

SMC International Training

Introduzione
alla
pneumatica

1. INTRODUZIONE ALLA PNEUMATICA PRATICA

CHE COSA PUO' FARE LA PNEUMATICA

- *Introduzione*

PROPRIETÀ DELL'ARIA COMPRESSA

- *Disponibilità*
- *Immagazzinamento*
- *Semplicità di costruzione e di controllo*
- *Scelta del movimento*
- *Economia*
- *Affidabilità*
- *Resistenza all'ambiente*
- *Ambientalmente pulita*
- *Sicurezza*

INTRODUZIONE ALLA PNEUMATICA PRATICA

Un sistema fluidodinamico di potenza è un circuito che trasmette e controlla dell'energia mediante l'impiego di un liquido o di un gas pressurizzato.

Nella pneumatica, questo fluido pressurizzato è l'aria. Essa viene naturalmente prelevata dall'atmosfera e ridotta in volume mediante compressione.

L'aria compressa è usata prevalentemente per fare del lavoro agendo su di un pistone o su di una paletta.

Mentre questa energia può essere impiegata in molti settori dell'industria, in questo contesto viene considerato solamente il campo della pneumatica industriale.

Il corretto uso del controllo pneumatico richiede una adeguata conoscenza dei componenti pneumatici e della loro funzione per assicurare la relativa integrazione in un sistema di lavoro efficiente.

Sebbene il controllo elettronico mediante sequenziatore programmabile od altro controllore logico sia correntemente impiegato, è ancora necessario conoscere la funzione dei componenti pneumatici in questo tipo di sistema.

Questo libro tratta della tecnologia dei componenti nei sistemi di controllo descrivendo tipi e caratteristiche costruttive dell'equipaggiamento per trattamento aria, degli attuatori e delle valvole, dei metodi di collegamento ed introduce i circuiti pneumatici di base.

CHE COSA PUO' FARE LA PNEUMATICA

Le applicazioni dell'aria compressa sono senza limiti: dal delicato uso da parte dell'oculista dell'aria a bassa pressione per controllare la pressione nell'occhio umano alla molteplicità di movimenti lineari e rotatori, sulle macchine di processo robotizzate, alle elevate forze richieste per le presse pneumatiche e martelli pneumatici per rompere il cemento.

La breve lista riportata di seguito ha solo la funzione di indicare la versatilità e la varietà del controllo pneumatico al lavoro in una industria in continua espansione.

- Attuazione di sistemi di valvole per aria, acqua e composti chimici.
- Movimentazione di porte pesanti o calde.
- Svuotamento di caricatori in edilizia, acciaierie, miniere e industrie chimiche.
- Preparazione del cemento e dell'asfalto.
- Sollevamento e movimentazione in macchine per la fusione di slebi.
- Nebulizzazione in agricoltura e attuazione di ulteriori equipaggiamenti agricoli del trattore.
- Verniciatura a spruzzo.
- Bloccaggio e movimentazione nella lavorazione del legno e nella fabbricazione di mobili.

- Bloccaggio sulle attrezzature nell'assemblaggio di macchinari e macchine utensili.
- Bloccaggio per incollaggi, sigillatura a caldo e stivatura.
- Macchine per la saldatura a punti.
- Rivettatura.
- Azionamento di lame a ghigliottina.
- Macchine per imbottigliamento e riempimento.
- Macchinario di guida e di avanzamento per la lavorazione del legno.
- Banchi prova.
- Macchine utensili, alimentazione della macchina o dell'attrezzo.
- Trasportatori di componenti e materiali.
- Robot pneumatici.
- Misurazioni automatiche.
- Separazione con aria e sollevamento con vuoto di fogli sottili.
- Trapani per uso dentistico.
- e così via.....

PROPRIETÀ DELL'ARIA COMPRESSA (E' UNA MISCELA COMPOSTA DA AZOTO E OSSIGENO ECC.),

Alcune importanti ragioni per l'ampio uso dell'aria compressa nell'industria sono esposte di seguito.

