



---

# **Servizio aria compressa: elementi strutturali e cenni di dimensionamento**

---



# Cosa è un impianto a fluido?

---

Un impianto a fluido è un impianto in grado di trasformare l'energia posseduta da un fluido (aria, olio, ecc.) compresso in una azione meccanica (forza).



# Fasi di un impianto a fluido

---

In un impianto a fluido possono essere distinte tre fasi:

- prima fase: trasformazione di una certa forma di energia in un'altra di tipo differente che chiameremo energia fluida;
  - seconda fase: controllo dell'energia;
  - terza fase: trasformazione dell'energia fluida in lavoro meccanico.
-



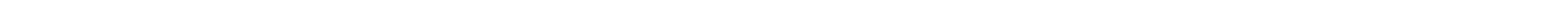
**GRUPPO  
GENERATORE**



**GRUPPO DI  
CONTROLLO**



**GRUPPO DI  
UTILIZZO**





# Classificazione degli impianti a fluido

---

A seconda del fluido utilizzato gli impianti si dividono in:

- **IMPIANTI PNEUMATICI:** utilizzano l'aria come fluido;
- **IMPIANTI OLEODINAMICI:** utilizzano l'olio come fluido.



---

# **Impianti pneumatici**

---



# Caratteristiche degli impianti pneumatici

---

Negli impianti pneumatici il fluido utilizzato è l'aria.

In tali impianti:

- il gruppo generatore è costituito da un compressore che avrà il compito di aumentare la pressione dell'aria;
  - il gruppo di controllo farà assumere al fluido determinati valori di pressione e di portata e avrà il compito di distribuirlo ove necessario;
  - il gruppo di utilizzo sarà costituito da attuatori di tipo diverso a seconda degli impieghi dell'impianto.
-



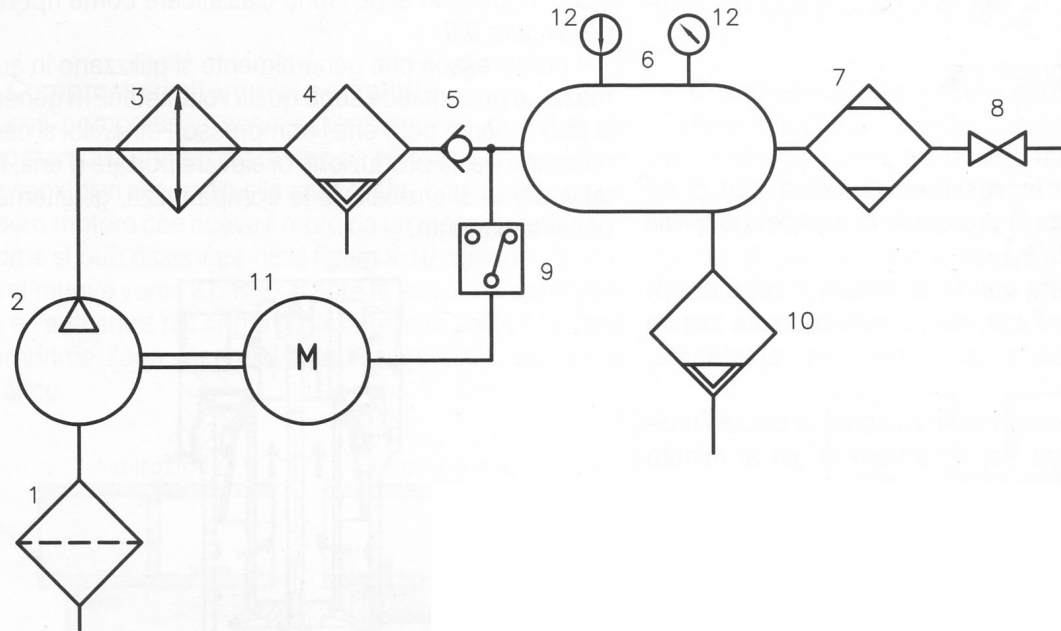
# Impianto di produzione dell'aria compressa

Un impianto per la produzione di aria compressa è generalmente costituito da:

- un sistema necessario alla filtrazione dell'aria (1);
- uno o più compressori (2) per portare l'aria alla pressione prefissata, con relativo motore (11);
- scambiatori di calore che raffreddano l'aria in uscita dal compressore (3);
- separatori di condensa che consentono di eliminare l'acqua che si è separata dall'aria (4) e (10);
- valvole che non consentano all'aria compressa di tornare indietro (5);
- valvole di intercettazione per bloccare i circuiti (8);

- un serbatoio per accumulare l'aria compressa prodotta (6);
- un pressostato che determina la pressione minima e massima che l'aria deve raggiungere all'interno del serbatoio (9);
- essiccatori per ridurre l'umidità presente nell'aria (7);
- manometri e termometri per misurare la pressione e la temperatura dell'aria (12).

Nella figura 9.7 è rappresentato un gruppo di produzione di aria compressa. Come si può osservare esso è dotato di quasi tutti gli elementi sopra descritti.





# I filtri

---

Vengono utilizzati per eliminare la polvere e le particelle solide che sono sospese nell'aria.

La presenza della polvere risulta dannosa per i componenti dell'impianto in quanto potrebbe aumentare l'usura negli elementi che hanno parti in movimento e potrebbe intasare gli altri riducendo la funzionalità dell'impianto.

---



# I compressori

---

I compressori sono delle macchine che hanno come scopo quello di comprimere i gas.

I compressori pneumatici comprimono aria.

---



# Elementi caratteristici dei compressori

---

## 1 – Rapporto di compressione

$$\beta = P_1/P_0$$

Il rapporto di compressione è dato dal rapporto tra la pressione di mandata  $P_1$  e quella di aspirazione  $P_0$

---



## 2 – La portata

---

Misurata in  $\text{m}^3/\text{s}$  rappresenta il volume d'aria che il compressore aspira dall'atmosfera e porta alla pressione prestabilita nell'unità di tempo.

Si calcola moltiplicando la cilindrata per il numero di giri dell'albero motore:

$$Q = \eta \cdot c \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot \frac{n}{60}$$

$\eta$ : coefficiente volumetrico; tiene conto del riempimento del cilindro ed è sempre minore di 1

$c$  (m): corsa del pistone

$d$  (m) diametro del cilindro

$n$  (giri/min). numero di giri dell'albero motore

---



# 3- La pressione di esercizio

---

Pressione presente all'interno del serbatoio.

Varia tra i 4 ed i 10 bar.

---



## 4 – Potenza necessaria alla compressione

---

$$N = \frac{1225,5 \cdot Q_1 \cdot T_1 \cdot [\beta^{0,286} - 1]}{\eta} \quad \text{Watt}$$

Dove:

$Q_1$  e  $T_1$  sono rispettivamente portata e temperatura di aspirazione;

$\eta$  il rendimento;

$\beta$  il rapporto di compressione.

Es:

Un compressore aspira 0,001 m<sup>3</sup>/s d'aria. All'aspirazione:  $P_1=1$  bar e  $T_1= 15^\circ$  C. La pressione di mandata è  $P_2=12$  bar. Calcolare la potenza di cui deve disporre il compressore.

