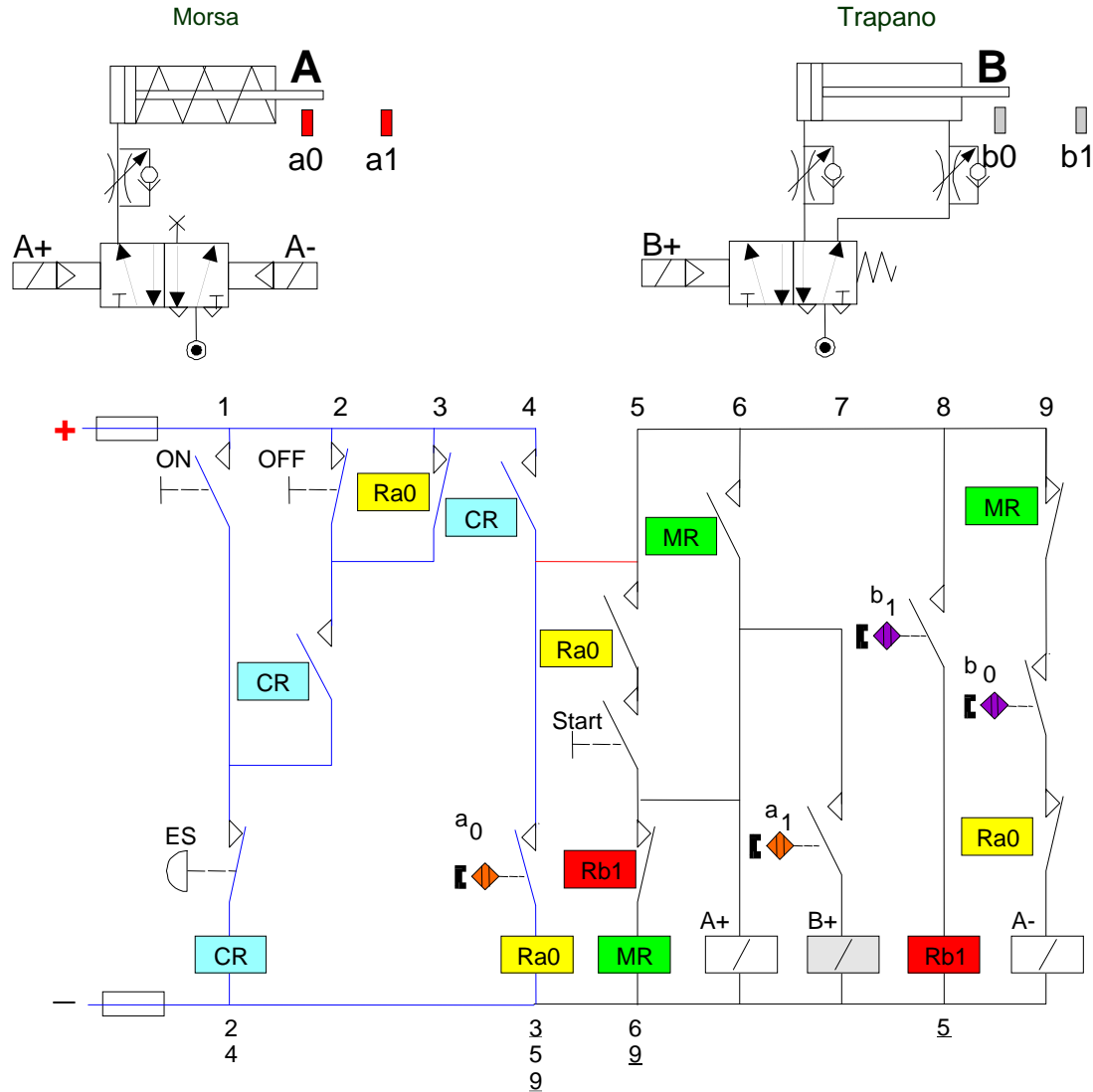
Ciclo di serraggio e foratura

Requisiti del circuito

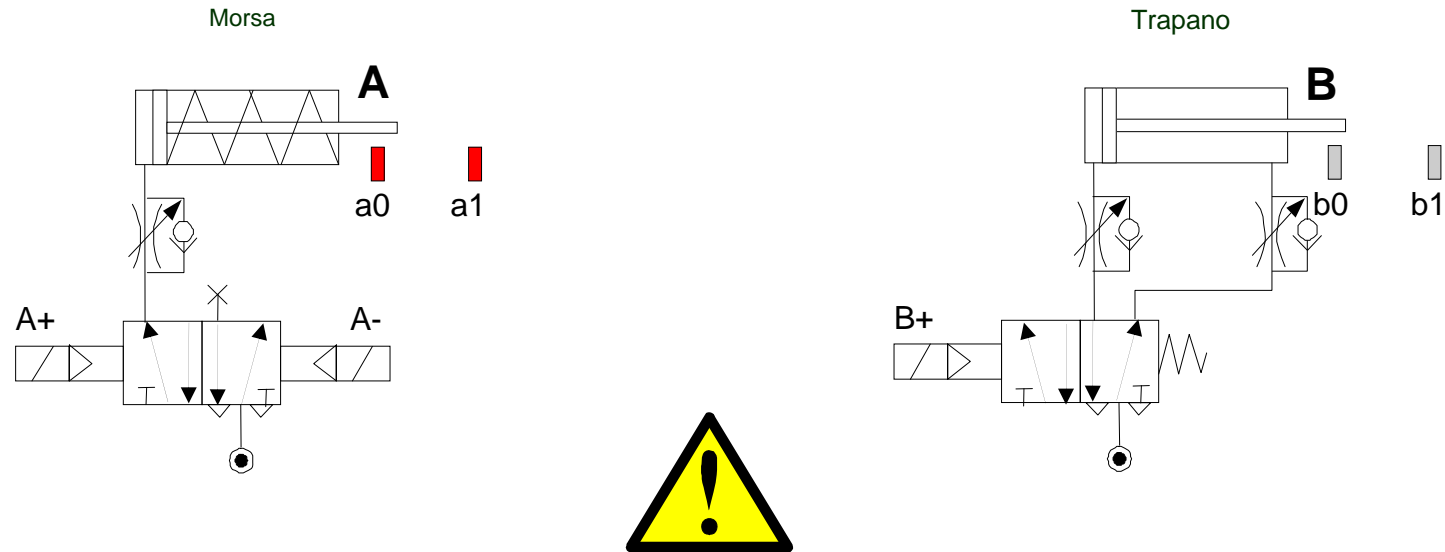
- 1 Pulsante di emergenza che interrompa l'alimentazione a tutti i comandi
- 2 L'alimentazione deve essere inserita o disinserita con due pulsanti monostabili ON/OFF
- 3 In assenza di tensione e con la presenza del segnale di emergenza l'apparecchiatura di serraggio deve mantenere la sua posizione momentanea
- 4 Rilasciando tale comando il ciclo non deve ricominciare
- 5 L'alimentazione elettrica può essere disinserita manualmente solo nelle condizioni di riposo delle apparecchiature
- 6 Per la partenza di ogni ciclo occorre premere il pulsante di start



Ciclo di serraggio e foratura



Ciclo di serraggio e foratura



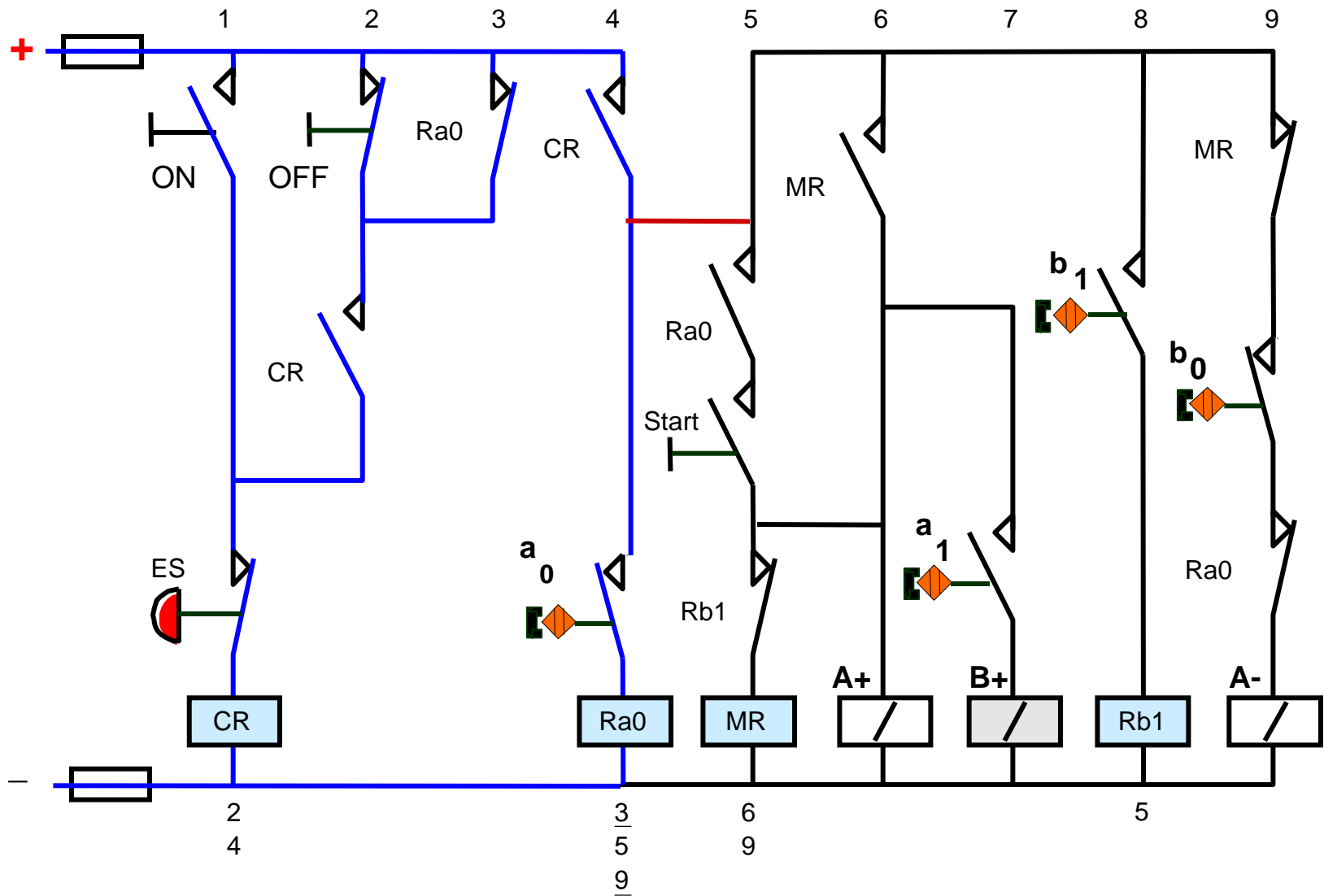
L'alimentazione elettrica può venire a mancare improvvisamente, mentre l'aria compressa immagazzinata nelle linee di alimentazione, è ancora disponibile.

Si ricorda che i circuiti elettropneumatici hanno sempre bisogno di un'attenta selezione delle valvole, in modo da garantire la sicurezza dell'impianto anche in assenza del segnale di emergenza.

Esempio: in caso di bloccaggio il dispositivo di serraggio necessita di una valvola **BISTABILE** che impedisca l'apertura in caso di emergenza o blackout.

Il trapano deve ritrarre immediatamente l'utensile quando cessa il funzionamento del suo motore, per questo è d'obbligo utilizzare una valvola **MONOSTABILE**.

Schema elettrico ciclo di serraggio e foratura



Ciclo di serraggio e foratura

SPIEGAZIONE ANALITICA DEL FUNZIONAMENTO

Chiudendo **(ON)** , si eccita **(CR)** autoalimentandosi, contemporaneamente attraverso un suo contatto ausiliario, se la morsa è aperta, va ad eccitare il relè **(Ra0)**.

Quest'ultimo tramite un suo contatto fornisce alimentazione al circuito a valle, diseccitando l'elettrovalvola dell'apertura della morsa **(A-)**.

Premendo quindi **START**, si eccita il relè **(MR)**, di conseguenza abilita la chiusura della morsa attraverso l'elettrovalvola **(A+)**, nello stesso istante apre il suo contatto nel ramo **(9)**. All'inizio di tale operazione il f.c. **(a0)** viene rilasciato diseccitando **(Ra0)** provocando di nuovo la chiusura del suo contatto nel ramo **(9)**, senza eccitare però **(A-)** in quanto il contatto **(MR)** è aperto.

Alla chiusura della morsa il f.c. **(a1)** viene premuto. Si eccita così l'elettrovalvola **(B+)**, la quale provoca l'uscita della punta del trapano, causando il rilascio del contatto del f.c. **(b0)** nel ramo **(9)**.

Quando la punta incontra il fc **(b1)** si eccita il relè **(Rb1)** il quale tramite il suo contatto provoca la diseccitazione del relè **(MR)**.

Questa azione, provoca la diseccitazione di **(A+)** e **(B+)**, di conseguenza, la punta del trapano rientra, preme di nuovo il f.c. **(b0)** eccitando **(A-)**, che apre di nuovo la morsa, richiudendo così il f.c. **(a0)** posto nel ramo **(4)**.

Per iniziare un nuovo ciclo bisognerà ora premere di nuovo lo START.

L'alimentazione elettrica quindi potrà essere disinserita manualmente solo quando il relè (Ra0) è eccitato, vale a dire solo nelle condizioni di riposo delle apparecchiature.

Metodo dei Collegamenti

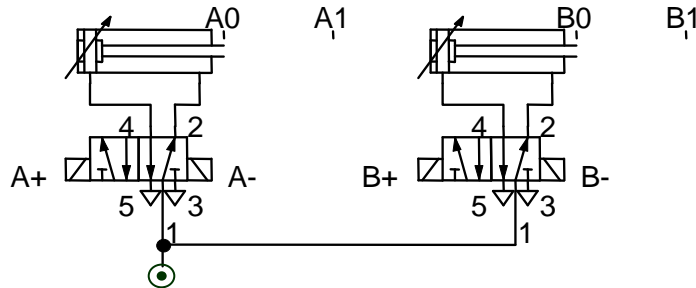
Metodo dei collegamenti

Garantisce maggiore sicurezza alimentando i fine corsa solo quando serve e consente di annullare i segnali bloccanti. Ci sono 3 modalità d'intervento:

- 1. Circuiti senza movimenti contemporanei e senza segnali bloccanti**
- 2. Circuiti con movimenti contemporanei e senza segnali bloccanti**
- 3. Circuiti con segnali bloccanti**

Pick and place semi-automatic

A+ B+ A- B-



Anomalie di funzionamento:

- L'azione prolungata di PM impedisce la corsa A- e blocca il ciclo con entrambi gli steli fuori
- L'azione di PM durante la corsa B- provoca la corsa A+ prima che sia ultimata quella del cilindro B

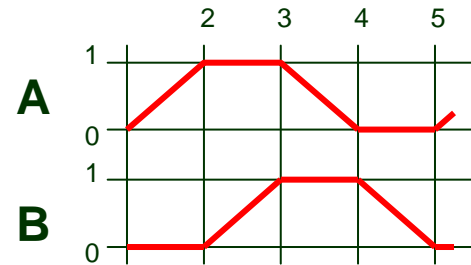
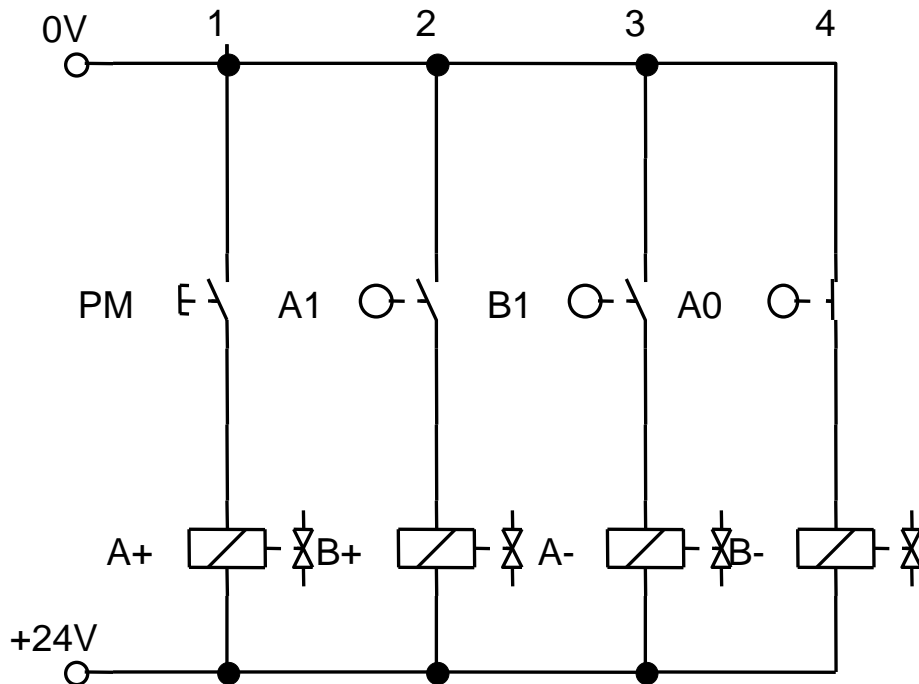
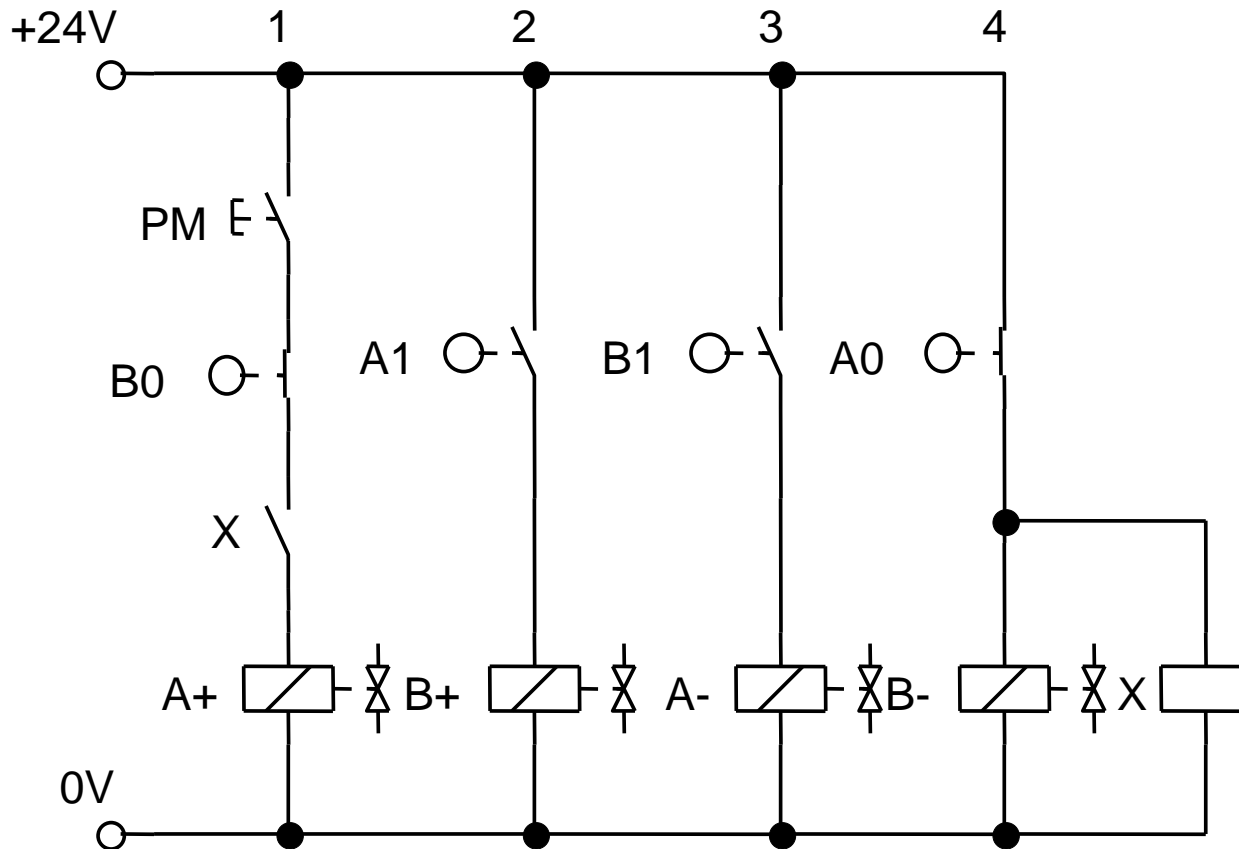


Grafico Corsa passo

Pick and place semi-automatico con i collegamenti

Con il relé X si elimina l'effetto bloccante di PM e si impedisce che lo stelo di A fuoriesca prima di essere completamente rientrato e con b0 si evita che A esca prima del rientro di B



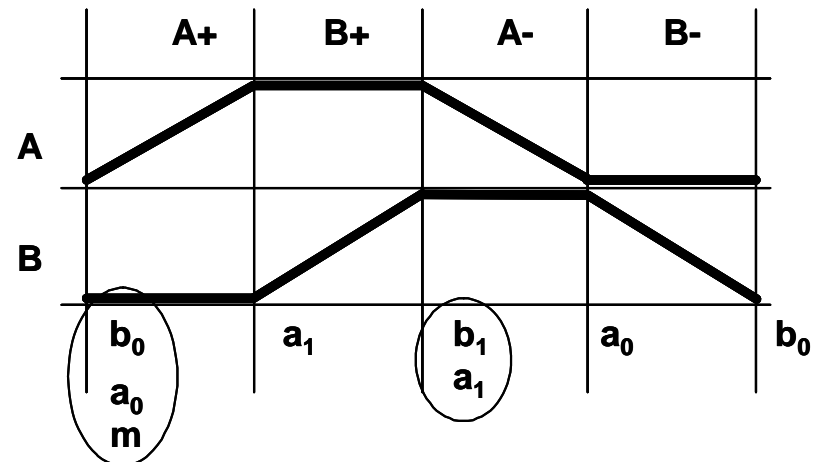
Metodo dei collegamenti nel ciclo continuo: senza movimenti contemporanei e senza segnali bloccanti

Lo scopo è quello di evitare inconvenienti dovuti all'azionamento involontario di qualche finecorsa. **Si ottiene alimentando quel finecorsa che viene azionato all'inizio di una certa fase con un altro finecorsa il cui segnale sia presente alla fine della fase precedente a quella di attivazione del primo.**

Se si esamina il manipolatore (pick and place) si vede che quando b_0 deve comandare l'uscita di A è attivo a_0 e quando b_1 deve comandare il rientro di A è attivo a_1 . Pertanto b_0 dovrà essere alimentato da a_0 e b_1 sarà alimentato da a_1 . In questo modo il moto A- viene provocato solo se la funzione AND tra a_1 e b_1 è pari ad 1 e il moto A+ si ottiene solo se la funzione AND tra a_0 , m e b_0 è uguale ad 1.

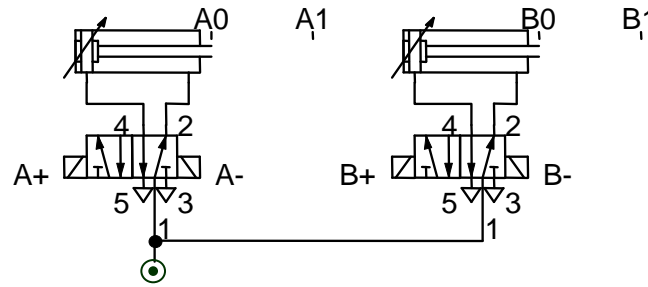
Quindi quando a_1 non è azionato b_1 non è alimentato e quando a_0 non è azionato b_0 non è alimentato. Qualora b_1 e b_0 venissero accidentalmente attivati non provocherebbero alcun inconveniente.

Si noti che i segnali b_0 e b_1 da continui diventano istantanei.