Disponibilità

La maggior parte delle fabbriche e degli impianti industriali hanno un sistema centralizzato per la fornitura di aria compressa nelle aree di lavoro e compressori portatili per le situazioni di impiego più remote.

Immagazzinamento

Se necessario è facilmente immagazzinabile in grossi volumi.

Semplicità di costruzione e di controllo

I componenti pneumatici sono di semplice costruzione e sono facilmente impiegabili per ottenere sistemi altamente automatizzati con un controllo relativamente semplice.

Scelta del movimento

Si hanno a disposizione sia movimenti lineari che rotazioni angolari con velocità operative variabili con semplicità e continuità.

Economia

L'installazione presenta un costo relativamente basso dovuto ai costi modesti dei componenti.

Anche le spese di manutenzione sono basse a causa della lunga vita operativa senza necessità di interventi.

Affidabilità

I componenti pneumatici hanno una lunga vita operativa che si traduce in una elevata affidabilità del sistema.

Resistenza all'ambiente

E' scarsamente influenzata dall'alta temperatura, dallo sporco e dalle atmosfere corrosive dove altri sistemi possono guastarsi.

Ambientalmente pulita

E' ambientalmente pulita e con un opportuno trattamento dell'aria di scarico può essere installata secondo gli standard delle camere bianche.

Sicurezza

Non è fonte di rischio di incendio in aree pericolose. Il sistema non è influenzato da sovraccarichi in quanto gli attuatori semplicemente stallano o slittano. Gli attuatori pneumatici non producono calore.

CARATTERISTICHE

- Semplicità di installazione
- Componenti di facile manutenzione
- Elevata affidabilità
- Resistenza all'usura

2. IL SISTEMA PNEUMATICO DI BASE

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 dei 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, mostrato in Fig. 2.1, consiste di due sezioni principali:

- il sistema di produzione e di distribuzione dell'aria;
- il sistema di consumo dell'aria.

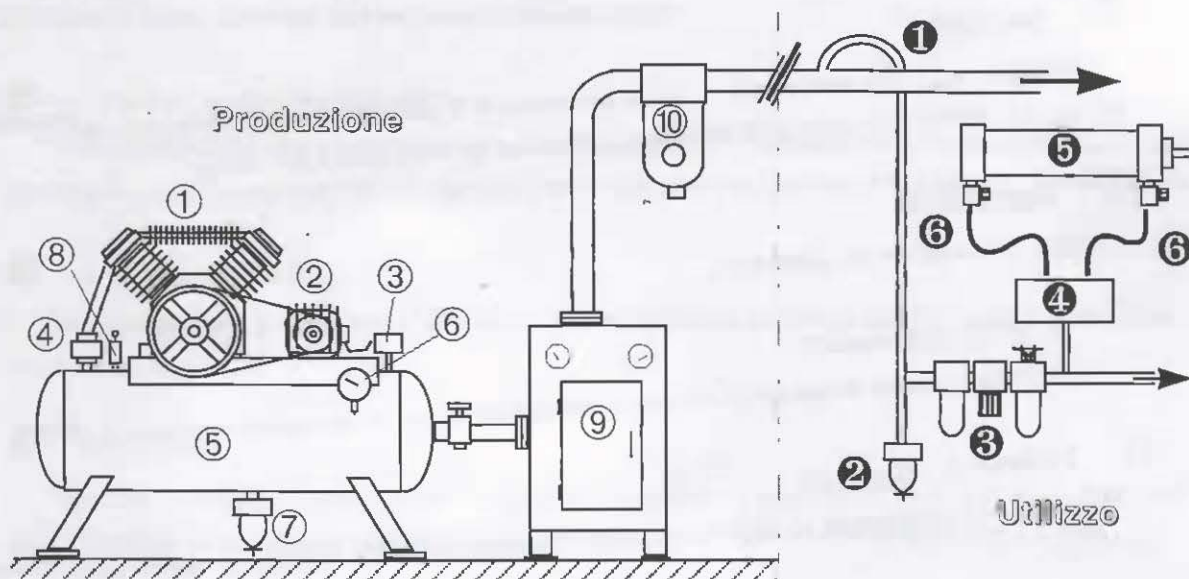


Fig. 2.1 Sistema pneumatico elementare

PNEUMAC SRL www.pneumac.it

SISTEMA DI PRODUZIONE DELL'ARIA

Le parti componenti e le loro funzioni principali sono:

① *Compressore*

L'aria aspirata a pressione atmosferica è compressa e fornita a pressione 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 lungo è l'intervallo di tempo fra gli avvii del compressore.

⑥ *Manometro*

Indica la pressione del serbatoio.

⑦ *Scarico automatico*

Scarica tutta l'acqua di condensa presente nel serbatoio senza necessità di interventi esterni.

⑧ *Valvola di sicurezza*

Scarica l'aria compressa se la pressione nel serbatoio dovesse salire al di sopra della pressione consentita.

⑨ *Essiccatore a ciclo frigorifero*

Raffredda l'aria compressa a pochi gradi al di sopra del punto di congelamento e condensa la maggior parte dell'umidità dell'aria. Ciò evita di avere acqua di condensa nel sistema a valle.

⑩ *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 mantenere la linea libera da polvere, acqua di condensa e olio di lubrificazione.

IL SISTEMA DI CONSUMO DELL'ARIA

① *Presa dell'aria*

Per gli utilizzatori l'aria è prelevata dalla parte superiore della tubazione per permettere alla condensa occasionale di rimanere nella tubazione principale. Quando la condensa raggiunge un punto in basso nella linea, l'acqua, che viene prelevata dalla parte inferiore della tubatura, fluirà in uno scaricatore automatico che eliminerà la condensa.

② *Scaricatore automatico*

Ogni tubo verticale che scende dalla linea principale dovrebbe avere uno scarico nella parte bassa. Il metodo più efficiente consiste in uno scaricatore automatico che impedisce all'acqua di rimanere nel tubo evitando di dover ricorrere ad intervento manuale.

③ *Unità di trattamento dell'aria*

Tratta l'aria compressa per fornire aria pulita alla pressione ottimale e, occasionalmente, aggiunge del lubrificante per allungare la vita dei componenti pneumatici del sistema che richiedono lubrificazione.

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 compressa in lavoro meccanico. Nella Fig. 2.1 è disegnato un cilindro lineare. Esso può essere anche un attuatore rotante, un utensile pneumatico od altro.

⑥ *Regolatori di velocità*

Consentono un controllo semplice e continuo della velocità di movimento dell'attuatore.

Questi componenti verranno discussi in maggiore dettaglio nelle sezioni 4, 5, 6 e 7 dopo una introduzione alla teoria dell'aria compressa. Ciò è necessario per capire cosa succede nel sistema pneumatico.

3. TEORIA DELL'ARIA COMPRESSA

UNITÀ

- *Unità di misura del Sistema Internazionale*
- *Unità non metriche*
- *Pressione*

PROPRIETÀ DEI GAS

- *Trasformazione isoterma (Legge di Boyle)*
- *Trasformazioni isobare (Legge di Gay Lussac)*
- *Trasformazione isocora*
- *Trasformazione isoentropica (o adiabatica)*
- *Volume standard*
- *Portata*
- *Umidità dell'aria*
- *Pressione e flusso*

TEORIA DELL'ARIA COMPRESSA

UNITÀ

Per l'applicazione pratica della pneumatica, è necessario capire le leggi naturali che hanno relazione con il comportamento dell'aria come gas compresso e le dimensioni fisiche in uso comune.

Il Sistema Internazionale delle Unità è stato accettato in tutto il mondo a partire dal 1960 ma gli USA, il Regno Unito e il Giappone usano ancora in modo esteso il Sistema Imperiale.

