

# L'aria compressa per gli automatismi

## 1 - Generalità

L'aria compressa viene sempre più impiegata per le sue particolari caratteristiche che di seguito vengono elencate.

I circuiti di aria compressa non hanno bisogno di tubazioni di ritorno e possono raggiungere anche distanze notevoli. L'aria compressa, poi, può essere immagazzinata in serbatoi di opportune dimensioni che permettono di alimentare le utenze per un cospicuo intervallo di tempo anche quando il compressore è fermo. Inoltre l'aria compressa permette di alimentare gli utilizzatori senza alcun rischio di esplosioni o di incendio.

L'aria compressa trova utilizzazione non solo per l'azionamento di motori pneumatici ma anche per l'alimentazione di apparecchiature per il telecontrollo, il telecomando e la regolazione automatica di processi. Infine l'aria compressa viene sempre più impiegata per l'alimentazione di circuiti logici.

Un impianto di aria compressa risulta costituito da sezioni secondo lo schema a blocchi riportato in fig. 1.1:

**Produzione:** l'aria compressa viene prodotta con compressori le cui caratteristiche di funzionamento dipendono dalla pressione e dalla portata richiesta dall'impianto. Una volta prodotta, l'aria compressa viene immagazzinata in serbatoi di opportune dimensioni.

**Trattamenti:** l'aria compressa dopo essere stata prodotta deve essere depurata, cioè deve essere privata delle particelle solide, dell'olio e della umidità per evitare che vadano in rovina gli elementi utilizzatori.

**Rete di distribuzione:** l'aria compressa attraverso un sistema di condutture principali e secondarie raggiunge le utenze.

**Valvole:** l'aria compressa, mediante valvole opportunamente sistemate e di caratteristiche particolari, viene distri-

buita alle varie utenze. I distributori possono essere ad azionamento manuale, pneumatico, elettrico ed elettropneumatico.

**Utilizzazioni:** l'aria compressa raggiunge le utenze che possono essere le più svariate, realizzando movimenti (alternativi, rotativi e semirrotativi), regolazione e controlli di processi. Quando l'aria compressa raggiunge gli organi finali attraverso circuito logici viene realizzata l'automazione dell'impianto.

La pressione viene misurata:  
- nel sistema *S I* in bar e si ricorda che:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 100 \text{ K Pa} = 10^2 \text{ K Pa}$$

e che:

$$1 \text{ Pa} = \frac{1 \text{ N}}{\text{m}^2}$$

- nel sistema *tecnico* in  $\text{Kg/cm}^2$ , in mm  $\text{H}_2\text{O}$ , in mm Hg e si ricorda che:

$$1 \text{ Kg/cm}^2 = 0,981 \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} = 1,02 \text{ Kg/cm}^2$$

- Nel sistema *anglosassone* in *psi* e si ricorda che:

$$1 \text{ psi} = 0,07 \text{ Kg/cm}^2 = 0,07 \text{ bar}$$

$$1 \text{ Kg/cm}^2 = 14,22 \text{ psi}$$

## 2 - Produzione

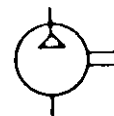
### a) Generalità

L'aria compressa per i normali usi viene prodotta alla pressione di 8 + 10 bar mediante compressori le cui caratteristiche dipendono dalla portata d'aria compressa e dalla pressione di esercizio.

In relazione alle caratteristiche di funzionamento i compressori si dividono in due tipi fondamentali: volumetrici e dinamici. In fig. 2.1 ne viene riportata la rappresentazione simbolica.

### b) Compressori volumetrici

I compressori volumetrici effettuano la compressione riducendo il volume



**Compressore**

Fig. 2.1

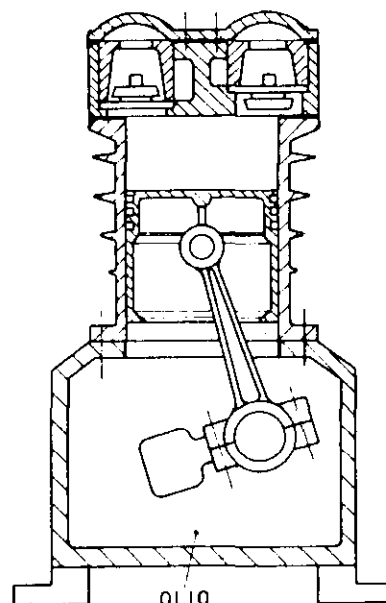
d'aria aspirata in relazione alla pressione da raggiungere. Questo tipo di compressori possono essere alternativi o rotativi a seconda del moto posseduto dagli organi che costituiscono il compressore.

I compressori volumetrici possono essere:

- compressori a pistone alternativo;
- compressori a membrana;
- compressori a palette;
- compressori a vite;
- compressori a lobi.

- *Compressore a pistone alternativo* (figg. 2.2 - 2.3)

Questo tipo di compressore è quello



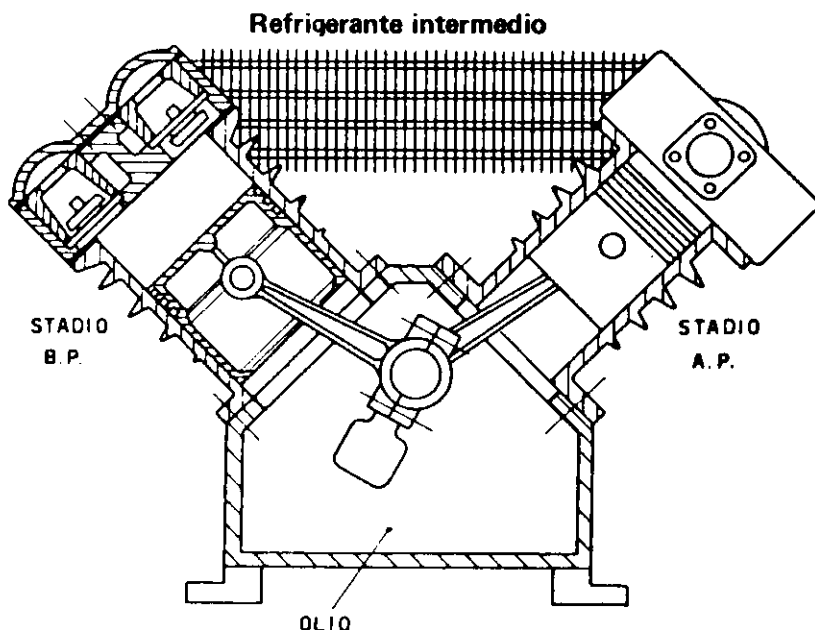
**COMPRESSORE ALTERNATIVO MONOSTADIO**

Fig. 2.2



**SCHEMA A BLOCCHI DELLE SEZIONI DI UN IMPIANTO DI ARIA COMPRESSA**

Fig. 1.1



**COMPRESSORE ALTERNATIVO BISTADIO**

Fig. 2.3

maggiormente diffuso. Esso può essere costruito per bassa, media ed alta pressione. In relazione alla pressione di esercizio e alla portata, i compressori alternativi sono a uno, a due e a tre stadi con refrigerazioni intermedia.

I compressori monostadio dispongono di un solo stadio di compressione. Il compressore è costituito da un cilindro sulla cui testata sono inserite le valvole automatiche di aspirazione e di mandata, di un pistone azionato da un comune manovellismo. La testata ed il cilindro, quando il raffreddamento non è ad acqua, sono alettate per favorire il raffreddamento. Questo tipo di compressore fornisce aria compressa con pressione pulsante. Quando la portata aumenta e così pure la pressione il compressore diventa bistadio. Con tale soluzione il lavoro di compressione decresce notevolmente e ciò permette di installare potenze per l'azionamento dello stesso compressore minori. In tal caso il compressore è costituito da due compressori uno di bassa pressione e l'altro di alta pressione azionati dallo stesso motore. La mandata di quello di bassa diventa aspirazione di quelli di alta con una refrigerazione intermedia fatta con aria o con acqua.

Se vengono poi richieste pressioni superiori ai 20 bar vengono talvolta utilizzati compressori a tre stadi con due refrigerazioni intermedie.

- *Compressori a membrana* (fig. 2.4)

Questo tipo di compressore consiste in un compressore a pistone che aziona una membrana che funge da pistone evi-

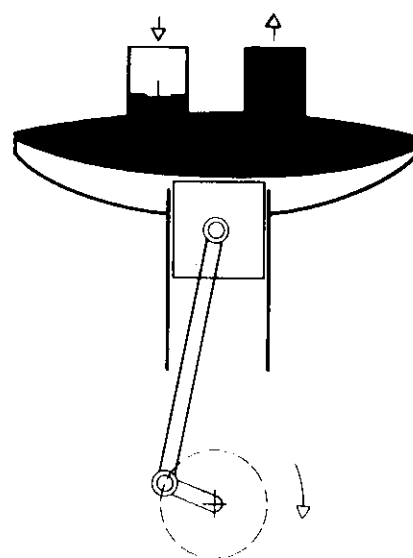
tando qualsiasi contatto dell'aria con le parti lubrificate del manovellismo. Appare evidente che l'aria compressa risulta completamente priva anche di tracce di olio.

- *Compressore a palette* (figg. 2.5 - 2.6 - 2.7)

Il compressore a palette è costituito da un pistone rotante. L'aria viene compressa per la continua riduzione di volume di una camera ermeticamente chiusa. Il rotore cilindrico gira attorno ad un asse eccentrico di un cilindro.