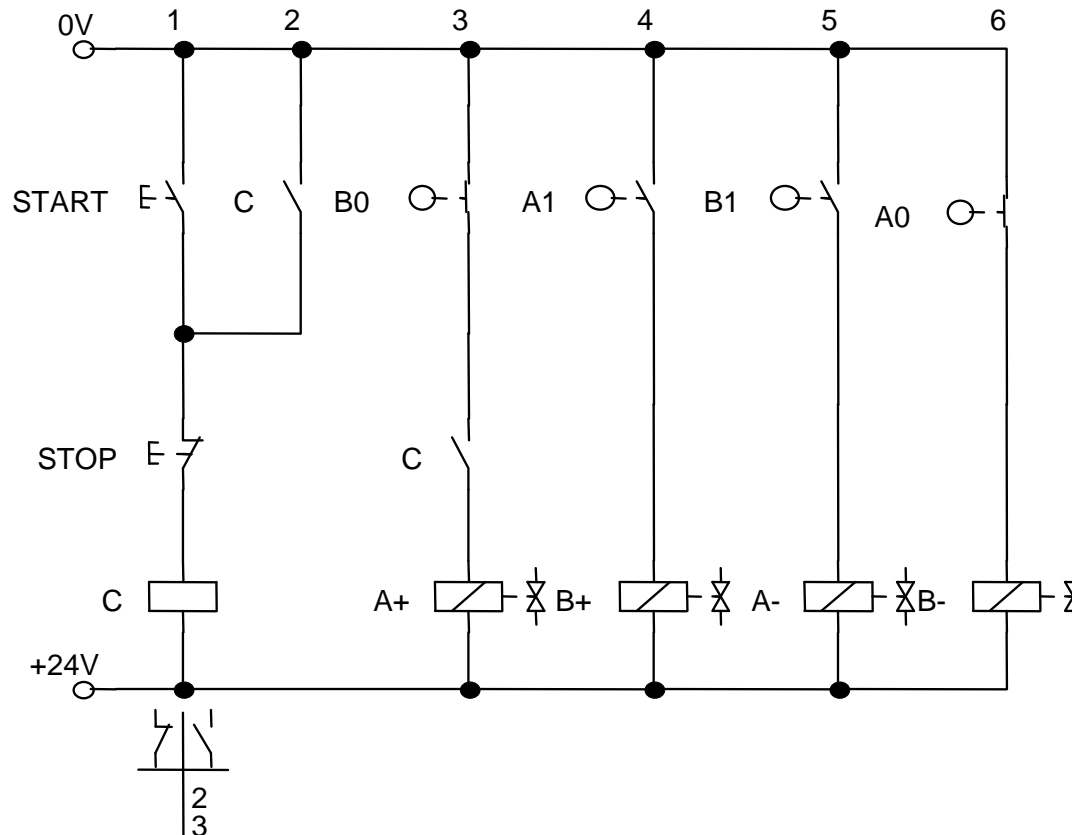


pick and place → A+ B+ A- B-

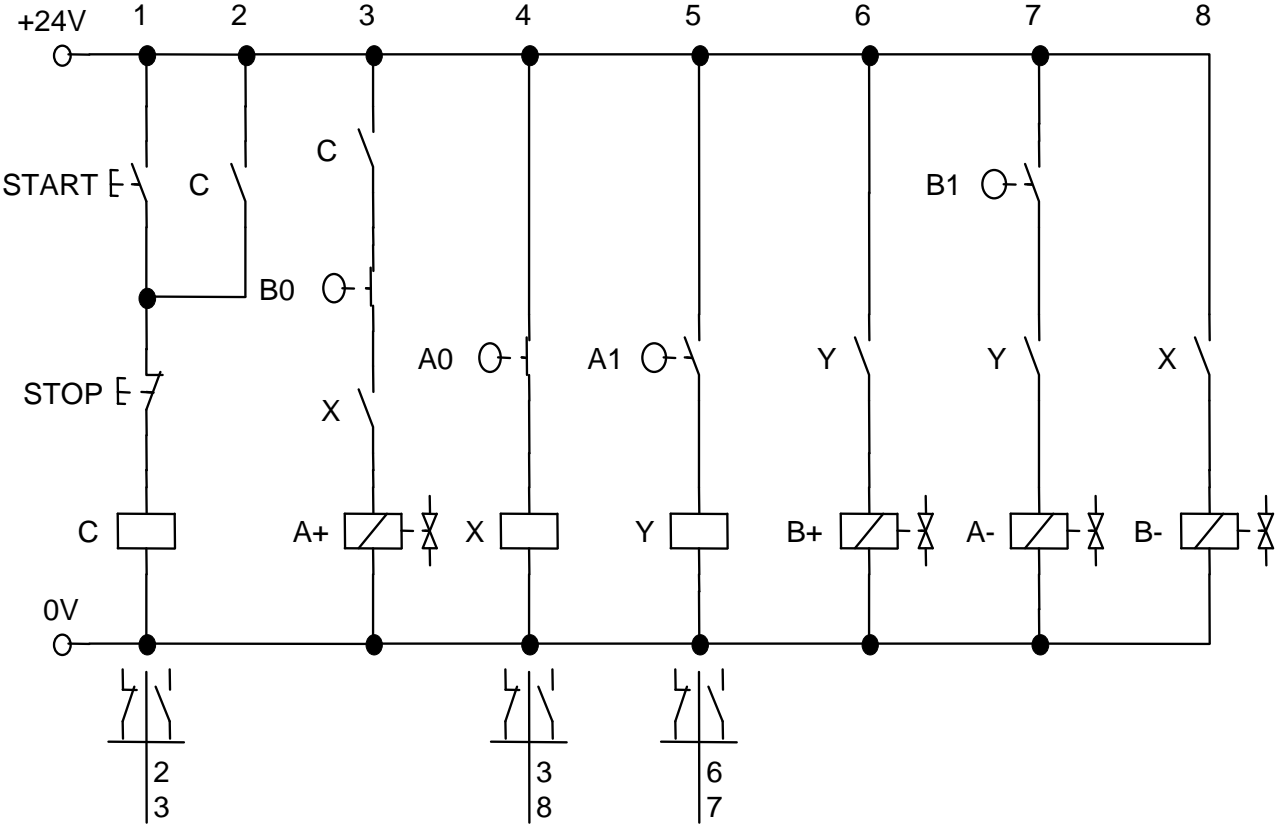
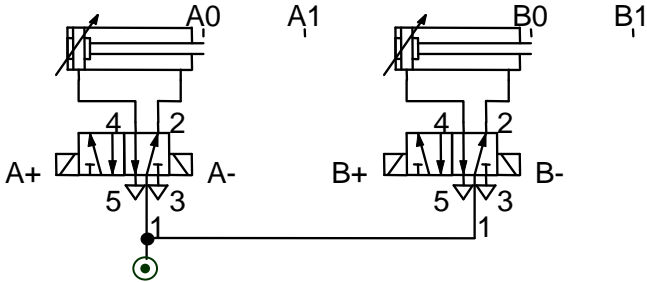
Ciclo automatico



Metodo diretto

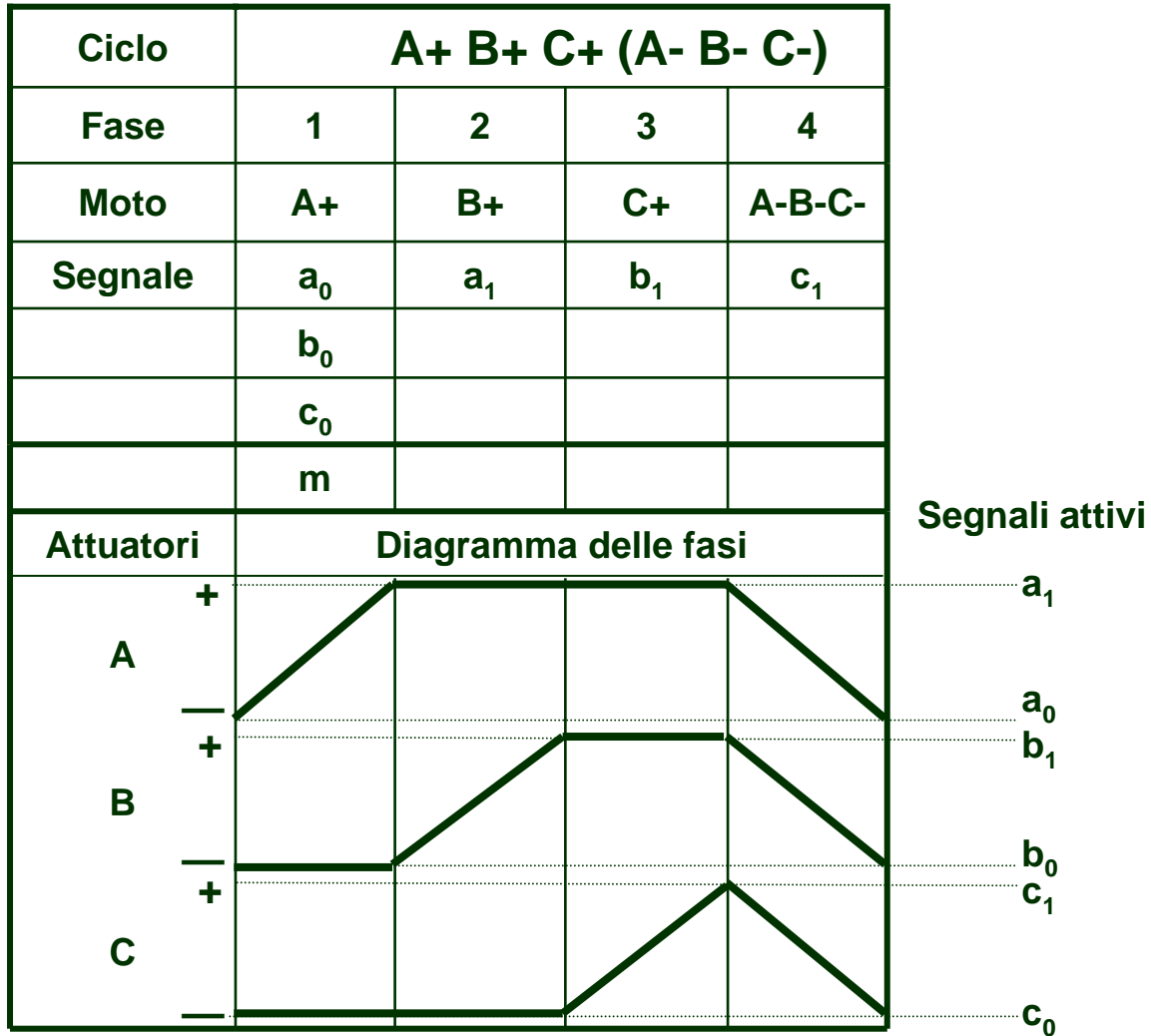


pick and place → A+ B+ A- B-



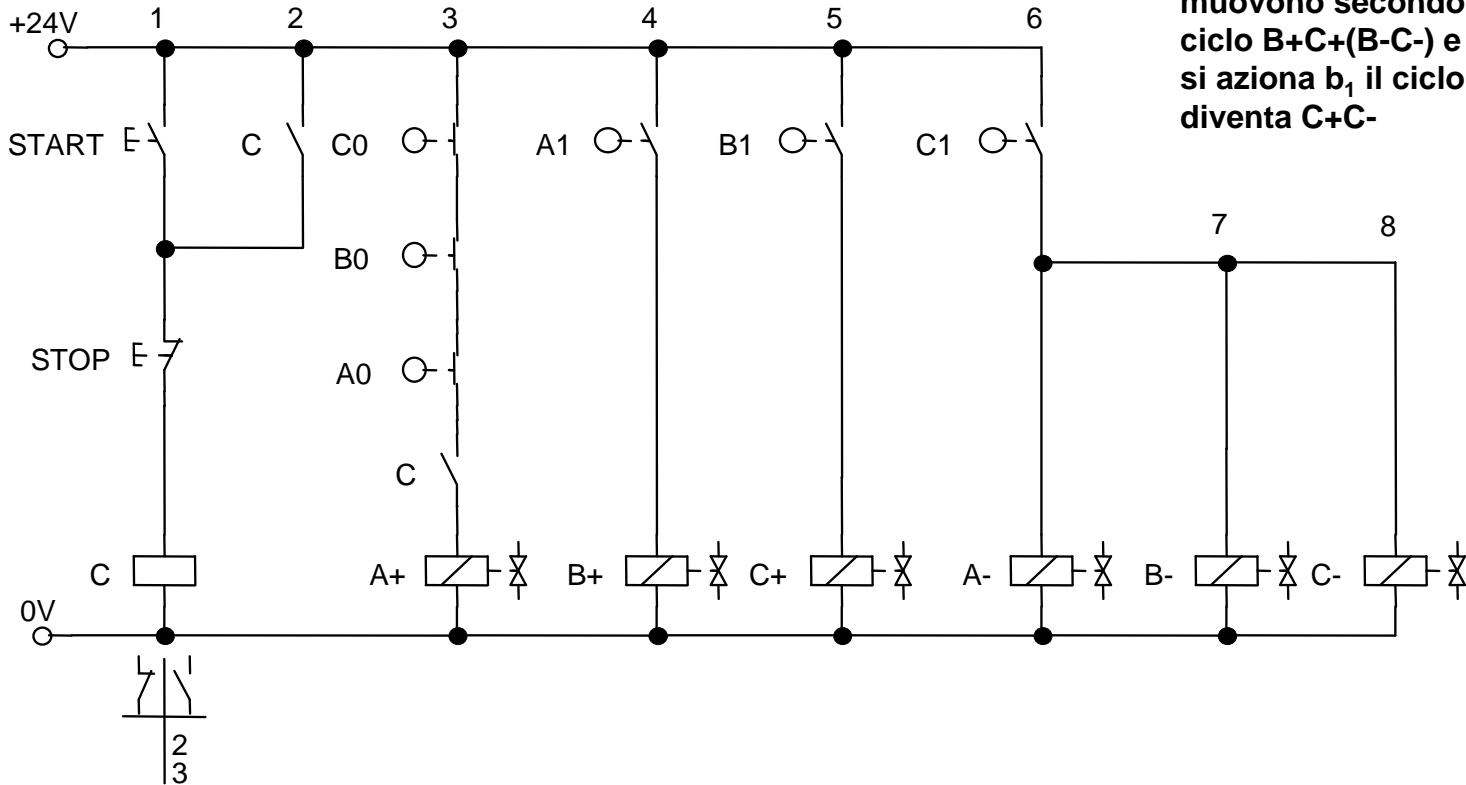
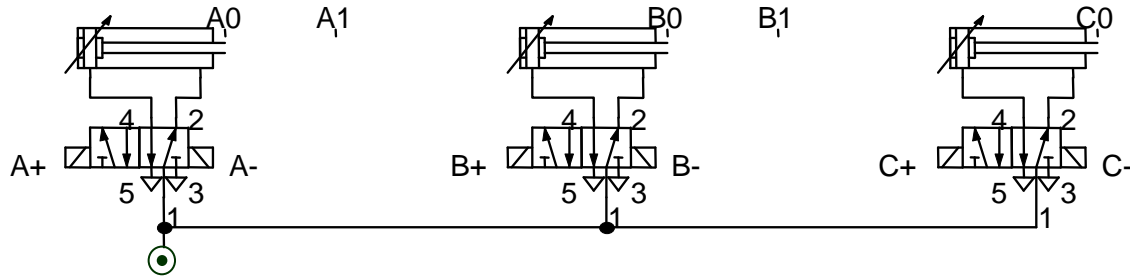
Collegamenti

Movimenti contemporanei, senza segnali bloccanti: ciclo A+ B+ C+ (A- B- C-)



CICLO AUTOMATICO A+ B+ C+ (A- B- C-)

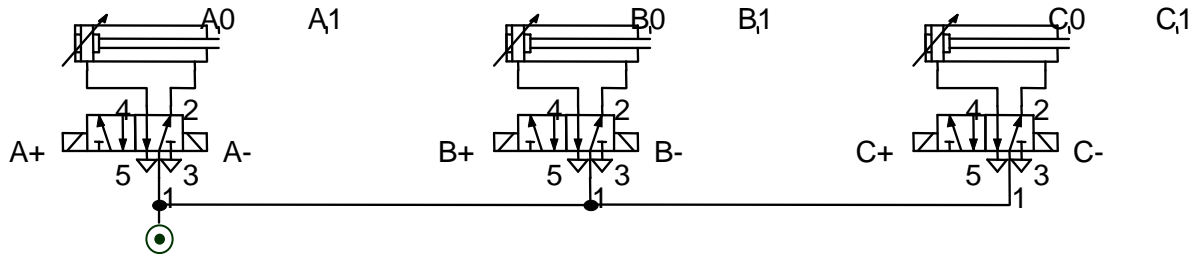
Metodo diretto



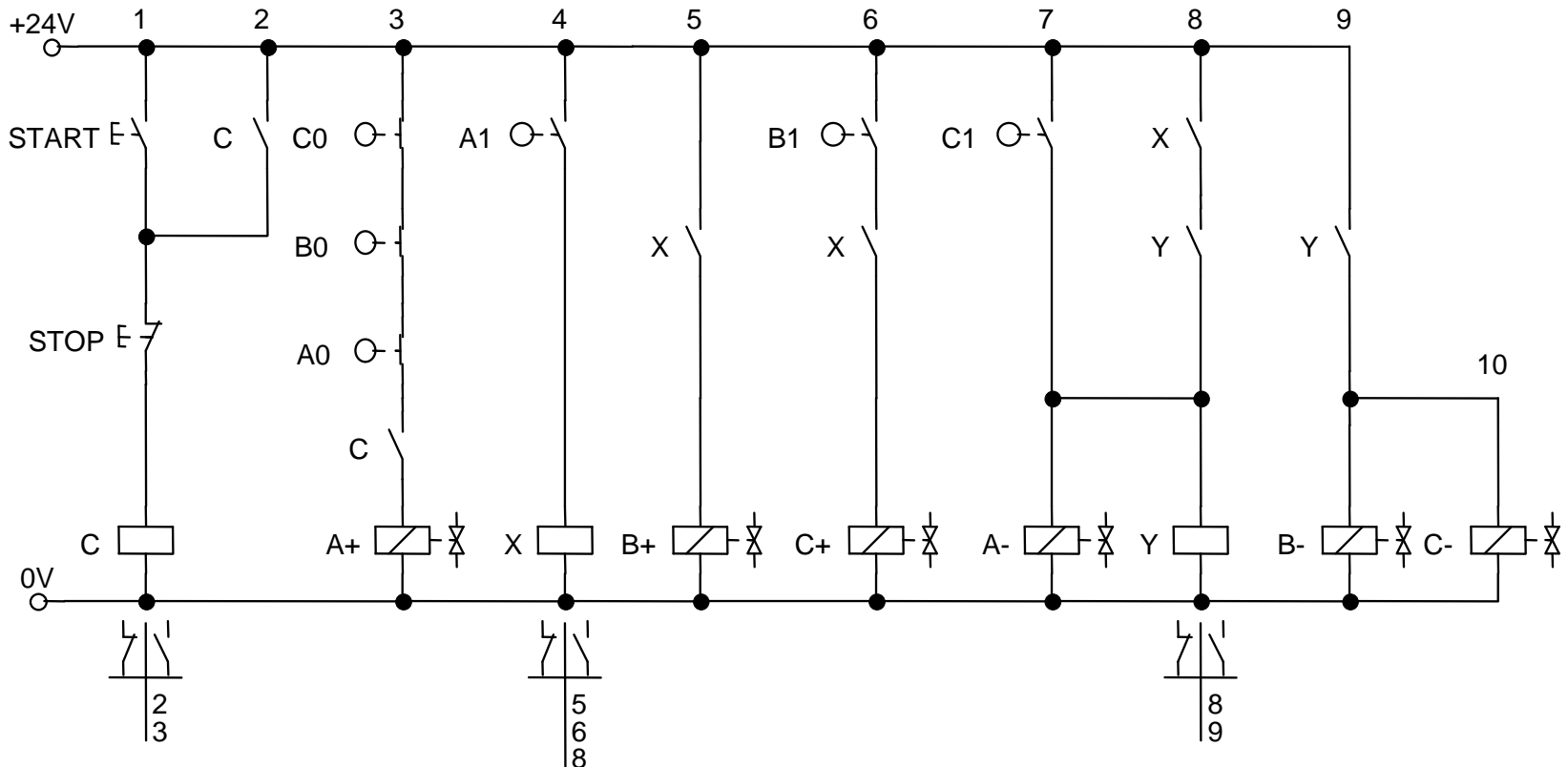
Si rammenti che se si aziona a1 a macchina ferma gli attuatori si muovono secondo il ciclo B+C+(B-C-) e se si aziona b₁ il ciclo diventa C+C-

Metodo Collegamenti

A+ B+ C+ (A- B- C-)



Per proteggersi è sufficiente che il finecorsa che dà il via ai moti contemporanei, c1, piloti solo il distributore di potenza dell'attuatore che ha il finecorsa azionato per il tempo più lungo: A, e che l'uscita di questo distributore piloti gli altri due distributori



Metodo dei collegamenti con segnali bloccanti

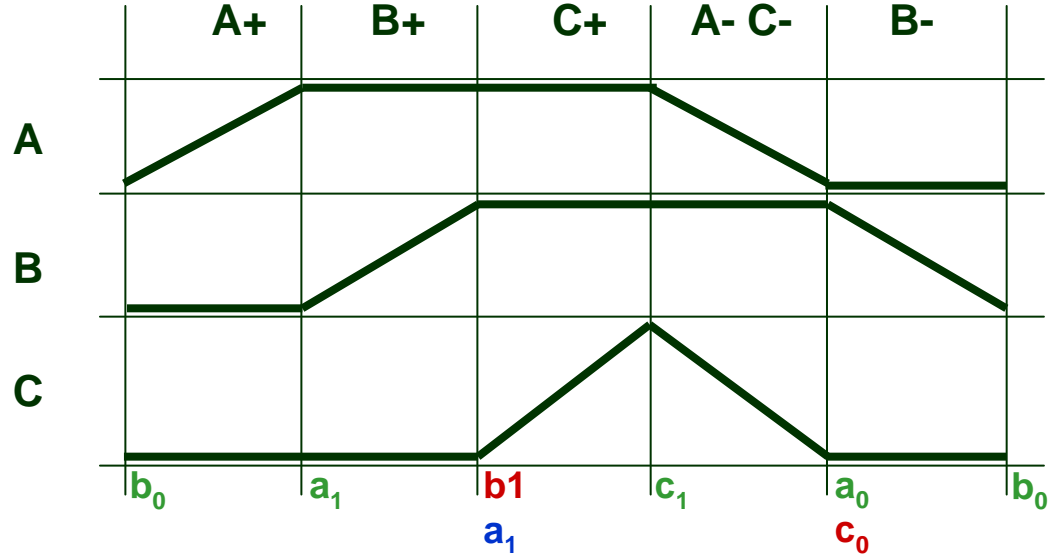
Per eliminare i segnali bloccanti si può:

- Renderli istantanei**
- Diminuirne la durata in modo che siano assenti quando arrivano i segnali opposti**

Bisogna cercare un segnale “sbloccante” con le proprietà seguenti:

- Non deve essere a sua volta bloccante**
- Deve essere attivo quando inizia il segnale bloccante**
- Deve essere inattivo quando inizia la successiva corsa dello stelo del cilindro comandato dal segnale bloccante**
- Non si deve riattivare finché è attivo il segnale bloccante**

Ciclo A+ B+ C+ (A- C-) B- con segnali simultanei e bloccanti



a_0, c_0 simultanei
 $b_1, c_0 =$ bloccanti

$a_1 =$ segnale sbloccante

A+ = start . b_0

B+ = a_1

C+ = $a_1 . b_1$

A- = c_1

C- = c_1

B- = $a_0 . c_0$

Metodo dei Collegamenti

b_1 e c_0 sono bloccanti

Il segnale che sblocca b_1 è a_1 perché:

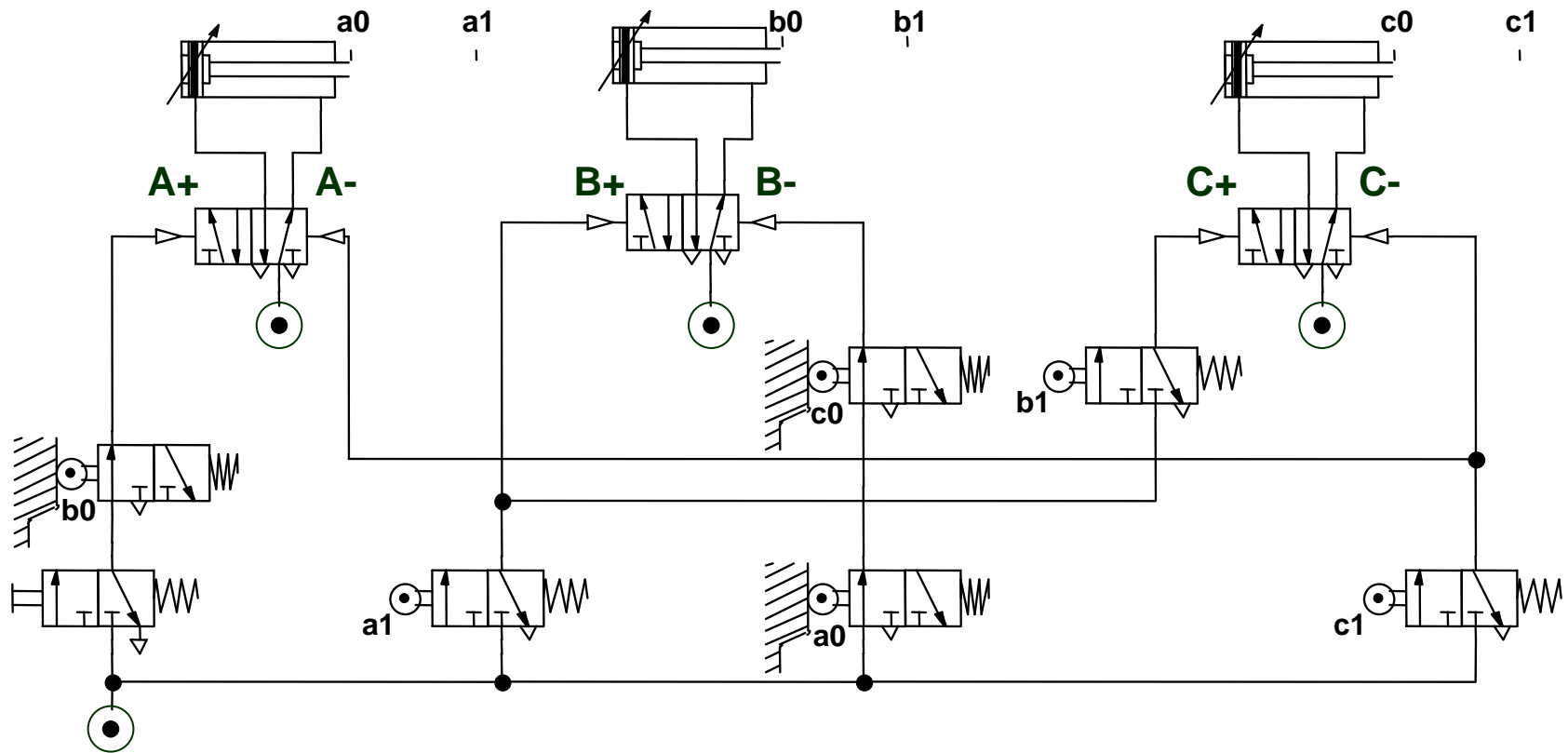
- Non è bloccante
- È presente quando viene attivato b_1
- È inattivo quando inizia la corsa C-
- Non si riattiva finché è presente b_1

Il segnale che sblocca c_0 è a_0 , infatti:

- Non è bloccante
- È presente quando viene attivato a_0
- È inattivo quando inizia la corsa B+
- Non si riattiva finché è presente a_0

sufficiente collegare in AND b_1 con a_1 e c_0 con a_0

A+ B+ C+ (A- C-) B- con i collegamenti in pneumatica

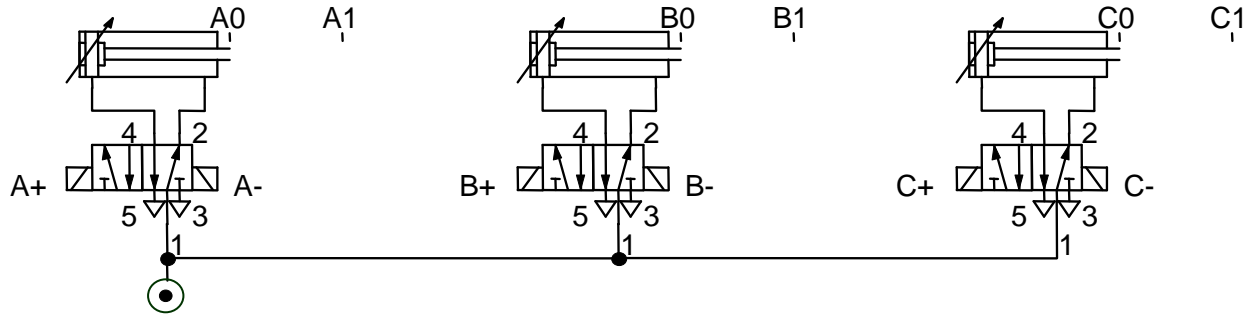


SEGNALI BLOCCANTI: b1 c0

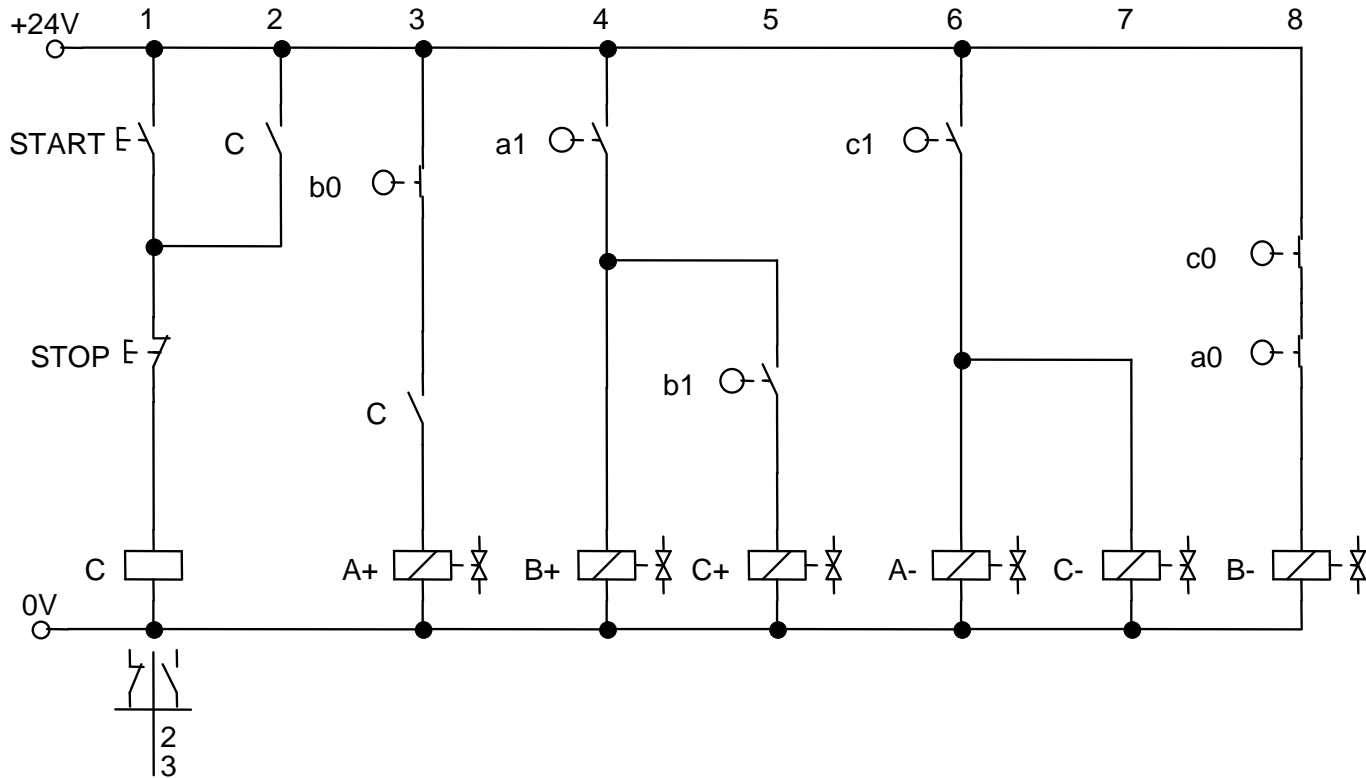
AND b1 con a1 e c0 con a0

Ciclo automatico A+ B+ C+ (A- C-) B-

Metodo dei collegamenti



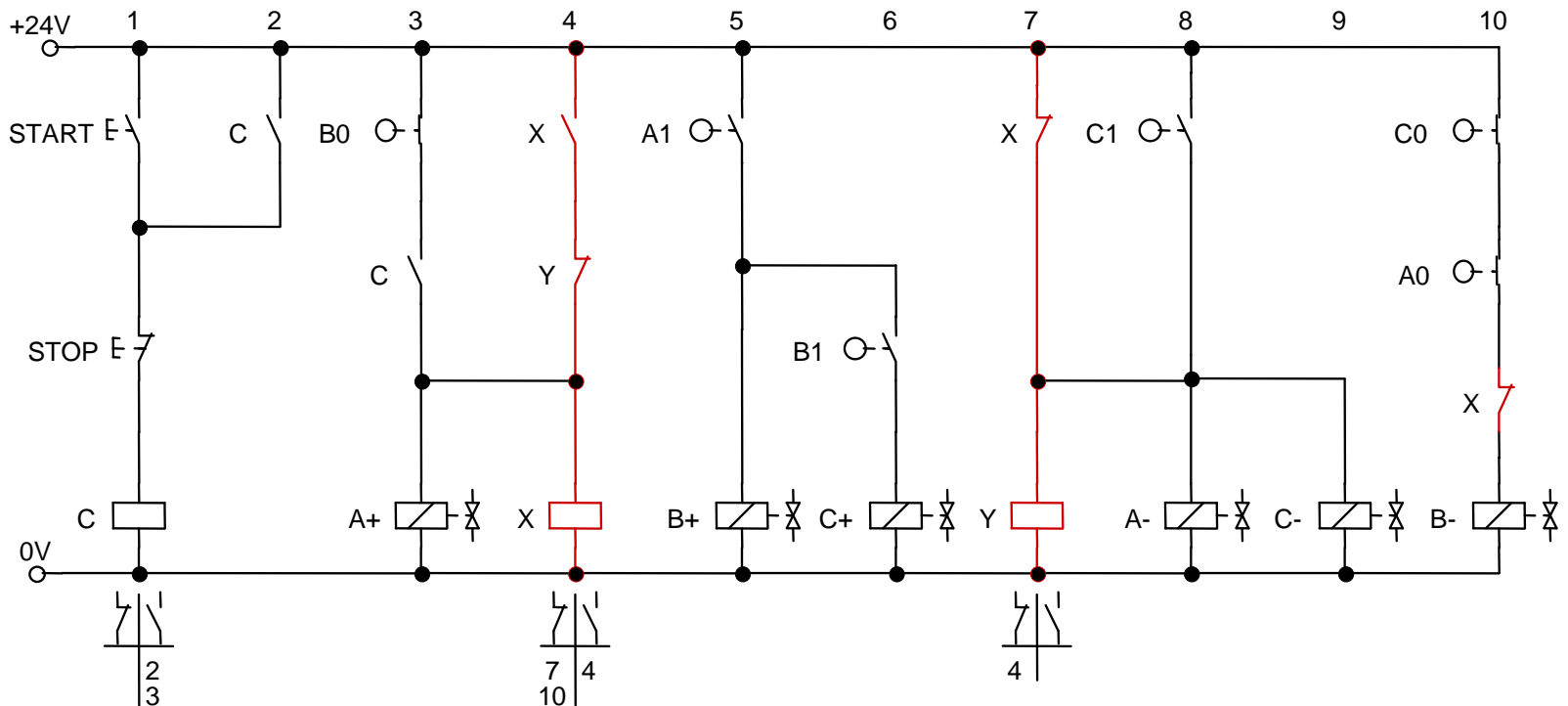
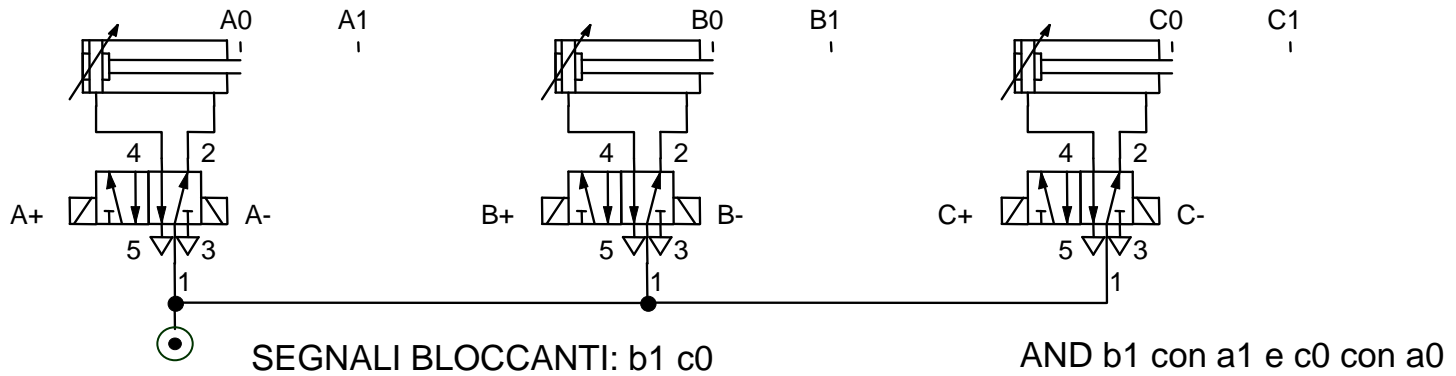
SEGNALI BLOCCANTI: b1 c0 → AND b1 con a1 e c0 con a0



Segnali contemporanei
+ segnali bloccanti

A+ B+ C+ (A- C-) B-

Metodo dei collegamenti per + sicurezza



Metodo della cascata

Metodo della cascata

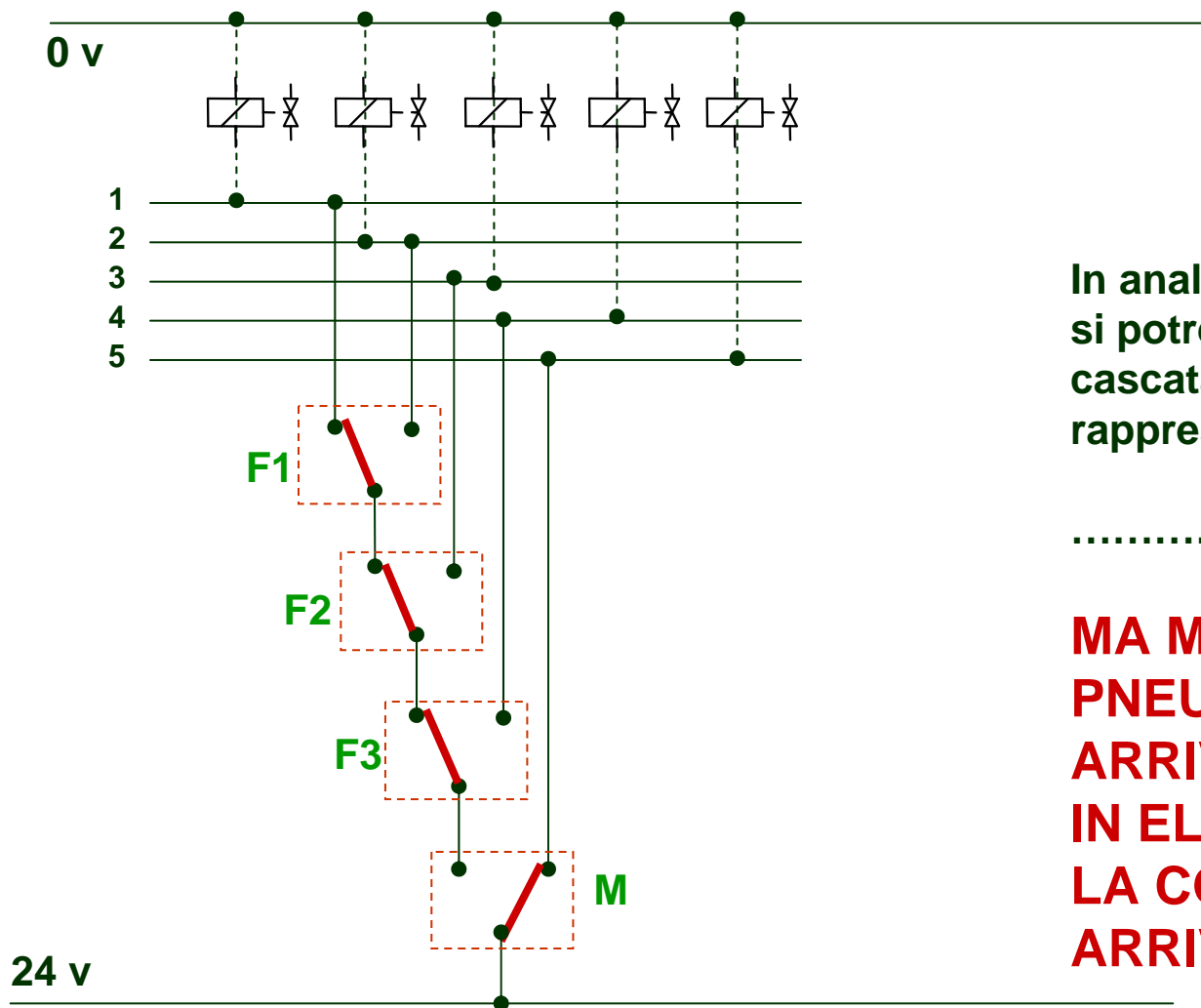
Riprendiamo i concetti espressi per il metodo della cascata applicato nella risoluzione dei circuiti pneumatici.

Si tratta innanzitutto di suddividere il circuito in modo da alimentare i movimenti solo quando è richiesto dalla sequenza da realizzare, evitando quindi di comandare un distributore contemporaneamente su entrambi i suoi azionamenti.

Si può schematizzare la “cascata” da realizzare individuando il numero di linee di alimentazione necessarie, tenendo presente che una linea non può alimentare entrambi gli azionamenti dello stesso distributore, perché bloccherebbe il circuito.

Partendo da sinistra si può realizzare uno schema nel quale da ogni movimento si traccia un collegamento alla ipotetica linea di alimentazione, ordinata dall'alto verso il basso: primo movimento verso la linea 1 e poi si procederà per i moti successivi sempre verso la stessa linea se appartenenti a diversi distributori, altrimenti si scenderà verso una nuova linea.

Predisposizione del circuito

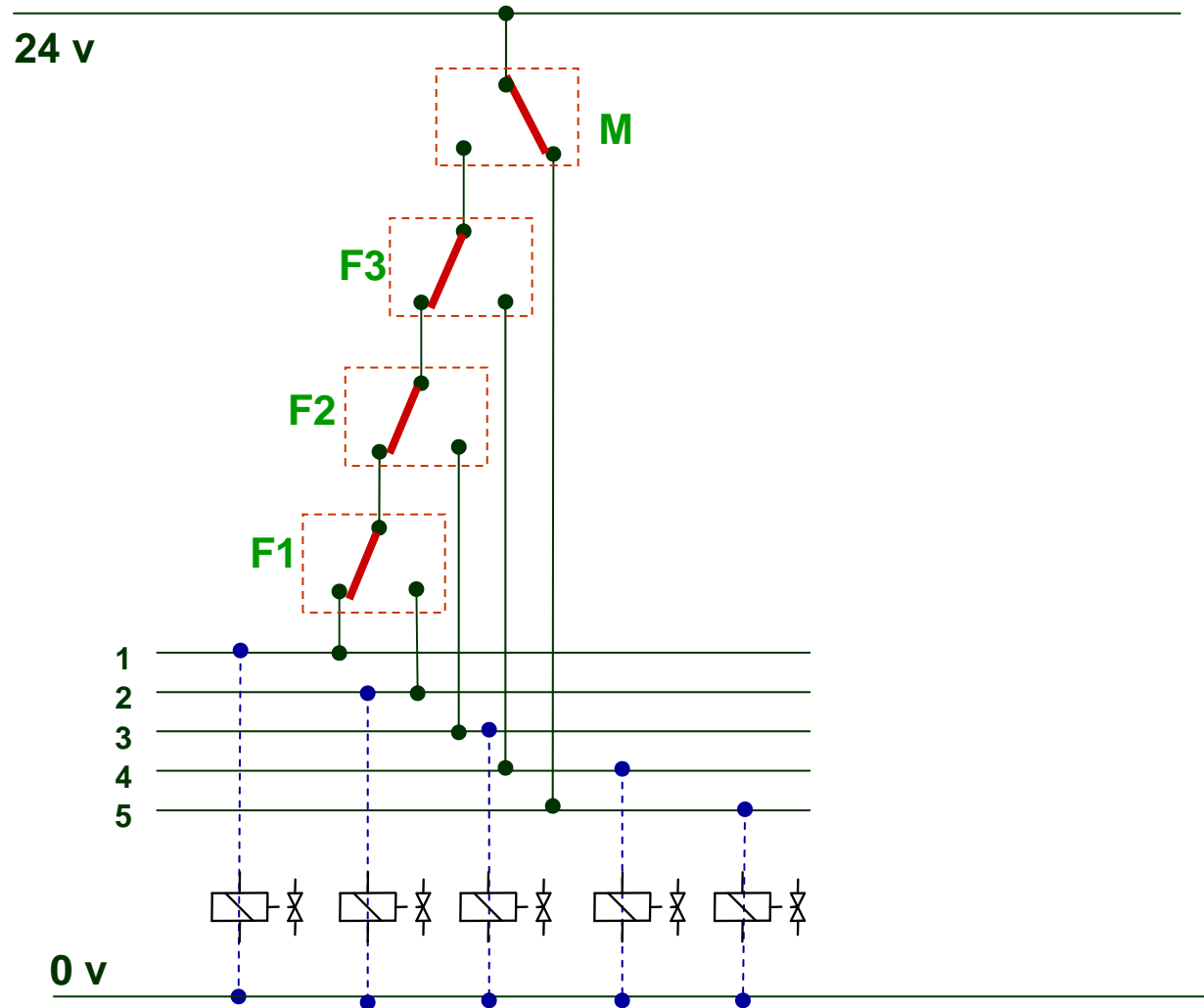


In analogia alla pneumatica
si potrebbe rappresentare la
cascata nel modo qui
rappresentato,

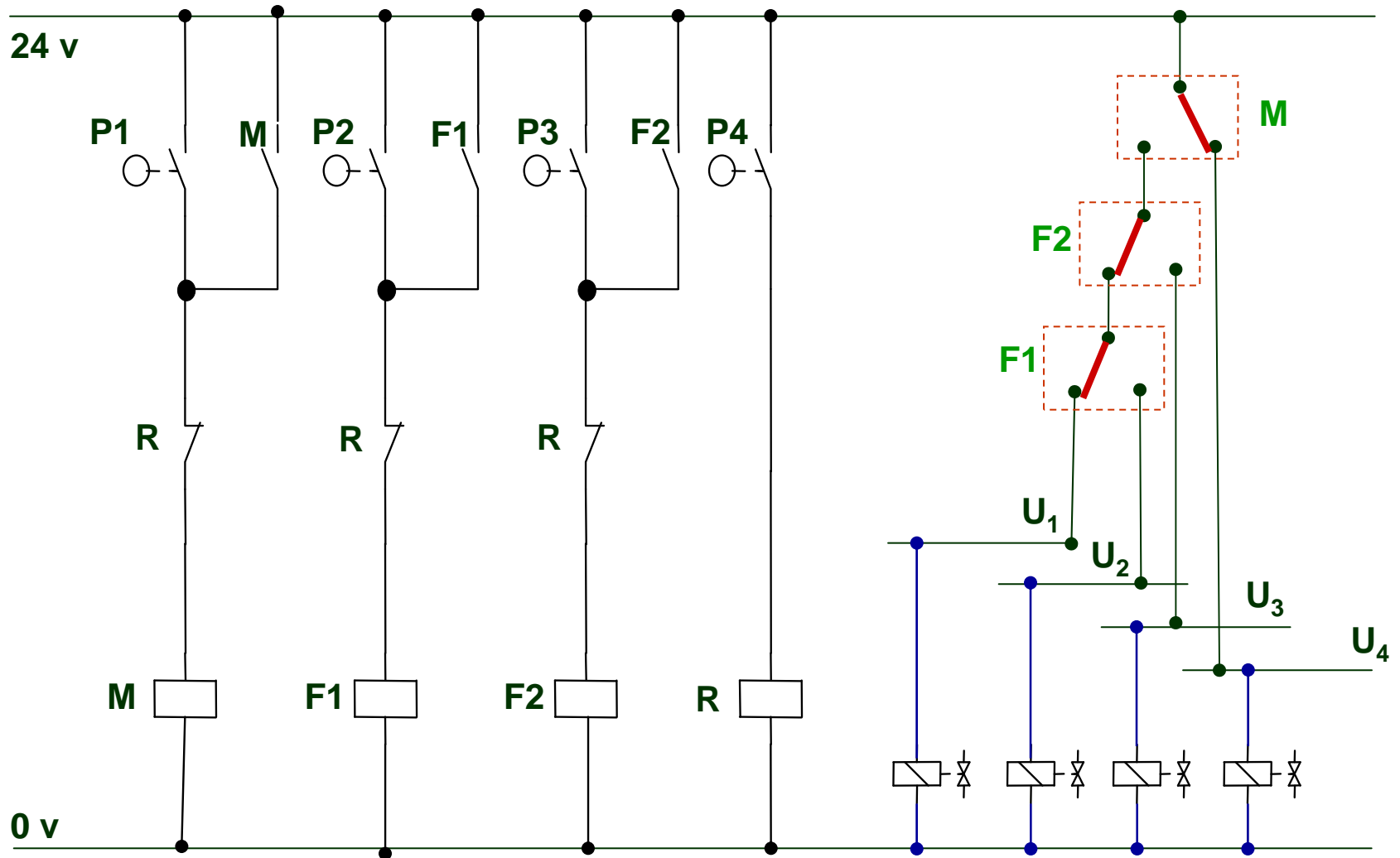
.....

**MA MENTRE IN
PNEUMATICA L'ARIA
ARRIVA DAL BASSO,
IN ELETTROTECNICA
LA CORRENTE
ARRIVA DALL'ALTO**

Predisposizione del circuito



Comandi della Cascata



Regola della cascata

Rappresentare il ciclo con il diagramma delle fasi e riportare i segnali di comando in corrispondenza a ciascuna fase.

Per stabilire il numero dei distributori si suddivide il ciclo in più parti da sinistra a destra, facendo in modo che in ciascuna sezione ci sia una sola corsa per pistone.

Se n è il numero delle parti, il numero delle uscite sarà uguale a n e il numero dei distributori sarà uguale a $n-1$.

Collegamenti di alimentazione:

- 1° finecorsa della Parte 1^a (*) pilota P_1 ed è alimentato da U_n
- 1° finecorsa della Parte 2^a (*) pilota P_2 ed è alimentato da U_1
- 1° finecorsa della Parte 3^a (*) pilota P_3 ed è alimentato da U_2
-
- 1° finecorsa della Parte nesima (*) pilota P_n ed è alimentato da U_{n-1}

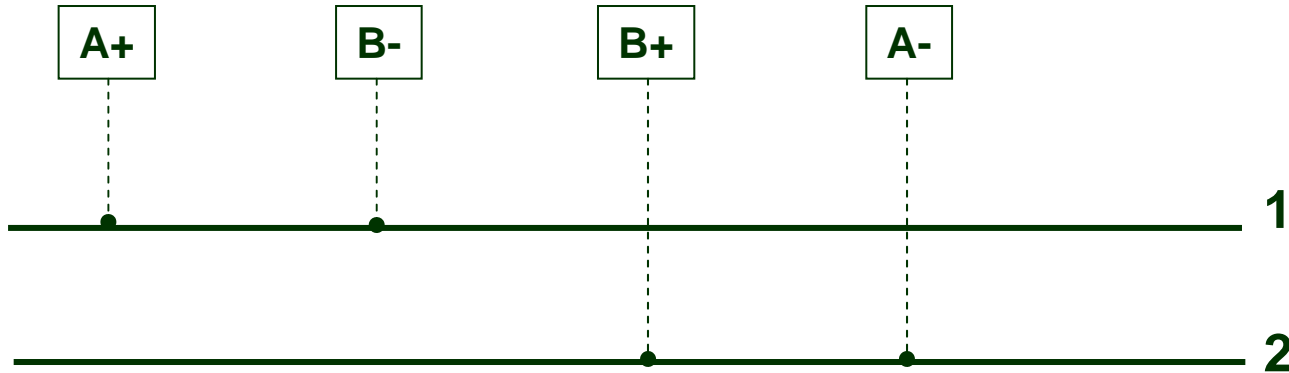
Collegamenti di comando di comando della cascata:

- U_1 pilota primo movimento parte 1^a
- U_2 pilota primo movimento parte 2^a
- U_3 pilota primo movimento parte 3^a
-
- U_n pilota primo movimento parte nesima

Gli altri finecorsa pilotano i movimenti rimanenti in base al diagramma delle fasi e saranno alimentati dall'uscita della parte a cui appartengono.

(*) attivato dall'ultimo movimento della parte precedente

Esempio A+ B- B+ A-



In questo caso vengono individuate due linee che dovranno alternativamente alimentare i moti della sequenza e naturalmente per commutare l'alimentazione da una linea all'altra sarà sufficiente un solo deviatore.

Quindi:

2 linee \rightarrow 1 deviatore, 3 linee \rightarrow 2 deviatori, n linee \rightarrow (n-1) deviatori

Il primo deviatore rappresenta la "Madre" che abbiamo definito in pneumatica, la quale nella posizione di riposo alimenterà la linea più bassa, mentre gli altri eventuali deviatori ("le Figlie") nella posizione di riposo saranno predisposti per alimentare in cascata la linea più alta.

Comandando la Madre dovrà essere alimentata la linea più alta.

La madre sarà comandata dal pulsante di marcia di inizio ciclo in serie all'ultimo fine-corsa attivato della sequenza.