$Q_1=0,001$  m<sup>3</sup>/s

$P_1=1$  bar

$T_1= 15^\circ$  C

$P_2=12$  bar

$\beta= 12/1=12$  bar

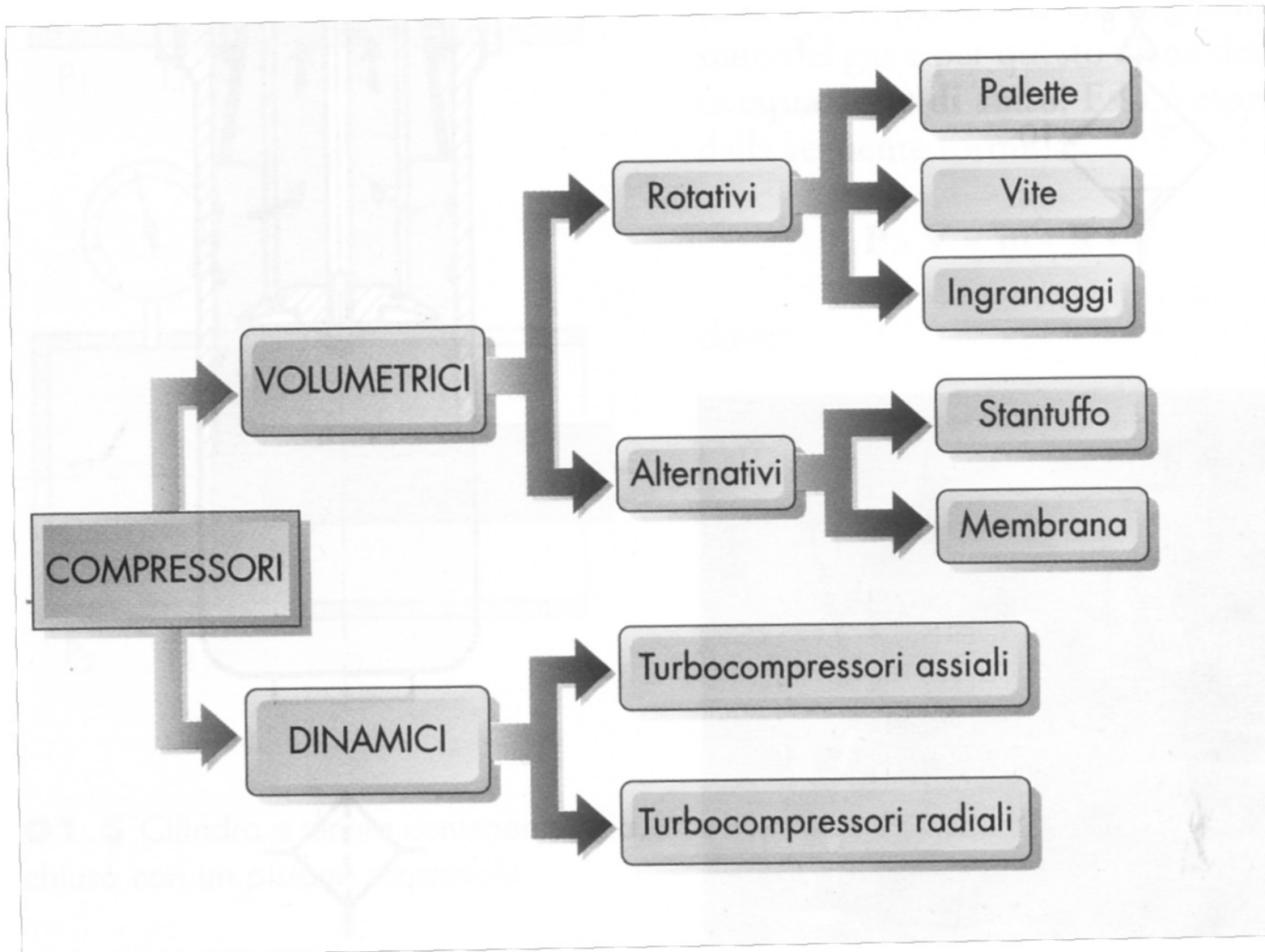
$\eta= 0,85$

$N= 1225,5 \cdot 0,001 \cdot 288 \cdot (12^{0,286}-1)/0,85 = 430$  W

---



# Classificazione dei compressori





# Come otteniamo l'aumento di pressione?

---

Nei compressori volumetrici l'aumento di pressione è ottenuto diminuendo lo spazio a disposizione del fluido.

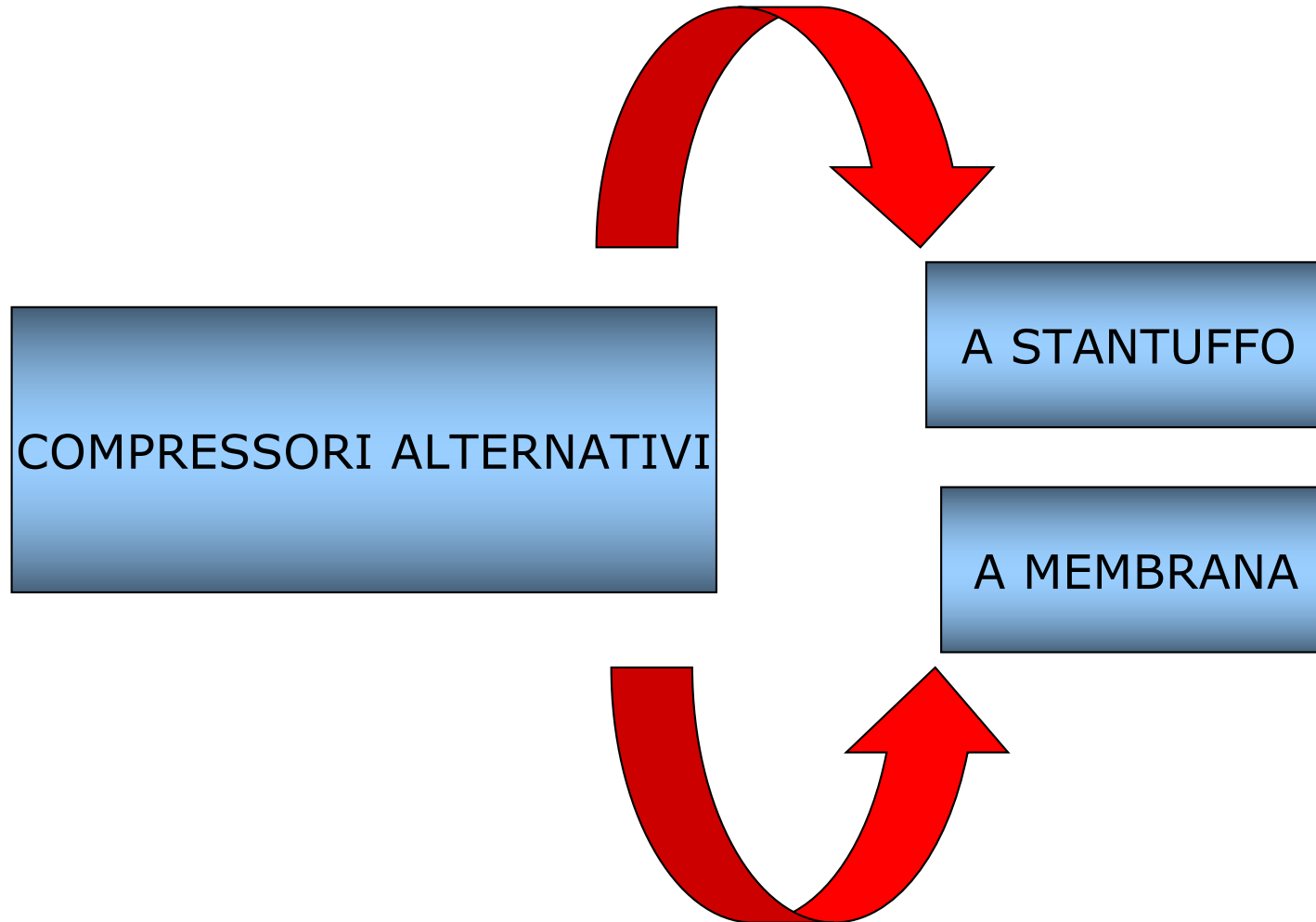
Nei compressori dinamici il fluido viene compresso sfruttando l'energia cinetica impressa al gas da opportuni meccanismi.