All'aspirazione le palette, in contatto con la superficie interna del cilindro per l'azione della forza centrifuga, scorrono nelle loro feritoie sino al punto di massima eccentricità nella parte alta del cilindro.

L'aria racchiusa nello spazio tra due palette consecutive, viene progressivamente compressa, grazie alla riduzione uniforme del suo volume, nel corso del-



**Compressore a membrana**

Fig. 2.4

la rotazione sino all'uscita del cilindro.

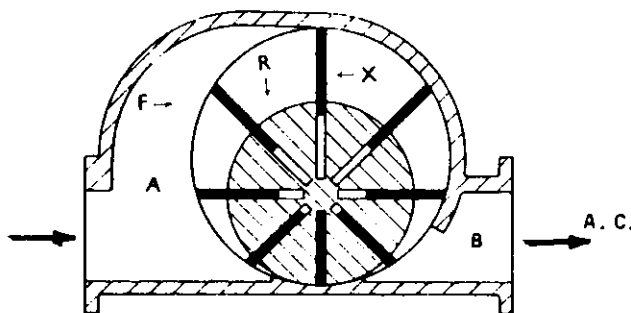
L'efficace filtrazione dell'aria all'aspirazione ed alla mandata assicura una perfetta qualità dell'aria compressa erogata.

Il raffreddamento è effettuato con l'iniezione diretta di olio nella camera di compressione. L'olio viene continuamente raffreddato in un radiatore a forte circolazione d'aria e recuperato in un disoleatore garantendo così una presenza d'olio nell'aria compressa inferiore a 6 p.p.m. La produzione di aria compressa avviene in modo continuo e senza pulsazioni.

- *Compressore a vite* (figg. 2.8 - 2.9)

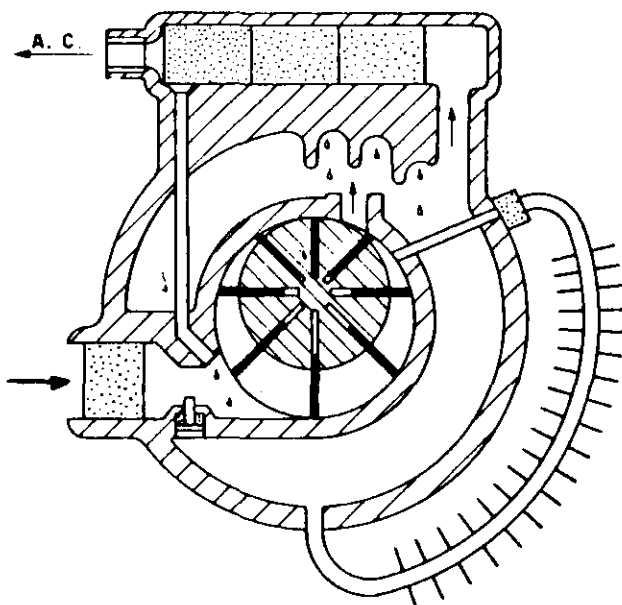
Due rotori elicoidali, ad assi paralleli, ruotando in un involucro a perfetta tenuta, realizzano una compressione continua spostando assialmente l'aria aspirata.

Il rotore maschio trascina il rotore femmina per contatto delle superfici eli-



**PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO PER UN COMPRESSORE ROTATIVO A PALETTE**

Fig. 2.5

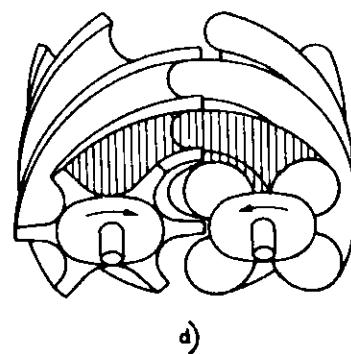
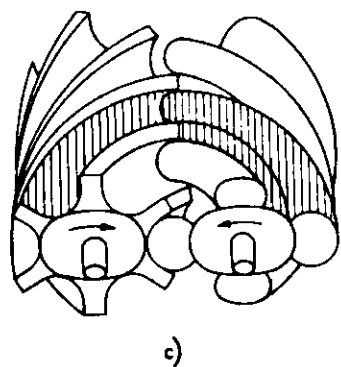
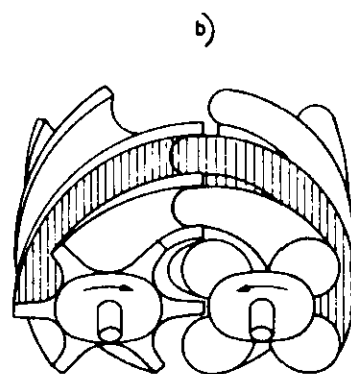
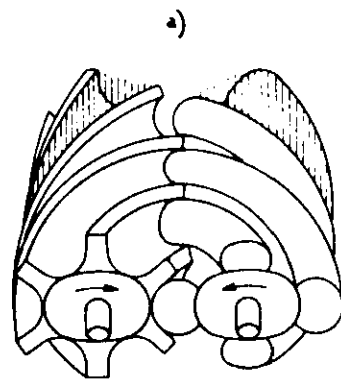


### COMPRESSORE ROTATIVO A PALETTE CON CIRCUITO DI LUBRIFICAZIONE

Fig. 2.6

coidali, senza alcun ingranaggio di trasmissione; il contatto è realizzato per mezzo di un velo d'olio. Il profilo dei rotori permette di ottenere rendimenti altissimi. L'albero motore è accoppiato direttamente al rotore maschio e ciò

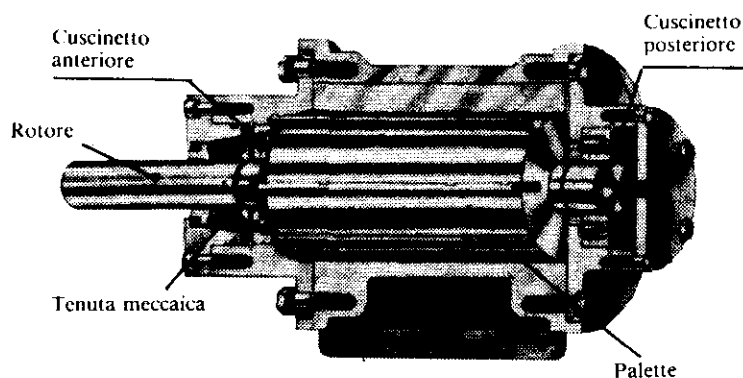
consente di non perdere alcuna energia. L'olio lubrificante viene iniettato in modo continuo e polverizzato assicurando così il raffreddamento, la tenuta e la lubrificazione. Un disoleatore posto sulla mandata del compressore assicura una



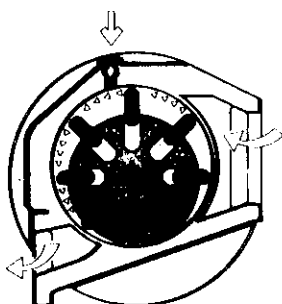
### Schema di funzionamento del compressore rotativo a vite

Fig. 2.8

### Spaccato del compressore



### Principio di compressione



Il motore gira attorno ad un asse eccentrico. All'aspirazione le palette, in contatto con la superficie interna del cilindro per l'azione della forza centrifuga, scorrono nelle loro feritorie sino al punto di massima eccentricità nella parte alta del cilindro. L'aria, racchiusa nello spazio tra due palette consecutive, viene progressivamente compressa, grazie alla riduzione uniforme del suo volume, nel corso della rotazione sino all'uscita dal cilindro.

Fig. 2.7

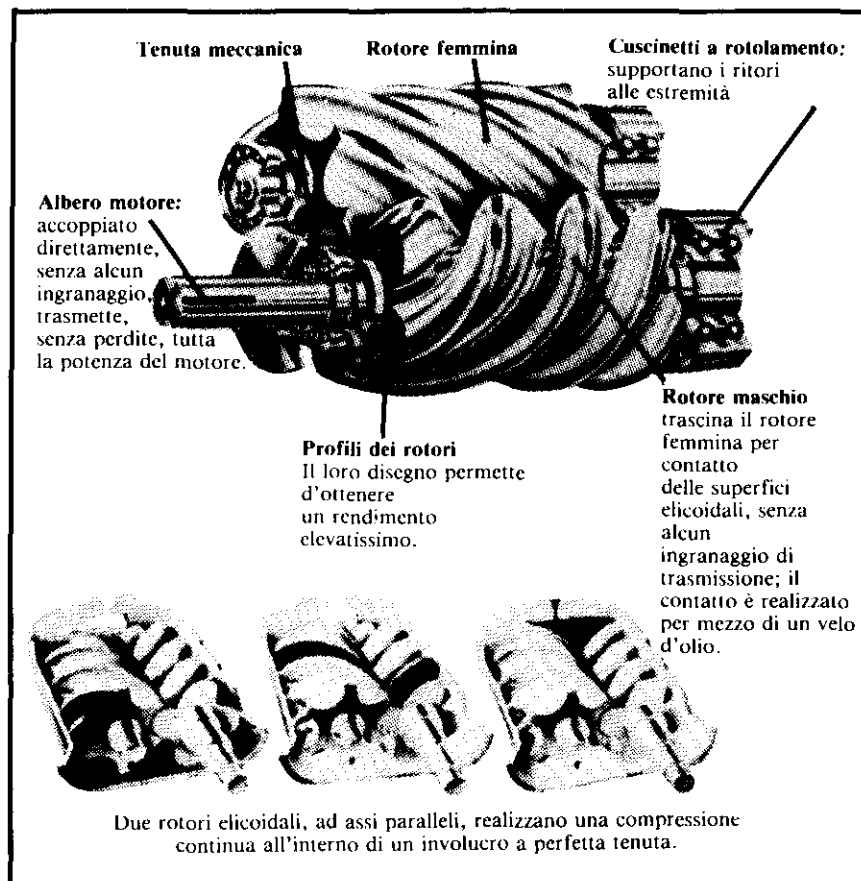


Fig. 2.9

quantità d'olio nell'aria compressa inferiore a 5 p.p.m.