Predisposizione per il circuito

Comando alla madre:

Start & a0 = Set Madre

Alimentazione della prima linea

Comando diretto del primo moto

Attivazione fine-corsa che fornisce il consenso al moto successivo e che sarà alimentato dalla stessa linea

Passaggio alla linea successiva:

ultimo fine-corsa = Set Figlia

Alimentazione linea seguente

Comando diretto del primo moto

Attivazione fine-corsa che fornisce il consenso al moto successivo e che sarà alimentato dalla stessa linea

Passaggio all'ultima linea:

ultimo fine-corsa b0 = Reset Madre

Reset Figlie

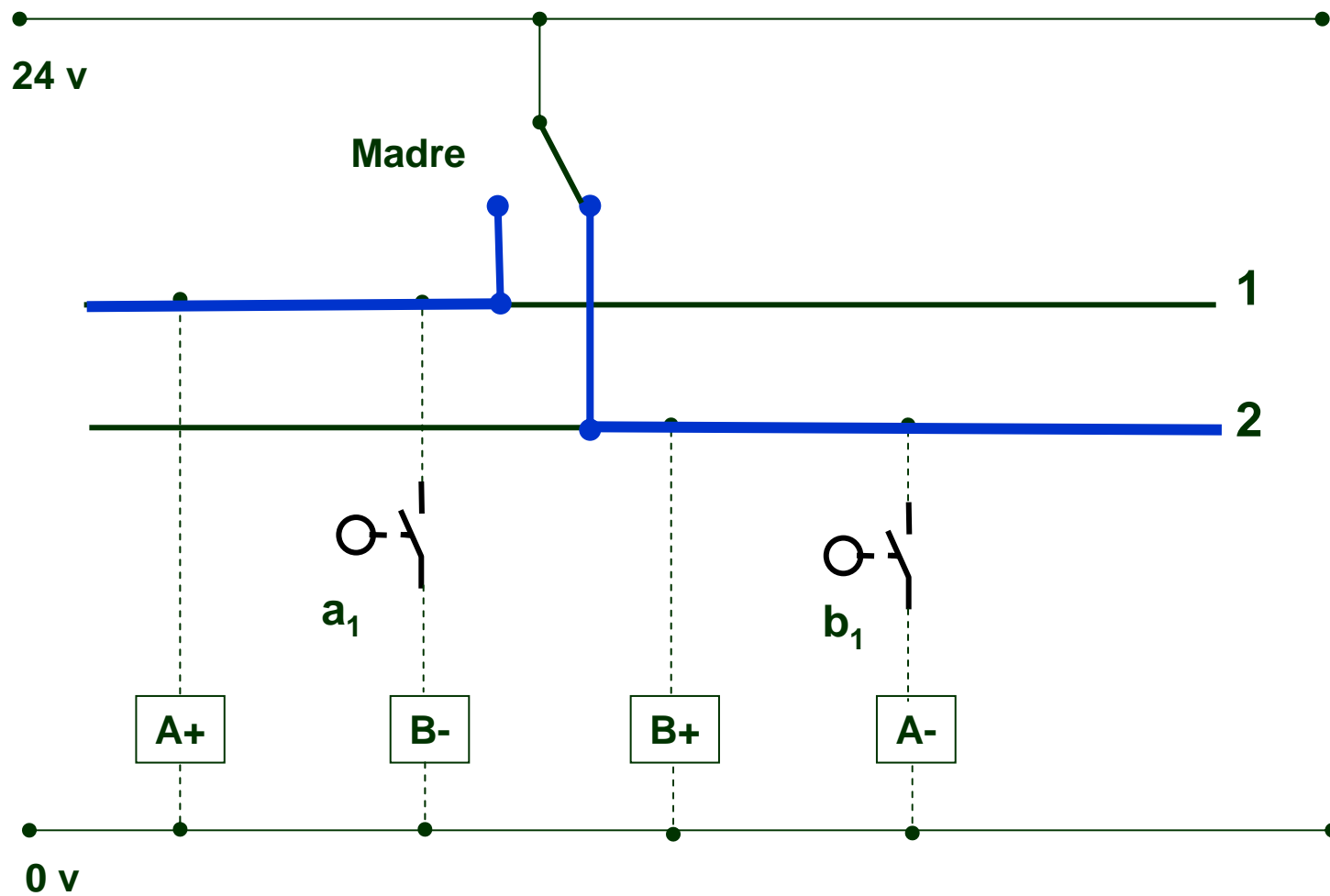
Alimentazione linea seguente

Comando diretto del primo moto

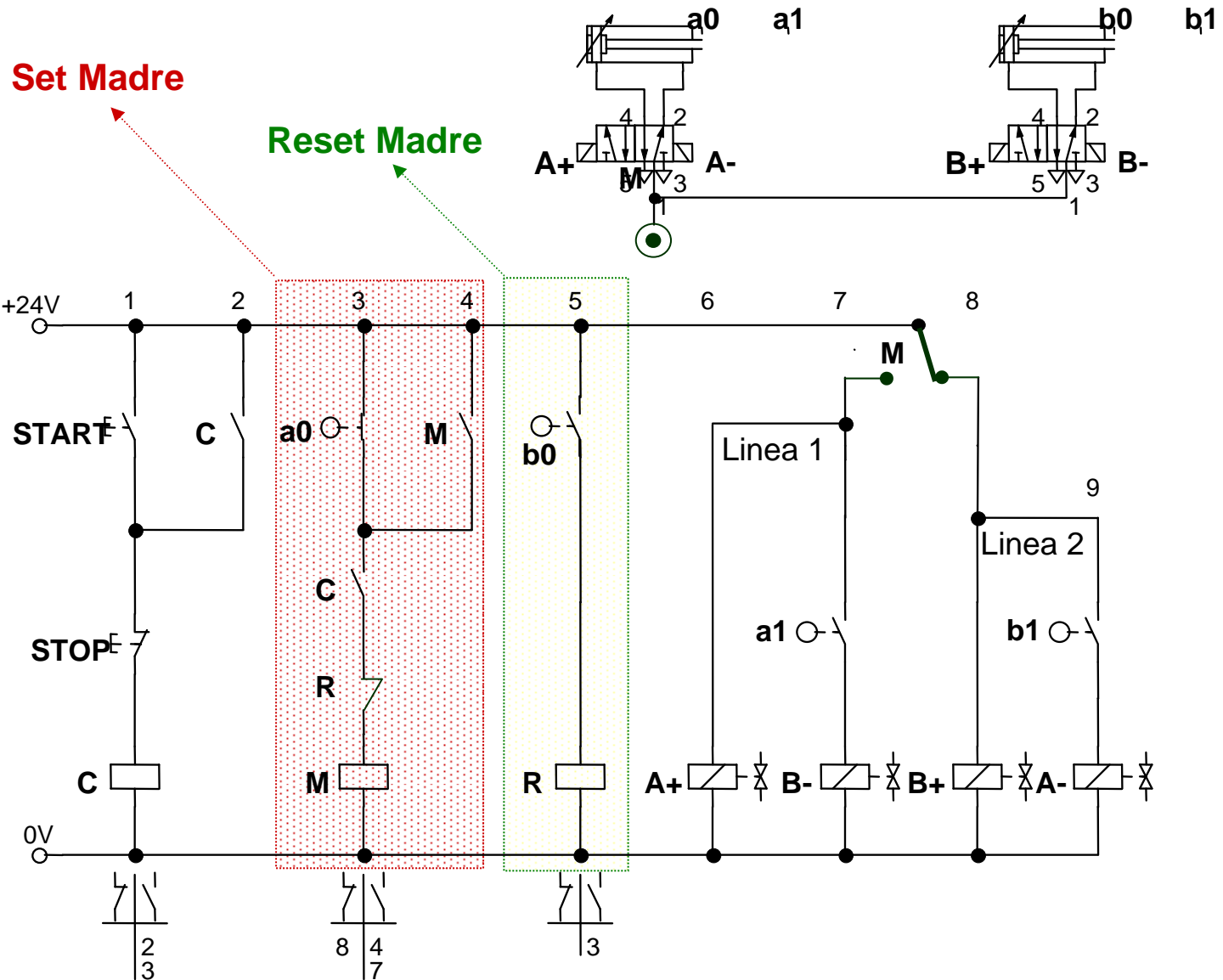
Attivazione fine-corsa che fornisce il consenso al moto successivo e che sarà alimentato dalla stessa linea

Predisposizione del circuito

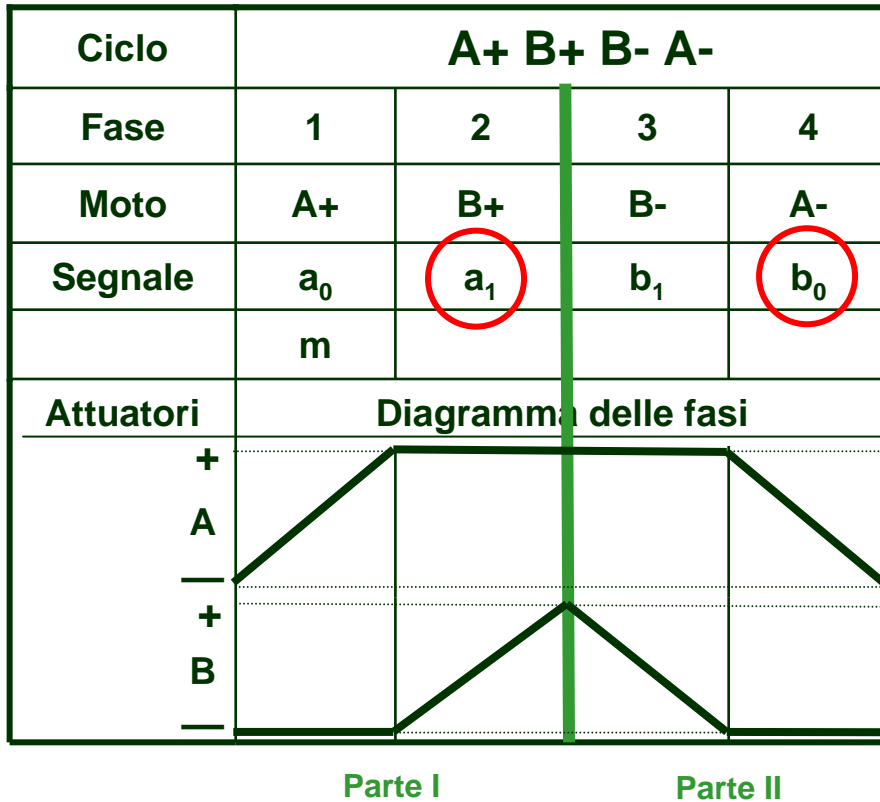
A+ B- B+ A-



A+ B- B+ A-



Esercizio della punzonatrice



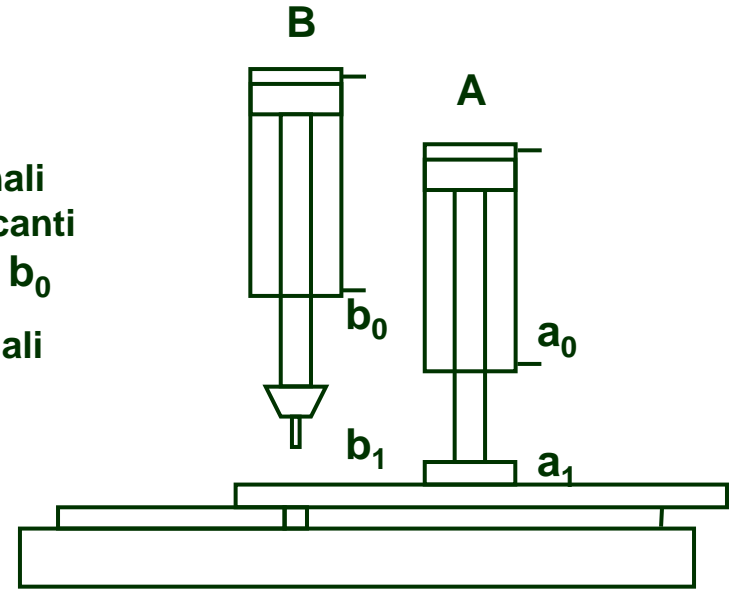
Segnali bloccanti = a_1, b_0

Segnali attivi a_1

a_0

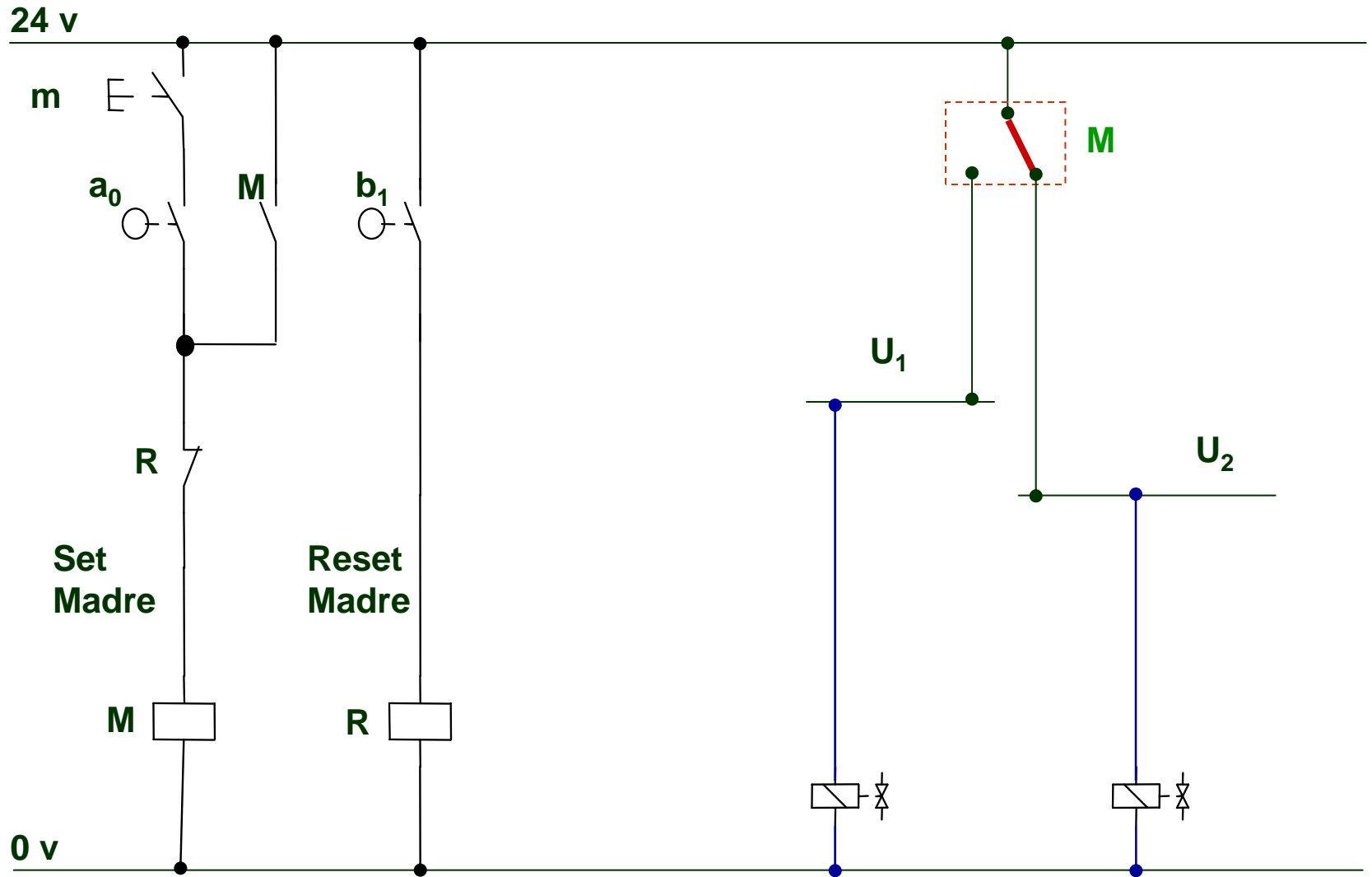
b_1

b_0

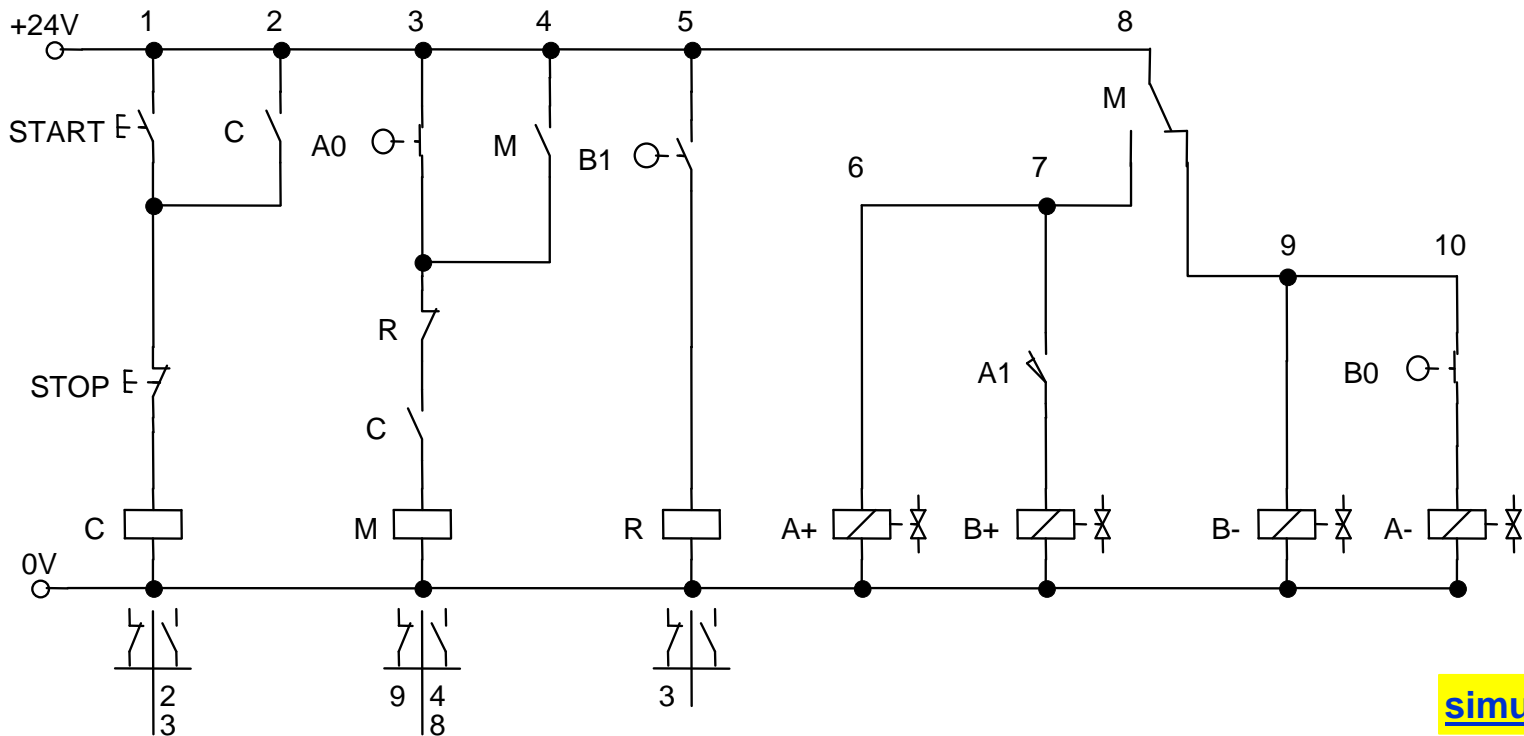
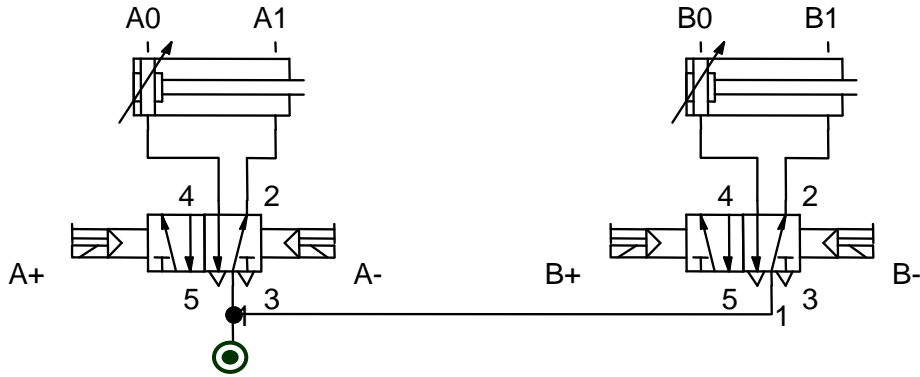


Due linee
1 deviatore

Predisposizione della cascata

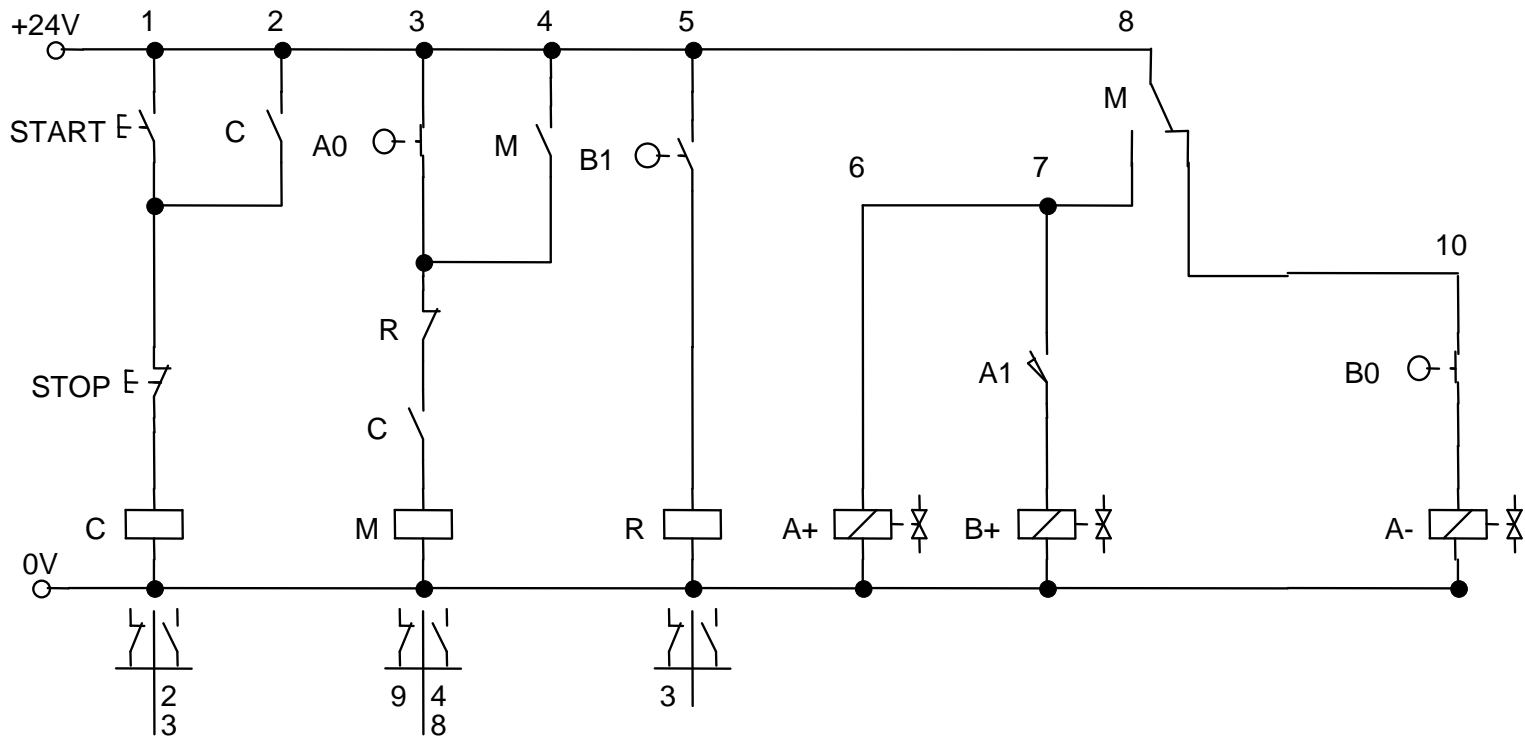
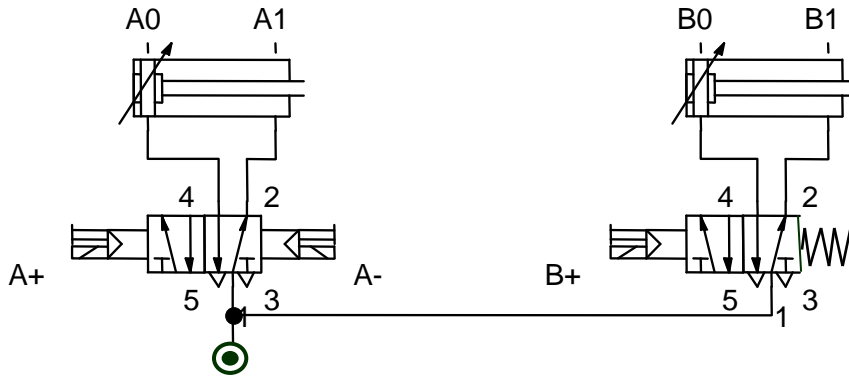