---



# Compressori alternativi

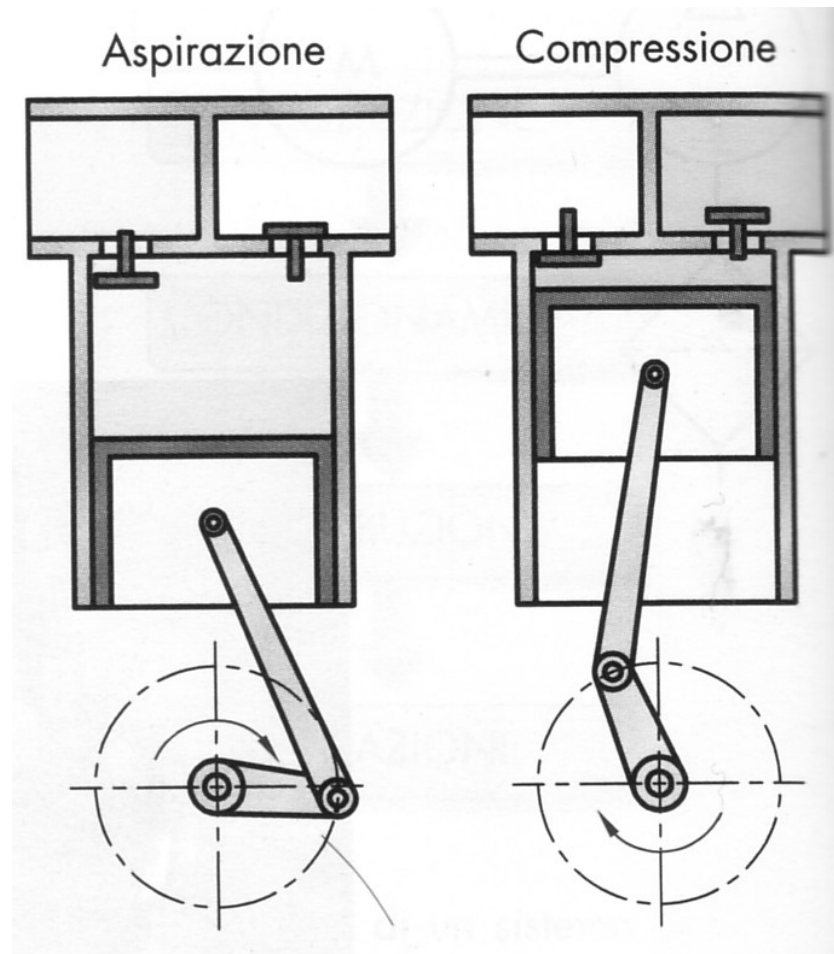
---





# Compressori a stantuffo

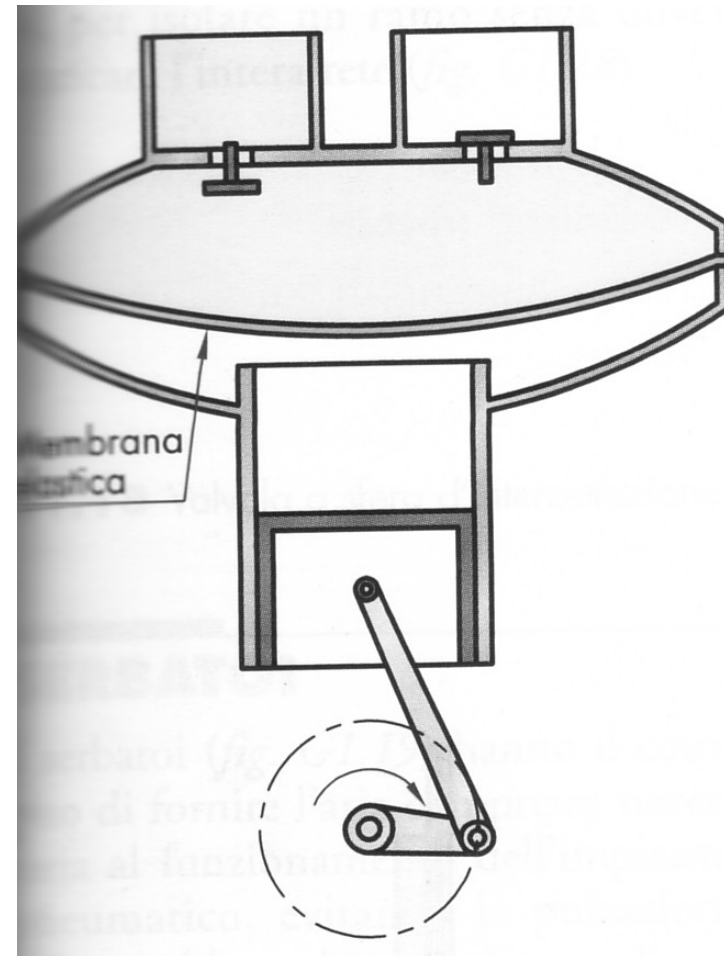
- Sono costituiti da uno stantuffo che scorre all'interno di un cilindro. Lo stantuffo è mosso da un sistema biella – manovella comandato da un albero motore che riceve il moto da un motore elettrico.
- Quando il pistone si muove verso il basso si apre la valvola di aspirazione, si chiude quella di mandata (o di scarico) e l'aria entra nel cilindro. Nella fase di salita il pistone comprime l'aria facendola fuoriuscire dalla valvola di mandata.





# Compressori a membrana

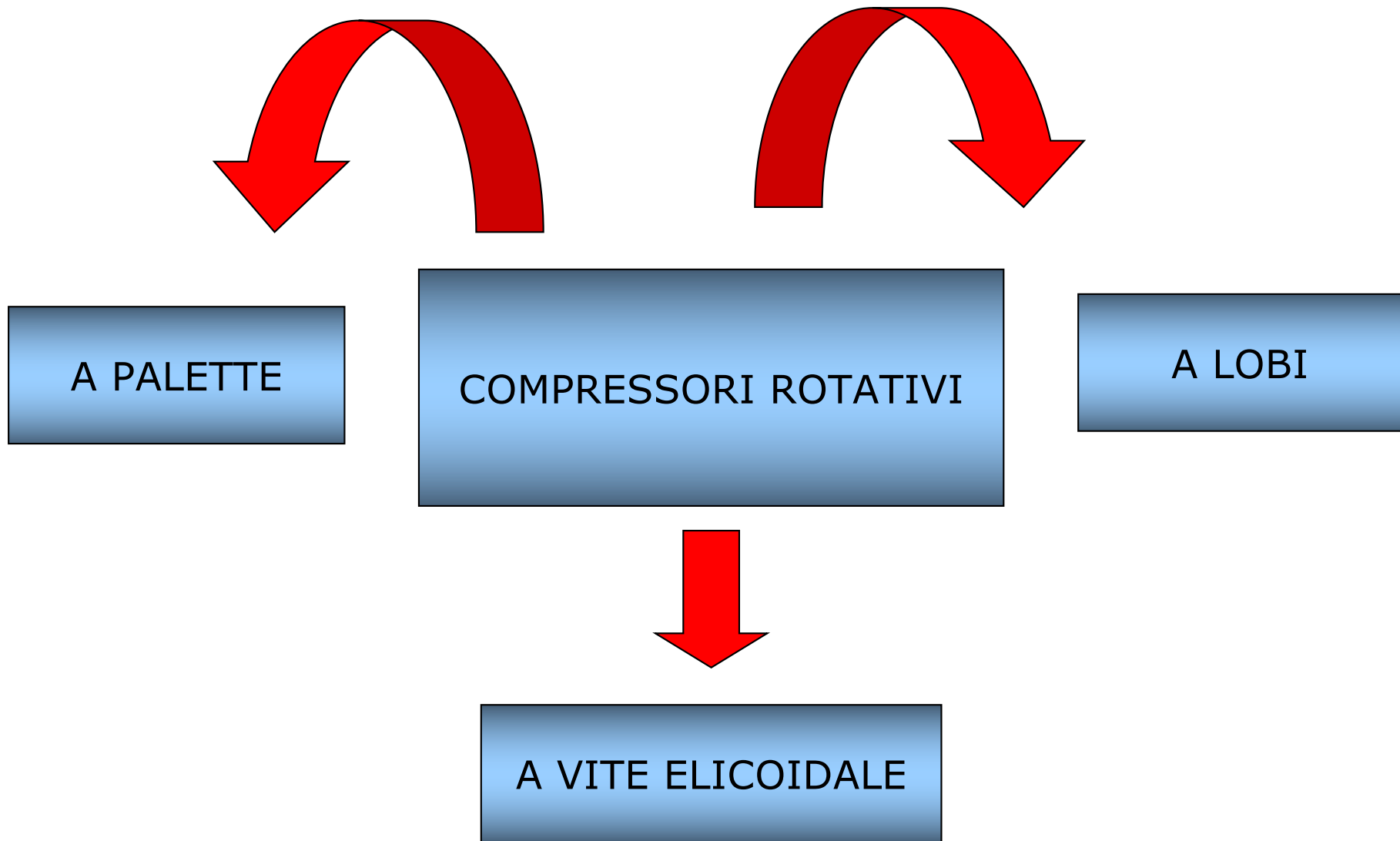
- L'ingresso e l'uscita dell'aria dalle valvole è provocato dagli spostamenti alternativi che il pistone provoca di una membrana fissata tra cilindro e testata.
- Differenze fra compressori a stantuffo e a membrana:
- Nei compressori a membrana non esiste contatto tra aria e pistone per cui si possono avere trafilamenti solo nelle valvole.
- La biella dei compressori a membrana è piccola per cui la velocità dell'albero può essere maggiore e di conseguenza la mandata più continua