Denominazione	Simbolo	Unità SI	Nome	Osservazioni
1. UNITA' BASE				
Massa	m	kg	kilogrammo	
Lunghezza	s	m	metro	
Tempo	t	s	secondo	
Temperatura assoluta	T	K	Kelvin	$0^{\circ}\text{C} = 273.16 \text{ K}$
Temperatura	t, θ	$^{\circ}\text{C}$	Grado Celsius	
2. UNITA' COMPOSTE				
Raggio	r	m	metro	
Angolo	$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \varphi$	1	Radiante (m/m)	
Area, Sezione	A, S	m^2	metro quadro	
Volume	V	m^3	metro cubo	
Velocità	v	m s^{-1}	metri al secondo	
Velocità angolare	ω	s^{-1}	radianti al secondo	
Accelerazione	a	m s^{-2}	metri al secondo quadrato	
Inerzia	J	$\text{m}^2 \text{ kg}$		
Forza	F	N	Newton	$= \text{kg m s}^{-2}$
Peso	G	N	Accelerazione di gravità	9.80665 m s^{-2}
Lavoro	W	J	Joule = Newton per metro	$= \text{kg m}^2 \text{ s}^{-2}$
Energia	E, W	J	Joule	
Momento	M	J	Joule	
Potenza	P	W	Watt	$= \text{J s}^{-1}$
3. CORRELATE ALL'ARIA COMPRESSA				
Pressione	p	Pa	Pascal	$= \text{N m}^{-2}$
Volume standard	V_n	Nm^3	Metro cubo standard	a $t = 0^{\circ}\text{C}$ e $p = 760 \text{ mm Hg}$
Portata volumetrica	Q	$\text{Nm}^3 \text{ s}^{-1}$	Metro cubo standard al secondo	
Energia, Lavoro	E, W	N m	Joule	$\text{Pa m}^3 = \text{N m}$
Potenza	P	W	Watt	$p \cdot Q = \text{N m s}^{-1} = \text{W}$

Tabella 3.1 Unità SI usate in Pneumatica

Per indicare unità di potenze di dieci più piccole o più grandi delle unità base sopra riportate, sono state definite delle preposizioni convenzionali sotto riportate.

Potenza	Preposizione	Simbolo	Potenza	Preposizione	Simbolo
10^{-1}	deci	d	10^1	Deka	da
10^{-2}	centi	c	10^2	Hecto	h
10^{-3}	milli	m	10^3	Kilo	k
10^{-6}	micro	μ	10^6	Mega	M

Tabella 3.2 Preposizioni per potenze di dieci

UNITÀ NON METRICHE

La tabella inferiore riporta un confronto fra le Unità metriche (ISO) e le Unità imperiali.

Grandezza	Unità Metrica (m)	Unità Anglosassone (e)	Fattore di conversione m fie	Fattore di conversione e fim
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	$1.8^{\circ}\text{C}+32$	$(^{\circ}\text{F}-32)/1.8$
Area, sezione	m^2	sq.ft	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	cu.ft.	0.03531	28.32
Portata volumetrica	Nm^3/min	scfm	35.31	0.02832
	Ndm^3/min (l/min)	scfm	0.03531	28.32
Forza	N	pound force (lbf.)	0.2248	4.4484
Pressione	bar	lbf./sq.inch (psi)	14.5	0.06895

Tabella 3.3 Unità non metriche

PRESSIONE

Deve essere evidenziato che l'unità ISO della pressione è il **Pascal (Pa)**.

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 \text{ (Newton per metro quadrato).}$$

Questa unità è estremamente piccola e per evitare di usare grossi numeri, ci si è accordati per usare il bar come una unità di 100000 Pa poiché la sua dimensione è più realistica nell'impiego industriale.

$$100000 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar}$$

Essa corrisponde con accuratezza sufficiente per gli impieghi pratici con le vecchie unità metriche di kgf/cm^2 e kgp/cm^2 .