**- Compressori a lobi (fig. 2.10)**

I compressori a lobi sono costituiti da due rotori a lobi che ruotano entro un cilindro. L'aria viene aspirata e spinta verso la mandata durante la rotazione dei due lobi.

**c) - Compressori dinamici (figg. 2.11 - 2.12)**

I compressori dinamici effettuano la compressione per effetto, prima, dell'accelerazione delle masse d'aria aspirate e, poi, del loro rallentamento. Quindi mentre dapprima l'aria acquista una notevole energia cinetica poi questa energia viene ritrasformata in energia potenziale.

I compressori dinamici sono tutti rotativi e possono essere di tipo assiale e di tipo radiale. Essi vengono particolarmente impiegati per medie pressioni e per elevatissime portate.

Non trovano particolare impiego nel campo dell'aria compressa per le utilizzazioni convenzionali (confronta paragrafo 6 di questo capitolo).

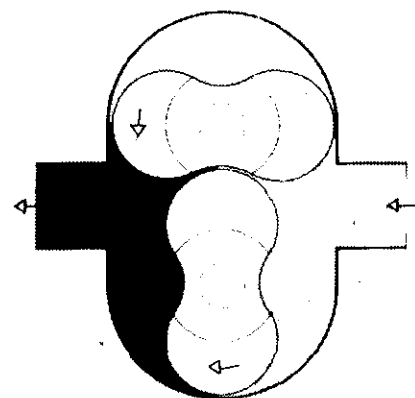
**d) Il polmone**

Il polmone negli impianti d'aria compressa ovvero il serbatoio d'aria compressa ha un duplice scopo: quello di smorzare le oscillazioni di pressione che derivano dai compressori alternativi e quello di costituire una riserva d'aria per sopperire alle richieste, istantaneamente, talvolta elevate delle varie utenze.

Inoltre esso è anche capace di garantire, in uscita da esso, un valore della pressione di esercizio costante qualora la pressione di lavoro è di gran lunga inferiore a quella minima nel polmone. La pressione dell'aria nel polmone oscilla fra un valore massimo  $P_{max}$  e un valore minimo  $P_{min}$ .

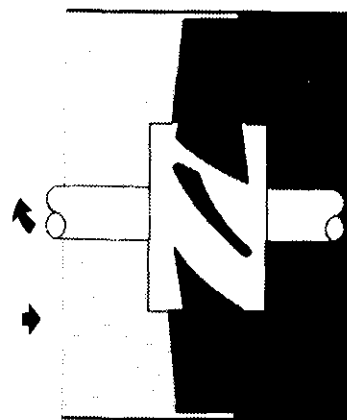
Il polmone va sistemato in uscita dal compressore subito prima delle sezioni di deumidificazione. Il volume del polmone si misura in litri, se è piccolo, altrimenti in  $m^3$  e parte da poche decine di litri fino ad oltre 100.000 litri ( $100 m^3$ ). Il polmone può essere montato con asse orizzontale e con asse verticale ed anche in parallelo in più elementi qualora le dimensioni di ingombro di ognuno di essi sono elevate.

La superficie del polmone poi, essen-



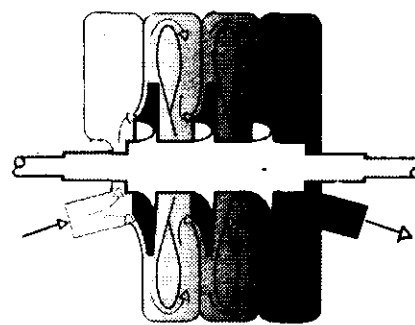
**Compressore a lobi**

Fig. 2.10



**Compressore assiale**

Fig. 2.11

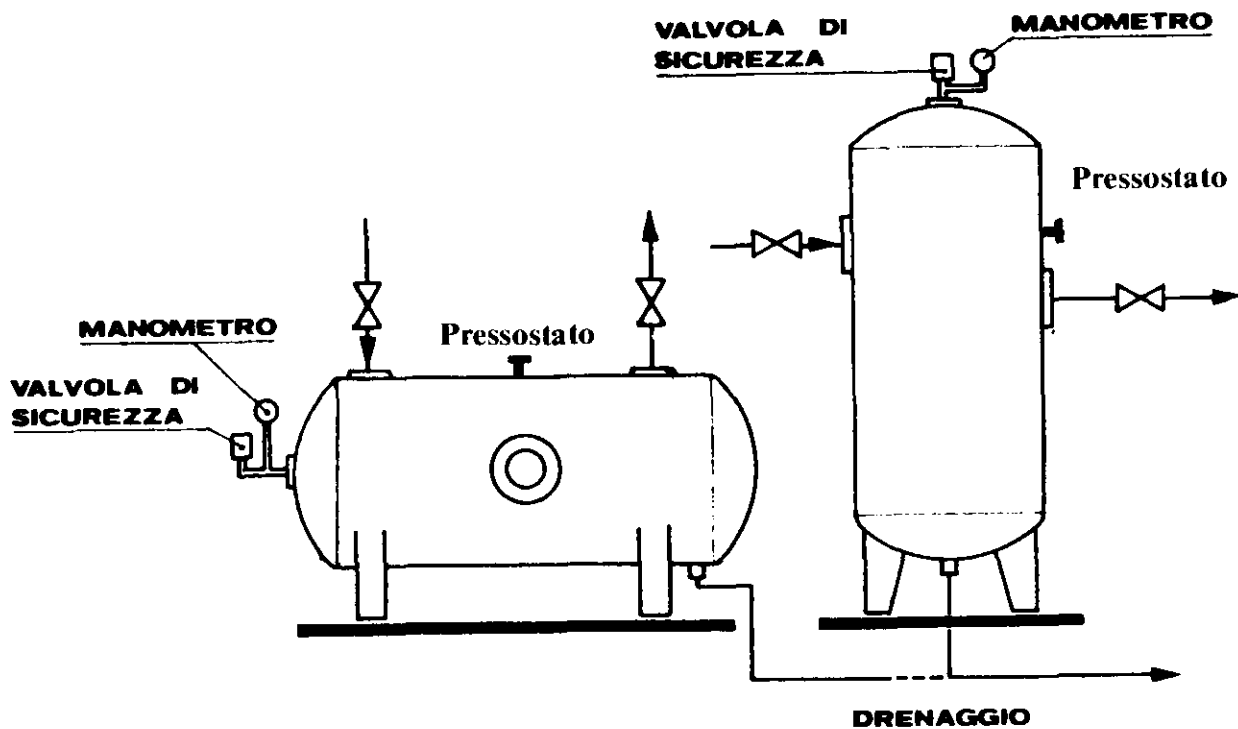


**Compressore radiale**

Fig. 2.12

do notevole, contribuisce ad un ulteriore raffreddamento dell'aria che pertanto lascerà precipitare altra umidità sotto forma di condensa. Ogni polmone deve essere provvisto di (fig. 2.13):

- scarico della condensa che si forma (talvolta viene inserito uno scaricatore automatico di condensa);



**Polmone: sistemazione orizzontale e verticale**

Fig. 2.13

- manometro indicatore della pressione;
- valvola di sicurezza per lo scarico dell'atmosfera di una eventuale sovrappressione.
- termometro;
- passo d'uomo per l'ispezione;
- pressostato per il funzionamento intermittente del compressore.

La capacità di un polmone è funzione:

- della portata del compressore;
- del consumo d'aria delle utenze;
- del volume della rete di distribuzione dell'aria compressa;
- della variazione della pressione del polmone ( $P_{max} - P_{min}$ ) corrispondente ai valori dell'intermittenza nel polmone fissati sul pressostato;
- della caduta di pressione ammessa nella rete di distribuzione.

Si riporta infine il diagramma di fig. 2.14 della Festo Didactic che permette di determinare rapidamente la capacità di un polmone conoscendo:

- la portata d'aria del compressore;
- la variazione di pressione ammissibile;
- il numero di intermittenze all'ora del compressore (frequenza di commutazione).

#### e) Comando e regolazione dei compressori

L'azionamento dei compressori può avvenire mediante motori elettrici, motori diesel, turbine a vapore o a gas, e ciò in relazione alle caratteristiche del compressore ed alla sua ubicazione.