Ciclo continuo A+ B+ B- A-

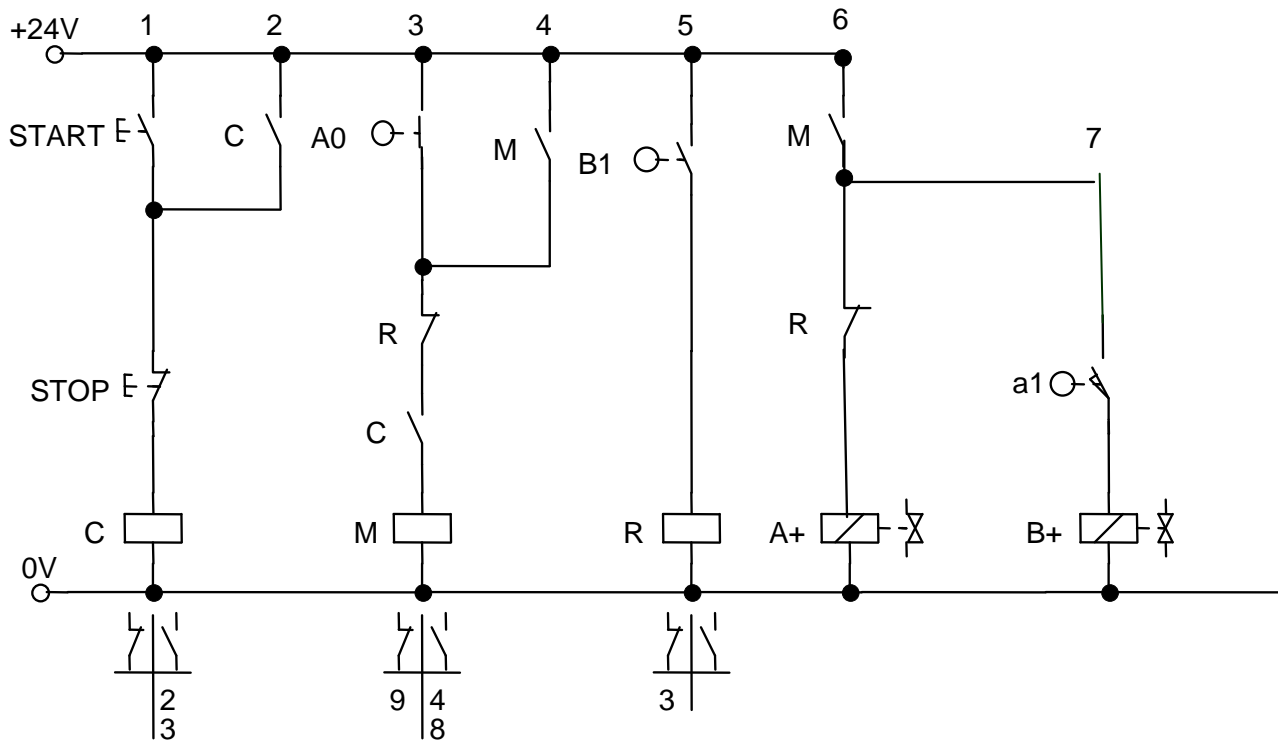
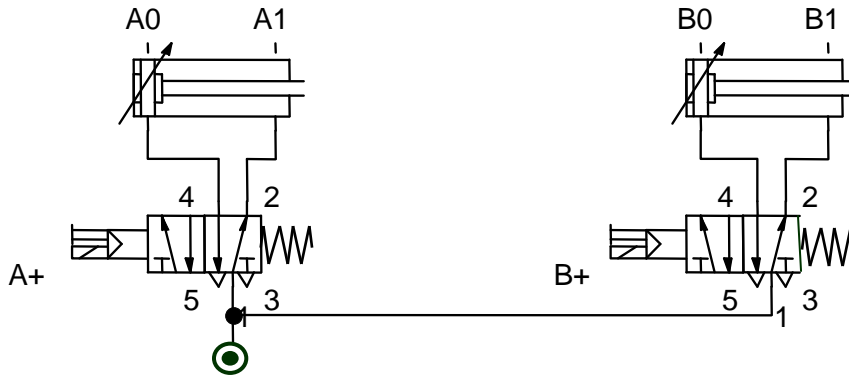


simulazione

Ciclo continuo A+ B+ B- A-



Ciclo continuo A+ B+ B- A-

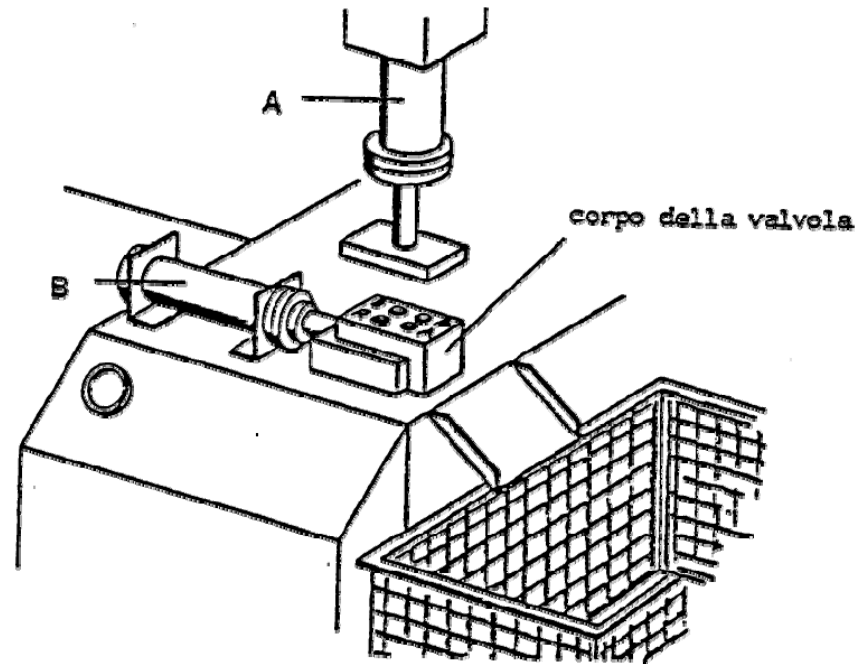


Dispositivo di stampaggio

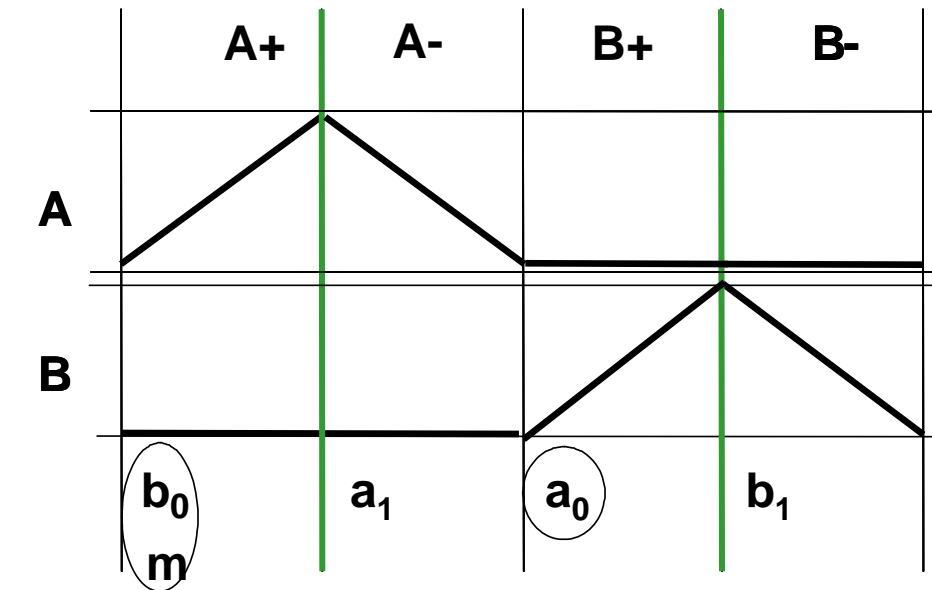
Devono essere stampigliate delle lettere su corpi valvola. I pezzi, collocati manualmente su un supporto, vengono marchiati dal cilindro A azionato da un pulsante.

Dopo la stampigliatura, il cilindro A torna immediatamente in posizione iniziale ed il cilindro B può spingere i corpi valvola lavorati in un raccogliitore.

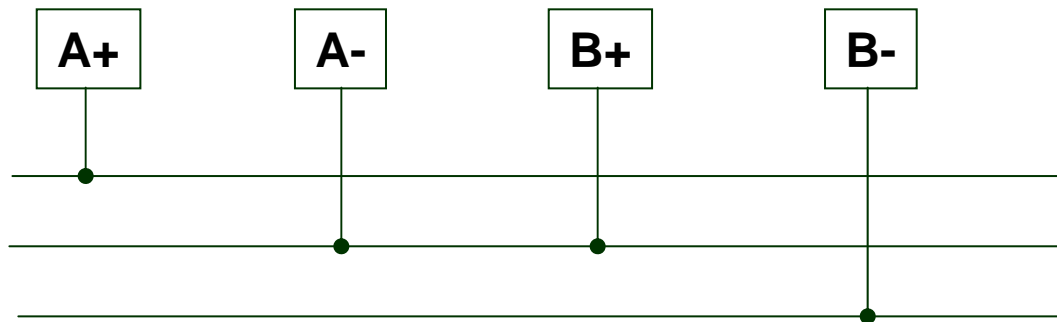
Terminata la fase di avanzamento, il cilindro B torna nella posizione iniziale e può ripartire il ciclo.



Analisi del ciclo A+A-B+B-



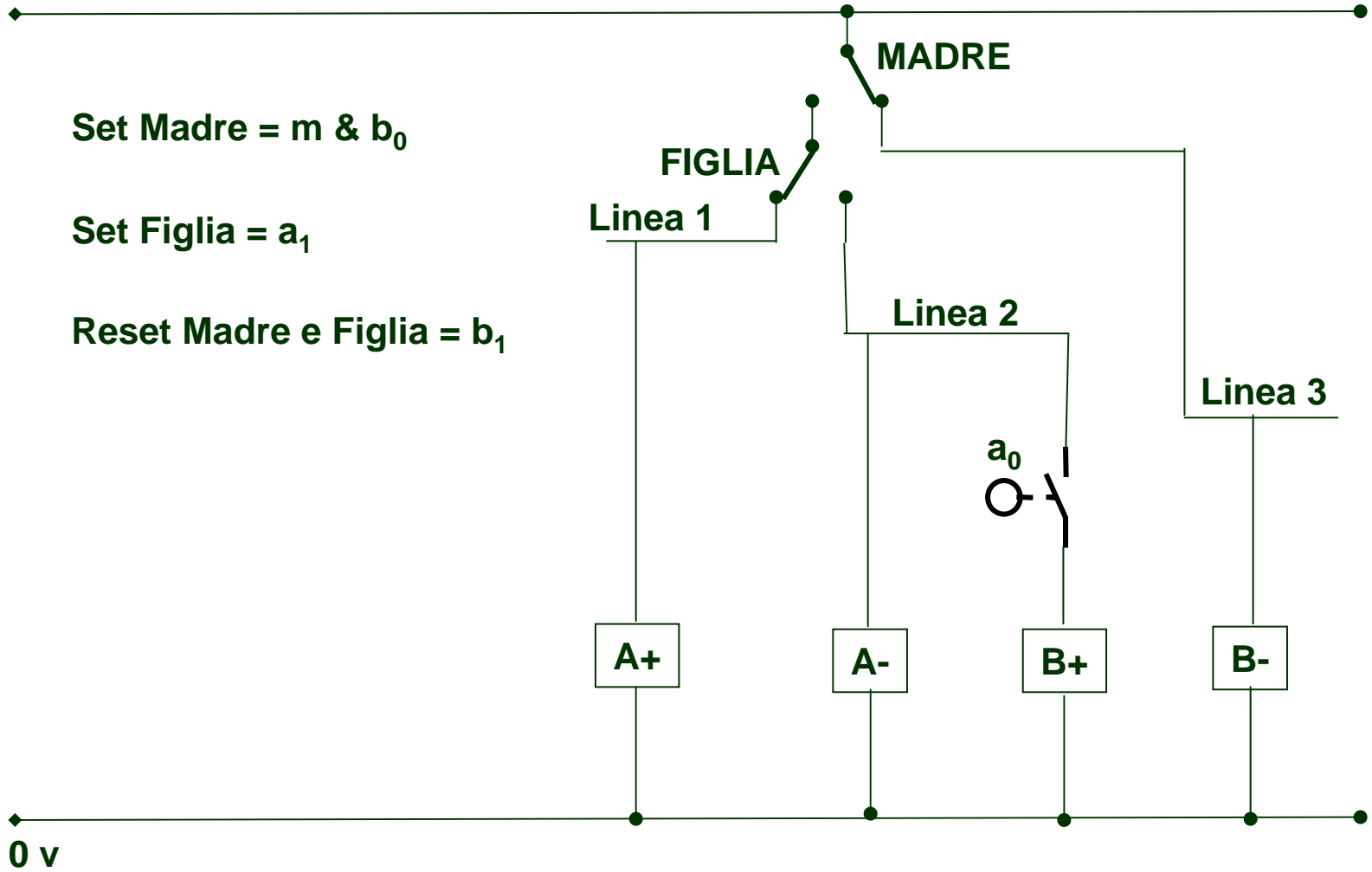
Segnali bloccanti: b_0 e a_0



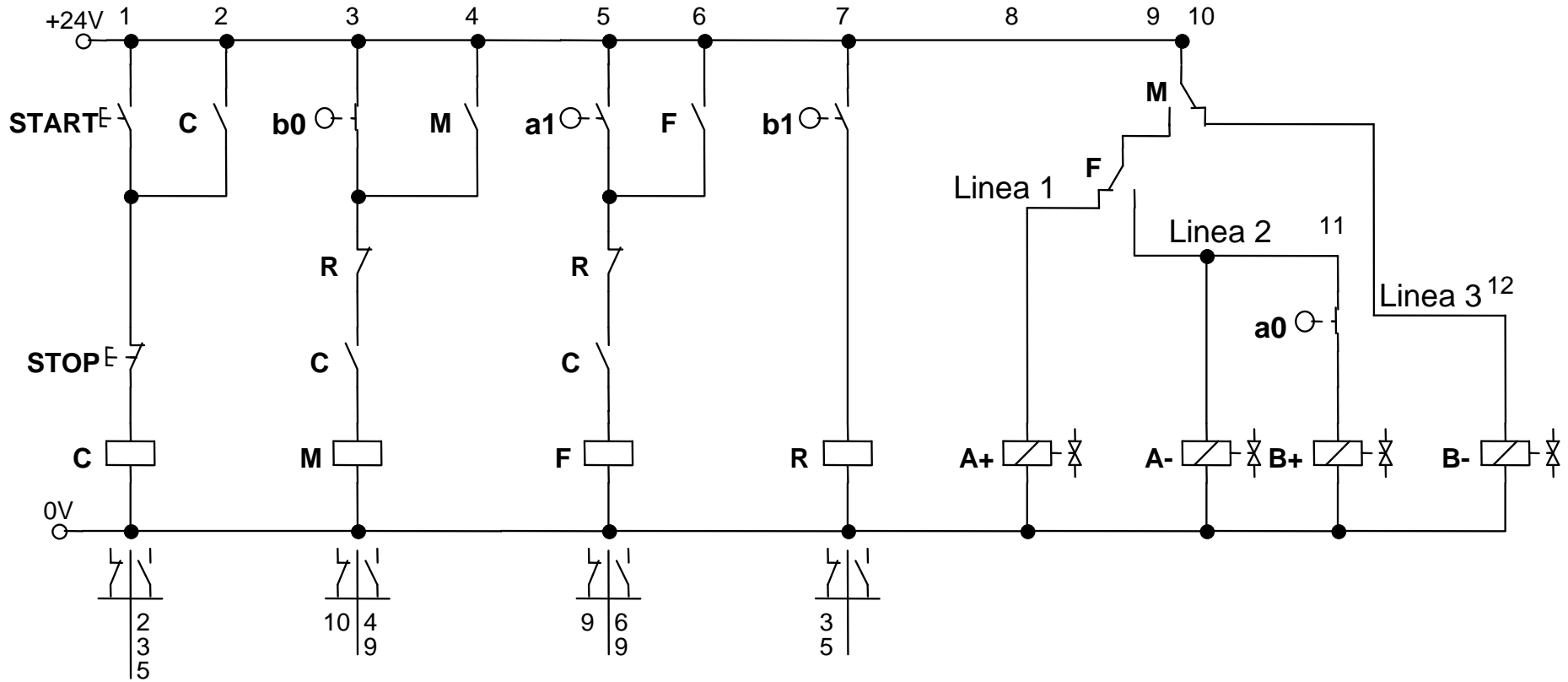
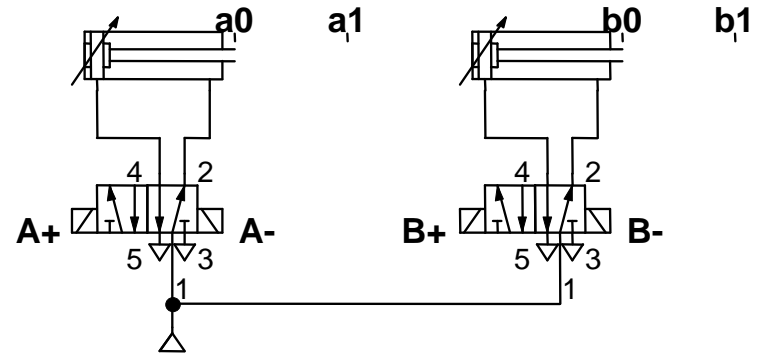
Occorrono 3 linee e
2 deviatori

Predisposizione del circuito A+A-B+B-

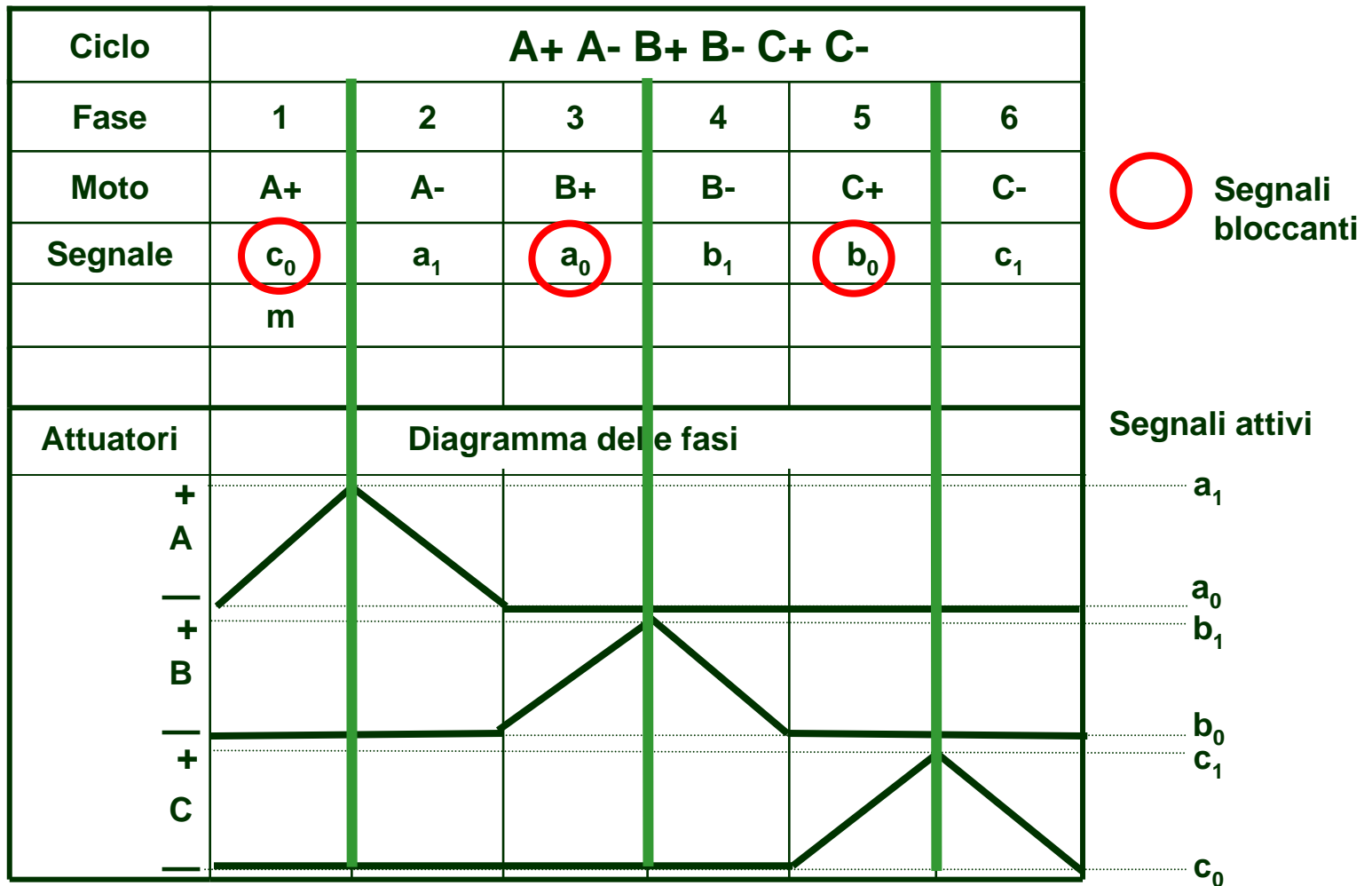
24 v



A+A-B+B-

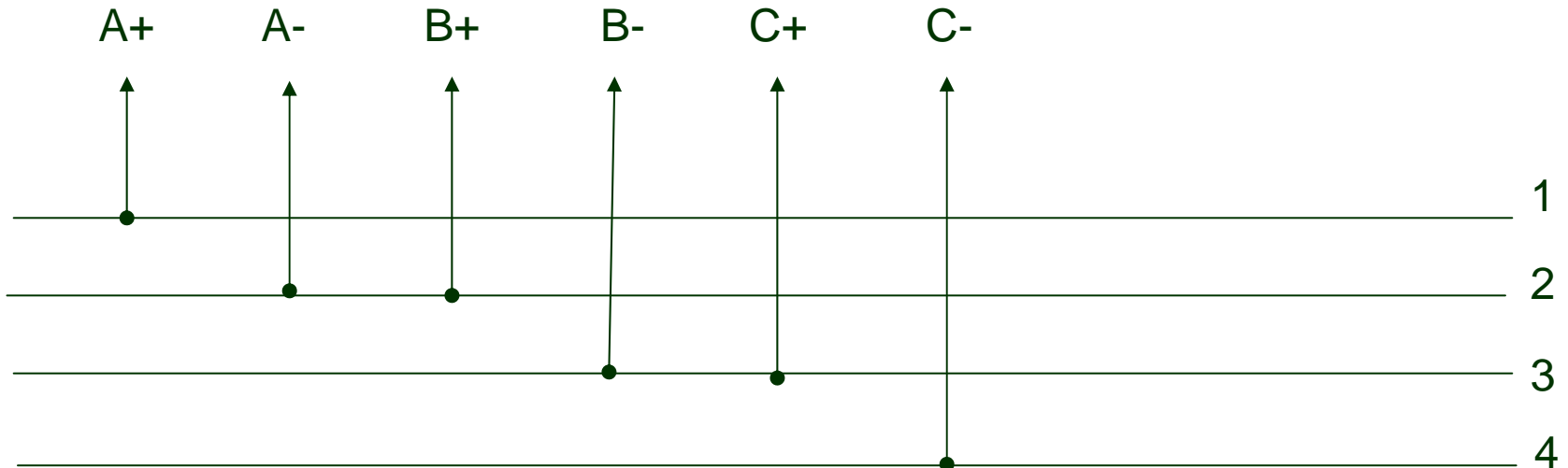


Analisi del ciclo A+ A- B+ B- C+ C-



Quante linee occorrono?

Per evitare blocchi dobbiamo utilizzare linee di alimentazione diverse per movimenti opposti dello stesso attuatore; una linea può essere utilizzata una sola volta per ogni ciclo: in questo esempio sono necessarie 4 linee:



Preparazione della sequenza

A questo punto ricordando che la Madre, appena verrà comandata, dovrà alimentare la prima linea più in alto, così come le eventuali figlie debbono lasciare aperto il canale dell'alimentazione verso la linea più in alto, e che deve essere comandata dal pulsante di start e dall'ultimo finecorsa della sequenza, la prima commutazione è comandata da:

Start & c_0 = Set Madre

E a questo punto viene alimentata la prima linea più in alto, la linea 1 dell'esempio, la quale comanda direttamente il primo movimento A+ e solo dopo che questo moto è completato viene azionato il finecorsa a_1 e a questo punto bisogna passare alla linea 2 immediatamente più bassa e perciò la prima figlia deve commutare comandata dall'ultimo finecorsa a_1 :

a_1 = Set Figlia F1

Il primo moto comandato direttamente dalla linea due è A- e appena viene azionato il finecorsa a_0 il successivo movimento condizionato appunto da a_0 è B+ e appena questo moto è completato viene azionato il finecorsa b_1 , ma per il successivo moto della sequenza bisogna passare alla linea più bassa che è la 3. Perciò bisogna commutare la figlia successiva con l'ultimo finecorsa b_1 :

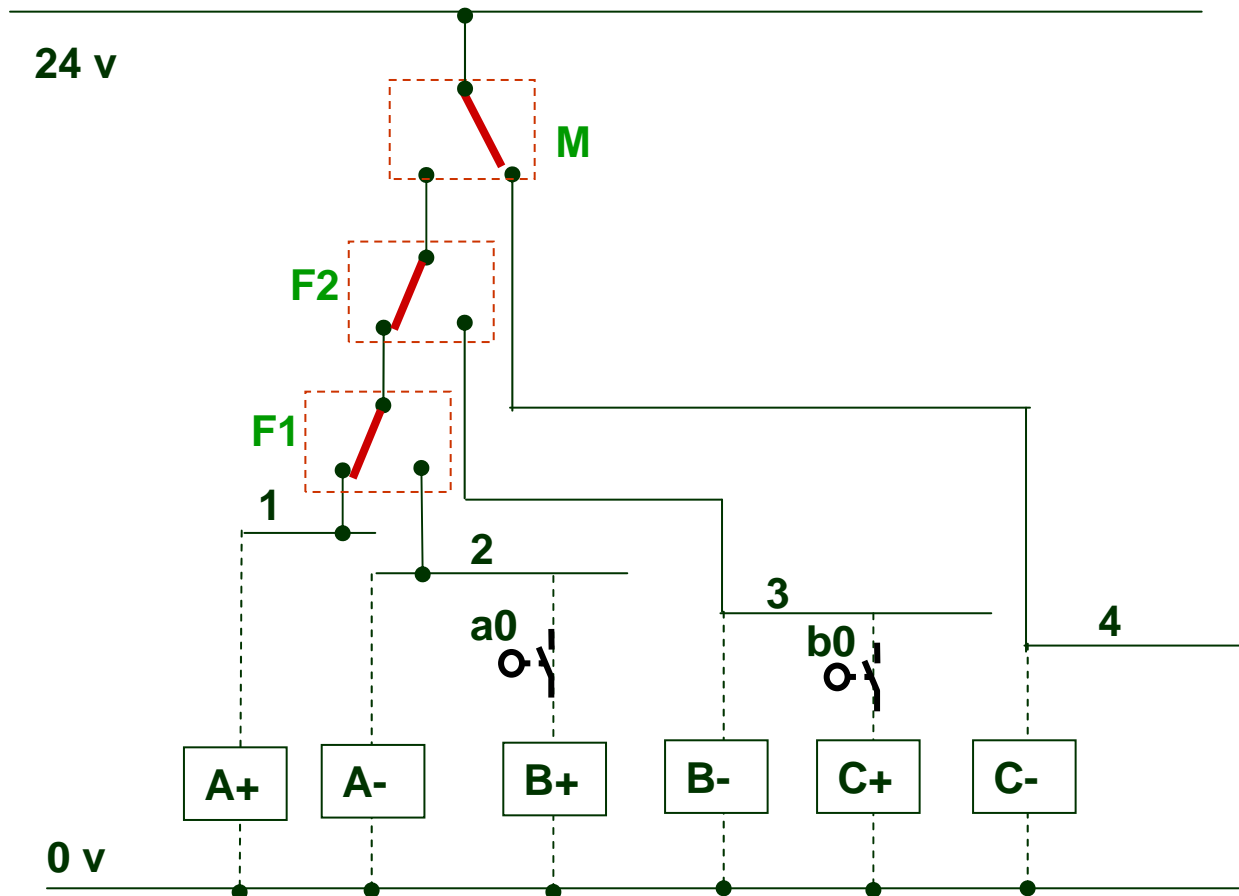
b_1 = Set Figlia F2

Il primo moto della linea 3 è B- che provoca l'azionamento di b_1 , che condiziona il successivo moto di C+ dopo il quale viene azionato c_1 e si passa quindi all'ultima linea per il completamento della sequenza. Pertanto l'uscita di C aziona il finecorsa c_1 che deve comandare il reset della Madre e delle figlie, alimentando la linea più bassa che fa rientrare C direttamente.