# Compressori rotativi

---

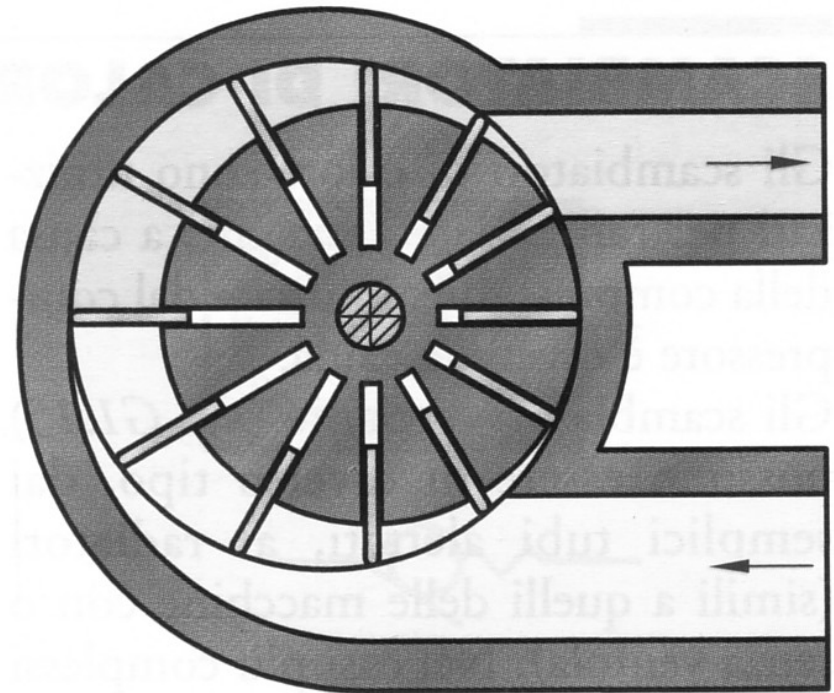




# Compressori a palette

---

- Sono costituiti da una parte mobile detta rotore montata eccentricamente all'interno di una fissa detta statore collegato con due tubazioni una di aspirazione e l'altra di mandata. Sono privi di valvole di aspirazione e di mandata
- Il rotore è munito di scanalature longitudinali dentro le quali sono inserite delle sottili palette prismatiche a sezione rettangolare. Le palette sono tenute a contatto con la superficie cilindrica interna del rotore da molle, poste dentro le scanalature, sotto le palette.
- Sulla superficie laterale dello statore sono presenti due collettori per l'aspirazione e la mandata dell'aria.
- Durante la rotazione l'aria presente nel collettore di aspirazione è catturata dalle palette del rotore le quali la trascinano. La compressione avviene per riduzione del volume, provocata dal rientro delle palette all'interno delle scanalature.
- Il vantaggio di un compressore rotativo a palette è la silenziosità, la generazione di un'aria priva di pulsazioni e il minimo ingombro.



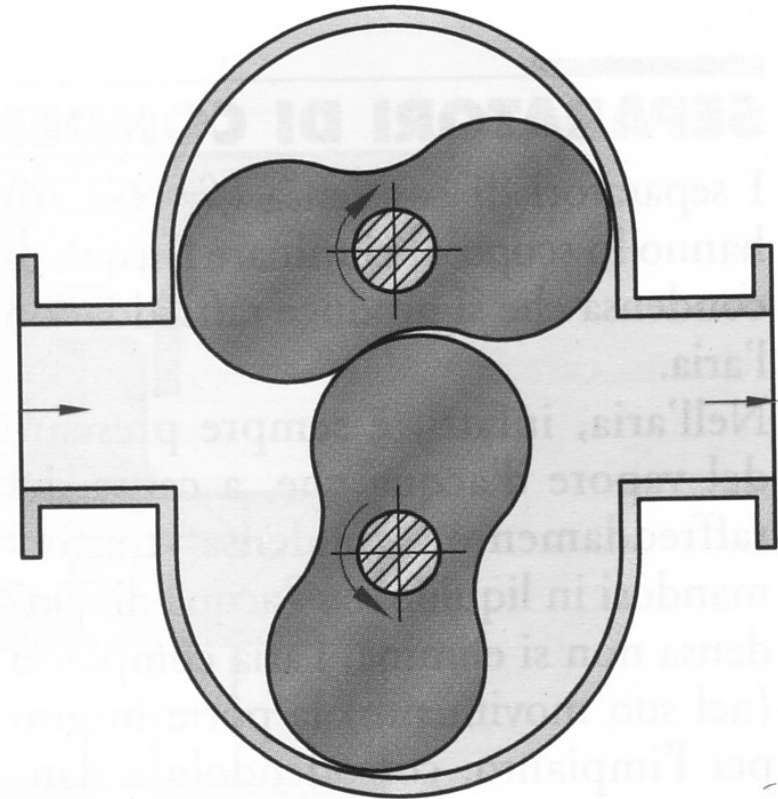


# Compressori a lobi

---

Sono costituiti da due lobi che ruotano mantenendosi sempre in contatto tra di loro e con la carcassa esterna.

Durante la rotazione l'aria viene imprigionata in corrispondenza del collettore di aspirazione, tra i lobi e la carcassa esterna, e trascinata sino al collettore di mandata



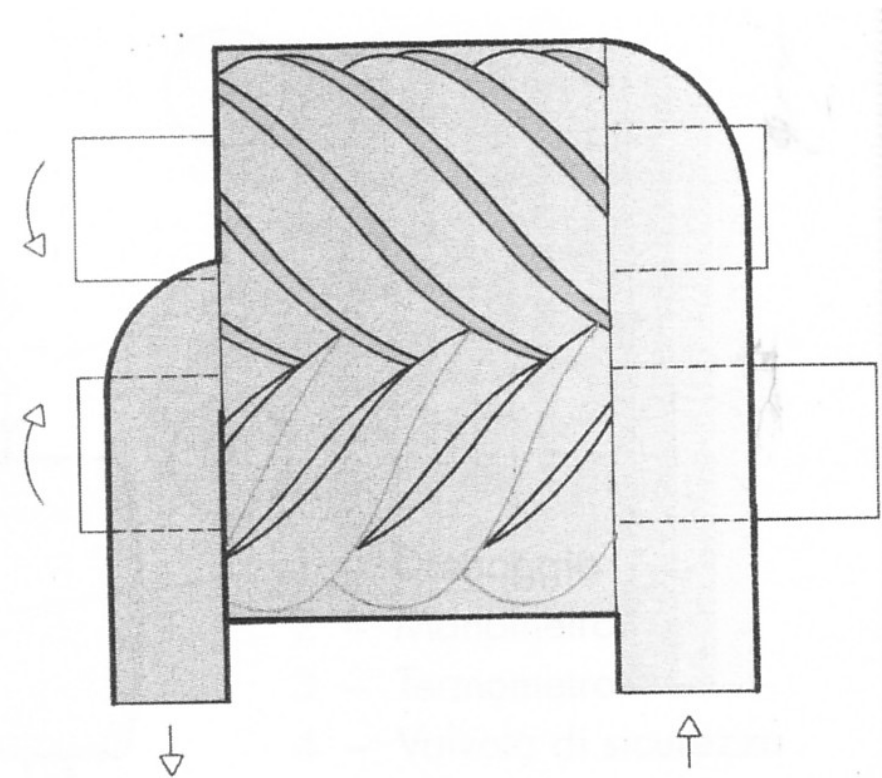


# Compressori a vite elicoidale

---

Sono costituiti da due viti elicoidali che ingranano tra di loro mantenendo il contatto con la carcassa che li contiene.

L'aria viene trascinata dalla zona di aspirazione a quella di mandata.