L'accoppiamento tra compressore e

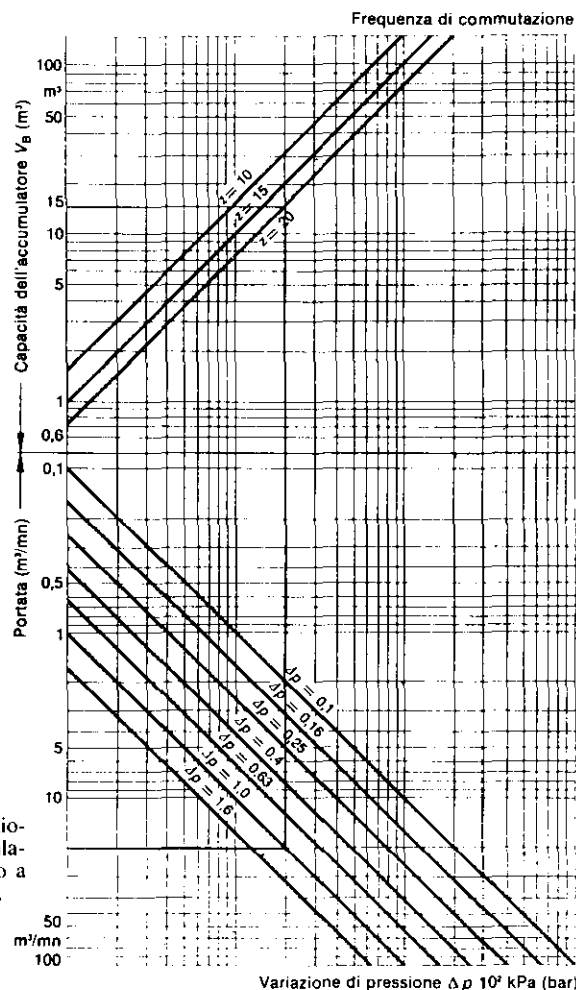
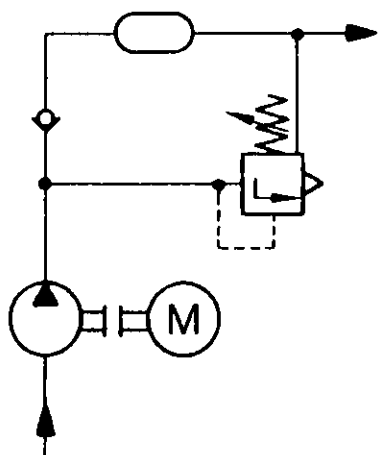


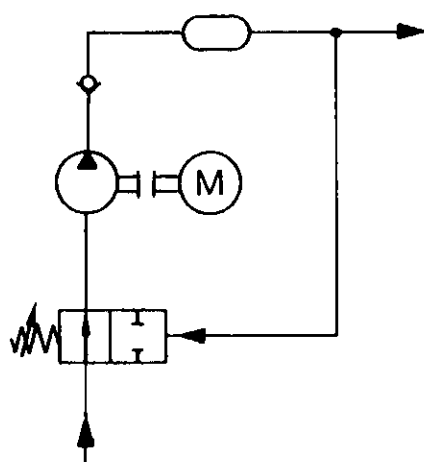
Diagramma per la determinazione della capacità di un accumulatore in caso di funzionamento a intermittenza del compressore.

Fig. 2.14



**REGOLAZIONE PER MESSA IN SCARICO**

Fig. 2.15



**REGOLAZIONE PER ISOLAMENTO DEL CIRCUITO DI ASPIRAZIONE**

Fig. 2.16

motore può essere realizzato:

- in maniera indiretta, mediante cinghie trapezoidali o ingranaggi riduttori di velocità;
- in maniera diretta, mediante giunto elastico o rigido.

La regolazione dei compressori serve ad adeguare la portata d'aria prodotta dal compressore a quella utilizzata dalle utenze. La portata d'aria viene stabilita fra due limiti di pressione regolabili: Pressione massima ( $P_{max}$ ) e pressione minima ( $P_{min}$ ).

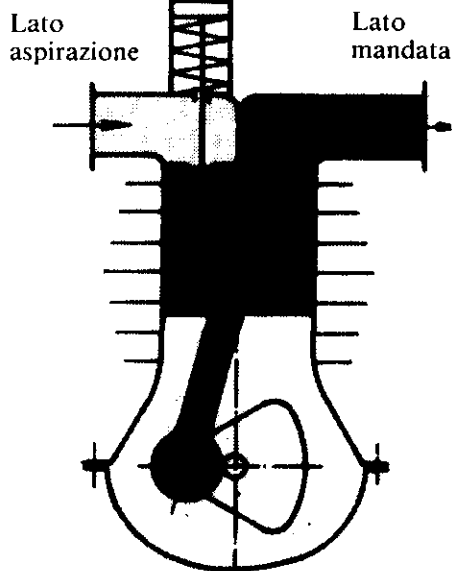
Numerosi sono i sistemi per la regolazione e di seguito ne vengono riportati quelli più in uso.

#### *Regolazione per marcia a vuoto*

Questo sistema mantiene il compressore sempre in moto e permette i seguenti tipi di regolazione:

##### *I - Regolazione con scarico (fig. 2.15)*

Con tale sistema, allorché sulla linea di distribuzione dell'aria compressa si



**Regolazione per apertura permanente della valvola di aspirazione**

Fig. 2.17

raggiunge il valore della pressione prefissata la valvola di sicurezza mette in scarico all'atmosfera il compressore.

##### *II - Isolamento del circuito di aspirazione (fig. 2.16)*

Con tale sistema, allorché sulla linea di distribuzione dell'aria compressa si raggiunge il valore della pressione prefissata una valvola a due vie e a due posizioni (2/2) normalmente aperta, posta sull'aspirazione del compressore, viene chiusa. In tal modo il compressore non può aspirare.

##### *III - Apertura della valvola di aspirazione (fig. 2.17)*

Con tale sistema di regolazione, allor-

ché sulla linea di distribuzione dell'aria compressa si raggiunge il valore della pressione prefissata, viene mantenuta costantemente aperta la valvola di aspirazione del compressore. In tal modo l'aria viene aspirata e rigettata senza essere compressa.

#### *Regolazione continua*

Tale sistema permette di adeguare, continuamente, la quantità d'aria prodotta a quella utilizzata. I sistemi per realizzare tale tipo di regolazione sono due:

##### *I - Regolazione sulla velocità di rotazione*

Con tale sistema bisogna far variare in relazione alla richiesta di aria compressa, i giri del compressore agendo sulla velocità di rotazione del motore primo che trascina il compressore stesso, se è inserito invece un giunto idraulico, agendo su questo.

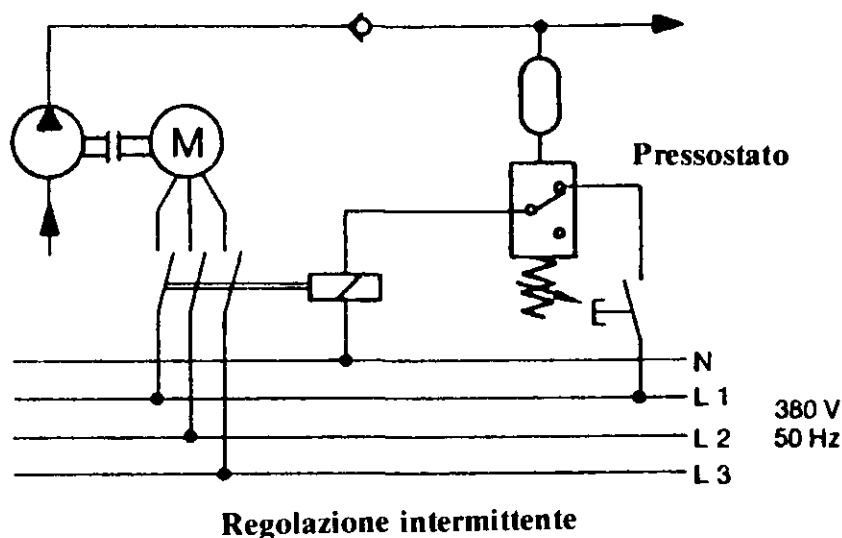
##### *II - Regolazione per strozzatura dell'aspirazione*

Con tale sistema bisogna strozzare con continuità la portata d'aria di aspirazione del compressore in maniera da provocare la variazione di portata desiderata.

##### *Regolazione intermittente (Fig. 2.18) - 2.18)*

Con tale sistema di regolazione è necessaria la presenza di un serbatoio di idonea capacità nel quale la pressione dell'aria accumulata potrà oscillare fra un valore massimo ( $P_{max}$ ) e un valore minimo ( $P_{min}$ ).

In questo caso il compressore lavora solo a pieno carico e fra  $P_{min}$  e  $P_{max}$ . Quando ha raggiunto la  $P_{max}$  il compressore si arresta per ripartire quando la pressione raggiunge  $P_{min}$ . Un pressostato provvede all'avvio ed all'arresto del motore elettrico che aziona il compressore determinando così il funzionamento intermittente.



**Regolazione intermittente**

Fig. 2.18

### 3 - Trattamenti

#### I - Generalità

L'aria compressa per l'azionamento degli automatismi è quell'aria destinata al servocomando di organi finali nonché al telecontrollo, al telecomando ed alla regolazione automatica di processi.

Essa viene preferita all'energia elettrica quando si temono esplosioni. Inoltre nel circuito dell'aria compressa è sempre inserito un polmone che permette, in caso di mancanza di energia elettrica, di continuare ad alimentare le utenze per un certo tempo.