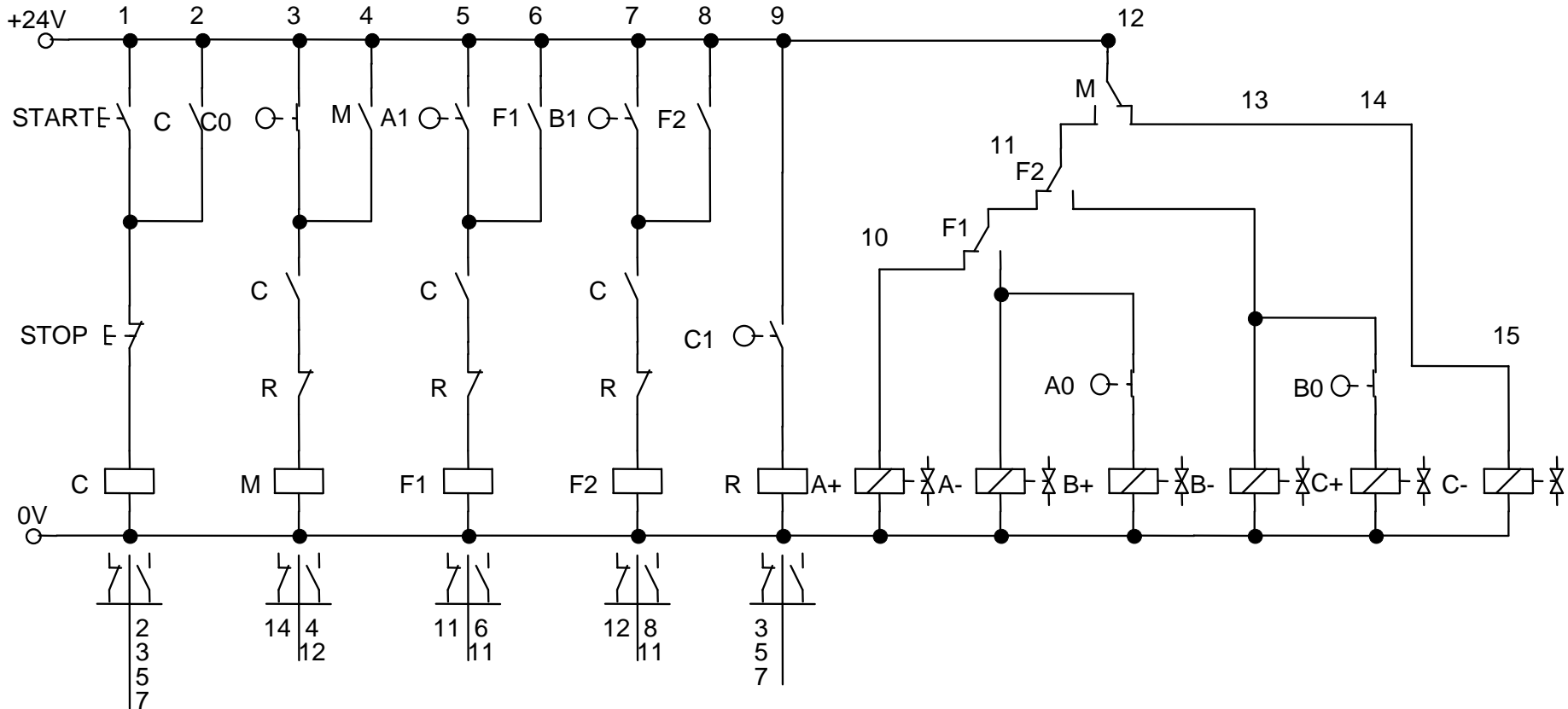
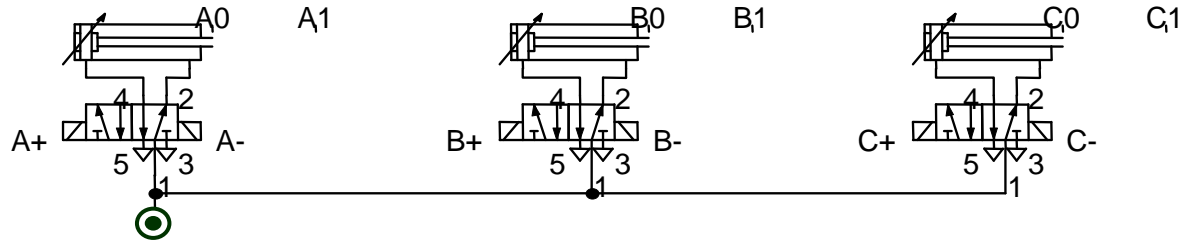
c_1 = Reset Madre e Figlia

Predisposizione del circuito

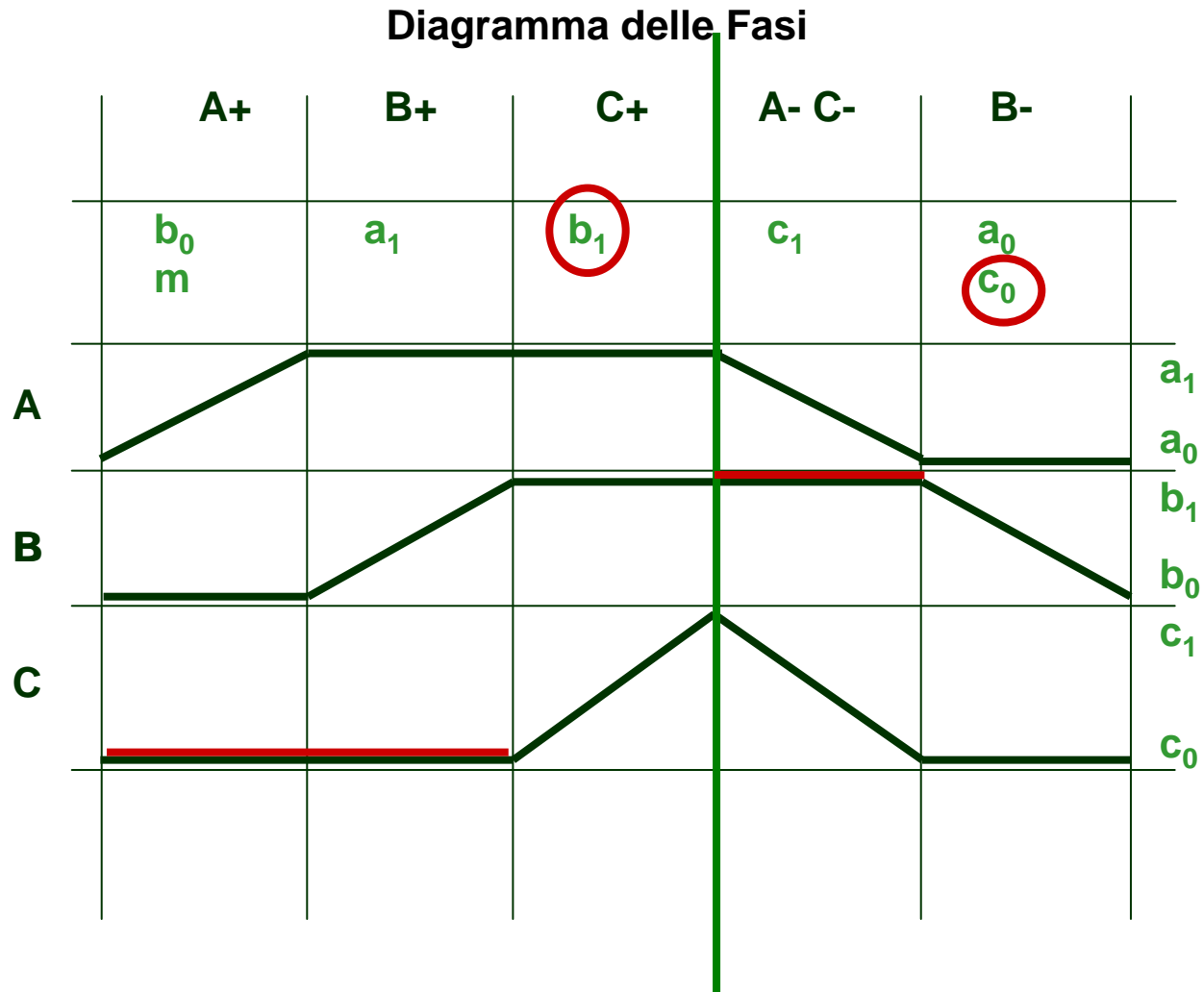
A+ A- B+ B- C+ C-



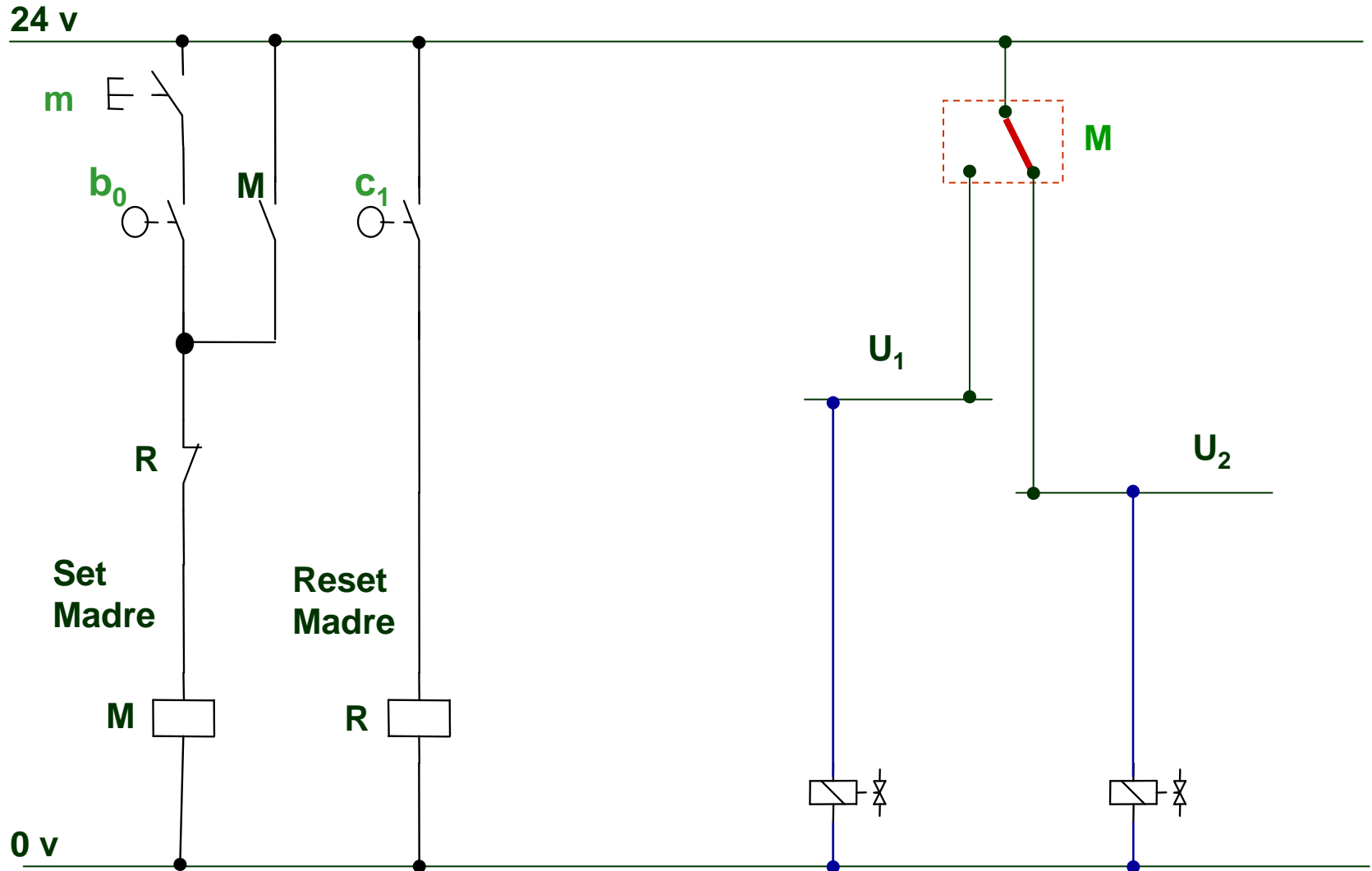
Realizzazione del circuito A+ A- B+ B- C+ C-



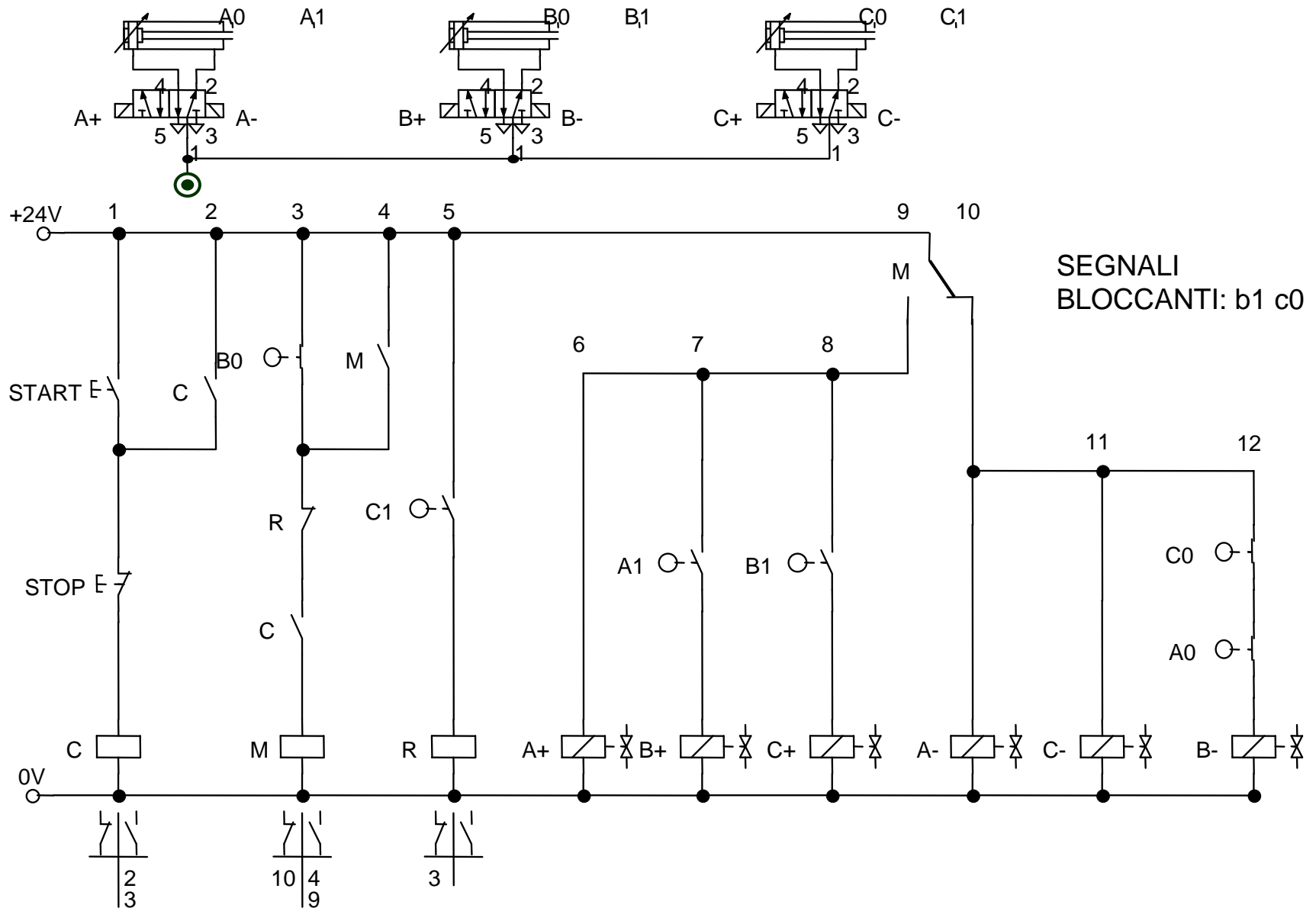
Ciclo A+ B+ C+ (A- C-) B- con segnali simultanei



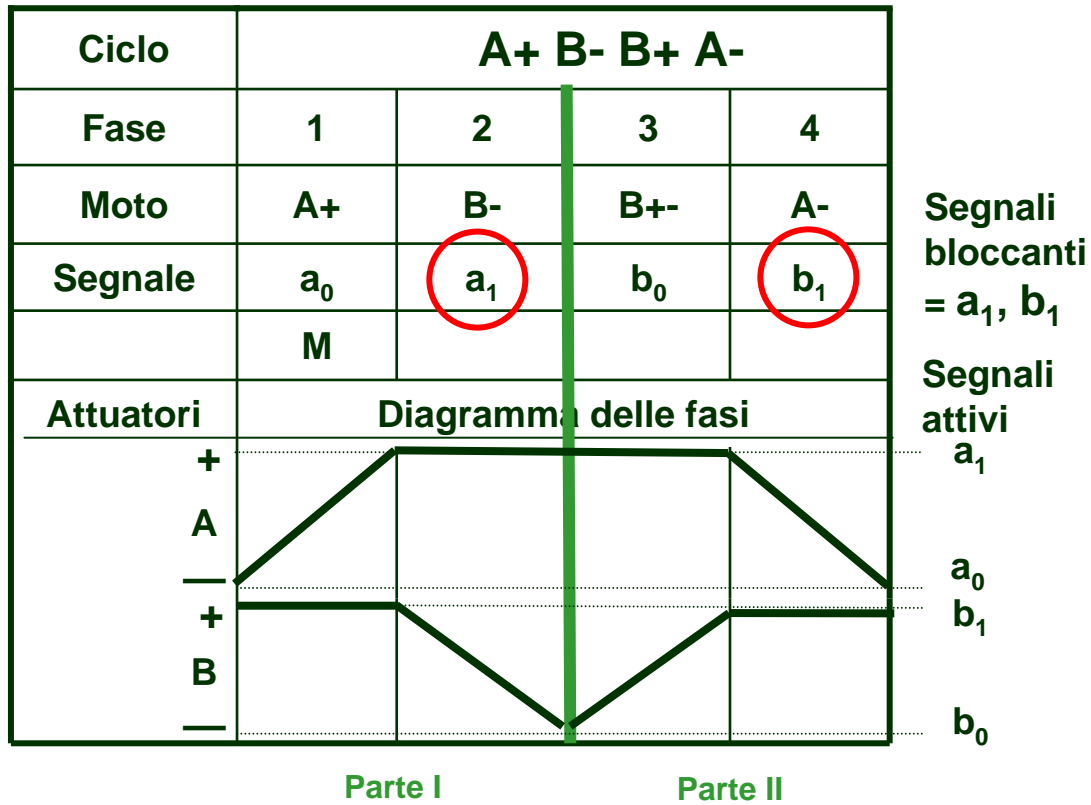
Predisposizione della cascata



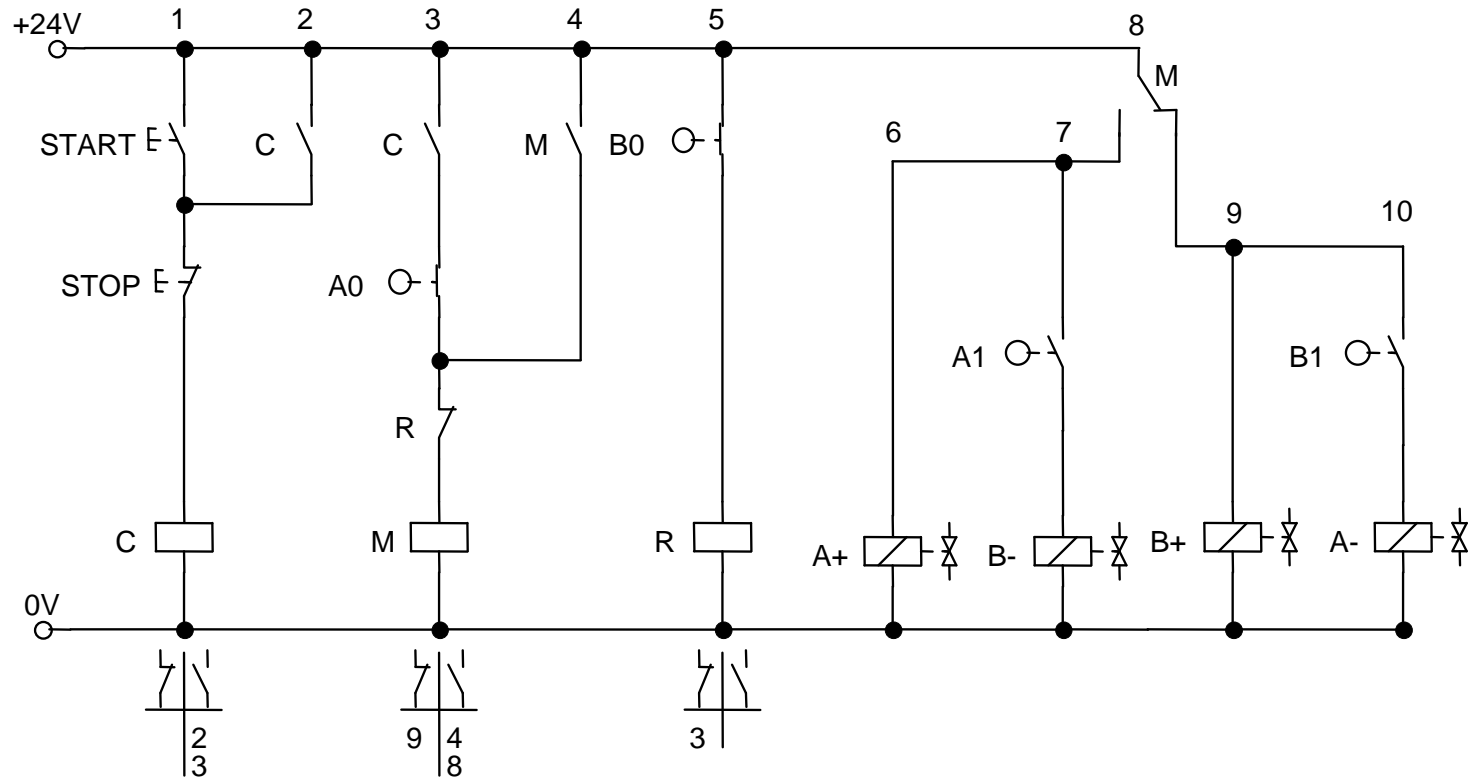
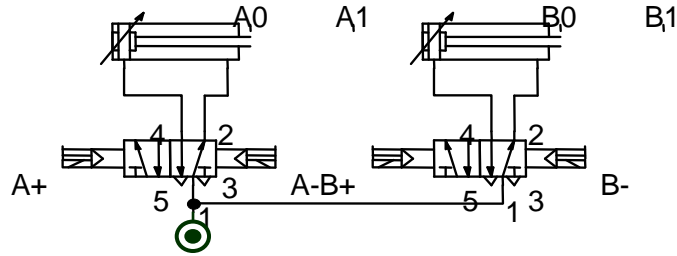
Segnali simultanei A+ B+ C+ (A- C-) B-



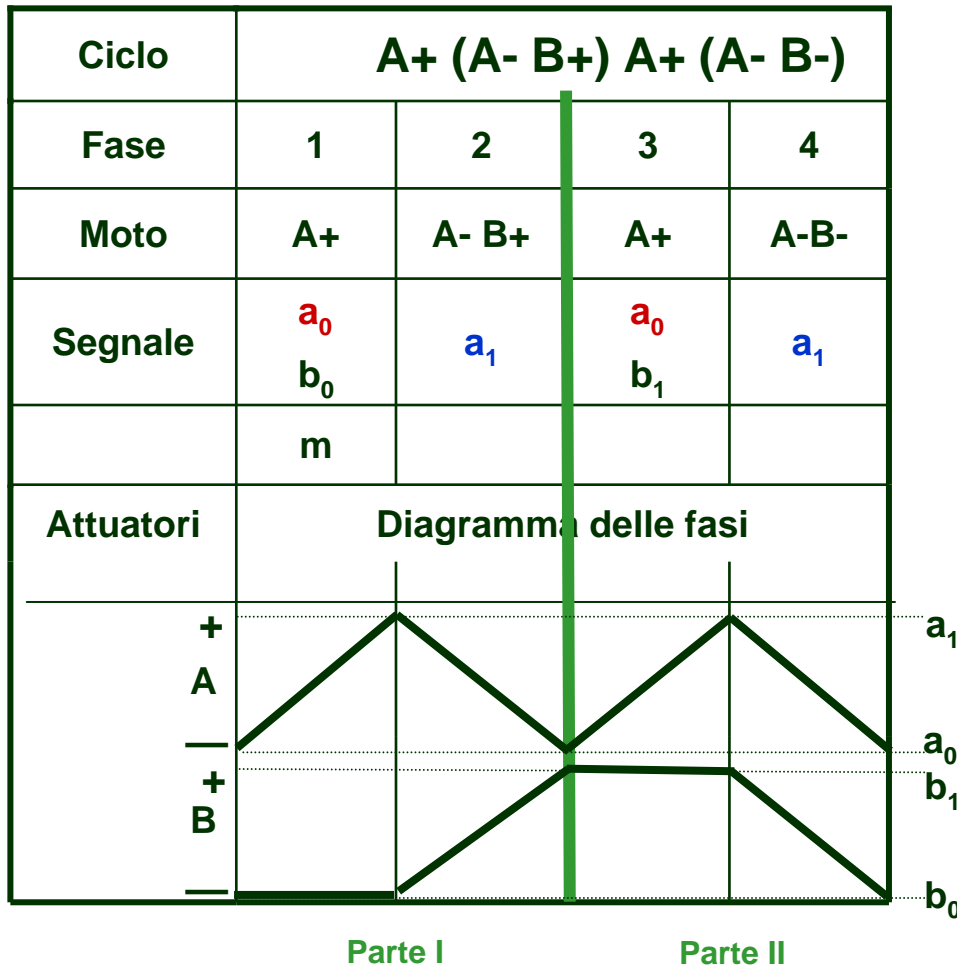
A+ B- B+ A-



A+ B- B+ A-



Ciclo con segnali ripetuti e simultanei



Corse contemporanee:

A-B+

A-B-

Corse ripetitive:

A+ e A-

Per realizzare il ciclo proposto si debbono realizzare le equazioni logiche:

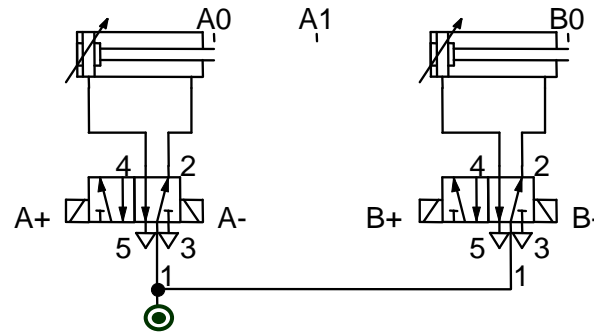
$$A+ = (m \cdot a_0 \cdot b_0) + (a_0 \cdot b_1)$$

$$A- = a_1$$

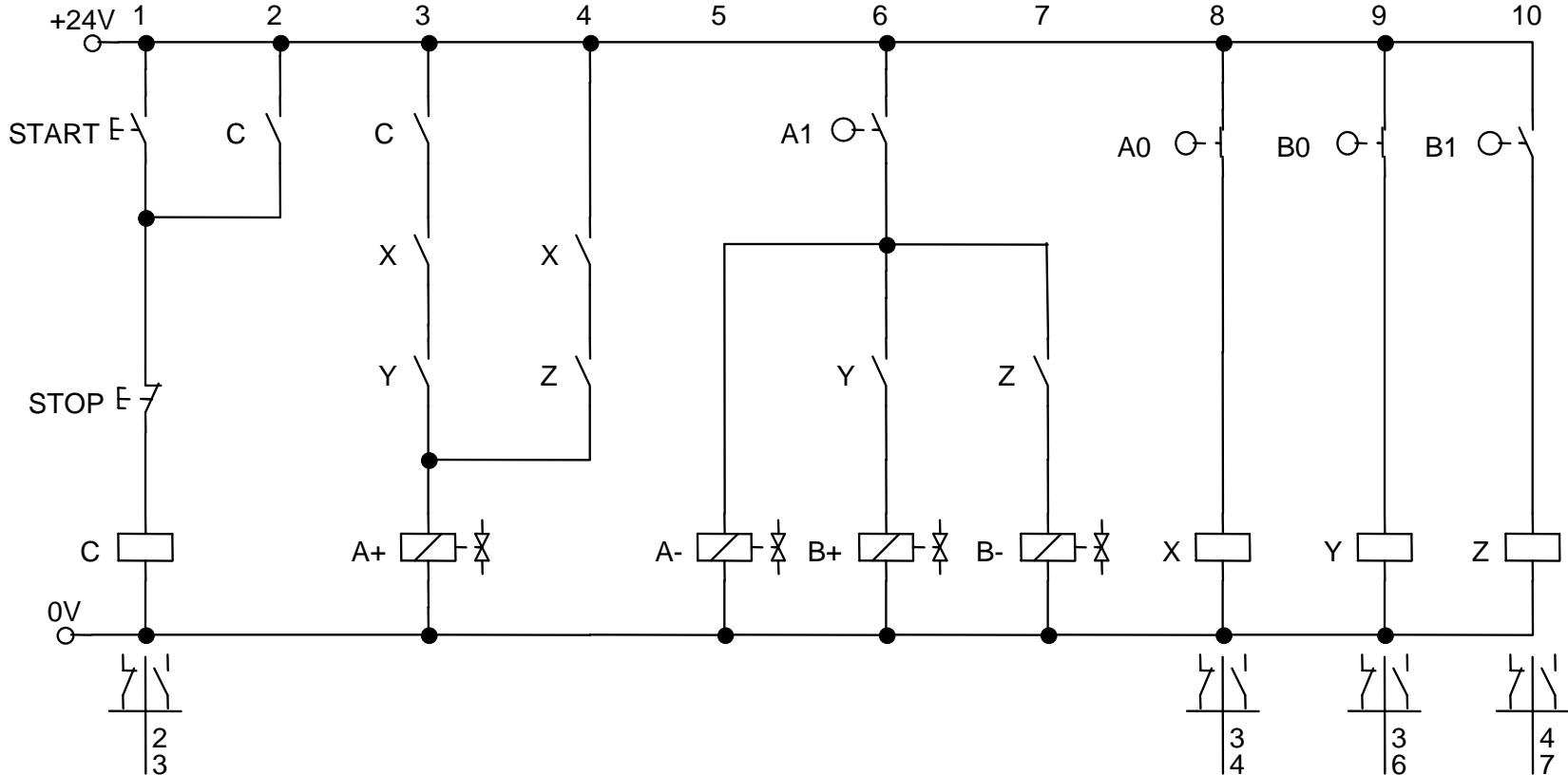
$$B+ = a_1 \cdot b_0$$

$$B- = a_1 \cdot b_1$$

Ciclo automatico A+ (A- B+) A+ (A- B-)

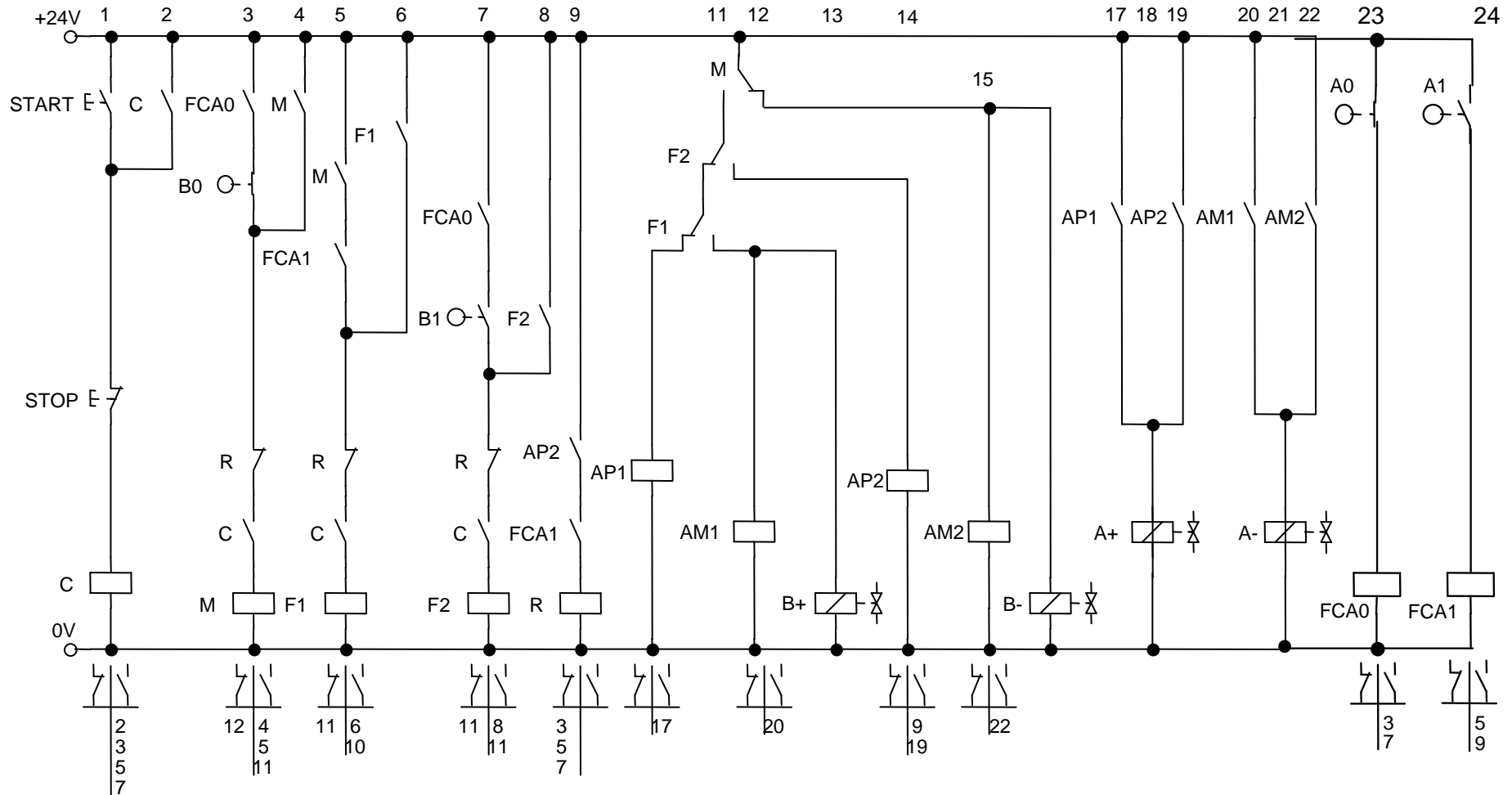


Metodo diretto con collegamenti



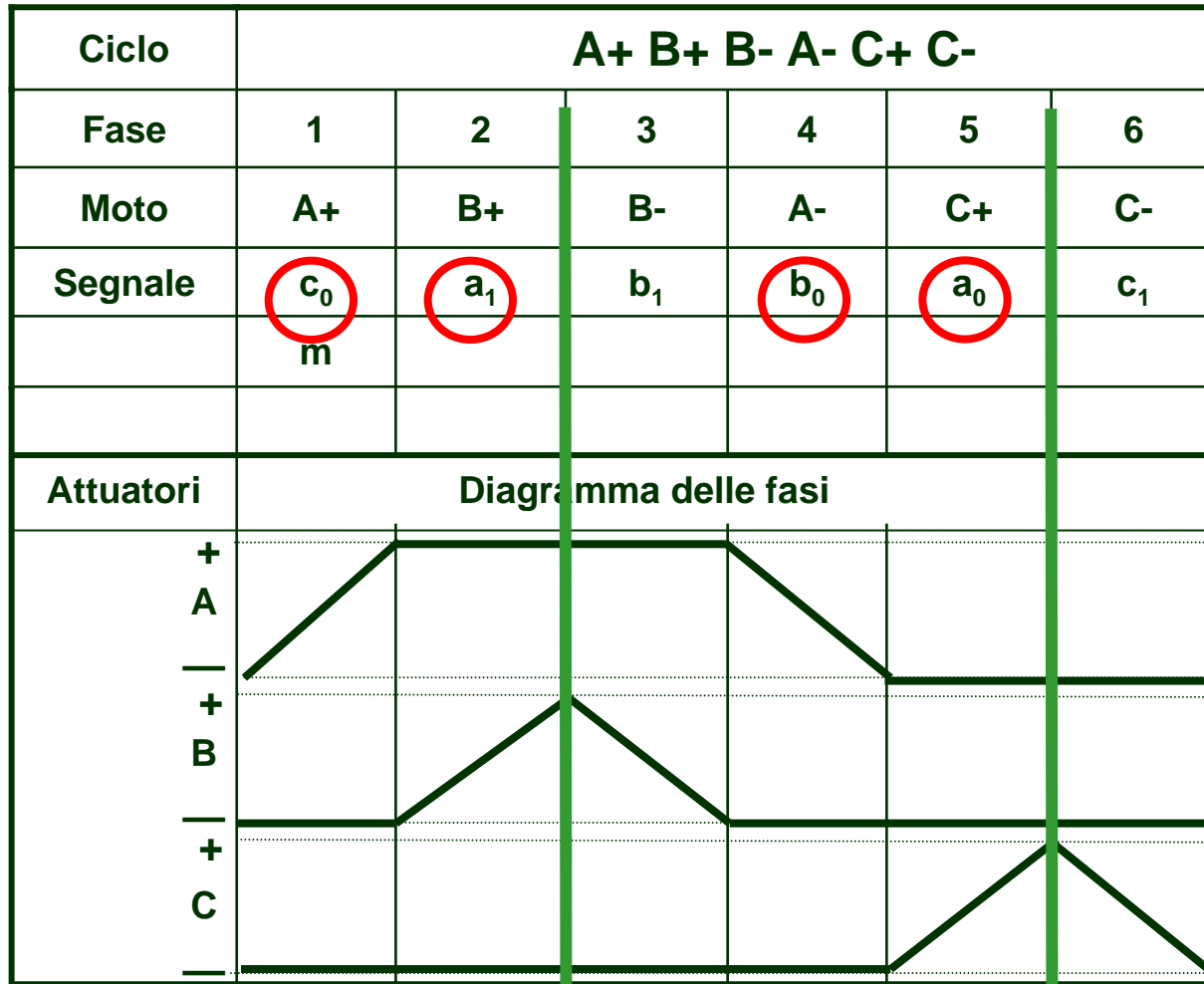
Ciclo automatico A+ (A- B+) A+ (A- B-)

Metodo della cascata



A+ B + B- A- C+ C-

Diagramma delle fasi

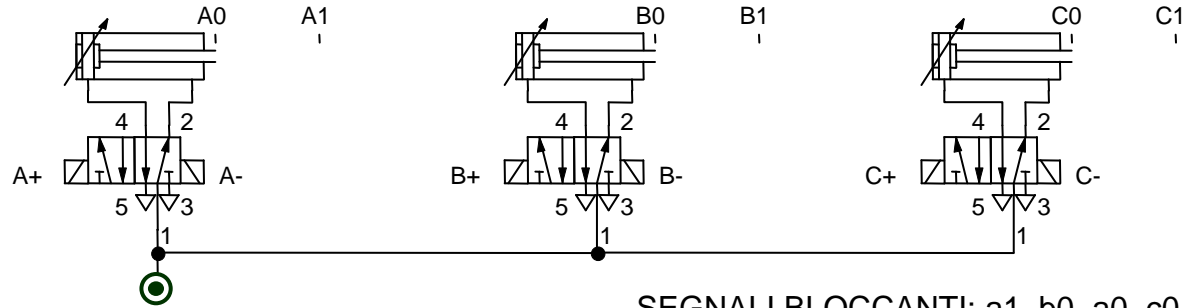


Segnali bloccanti =
 a_1 b_0 a_0 c_0

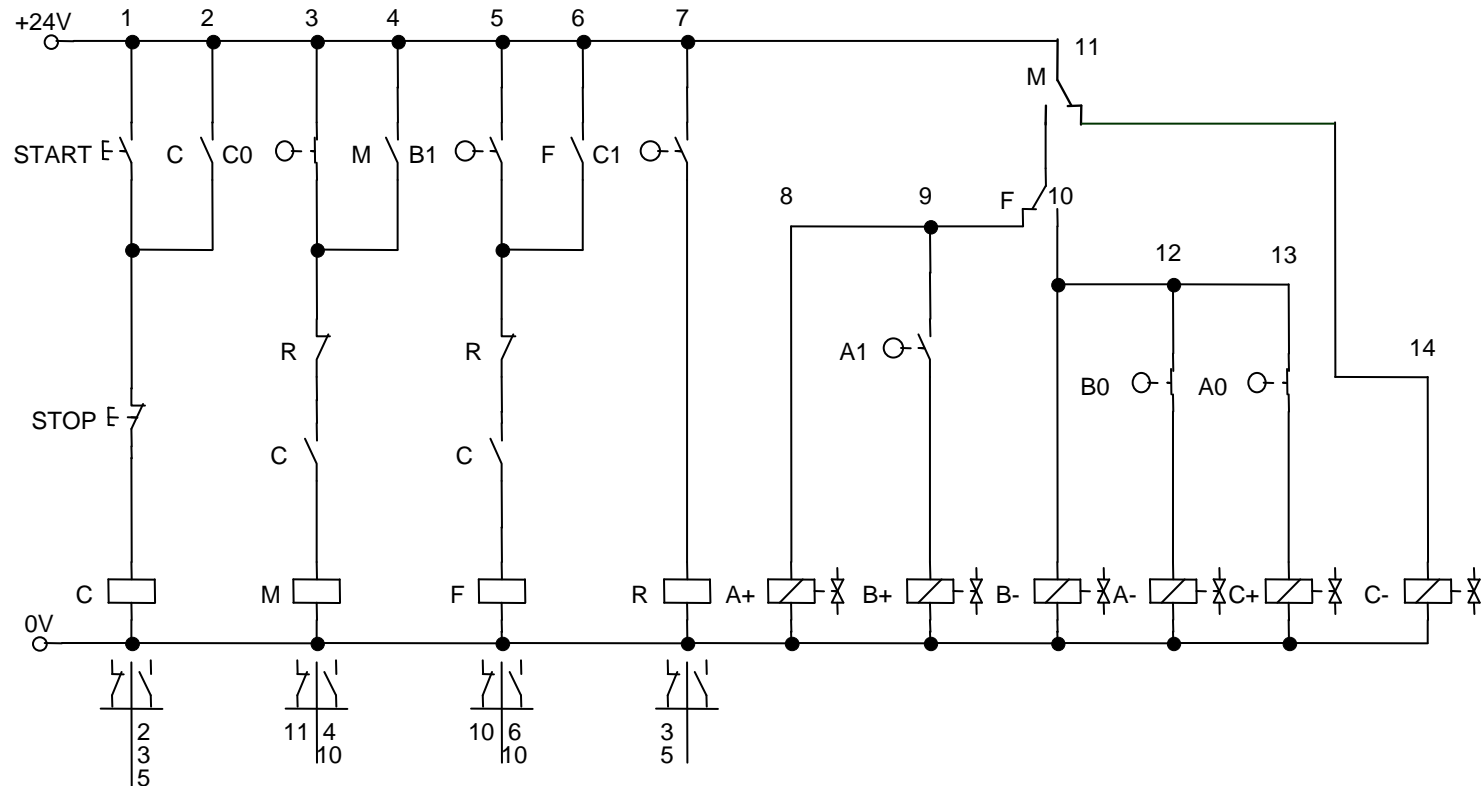
Segnali attivi

a_1
 a_0
 b_1
 b_0
 c_1
 c_0

A+ B+ B- A- C+ C-

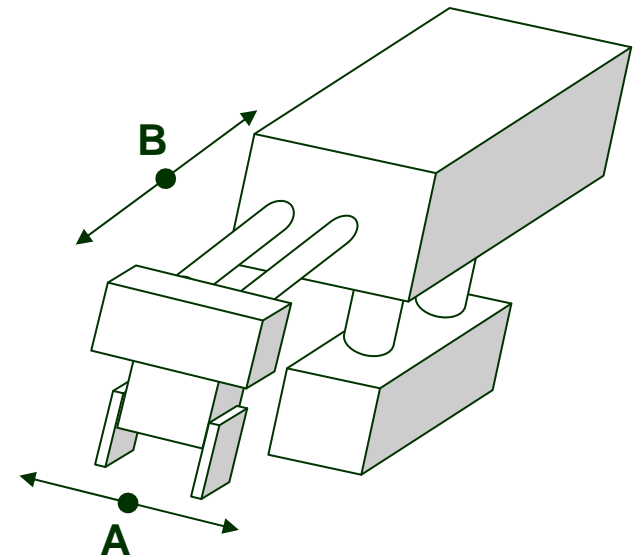
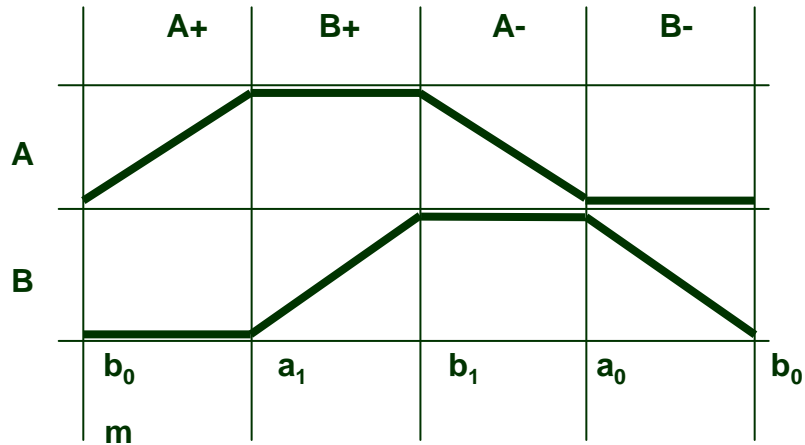


SEGNALI BLOCCANTI: a1 b0 a0 c0

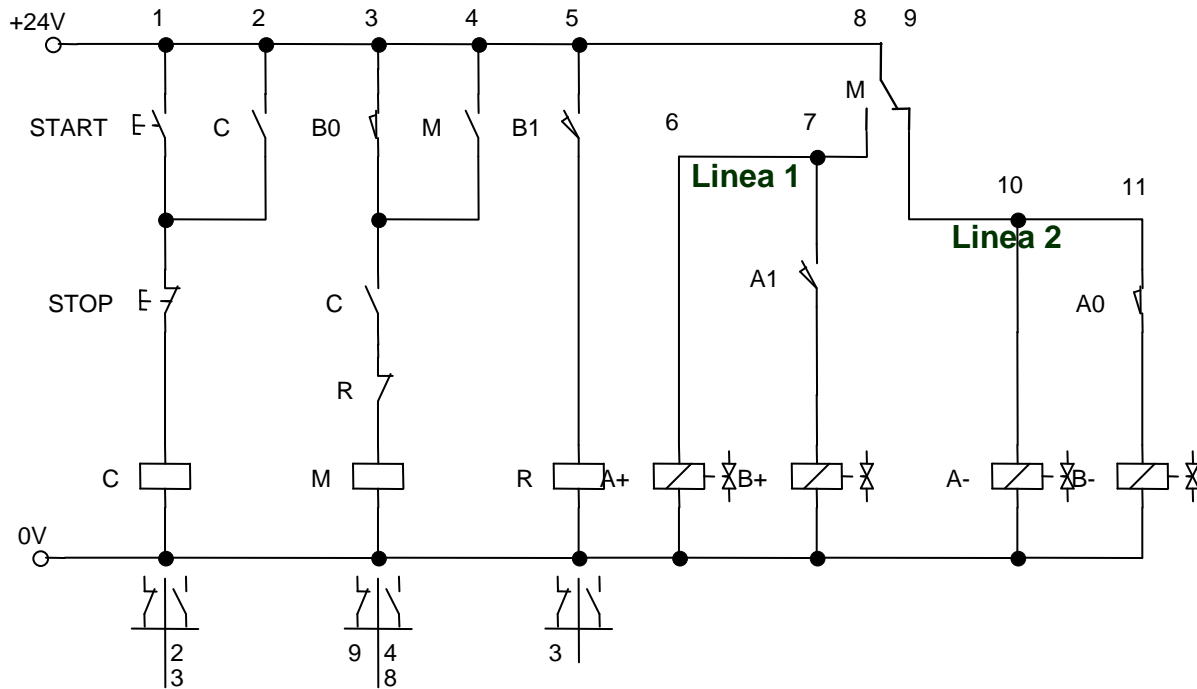
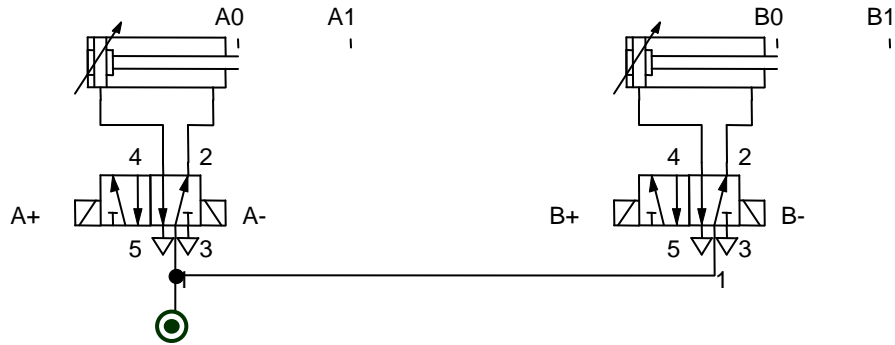


Il manipolatore con la cascata

Realizzare il circuito del manipolatore analizzando il suo diagramma delle fasi:



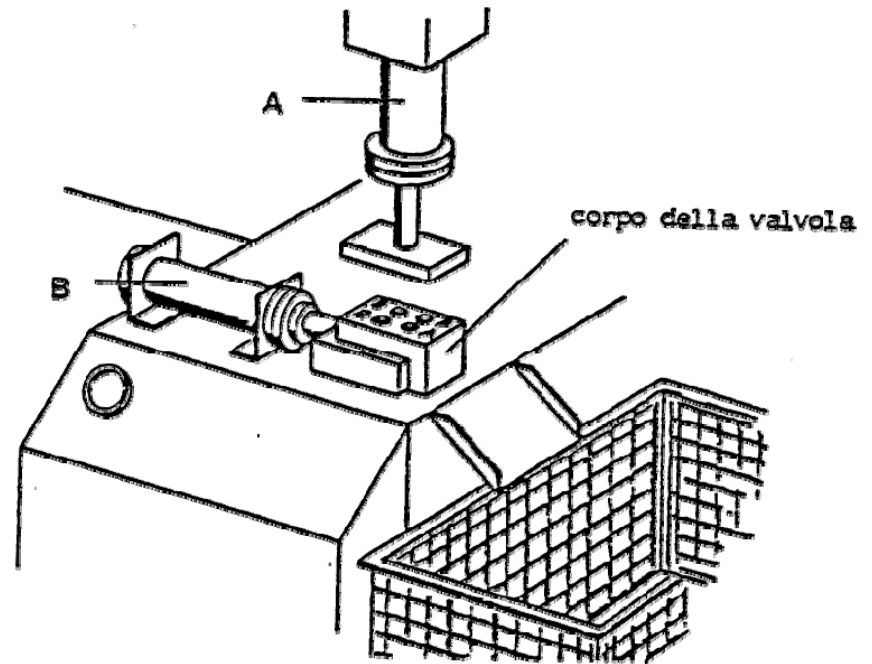
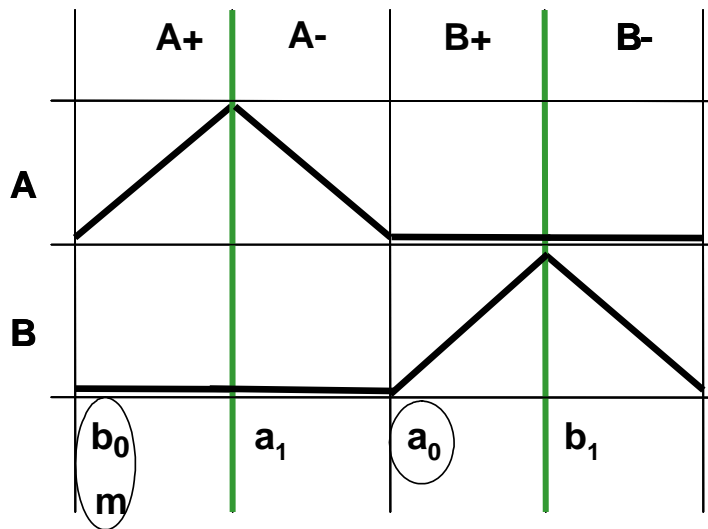
A+B+A-B-



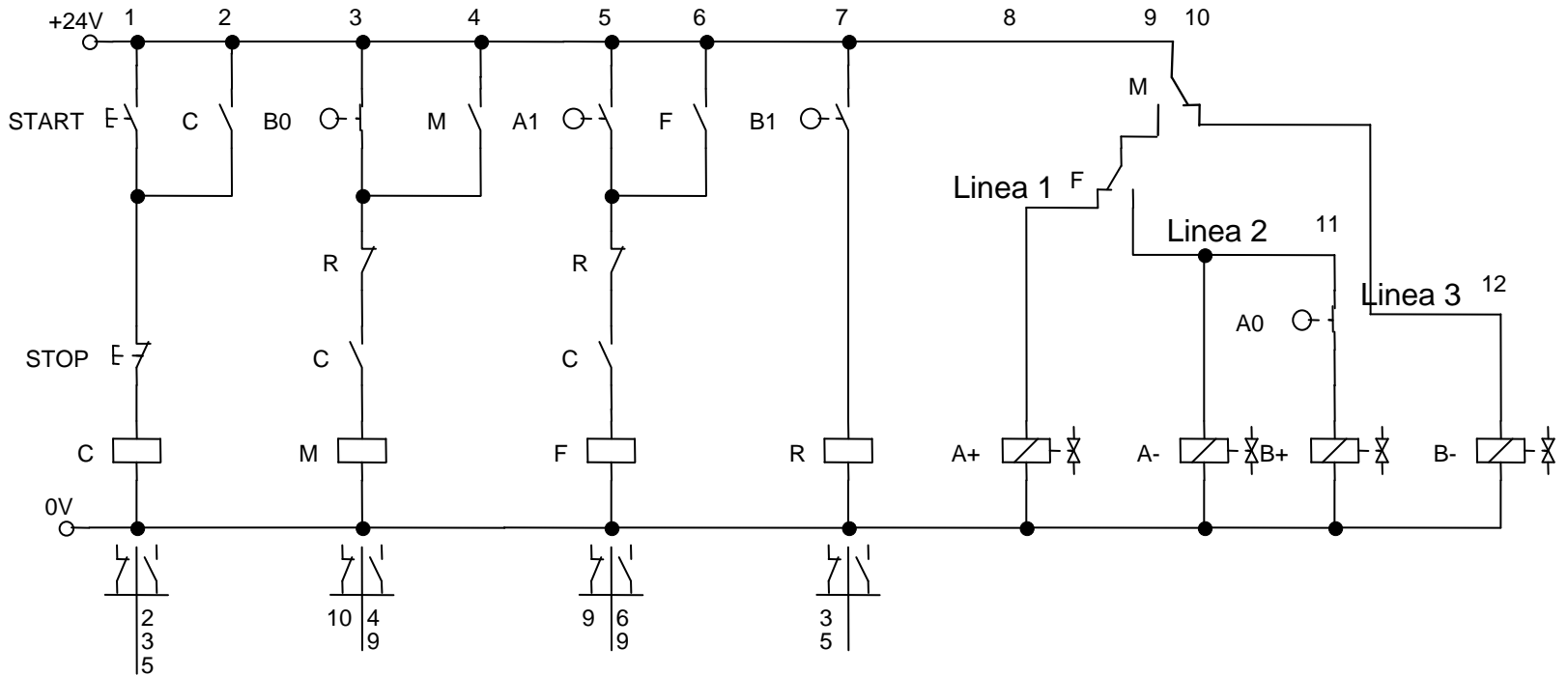
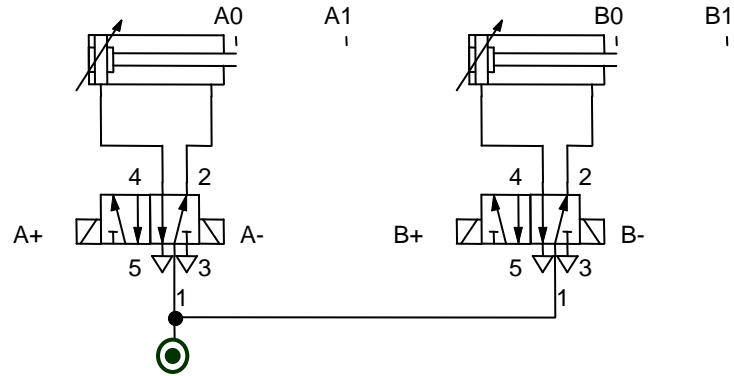
Dispositivo di stampaggio

A+ A- B+ B-

Devono essere stampigliate delle lettere su corpi valvola. I pezzi, collocati manualmente su un supporto, vengono marchiati dal cilindro A azionato da un pulsante. Dopo la stampigliatura, il cilindro torna immediatamente in posizione iniziale ed il B può spingere i corpi valvola lavorati in un raccogliatore. Terminata la fase di avanzamento, il cilindro B torna nella posizione iniziale e può ripartire il ciclo.