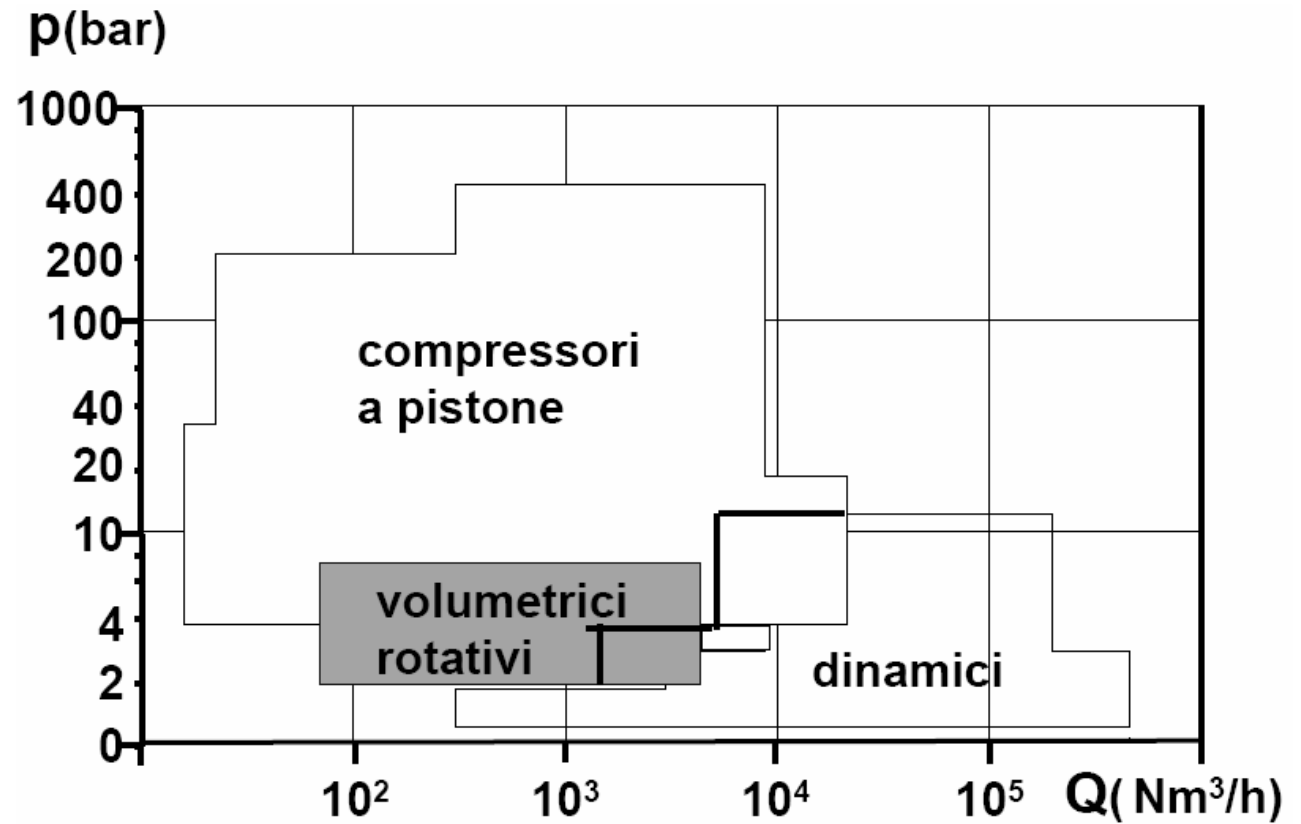




# Scelta del compressore: fattori tecnici

- Portata  
(aria aspirata)

- Pressione di mandata



- Regolazione della portata



# Regolazione della portata

---

- Alternativi
    - agendo sulla valvola di aspirazione (anticipando o ritardando la chiusura), fino alla “marcia a vuoto”
    - variando lo spazio nocivo (grandi unità)
  - Rotativi volumetrici
    - Variando la velocità
    - Strozzando aspirazione o con by-pass
  - Regolazione a gradini:
    - Doppio effetto e a due stadi
    - 5 unità (on/off +1 regolabile): variazioni del 5%
-



# Scelta del compressore: fattori economici

---

- Ammortamento dei compressori e delle opere murarie relative
    - Vanno considerati costo di acquisto ed installazione del compressore, il numero di ore di funzionamento annuo, il periodo di ammortamento previsto, il tasso di interesse sul capitale speso
  - Consumo di energia elettrica per il funzionamento dei compressori
    - Dipende dal tipo di compressore ed è funzione diretta della quantità di aria compressa prodotta
  - Acqua di raffreddamento
    - Dipende dal tipo di compressore usato, dalle pressioni finali dell'aria, dal sistema di raffreddamento e dalla temperatura dell'acqua di raffreddamento
  - Olio di lubrificazione
    - Dipende dal tipo di compressore
  - Manodopera di servizio
  - Manutenzione
    - Varia con il numero, il tipo e le caratteristiche delle macchine
-



# Consumo energetico

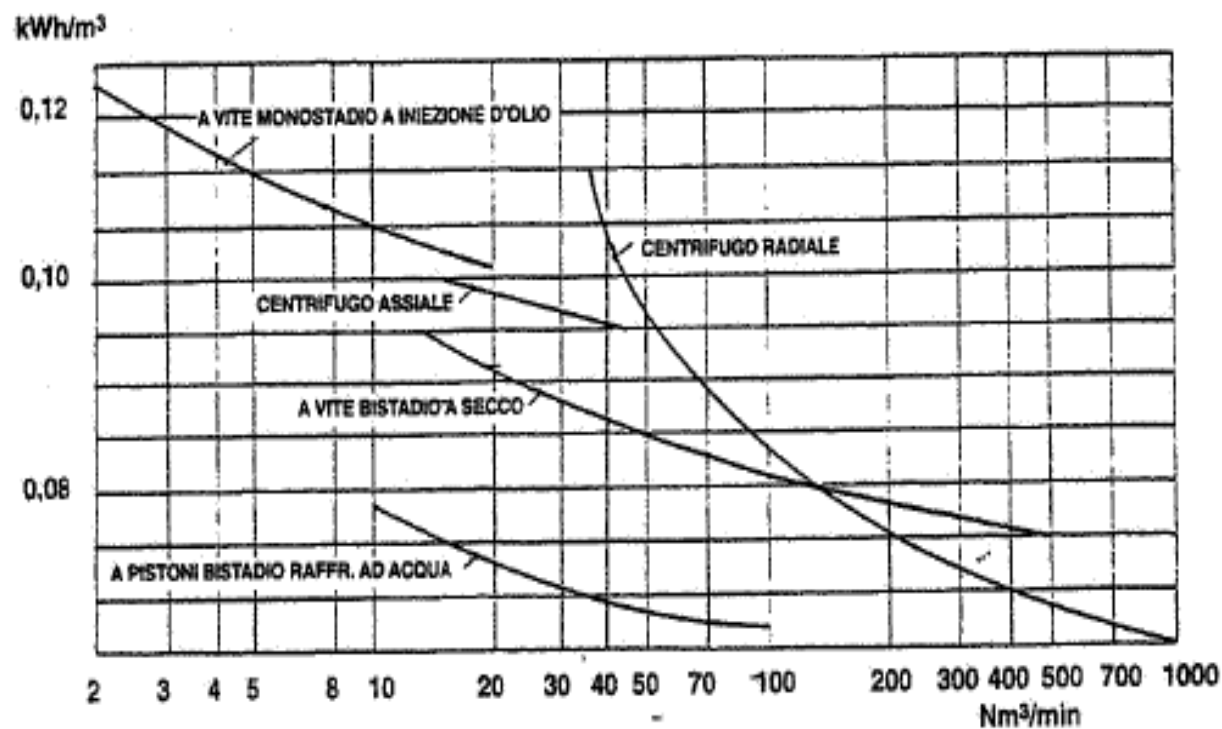


Fig. 38.23 – Andamento del consumo specifico in funzione della portata d'aria per diverse tipologie di compressori.

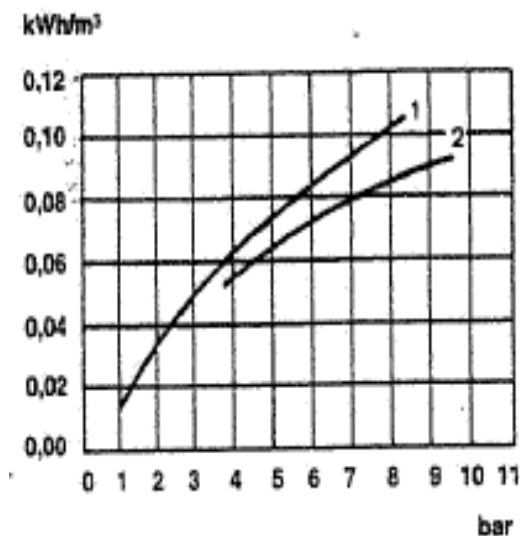


Fig. 38.24 – Confronto fra i consumi specifici di energia di un compressore monostadio (1) e di un compressore bistadio (2).



# Scambiatori di calore

---

- Sono utilizzati per raffreddare l'aria che, a causa della compressione, in uscita dal compressore è divenuta calda.
  - Possono essere di diverso tipo, dai semplici tubi alettati, ai radiatori simili a quelli delle macchine. Nei casi più complessi si potranno utilizzare scambiatori di calore in cui il fluido refrigerante non è aria ma acqua.
-