Per l'impiego in queste applicazioni l'aria compressa non deve possedere alcuna impurità che potrebbe inficiare l'efficienza dell'impianto stesso.

Le principali impurità contenute nell'aria compressa appena generata sono: olio, particelle solide ed acqua. Pertanto è necessario effettuare una serie di trattamenti per l'eliminazione di tali impurità.

L'olio, anche se presente in piccolissime quantità, può essere causa di seri problemi. La sua presenza è dovuta alla lubrificazione del manovellismo del compressore o anche, se vengono utilizzati compressori non lubrificati, da olio proveniente dalle linee di distribuzione dell'aria.

Le particelle solide anch'esse se in piccolissime quantità sono pericolose. La loro presenza può provenire: dal pulviscolo nell'atmosfera, dalla ruggine provocata dalla condensa nelle linee di distribuzione dell'aria compressa, da grafite nei compressori che montano anelli di grafite e dall'elemento adsorbente se l'aria subisce una deumidificazione per adsorbimento.

La presenza di acqua è poi la causa principale dei problemi di manutenzione che insorgono nell'impianto di utilizzazione e nella rete. La sua presenza è dovuta al vapor d'acqua presente nell'aria. Oltre certi particolari valori di temperatura e di pressione l'atmosfera diventa satura e l'aria non assorbe più acqua per cui si ha la formazione di goc-

ce d'acqua cioè di rugiada. Il punto di rugiada è la temperatura limite minima a cui si può portare l'aria (o un gas umido) senza che si formi condensa. Ciò avviene abbassando la temperatura (a pressione costante) o elevando la pressione (a temperatura costante).

Aumentando la pressione, l'aria riduce la sua possibilità ad assorbire vapor d'acqua, viceversa riducendo la pressione, l'aria aumenta la capacità di contenere acqua allo stato di vapore. Analogamente un aumento di temperatura favorisce la separazione d'acqua cioè la formazione di condensa (rugiada).

Pertanto per poter disporre di aria compressa idonea a svolgere determinati servizi è necessario operare l'eliminazione dell'olio, delle particelle solide e dell'acqua. Tale operazione prende il nome di *depurazione dell'aria*.

#### II) La depurazione dell'aria

La depurazione dell'aria compressa avviene, a seconda del grado di depurazione che si vuol raggiungere, utilizzando le seguenti apparecchiature:

- 1) refrigeranti finali subito dopo il compressore;
- 2) separatori di condensa;
- 3) filtri meccanici;
- 4) filtri adsorbenti;
- 5) deumidificazione mediante assorbimento, mediante adsorbimento o mediante refrigerazione.

##### 1) Refrigeranti finali

(figg. 3.1 - 3.2 - 3.3 - 3.4 - 3.5 - 3.6)

L'acqua e l'olio contenuti nell'aria compressa si trovano allo stato di vapore per effetto della elevata temperatura dovuta alla compressione. Pertanto non possono essere separati meccanicamente ma bisogna ricorrere ad un raffreddamento preliminare all'uscita del compressore in maniera da provocarne la condensazione.

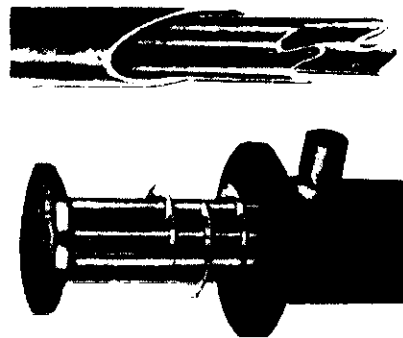


Fig. 3.2 - Particolare dello scambiatore refrigerante.

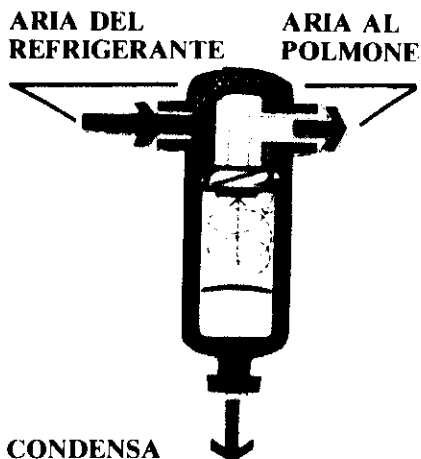


Fig. 3.3 - Schema di funzionamento del separatore centrifugo.

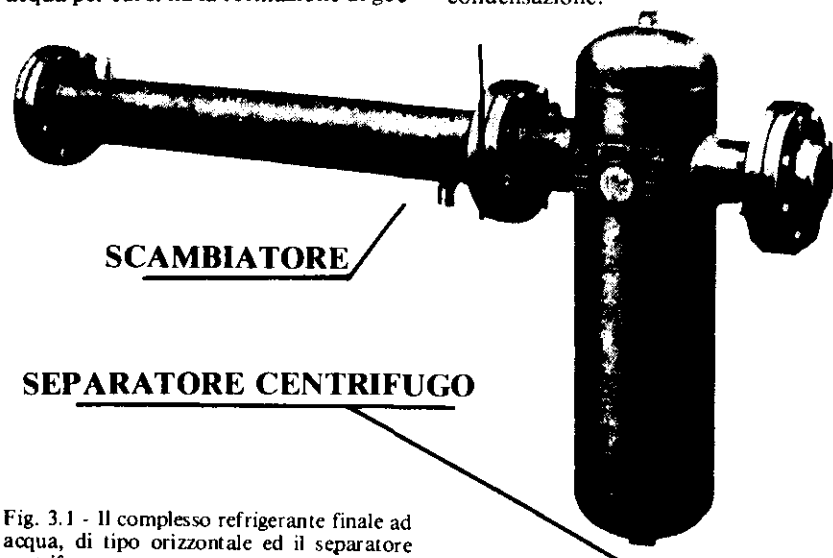


Fig. 3.1 - Il complesso refrigerante finale ad acqua, di tipo orizzontale ed il separatore centrifugo.

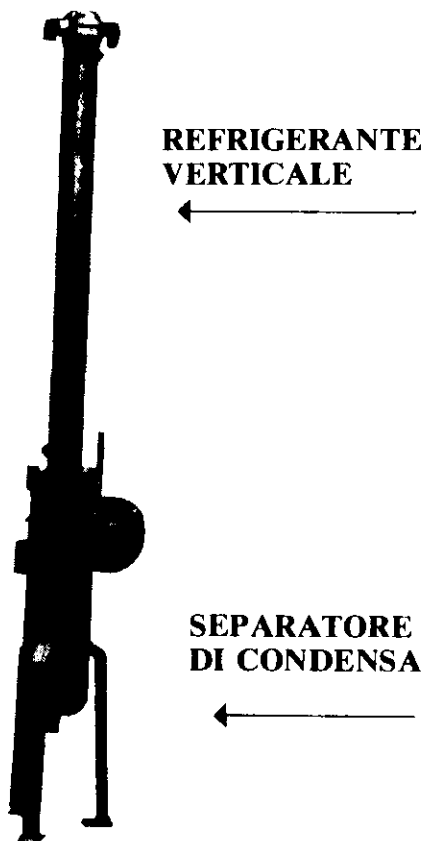


Fig. 3.4 - Il complesso refrigerante finale ad acqua, del tipo verticale, ed il separatore centrifugo.

## SEPARATORE DI CONDENSA

## REFRIGERANTE AD ARIA

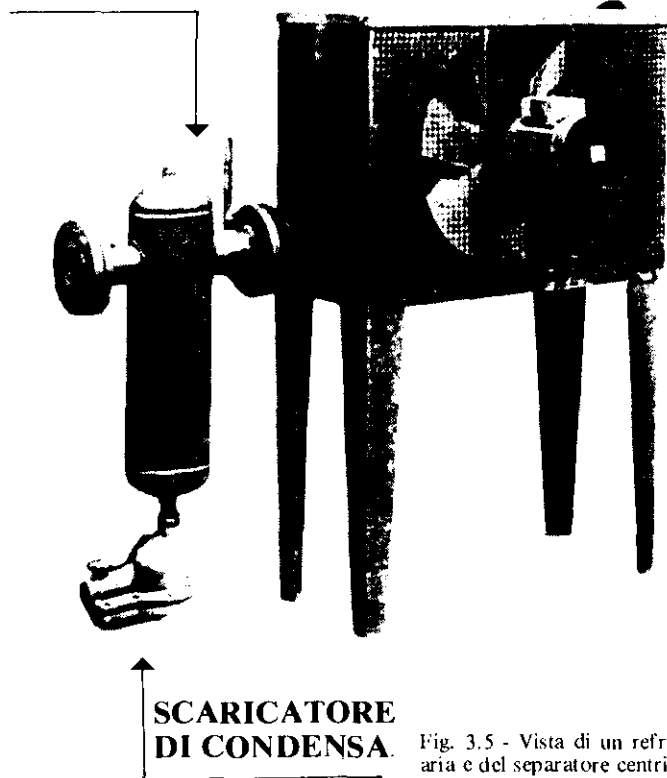


Fig. 3.5 - Vista di un refrigerante finale ad aria e del separatore centrifugo.