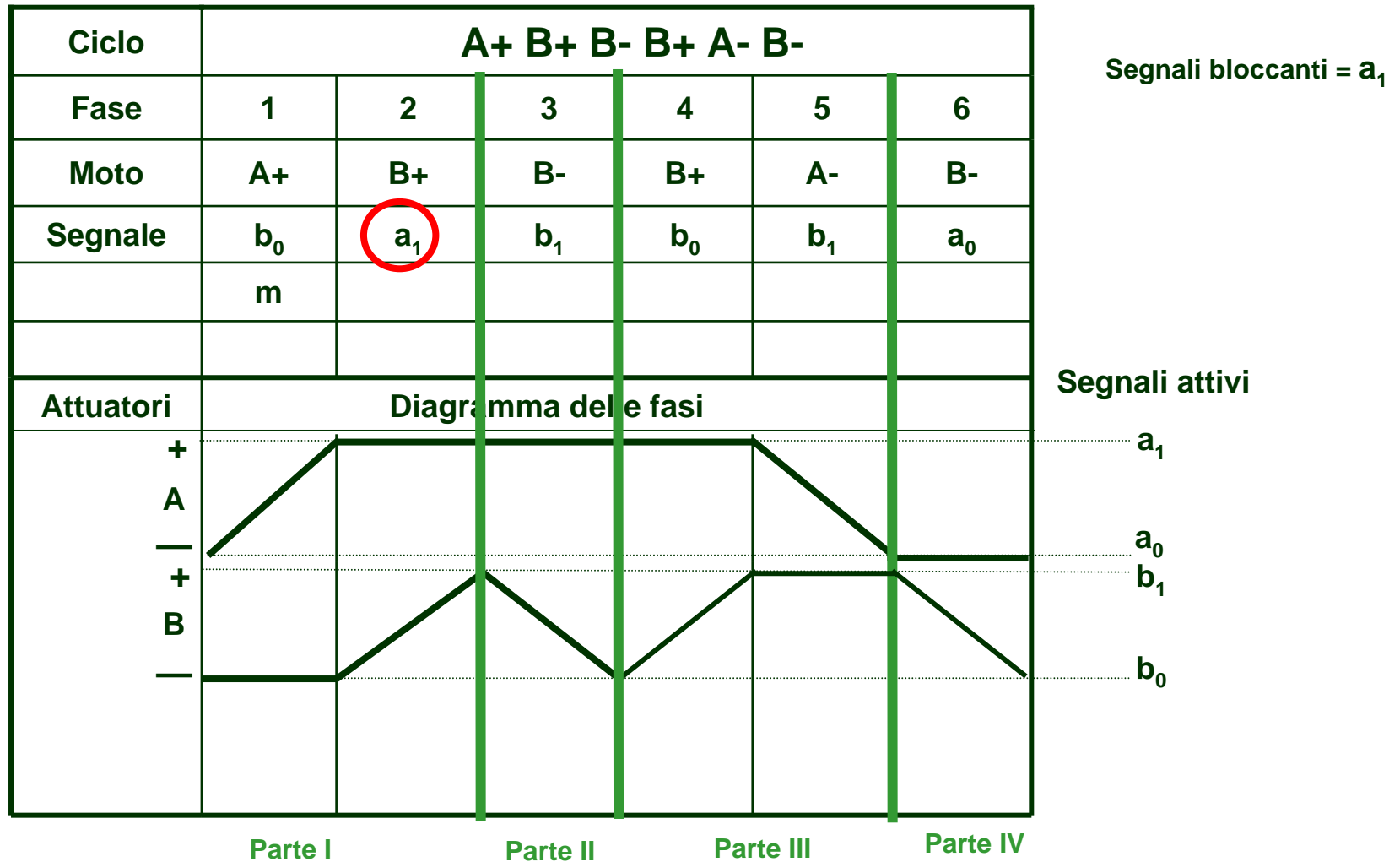


A+ A- B+ B-



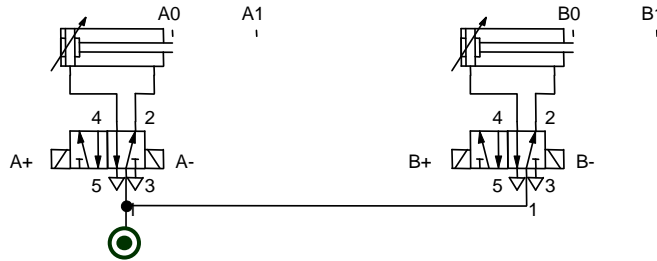
Ciclo con segnali ripetuti

A+ B+ B- B+ A- B-



Ciclo con segnali ripetuti A+ B+ B- B+ A- B-

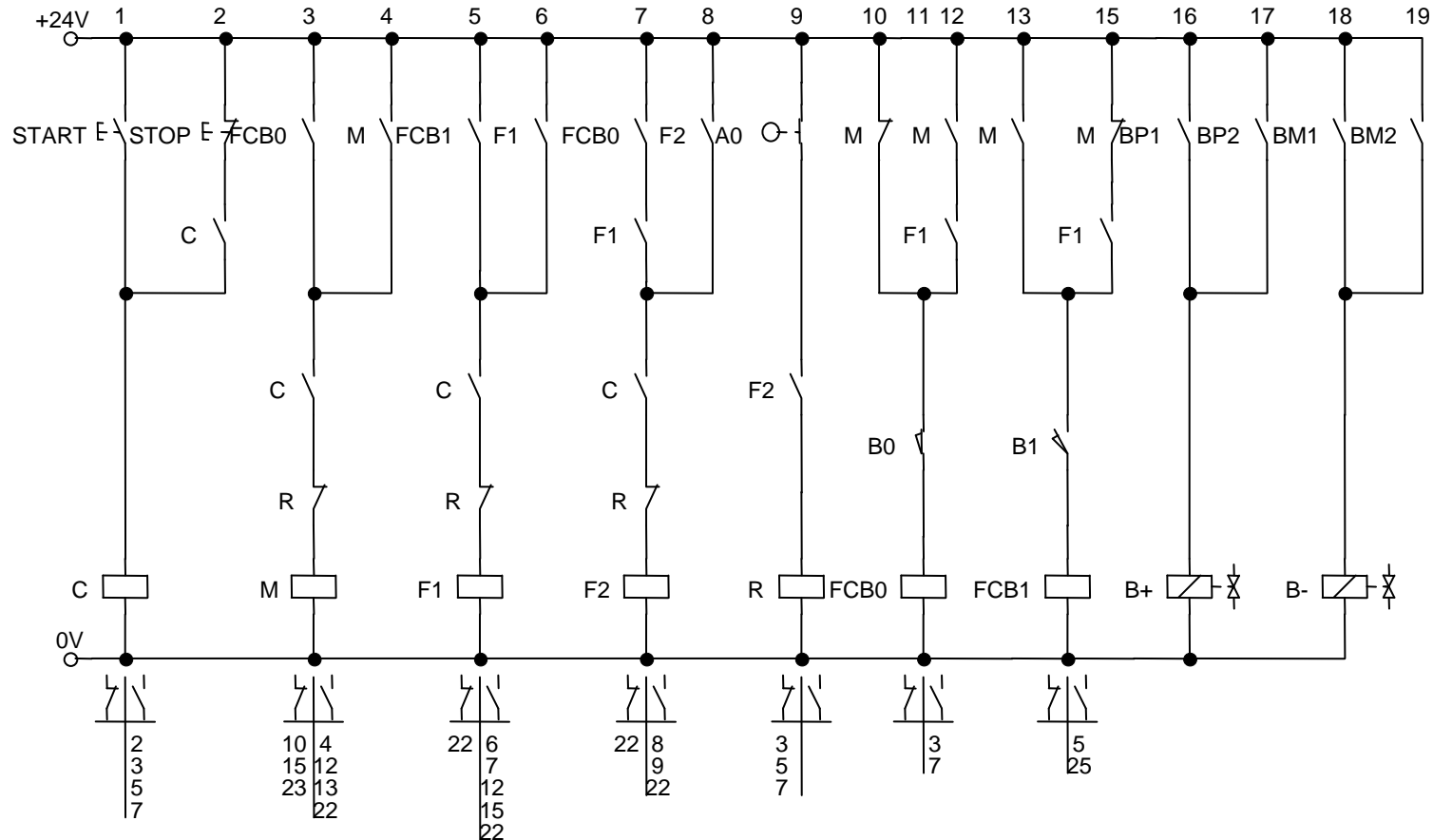
I Parte



A+ B+ | B- | B+ A- | B-
 b₀ a₁ | b₁ | b₀ b₁ | a₀

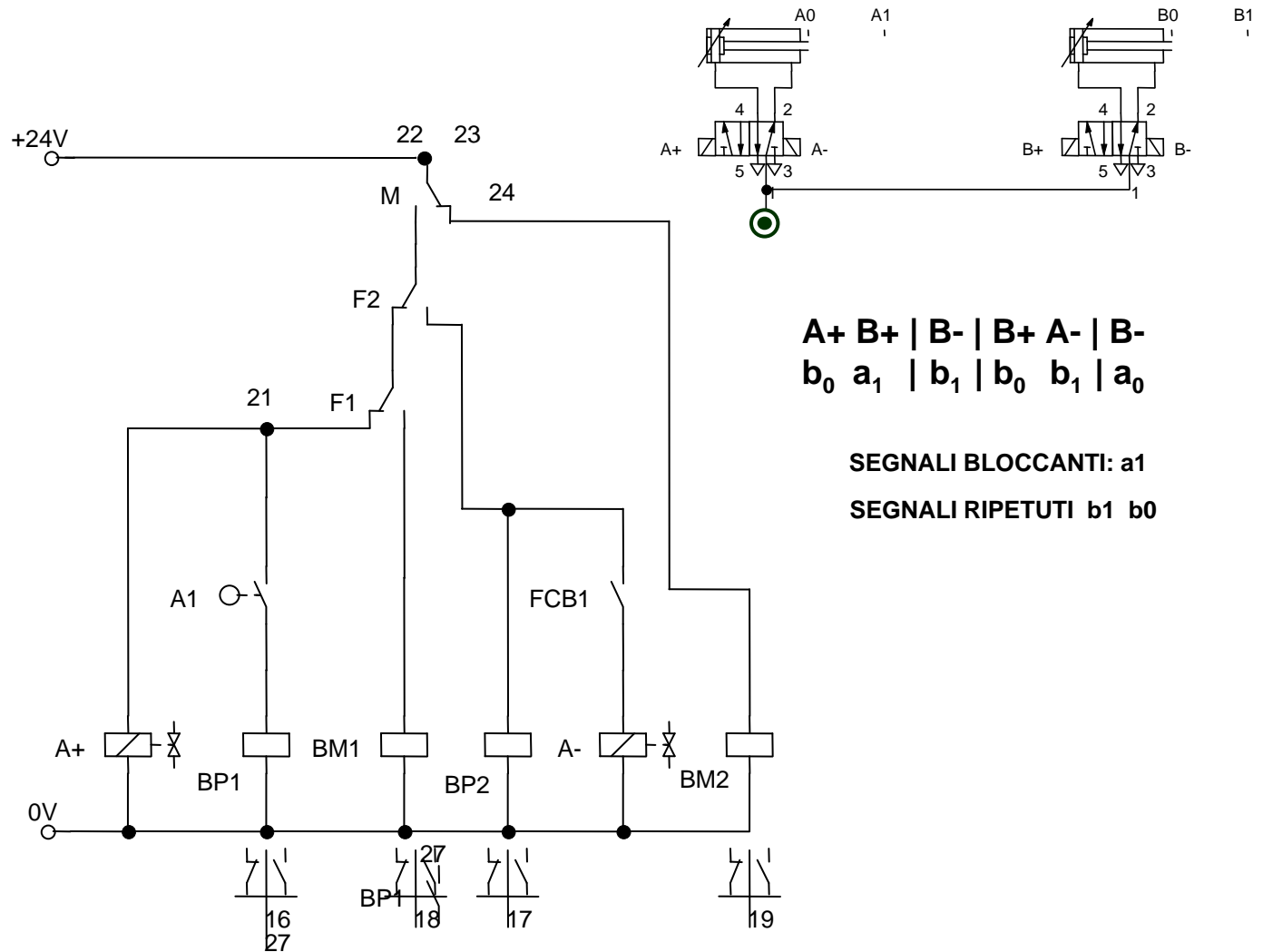
SEGNALI BLOCCANTI: a1

SEGNALI RIPETUTI b1 b0

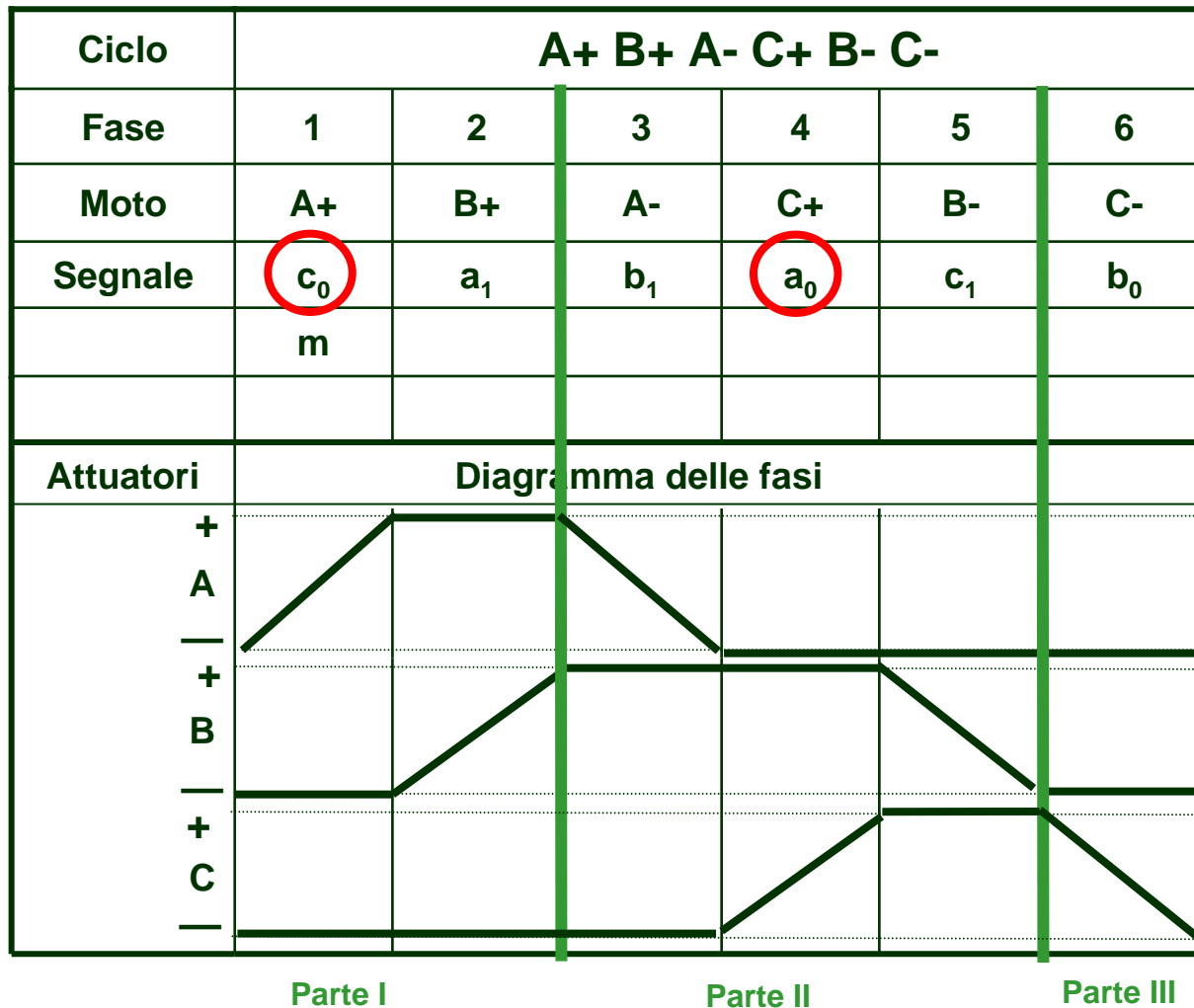


Ciclo con segnali ripetuti A+ B+ B- B+ A- B-

II Parte



A+B+A-C+B-C-



Segnali bloccanti :

a_0

c_0

Segnali attivi

a_1

a_0

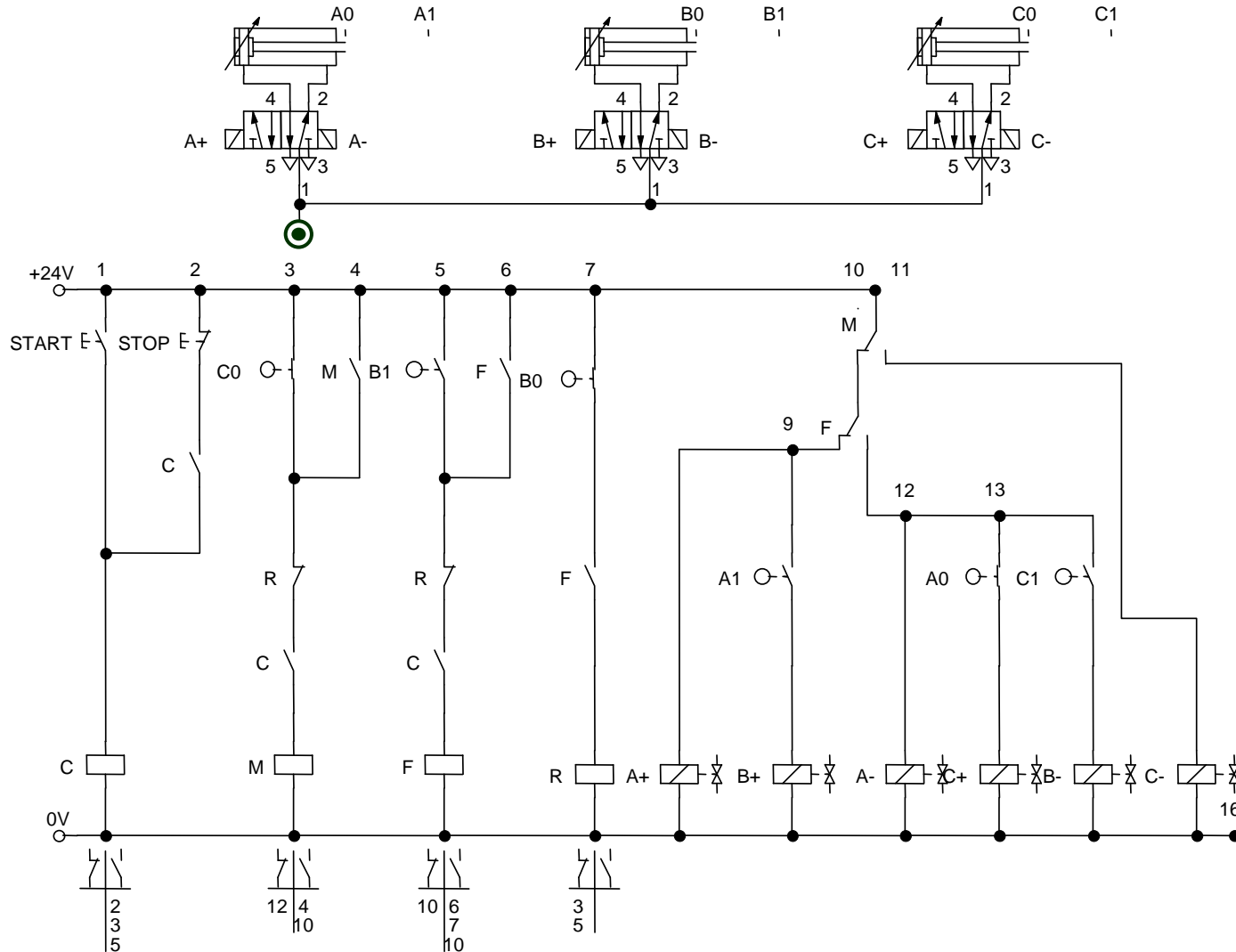
b_1

b_0

c_1

c_0

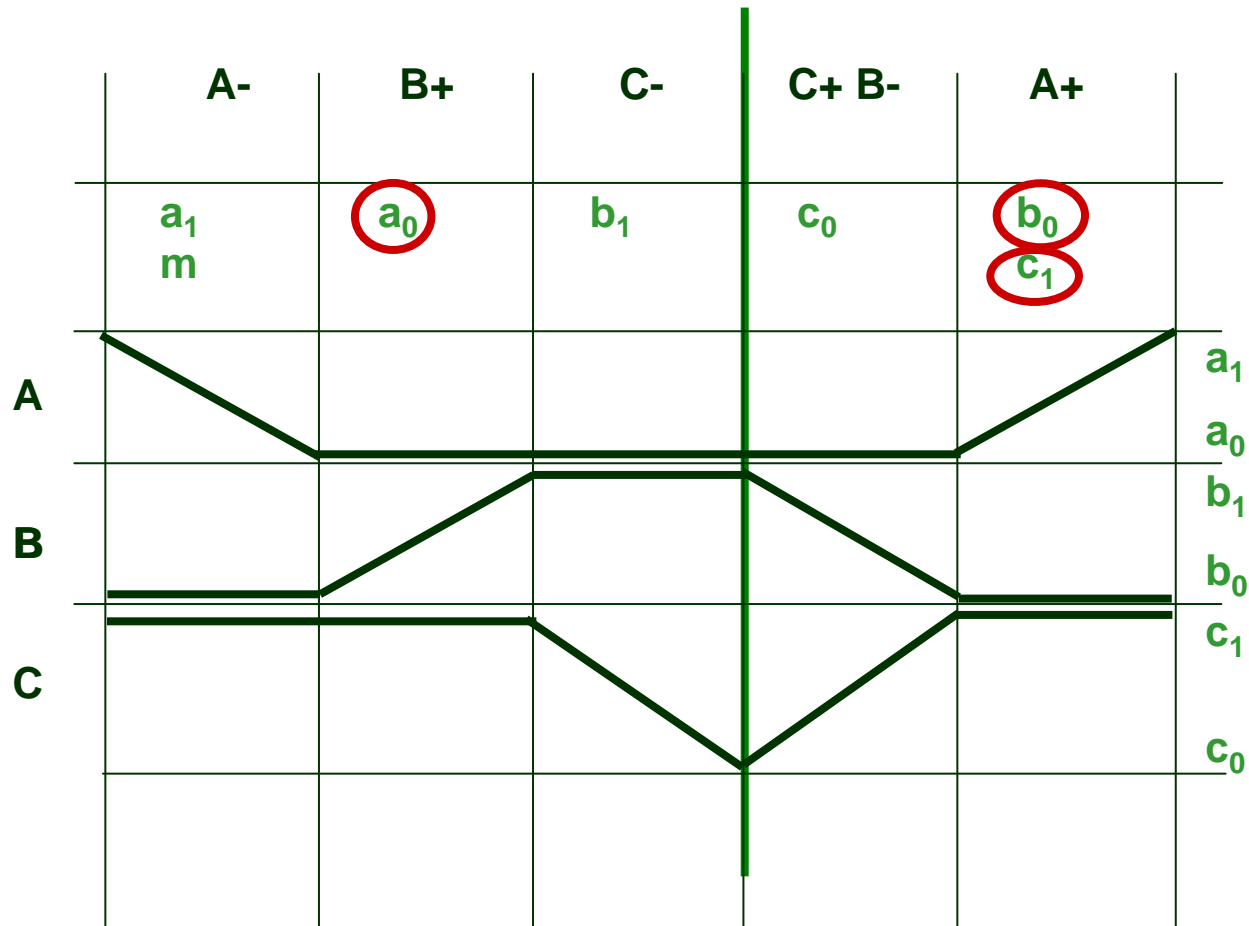
A+B+A-C+B-C-



Ciclo automatico con segnali simultanei

A-B+C- (C+B-) A+

Diagramma delle Fasi



Ciclo automatico con segnali simultanei

A-B+C- (C+B-) A+