# Separatori di condensa

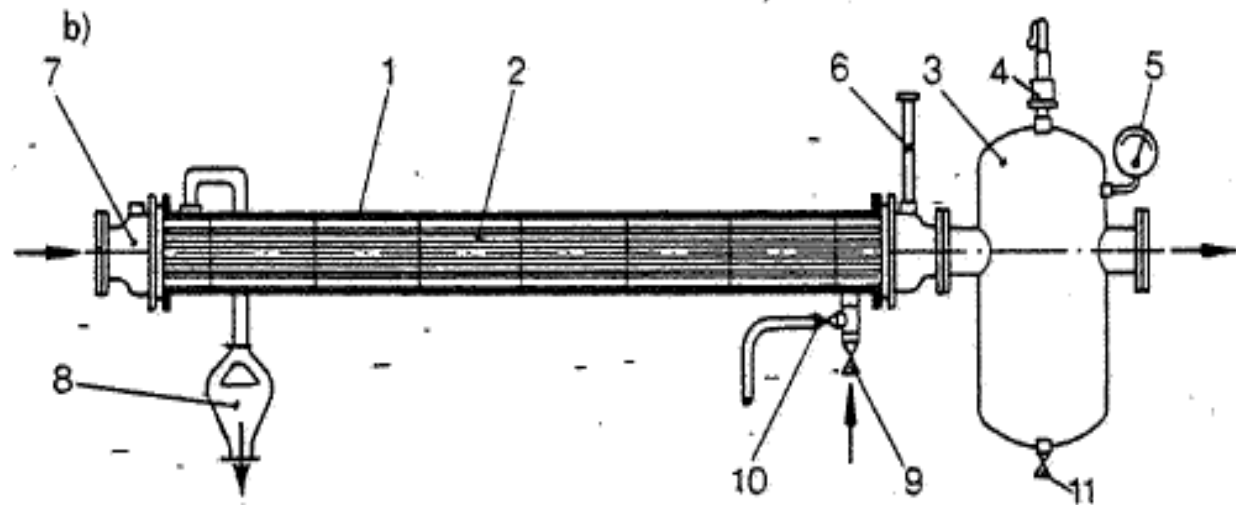
---

- Hanno lo scopo di eliminare l'acqua di condensa che si produce raffreddando l'aria. Nell'aria è infatti sempre presente del vapor d'acqua che, a causa del raffreddamento, condensa trasformandosi in liquido.
  - Possono essere manuali o automatici in funzione del modo in cui si esegue lo scarico.
-



# Refrigeratore e separatore di condensa

- E' generalmente accoppiato ai compressori per evitare effetti negativi dovuti a:
  - Aria calda in uscita che favorisce il trascinamento di lubrificante con possibile creazione di miscele esplosive e la formazione di condensa
  - Condensa (corrosione tubazioni ed apparecchiature, vari inconvenienti nei processi produttivi serviti)
- Il raffreddamento dell'aria è ottenuto immettendo la stessa in un fascio di tubi lambiti esternamente da acqua alla minima temperatura possibile
- L'acqua di condensa si raccoglie in un apposito separatore e viene scaricata in fognatura



1. Corpo del refrigeratore – 2. Fascio tubiero – 3. Separatore di condensa – 4. Valvola di sicurezza – 5. Manometro – 6. Termometro – 7. Entrata aria – 8. Uscita acqua di raffreddamento – 9. Entrata acqua di raffreddamento – 10. Rubinetto di scarico dell'acqua di raffreddamento – 11. Rubinetto di spurgo della condensa.



# Valvole unidirezionali e valvole di non ritorno

---

- Componenti che si fanno attraversare dall'aria solo in una direzione.
  - La differenza fra le due valvole consiste nel fatto che nelle valvole di non ritorno per avere il passaggio dell'aria bisogna vincere la resistenza di una molla.
  - Esistono anche delle valvole di non ritorno pilotate in cui la presenza di un segnale di pressione consente alla valvola di essere attraversata nelle due direzioni.
-



# Valvole di intercettazione

---

- Valvole a sfera utilizzate per isolare un ramo senza dover scaricare l'intera rete.



# Serbatoio

---

- Ha il compito di fornire l'aria compressa necessaria al funzionamento dell'impianto pneumatico, evitando le pulsazioni che potrebbero derivare da un collegamento diretto con il compressore.
  - Il serbatoio consente inoltre al compressore di funzionare solo quando la pressione all'interno del serbatoio scende al di sotto del valore prestabilito.
  - I serbatoi sono muniti di termometro, manometro, valvola di sicurezza (limitatrice di pressione), separatore di condensa, valvole di intercettazione e pressostato.
-



# Pressostato

---

- Trasduttore che ha il compito di attaccare e staccare il motore del compressore.
- Esso è collegato con il serbatoio e interviene quando l'aria raggiunge il valore minimo o massimo di pressione prestabilito attaccando o staccando il motore che aziona il compressore



# Essiccatore

---

- E' impiegato per eliminare il vapor d'acqua dall'aria.
-



# Reti di distribuzione dell'aria compressa

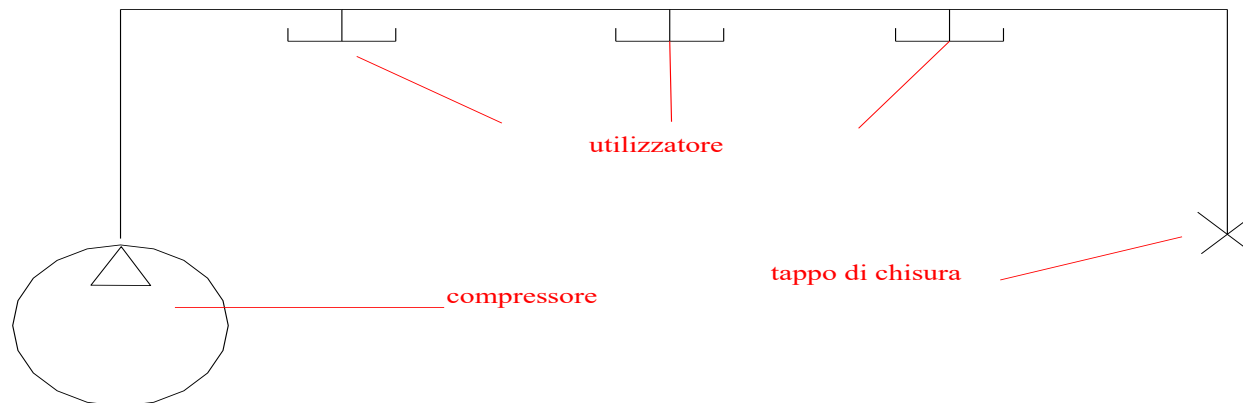
---

- Le reti di distribuzione dell'aria compressa sono costituite da tubi collegati in modi diversi (in linea, a maglia o a pettine) aventi inclinazione orizzontale di circa  $2 \div 3$  % nella direzione del movimento dell'aria compressa, per consentire alla condensa di raccogliersi nei separatori di condensa.
  - Dalla rete di distribuzione l'aria deve essere prelevata con dei tubi di discesa che generalmente terminano con dei separatori di condensa.
-



# In linea

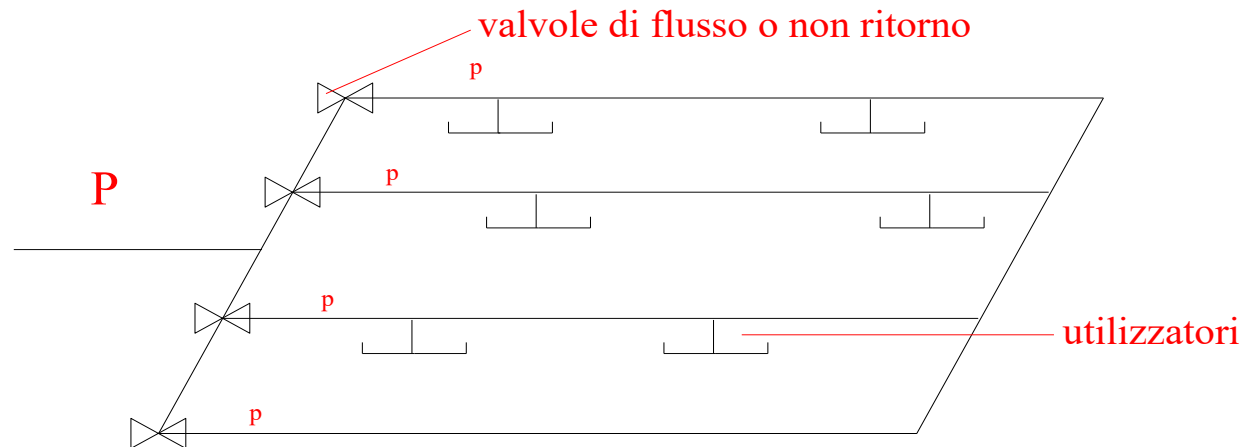
- Gli utilizzatori sono collegati uno dopo l'altro utilizzando la stessa condotta, quindi se si chiude la rete tutti gli utilizzatori non possono funzionare. Pertanto se tutti gli innesti sono chiusi la pressione è uguale in tutti i punti della tubazione, se si aprono gli innesti la pressione diminuisce via via a causa delle perdite di carico.
- **Pro:** impianto poco costoso, molto utilizzato nelle piccole officine.
- **Contro:** l'utilizzatore a monte usufruisce di una pressione maggiore a quella dell'utilizzatore a valle. Se si presenta un problema bisogna bloccare tutto l'impianto.