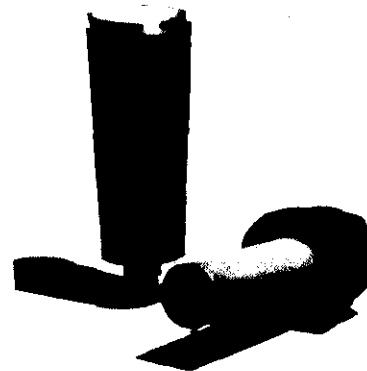


Fig. 3.7 - Filtro adsorbente tipo Hiross

ne di diametro inferiore presenti nell'aria compressa sotto forma anche di nebbia è necessario ricorrere a filtri meccanici del tipo a feltro o a fibre.

Tali filtri sono costituiti da materiali fibrosi ed espletano la loro funzione meccanicamente.

### 4) Filtri adsorbenti

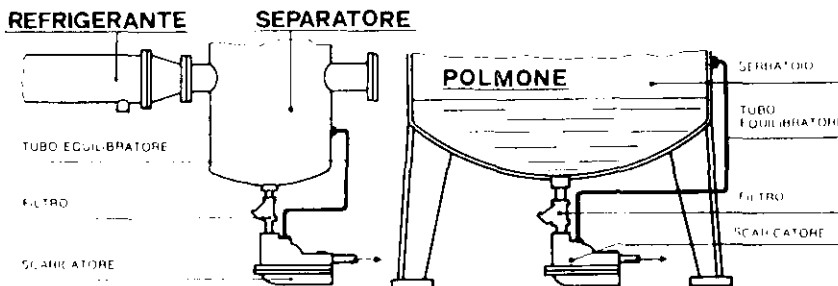
Tali filtri, a differenza di quelli meccanici, sono costituiti da una parete porosa di tipo ceramico o di tipo sinterizzato; essi permettono di coagulare gocce di dimensioni dell'ordine del micron ed espletano soprattutto un'azione disoleante.

Tale tipo di filtro è costituito da una parte superiore ove avviene la coagulazione delle gocce microscopiche in gocce più grosse e da una parte inferiore ove il flusso d'aria compressa attraversa un separatore a ciclone nel quale si ha la separazione delle gocce grosse coagulate. L'efficienza filtrante di questo tipo raggiunge il 99,9%.

Periodicamente va effettuata la puli-

Drenaggio del separatore di condensa di un refrigerante

Drenaggio di un serbatoio polmone



### SCHEMA DI DRENAGGIO DELLA CONDENSA DAL SEPARATORE E DAL POLMONE

Fig. 3.6 - Schema di drenaggio della condensa dal separatore e dal polmone.

L'aria quindi, attraverso il refrigerante, uscirà satura e priva di una notevole quantità d'olio e d'acqua. In definitiva l'aria all'uscita dal refrigerante avrà una umidità specifica più bassa.

I refrigeranti sono posti all'uscita del compressore e sono del tipo ad acqua o del tipo ad aria a seconda della disponibilità dell'acqua refrigerante; quelli ad acqua possono essere di tipo orizzontale o verticale.

### 2) Separatori di condensa

La condensa che si forma nel refrigerante viene separata successivamente in un'apparecchiatura denominata separatore.

Questo separatore, in generale di tipo centrifugo, ha il compito di rimuovere dall'aria compressa la condensa che si è formata per effetto del raffreddamento utilizzando l'azione centrifuga conferita all'aria.

La condensa si raccoglie nella parte inferiore del separatore e viene scaricata automaticamente mediante uno scaricatore di condensa appena essa si forma.

### 3) Filtri meccanici

Il separatore di condensa di cui al paragrafo precedente può separare le goccioline d'acqua e d'olio di dimensioni non inferiori a  $10\mu$

Pertanto per poter separare goccioli-

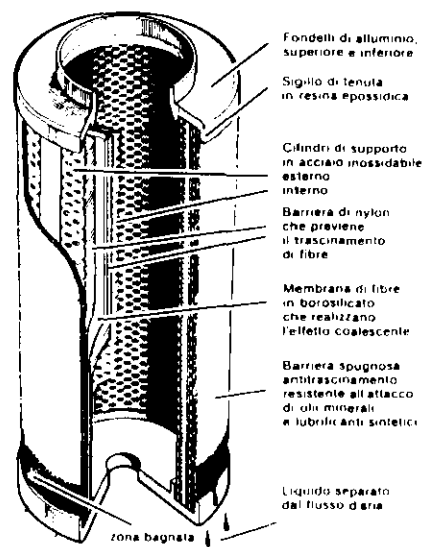


Fig. 3.8 - Cartuccia filtro coalescente.



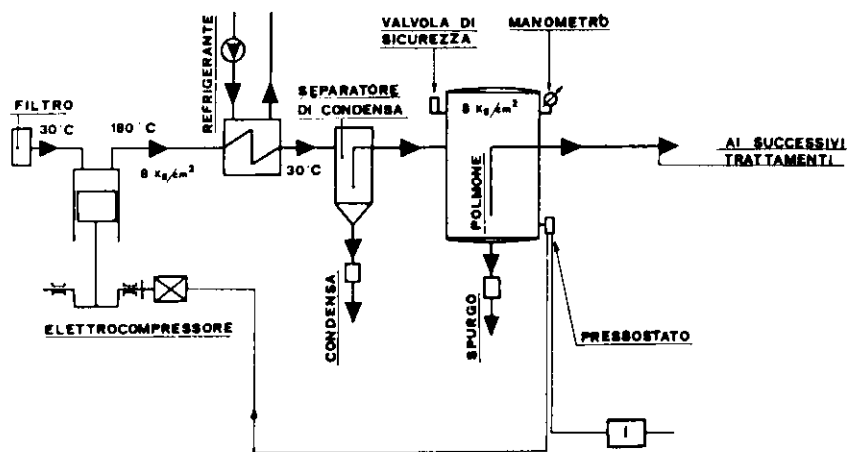


Fig. 3.10

sere effettuata utilizzando vari sistemi:

1) *assorbimento* del vapore d'acqua a mezzo di sostanze solide (cloruro di sodio o fosfato di calcio) aride d'acqua (igroscopiche) che vanno in continuazione reintegrate o di sostanze liquide che vanno però in continuazione raffreddate e riconcentrate.

2) *adsorbimento* del vapore d'acqua mediante sostanze ad elevate porosità (gel di silice, allumina attivata, carbone attivo, setacci molecolari). Nel tempo queste sostanze si saturano e vanno periodicamente rigenerate o sostituite.

3) *refrigerazione dell'aria* che provoca la separazione continua dell'acqua. Tale metodo utilizza il raffreddamento dell'aria fino a +2°C mediante un impianto frigorifero.

I metodi che vengono nella pratica utilizzati per la deumidificazione spinta dall'aria compressa sono tre e per ognuno dei quali si raggiungono i seguenti punti di rugiada con pressione di esercizio di 7Kg/cm² e 33°C (riportata a 760 mm Hg):

- per assorbimento:
  - deliquescenza .....—18°C
  - glicole (1) .....—16°C
- per adsorbimento .....—20°C
- per refrigerazione:
  - diretta .....—23°C
  - indiretta .....—16°C

Dei tre metodi utilizzabili quelli che richiedono più elevato costo di esercizio e di manutenzione sono quelli ad assorbimento e ad adsorbimento perchè questi richiedono la sostituzione periodica della sostanza utilizzata per la rimozione

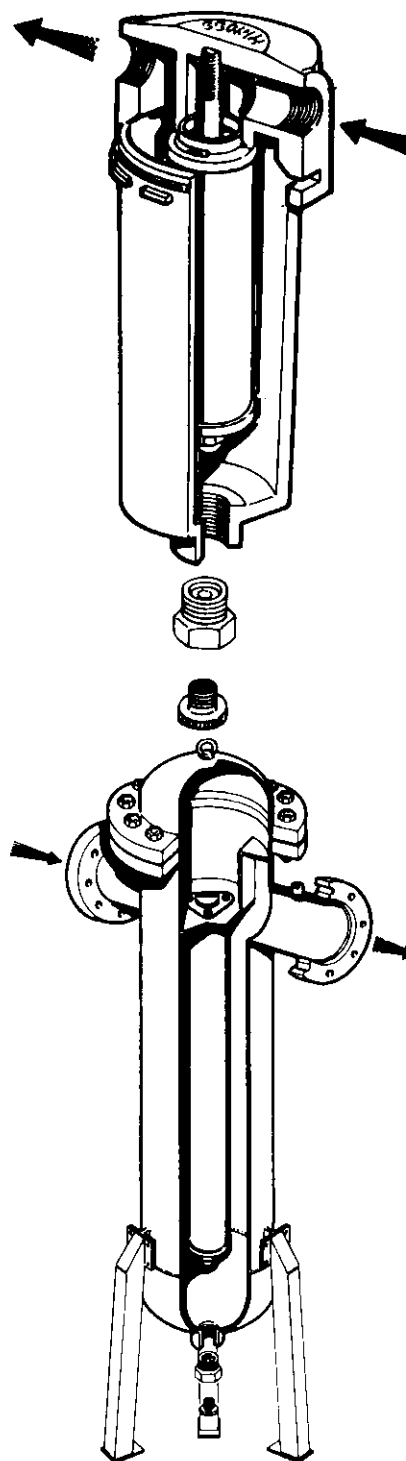
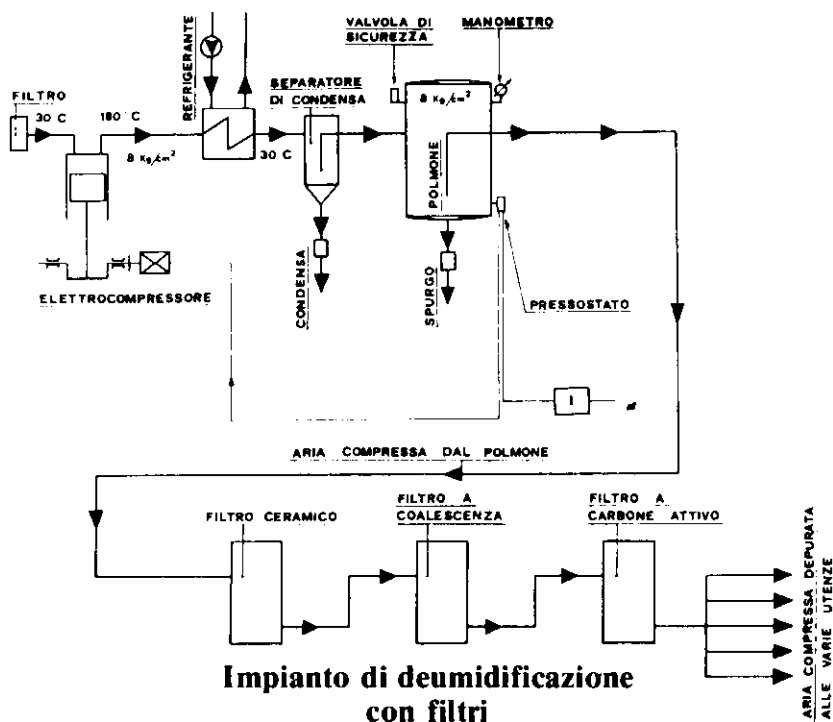