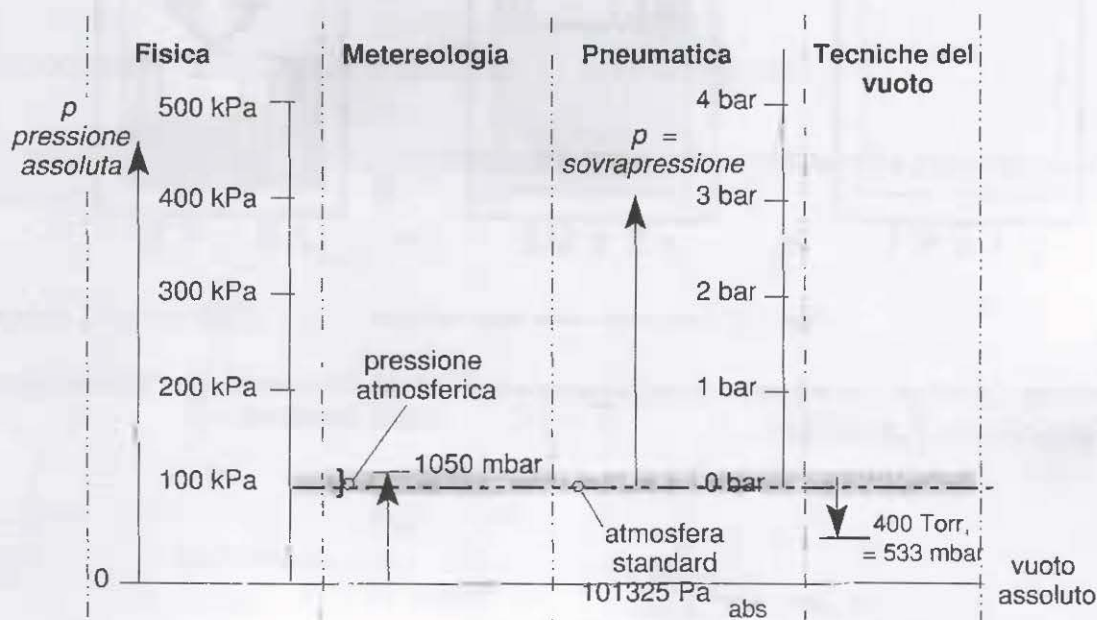


Fig. 3.4 I vari sistemi di indicazione della pressione

Nel contesto della pneumatica, una pressione è considerata come sovrappressione ovvero al di sopra della pressione atmosferica ed è comunemente riferita come pressione manometrica.

Una pressione può anche essere espressa come pressione assoluta ovvero una pressione relativa al vuoto assoluto. Nella tecnologia del vuoto, è impiegata una pressione al di sotto dell'atmosferica ovvero una depressione.

I vari modi di indicare la pressione sono riportati in Fig. 3.4 usando la pressione atmosferica standard di 1013 mbar come riferimento. Da notare che il valore non corrisponde ad 1 bar sebbene, per i calcoli usuali in pneumatica, la differenza può essere trascurata.

PROPRIETÀ DEI GAS

TRASFORMAZIONE ISOTERMA (LEGGE DI BOYLE)

"A temperatura costante, la pressione di una data massa di gas è inversamente proporzionale al suo volume".