# A maglia

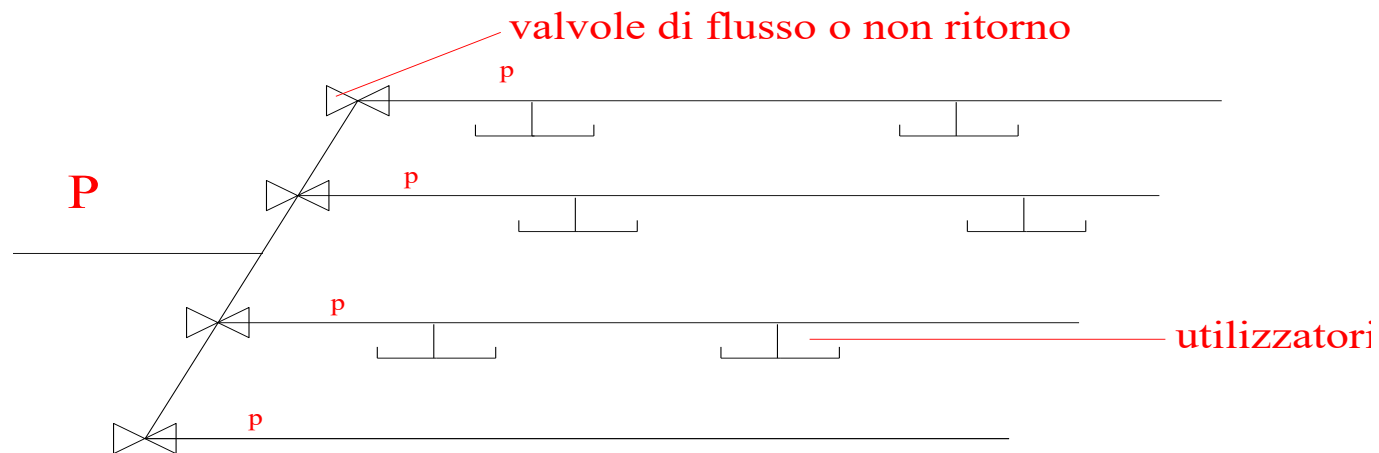
- Gli utilizzatori sono disposti su condotte parallele tra di loro e la pressione varia in ogni condotta secondo i valori prestabiliti.
- **Pro:** in presenza di guasti in una condotta basta solo isolare questa dando la possibilità alle altre condotte di funzionare regolarmente. La maglia essendo chiusa permette il riciclo dell'aria di scarto.
- **Contro:** impianto abbastanza costoso, utilizzato nelle grandi officine.





# A pettine

- Rete di distribuzione quasi identica a quella a maglia ma non essendo chiusa non permette il riciclo dell'aria.





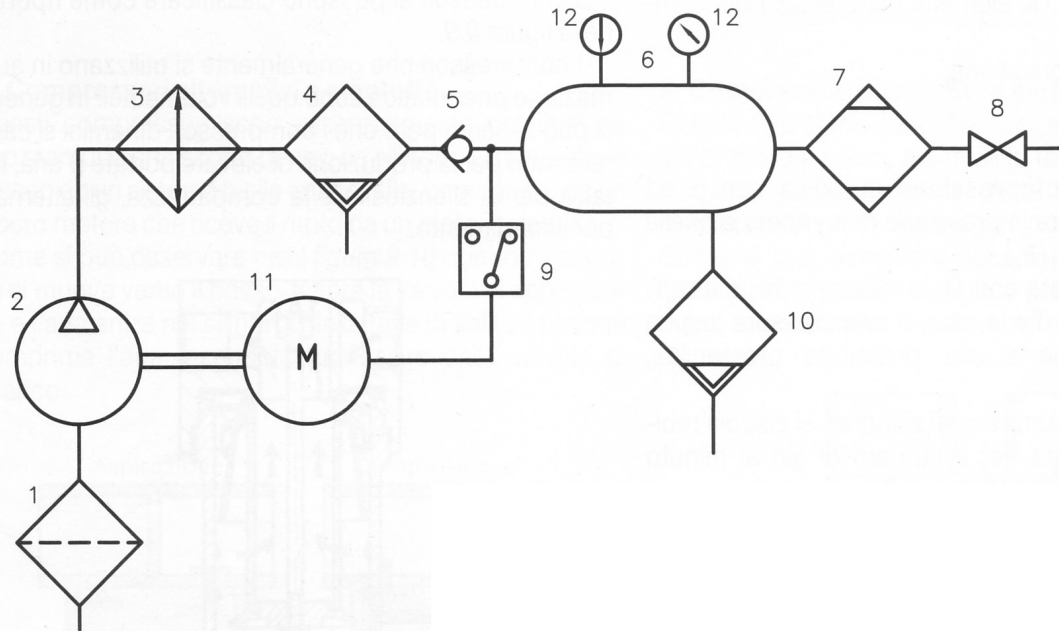
# Impianto di produzione dell'aria compressa

Un impianto per la produzione di aria compressa è generalmente costituito da:

- un sistema necessario alla filtrazione dell'aria (1);
- uno o più compressori (2) per portare l'aria alla pressione prefissata, con relativo motore (11);
- scambiatori di calore che raffreddano l'aria in uscita dal compressore (3);
- separatori di condensa che consentono di eliminare l'acqua che si è separata dall'aria (4) e (10);
- valvole che non consentano all'aria compressa di tornare indietro (5);
- valvole di intercettazione per bloccare i circuiti (8);

- un serbatoio per accumulare l'aria compressa prodotta (6);
- un pressostato che determina la pressione minima e massima che l'aria deve raggiungere all'interno del serbatoio (9);
- essiccatori per ridurre l'umidità presente nell'aria (7);
- manometri e termometri per misurare la pressione e la temperatura dell'aria (12).

Nella figura 9.7 è rappresentato un gruppo di produzione di aria compressa. Come si può osservare esso è dotato di quasi tutti gli elementi sopra descritti.





# Utilizzo industriale dell'aria compressa

---

- Trasmissione di potenza
  - Azionamento di utensili pneumatici
  - Meccanizzazione (magli, presse) e regolazione o automazione (cilindri pneumatici)
  - Trasporto di sostanze polverulente (trasporto pneumatico)
  - Agente meccanico (verniciatura, sabbiatura, pulizia dei posti di lavoro)
  - Travaso di liquidi corrosivi, abrasivi o con impurità (montaliquidi)
  - Rimescolamento di liquidi (al posto di agitatori meccanici)
-



# Cenni al dimensionamento della centrale

---

- per la potenzialità dei compressori (centralizzati) si calcola il fabbisogno medio, ottenuto come somma delle richieste delle utenze (consumi a pieno carico) moltiplicate per il relativo **grado di utilizzazione** o per un **coefficiente di contemporaneità**
  - se sono necessarie più pressioni si tende a **tenere separate le linee** (AP e BP), servite da relative unità
  - anche in caso di unica linea si tende a installare più unità autonome (aspirazione, refrigeratore finale, serbatoio)
  - il serbatoio viene dimensionato con formule empiriche (in funzione della portata del compressore o del tempo di erogazione in emergenza)
-



# Cenni al dimensionamento della rete

---

- si fissa la posizione della centrale in base a considerazioni tecnico-pratiche
    - baricentrica rispetto alle utenze, ai servomezzi degli ausiliari, in zona non polverosa e fresca, che non crei problemi per rumore e vibrazioni, ecc..
  - si sceglie il tipo di rete e si disegna il layout
  - si dimensiona prima il ramo principale, quindi le derivazioni per portate  $q_{i\max}$  con l'equilibrio ai nodi (rispettando valori di velocità consigliati e  $\Delta_{p\max}$ )
-



# Esempio di dimensionamento della centrale

---

## Il contesto

Si consideri ad esempio un'officina per l'assemblaggio industriale di parti meccaniche, con varie macchine che presentano diverse richieste di aria compressa, come da specifiche di targa date dal costruttore:

<b>Tipologia utensile</b>	<b>Quantità in impianto</b>	<b>Pressione di esercizio</b>	<b>Richiesta aria compressa</b>
Pistole soffiatrici	10	6 atm	285 l/min cad.
Smerigliatrici	2	6 atm	800 l/min cad.
Avvitatori	5	6 atm	250 l/min cad.
Trapani	4	6 atm	300 l/min cad.

Preliminarmente sarà opportuno calcolare la portata di aria compressa necessaria per alimentare gli utensili, considerando però il fatto che probabilmente non tutti questi strumenti saranno attivi contemporaneamente.