Fig. 3.11

del vapor d'acqua o quanto meno la loro rigenerazione (2).

Il metodo per refrigerazione invece risulta più economico nell'esercizio e nel-



**Impianto di deumidificazione con filtri**

Fig. 3.12

- 1) Tale metodo non trova frequenti applicazioni pratiche nella produzione dell'aria compressa con deumidificazione spinta.
- 2) La rimozione e la sostituzione delle sostanze adsorbenti viene effettuata dopo lunghi periodi di funzionamento dell'impianto.

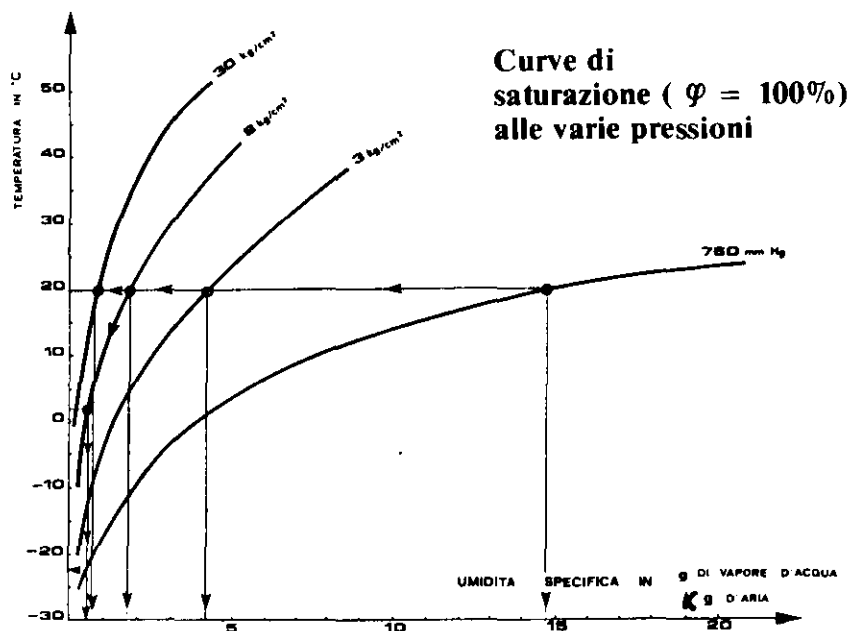


Fig. 3.9

zia del filtro. La condensa raccolta nel fondo del filtro va scaricata una o più volte al giorno.

Oltre ai filtri ceramici, che vengono adoperati per il trattenimento di emulsioni di particelle solide fino a  $5\mu$ , ab-

biamo filtri a coalescenza (la coalescenza è la forza che provoca l'unione delle goccioline di nebbia tale da favorire la formazione di gocce più grosse) e filtri a carbone attivo.

Mentre i filtri coalescenti permettono

di trattenere particelle solide sino a  $0,01\mu$  e di ridurre il contenuto d'olio fino a  $0,01$  ppm quelli a carbone attivo permettono l'eliminazione quasi totale del vapore d'olio, cioè permettono di ridurre il contenuto d'olio a  $0,003$  ppm.

Questi filtri vanno impiegati però utilizzando a monte di essi filtri coalescenti per poter raggiungere i valori indicati.

In definitiva quindi le particelle solide fino a  $5\mu$  e le emulsioni possono essere rimosse con l'uso di un prefiltro mentre la eliminazione degli aerosol e delle particelle più piccole la si può ottenere solo con filtri ad alta efficienza e cioè installando sulle linee di utilizzazione dell'aria compressa filtri coalescenti seguiti da filtri a carbone attivo (fig. 3.12).

## 5) Deumidificazione per effetto della compressione e del preraffreddamento

Esaminiamo qual è l'azione deumidificante comune a tutte le varie installazioni e cioè quella che va fino al polmone (figg. 3.9 e 3.10).

Consideriamo dapprima aria compressa a  $8 \text{ Kg/cm}^2$ , per effetto della compressione e del raffreddamento si ha una sensibile deumidificazione.

L'aria aspirata dal compressore attraverso un filtro a temperatura ambiente di circa  $+20^\circ\text{C}$  subisce una compressione fino a  $8 \text{ Kg/cm}^2$  e di conseguenza un riscaldamento per cui assume una temperatura di circa  $180^\circ\text{C}$ . Successivamente quest'aria a  $8 \text{ Kg/cm}^2$  subisce un preraffreddamento attraverso un refrigerante ad aria o ad acqua e viene riportata a temperatura di circa  $+30^\circ\text{C}$ .

L'aria a temperatura di  $+20^\circ\text{C}$  a pressione atmosferica ha una umidità specifica di  $14,7 \text{ g vapor d'acqua/Kg aria}$  (Tabella); allorché passa alla pressione di  $8 \text{ Kg/cm}^2$  ed a temperatura di  $+30^\circ\text{C}$ , potrà avere al massimo l'umidità specifica di  $3,3 \text{ g di vapor d'acqua/Kg di aria}$ ; pertanto nel separatore d'acqua posto a valle del refrigerante si separerà una condensa pari a:

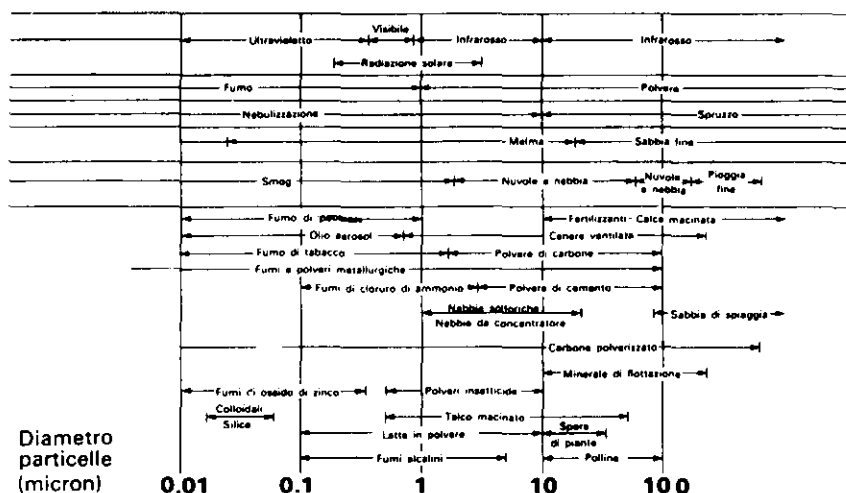
$$\Delta x = 14,7 - 3,3 = 11,4 \text{ gr di acqua/Kg aria.}$$

## 6) Vari metodi per la deumidificazione dell'aria

### 1 - Generalità

Quando viene richiesta aria con punto di rugiada spinto (ad es.  $-23^\circ\text{C}$  alla pressione atmosferica) è necessario procedere alla deumidificazione spinta dell'aria.

La deumidificazione dell'aria può es-



L'aria aspirata da un compressore, in una comune zona metropolitana, può contenere fino a 140 milioni di particelle di polvere per metro cubo. E' quanto risulta dai dati pubblicati a seguito delle ricerche condotte da una Università britannica. La maggior parte di queste particelle hanno un diametro inferiore ai 2 micron. I normali filtri montati all'aspirazione dei compressori non possono arrestare che una minima parte dei contaminanti atmosferici, il che significa che una grande quantità di particelle di polvere penetra nel compressore. A queste si aggiungono i contaminanti presenti o generati dal compressore stesso, quali olio, microscaglie di metallo, carbonio, dovuto alle elevate temperature di compressione, polvere e ossido prodotti dal sistema di distribuzione aria, come pure acqua, presente nell'atmosfera sotto forma di vapore, che condensa dopo la fase di compressione dando luogo, unitamente all'olio, alla formazione di emulsioni colloidali.