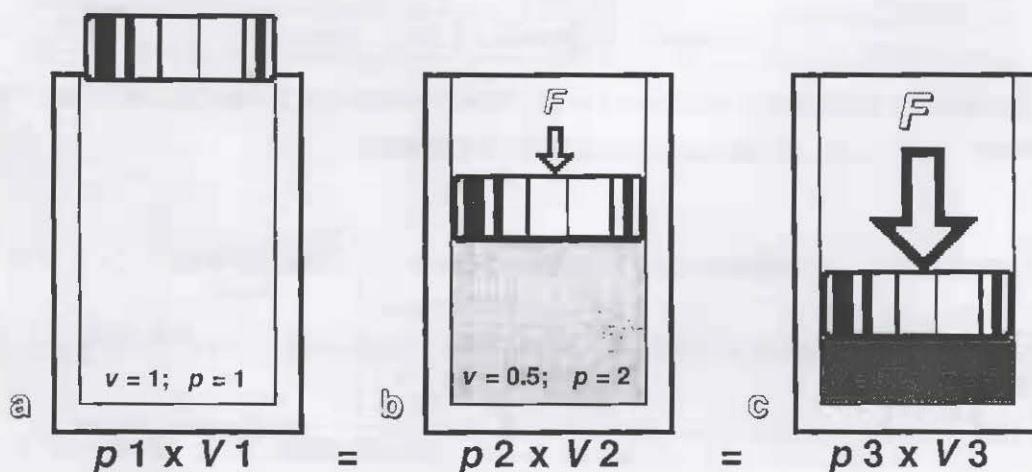


Fig. 3.5 Illustrazione della legge di Boyle

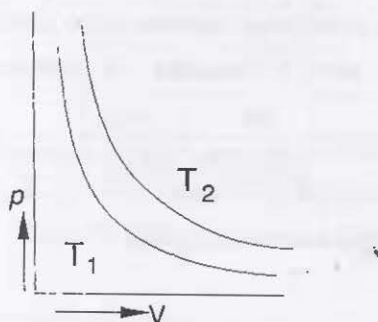
Se il volume $V_1=1\text{m}^3$ ad una pressione assoluta standard di 101325 Pa è compresso a temperatura costante ad un volume $V_2=0.5\text{m}^3$ sarà:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \quad p_2 = \frac{p_1 \cdot V_1}{V_2}$$

$$\text{es. } p_2 = \frac{101325\text{Pa} \cdot 1\text{ m}^3}{0.5\text{m}^3} = 202650\text{ Pa}$$

Il rapporto V_1/V_2 è il rapporto di compressione CV.

Con la pressione relativa di 4 bar , $\frac{V_1}{V_2} = \frac{4+1.013}{1.013} = 4.95$



La tabella mostra il rapporto delle pressioni per pressioni comprese fra 1 e 10 bar_{abs}.

p	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
cr	0.987	1.987	2.974	3.961	4.948	5.935	6.922	7.908	8.895	9.882

Nota: la differenza tra il rapporto delle pressioni dovuto ad una variazione di volume di 1/2 (1:2.026) e il rapporto fra le pressioni con una pressione relativa di 1 bar (2 bar_{abs}) (1:1.987 nella tabella) è minima; quindi non si commette analiticamente un errore se si considera come pressione assoluta la pressione relativa +1.

$$P_{\text{ass}} = P_{\text{rel}} + 1$$

TRASFORMAZIONI ISOBARE (LEGGE DI GAY LUSSAC)

A pressioni costante il volume di una determinata massa di gas è inversamente proporzionale alla sua temperatura.

Legge di Gay Lussac

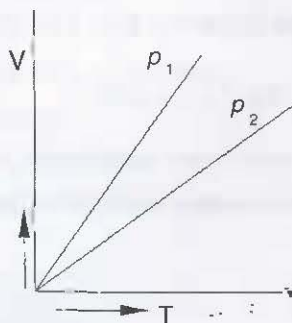
$$\frac{V}{T} = \text{costante, perciò} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{e} \quad V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1}$$

Esempio: $V_1 = 100$, $T_1 = 0^\circ\text{C}$, $T_2 = 25^\circ\text{C}$, $V_2 = ?$

Noi dobbiamo usare sempre la temperatura in K.

Quindi:

$$\frac{100}{273} = \frac{V_2}{293}, \quad V_2 = \frac{100 \cdot 293}{273} = 107.326$$



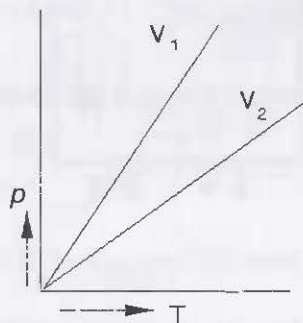
TRASFORMAZIONE ISOCORA

A volume costante il rapporto fra le pressioni, nello stato iniziale e finale, è uguale al rapporto delle temperature negli stessi punti. (Isocora deriva dall'insieme delle parole greche cwra "chora" che significa spazio e iso "iso" che significa uguale).