---



# Calcolo del fabbisogno medio

---

Si stimi quindi un *coefficiente di utilizzo* che tenga conto del fattore di contemporaneità, per ottenere un fabbisogno medio:

Utensile	Quantità	Portata max	Coeff. uso	Portata media
Soffiatrici	10	2,85 mc/min	0,2	0,57 mc/min
Smerigliatrici	2	1,6 mc/min	1	1,6 mc/min
Cacciaviti	5	1,25 mc/min	0,4	0,5 mc/min
Trapani	4	1,2 mc/min	0,5	0,6 mc/min
		<b>6,9 mc/min</b>		<b>3,27 mc/min</b>

Si consideri che in ogni impianto solitamente si registrano fughe d'aria dell'ordine del 5-10%, quindi la portata media può essere stimata in 3,6 mc/min. Inoltre, per tenere conto delle future eventuali installazioni di nuove apparecchiature, si sovrastima il fabbisogno di un ulteriore 20%, giungendo così al valore indicativo di **4,3 mc/min**, utile per la scelta del compressore.

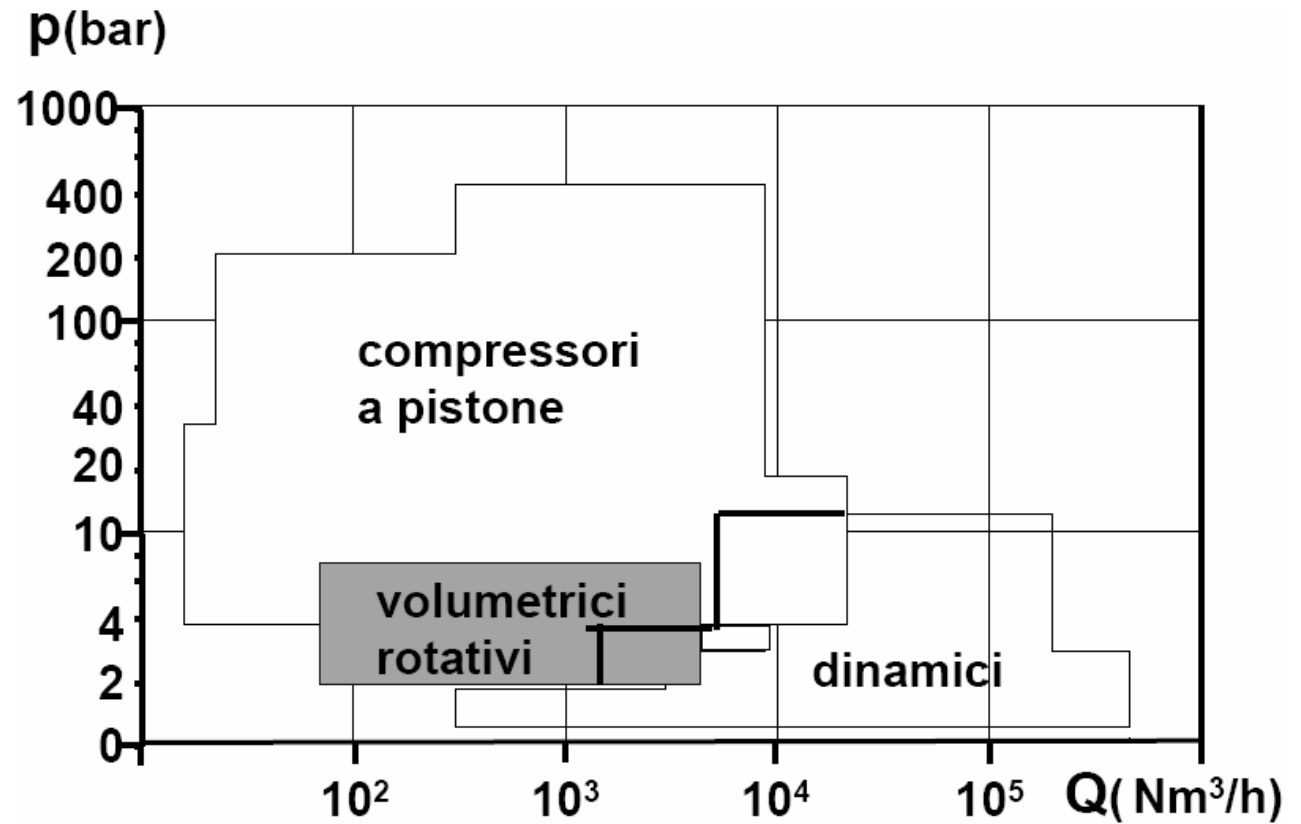
---



# Scelta del compressore: fattori tecnici

- Portata  
(aria aspirata)

- Pressione di mandata



- Regolazione della portata



# Scelta del compressore

---

La portata e la pressione d'esercizio potrebbero portare a scegliere un compressore volumetrico alternativo, raffreddato ad acqua. Uno dei principali vantaggi del compressore a stantuffo è che il suo funzionamento può essere facilmente adeguato alla richiesta di aria compressa. Infatti può funzionare a pieno carico o a carichi parziali (ovviamente diminuisce il rendimento, però i compressori a stantuffo assorbono a vuoto una percentuale di energia a pieno carico inferiore rispetto agli altri compressori).

La pressione d'esercizio (6 atm) suggerirebbe la convenienza di adottare un solo stadio di compressione; infatti per le portate e la pressione in gioco, non si pensa di ottenere un vantaggio economico – dovuto al miglioramento del rendimento nel caso del compressore a due stadi – sufficiente a compensare il maggiore investimento iniziale.

Altri parametri di scelta sono l'affidabilità, l'ingombro, le caratteristiche dei basamenti, la presenza di olio nell'aria compressa (qualità dell'aria richiesta dall'utenza), la flessibilità di esercizio, ecc.

---



# Dimensionamento della rete: calcolo dei diametri

I diametri dei tubi devono essere calcolati considerando un vincolo di velocità massima e le perdite di carico tra il compressore e l'estremo della rete (che devono essere inferiori ai 0.2-0.5 kg/cm<sup>2</sup>).

**Non c'è vincolo sulla velocità minima** (solitamente  $V$  media  $\cong$  8 m/s e  $V$  max  $\cong$  10-12 m/s)

Se  $Q$  è la portata riferita alla pressione atmosferica ( $p_a$ ), quella entro la condotta  $Q_c$  varia in rapporto alla pressione di esercizio,  $p_e$ , e al rapporto tra temperatura all'uscita del compressore,  $T_c$ , e temperatura dell'aria,  $T_a$ , entrambi misurate in gradi K. Quindi:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_c}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q \cdot p_a \cdot T_c}{\pi \cdot p_e \cdot v \cdot T_a}}$$

È possibile calcolare la portata all'interno della condotta, a partire dalla portata alla pressione atmosferica, anche facendo riferimento al volume specifico  $v_s$  che è pari a:

$$v_s = \frac{R \cdot T_c}{p_e}$$

dove,  $R$  è la cost relativa all'aria, considerato come un gas perfetto, ed è pari a  $R=287,14$  j/kg<sup>o</sup> K;  $T_c$  è la temperatura dell'aria all'uscita dal compressore e  $p_e$  è la pressione di esercizio.

Calcolato  $v_s$  e noto che la portata in massa è pari al prodotto tra portata volumetrica e densità dell'aria ( $g_a=1,2$  kg/m<sup>3</sup>), quindi  $G=Q \cdot g_a$ , si può calcolare la portata volumetrica all'interno della condotta come prodotto tra la portata in massa e il volume specifico.

Quindi  $Q_c=G \cdot v_s$ .

---



# Dimensionamento della rete: calcolo dei diametri

---

Esempio: Temperatura all'uscita del compressore:  $T_C = 30^\circ \text{ C}$

$T_a = 15^\circ \text{ C}$

$v = 10 \text{ m/s}$

$p_e = 7 \text{ atm}$

$Q = 350 \text{ m}^3/\text{h}$

$Q_c = 0,014 \text{ m}^3/\text{s}$

$d = 0,04 \text{ m}$

---



# Dimensionamento della rete: calcolo dei diametri

I diametri dei tubi devono essere calcolati considerando un vincolo di velocità massima e le perdite di carico tra il compressore e l'estremo della rete (che devono essere inferiori ai 0.2-0.5 kg/cm<sup>2</sup>).

Si considera la formula empirica:

$$\Delta P = 1,6 \cdot 10^8 \cdot \frac{Q^{1,85} \cdot L}{d^5 \cdot p_0}$$

Dove:

$\Delta P$  = perdita di carico in bar

$Q$  = portata d'aria in mc/sec

$d$  = diametro **interno** delle tubazioni (mm)

$p_0$  = pressione iniziale assoluta dell'aria compressa in kg/cm<sup>2</sup>

$L$  = lunghezza (m): Le lunghezze considerate sono in realtà lunghezze equivalenti per comprendere resistenze dovute a variazioni di sezione e di direzione, valvole, diramazioni, raccordi.