Quindi:

$$\frac{p_1 \cdot p_2}{T_1 \cdot T_2} \quad e \quad p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1}$$

dove T_n è la temperatura assoluta espressa in K (Kelvin).



Proprietà dei gas

Le tre grandezze che determinano lo stato dei gas, pressione, volume e temperatura sono correlate fra loro dalla seguente relazione:

$$PV = nRT$$

chiamata equazione generale dei gas.

Ritenendo costante, in quanto tratteremo sempre di aria, il prodotto nR si ottiene:

$$PV/T = \text{costante}$$

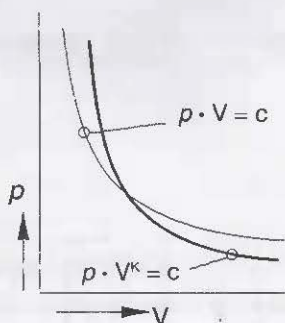
Questa legge è una delle principali basi teoriche per il calcolo progettuale o per selezionare componenti pneumatici quando devono essere considerate le variazioni di temperatura.

TRASFORMAZIONE ISOENTROPICA (O ADIABATICA)

Le sopracitate trasformazioni sono trasformazioni ideali cioè non si verificano mai nella pratica a meno di operare con sofisticate apparecchiature e con cambiamenti decisamente lenti. Questo non è assolutamente il caso di quando l'aria entra in un cilindro perché la trasformazione del gas è in questo caso adiabatica.

La legge di Boyle $p \cdot V = \text{costante}$ diventa $p \cdot V^k = \text{costante}$.

Non vogliamo scendere nel merito delle cose poiché sono abbastanza complesse, ma il diagramma illustra le differenze in modo sintetico. Infatti possiamo constatare che vi è una contrazione di volume quando la pressione scende rapidamente. Incontreremo ancora questa trasformazione quando sarà discusso il consumo d'aria nei cilindri.



VOLUME STANDARD

A causa di queste interrelazioni fra volume, pressione e temperatura è necessario riferire tutti i dati del volume dell'aria ad una unità standardizzata di riferimento il **normal metro cubo (Nm³)** che è il volume occupato dall'aria alle "condizioni normali" (temperatura e pressione).

La condizione normale tecnica è definita da:

temperatura normale $T = 293,15 \text{ K}$ ($t = 20^\circ\text{C}$)

pressione normale $p = 98066,5 \text{ Pa}$ (0,980665bar)

La condizione normale fisica è definita da:

temperatura normale $T = 273,15 \text{ K}$ ($t = 0^\circ\text{C}$)

pressione normale $p = 101,325 \text{ Pa}$ (1,01325bar)

PORTATA

La portata di aria compressa in una tubazione rappresenta la quantità di gas che attraversa una sezione di riferimento in un certo intervallo di tempo.

La portata in massa rappresenta la quantità di materia che passa in un tubo nell'unità di tempo. Nel sistema S.I. la portata in massa G si misura in Kg/s.

La portata in volume effettivo Q rappresenta il volume di aria compressa che passa in una tubazione nell'unità di tempo. Nel sistema S.I. la portata in volume effettivo Q si misura in m^3/s ed è legata alla portata in massa dalla espressione:

$$Q = G/\rho$$

dove ρ è la densità dell'aria nelle condizioni di funzionamento esistenti (pressione e temperatura).

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 (Nm^3/s).

Equazione di Bernoulli

Bernoulli afferma che "se un liquido di gravità specifica scorre orizzontalmente attraverso un tubo a diametro variabile, l'energia totale al punto 1 e al punto 2 è la stessa".

Quindi:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot V_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot V_2^2$$

Questa equazione si applica anche ai gas se la velocità del flusso non eccede i 330 m/s circa (velocità del suono).

Applicazioni di questa equazione sono il tubo di Venturi e la compensazione in portata nei regolatori di pressione.

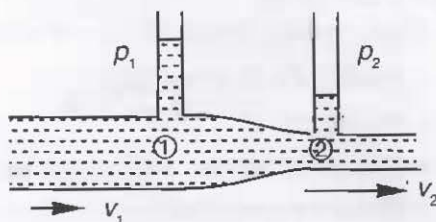


Fig. 3.6 Legge di Bernoulli

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 sotto forma 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.

La Tabella 3.7 riportata di seguito, indica la quantità in grammi di acqua per metro cubo d'aria per l'intervallo di temperatura da -30°C a +40°C.

I dati sono riportati sia per aria in condizioni atmosferiche alla temperatura indicata sia per aria in condizioni standard.

Tutti i consumi d'aria sono espressi normalmente in volumi standard.

Temperatura °C	0	5	10	15	20	25	30	35	40
g/Nm ³ (Standard)	4.98	6.99	9.86	13.76	18.99	25.94	35.12	47.19	63.03
g/m ³ (Atmosferica)	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/Nm ³ (Standard)	4.98	3.36	2.28	1.52	1	0.64	0.4	0.25	0.15
g/m ³ (Atmosferica)	4.98	3.42	2.37	1.61	1.08	0.7	0.45	0.29	0.18

Tabella 3.7 Saturazione dell'aria (punto di rugiada)

Per l'intervallo di temperatura proprio delle applicazioni pneumatiche, la tabella fornisce i valori esatti.

La metà superiore fa riferimento a temperature al di sopra dello zero mentre la metà inferiore vale per temperature al di sotto dello zero.

Umidità relativa

Ad eccezione di condizioni atmosferiche esterne (ad es. una diminuzione improvvisa della temperatura), l'aria atmosferica non è mai satura.

Il rapporto fra l'attuale contenuto di acqua e il contenuto al punto di saturazione è chiamato umidità relativa ed è indicato in percentuale:

$$\text{Umidità relativa r.h.} = \frac{\text{attuale contenuto di acqua}}{\text{contenuto di saturazione}} \times 100\%$$

Esempio 1: Temperatura 25°C, r.h. 65%.
Quanta acqua è contenuta in 1m³?
Punto di rugiada a 25°C:

$$24 \text{ g/m}^3 \cdot 0,65 = 15,6 \text{ g/m}^3$$

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

Quindi, a meno che la temperatura si alzi sostanzialmente, l'acqua condenserà.

Esempio 2: 10 m³ di aria atmosferica a 15°C e 65% r.h. è compressa alla pressione manometrica di 6 bar. La temperatura può salire di 25°C.
Quanta acqua condensa?
Dalla tabella 3.7:
a 15°C, 10 m³ di aria possono trattenere un massimo di 13,04 g/m³ · 10 m³ 130,4 g.
A 65% r.h., l'aria conterrà:

$$130,4 \text{ g} \cdot 0,65 = 84,9 \text{ g.}$$

Il volume ridotto dell'aria compressa a 6 bar può essere calcolato:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \Rightarrow \frac{p_1}{p_2} \cdot V_1 = V_2 \Rightarrow \frac{1.013 \text{ bar}}{6 + 1.013} \cdot 10 \text{ m}^3 = 1.44 \text{ m}^3$$

Dalla tabella 3.7:

$$1,44 \text{ m}^3 \text{ di aria a } 25^\circ\text{C} \text{ possono trattenere un massimo di } 23,76 \text{ g} \cdot 1,44 = 34,2 \text{ g (b)}$$

L'acqua di condensa equivale alla quantità totale di acqua nell'aria meno il volume che può essere trattenuto dalla aria compressa.

Quindi, da (a) e (b) si ottiene che $84,9 - 34,2 = 50,6 \text{ g}$ di acqua condenseranno.

Questo condensato deve essere rimosso prima che l'aria compressa sia distribuita per evitare effetti dannosi sui componenti del sistema pneumatico.