(Da informazioni HIROSS ITALIA S.p.A.)

la manutenzione anche se richiede l'installazione di un impianto frigorifero permettendo però di ottenere una temperatura di rugiada piuttosto bassa.

Nelle applicazioni pratiche per produrre aria compressa si raccomanda quindi di installare dopo il compressore, la seguente apparecchiatura (3):

- il refrigerante dell'aria;
- il separatore di condensa completo di scaricatore di condensa;
- il polmone d'aria che espleta così una ulteriore azione di separatore di condensa;
- Il filtro ceramico (4).

A partire da questa sezione vanno installati, a seconda delle caratteristiche dell'aria compressa desiderata, apparecchiature come appresso indicate:

- 1) un filtro a coalescenza;
- 2) un filtro a coalescenza ed un filtro a carbone attivo;
- 3) un deumidificatore del tipo:
  - ad assorbimento;
  - ad adsorbimento;
  - a refrigerazione.

Dopo la sezione deumidificante di cui al n. 3 verrà installato un filtro a coalescenza (5) ed eventualmente anche un filtro a carbone attivo.

## II) Deumidificazione per assorbimento

(figg. 3.13 e 3.13a)

Tale sistema può essere ad azione chimica o per rigenerazione (concentrazione della soluzione impiegata).

Il metodo che utilizza l'azione chimica quale quello a deliquescenza, impiega sostanze solide igroscopiche che assorbono il vapor d'acqua contenuto nell'aria passando esse allo stato liquido.

Le sostanze impiegate sono in generale cloruro di sodio o fosfato di calcio (o altre sostanze solide che abbiano analoghe proprietà); esse si sciolgono durante la deumidificazione passando allo stato liquido e perciò vanno spurgate in continuazione. Queste sostanze però vanno sostituite periodicamente perché si esauriscono.

L'altro metodo di deumidificazione per assorbimento è quello che utilizza sostanze avidi d'acqua quali soluzioni di cloruro di litio, di acido solforico, di glicerina, di cloruro di calcio, di cloruro di zinco, di bromuro di litio, di glicol tri-etilenico.

Tali soluzioni durante il ciclo di deumidificazione, assorbendo il vapor d'acqua contenuto nell'aria, diminuiscono di concentrazione e pertanto per poter essere riutilizzate devono essere continuamente riconcentrate. La instabilità poi delle sostanze utilizzate ne impone la periodica sostituzione.

Inoltre l'assorbimento del vapor d'acqua provoca il riscaldamento della soluzione per cui la soluzione impiegata va in continuazione raffreddata talvolta con un impianto frigorifero.

Questo metodo trova particolare applicazione quale metodo di deumidificazione di grandi portate d'aria a pressio-

ne di pochi mm di H<sub>2</sub>O cioè per condizionare grandi ambienti.

In generale possono venire utilizzati due deumidificatori a deliquescenza a funzionamento discontinuo: uno in servizio e l'altro di riserva da inserire quando il primo è esaurito. (fig. 3.13a).

In tal caso bisognerà aprire superiormente il deumidificatore esausto e provvedere al reintegro della sostanza assorbente esaurita quando il livello della stessa è sceso al limite minimo indicato sul fasciame dell'umidificatore (6).

Contemporaneamente bisognerà inserire manualmente l'altro deumidificatore in maniera da assicurare la distribuzione dell'aria compressa.

Bisognerà inoltre provvedere ad effettuare lo spurgo giornaliero della condensa formatasi nella parte bassa del deumidificatore; ciò potrà essere fatto manualmente o in automatico.

Lo schema riportato in fig. 3.13 chiarisce quanto esposto.

- 3) Sull'aspirazione del compressore va sempre applicato un filtro meccanico
- 4) Il filtro ceramico espleta soprattutto un'azione disoleante
- 5) Tale installazione è obbligatoria per i deumidificatori ad adsorbimento e ad assorbimento per trattenere rispettivamente particelle solide o liquide di trascinamento
- 6) Per effettuare il reintegro delle sostanze assorbenti occorre prima depressurizzare il recipiente che dovrà essere ripressurizzato solo dopo aver effettuato il reintegro

## TABELLA

Temperatura di rugiada in °C	- 25	- 20	- 10	- 5	0	+ 2	+ 5	+ 10	+ 20	+ 30	+ 40	+ 50
Tensione di vapore p <sub>sv</sub> in mm di Hg	0,47	0,78	1,95	3,01	4,58	5,29	6,54	9,21	17,53	21,82	65,32	92,51
Umidità specifica a 760 mm Hg in g/kg	0,38	0,64	1,60	2,50	3,80	4,33	5,35	7,60	14,70	27,20	48,80	86,20
Umidità specifica a 3 kg/cm <sup>2</sup> in g/kg	0,13	0,22	0,55	0,80	1,30	1,49	1,80	2,60	4,50	6,20	15,60	26,00
Umidità specifica a 8 kg/cm <sup>2</sup> in g/kg	0,05	0,08	0,21	0,32	0,48	0,56	0,69	0,97	1,80	3,30	5,80	9,80
Umidità specifica a 30 kg/cm <sup>2</sup> in g/kg	0,02	0,03	0,09	0,14	0,21	0,24	0,29	0,42	0,79	0,99	2,51	4,21

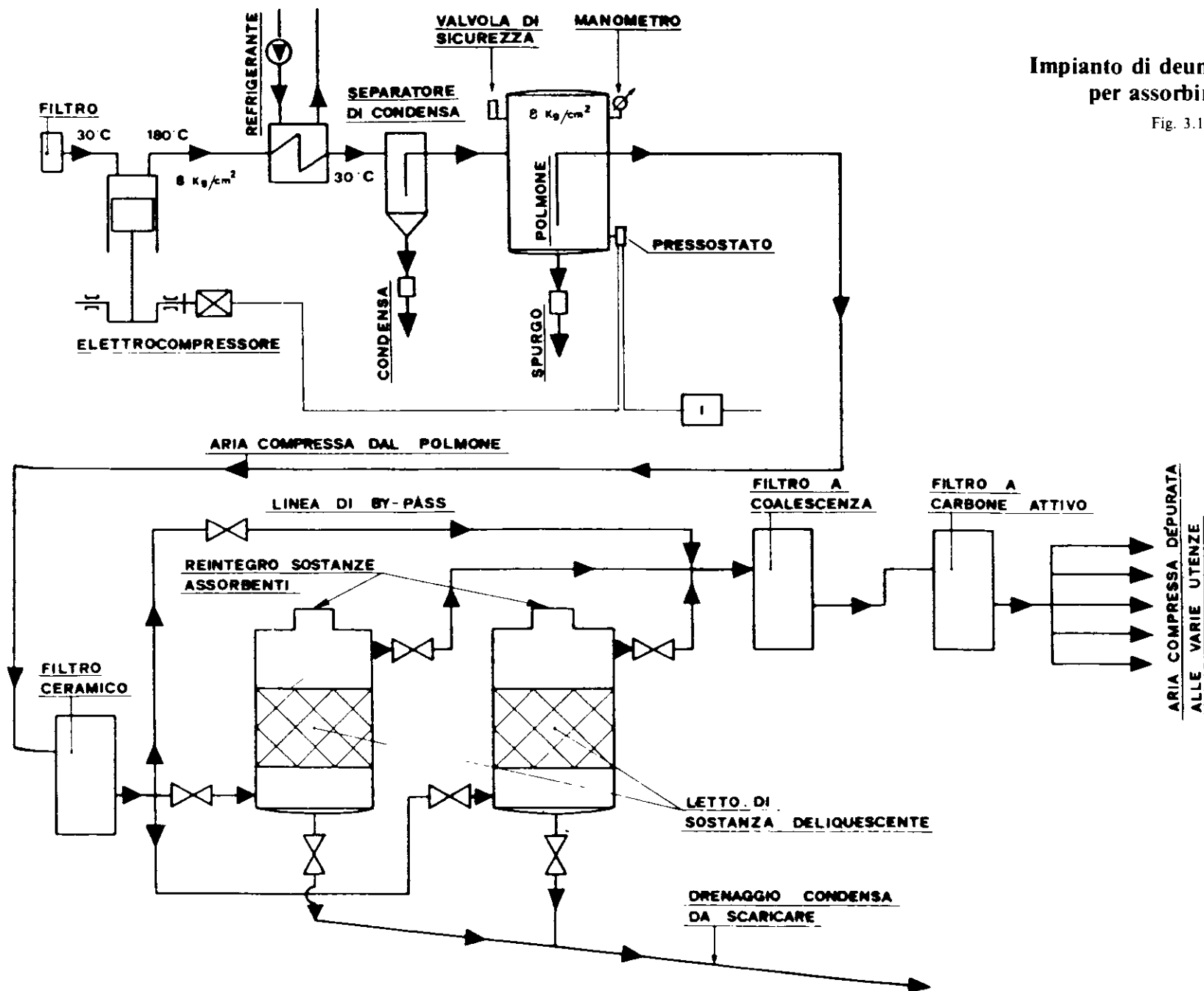
La tabella è stata ricavata utilizzando le seguenti espressioni :

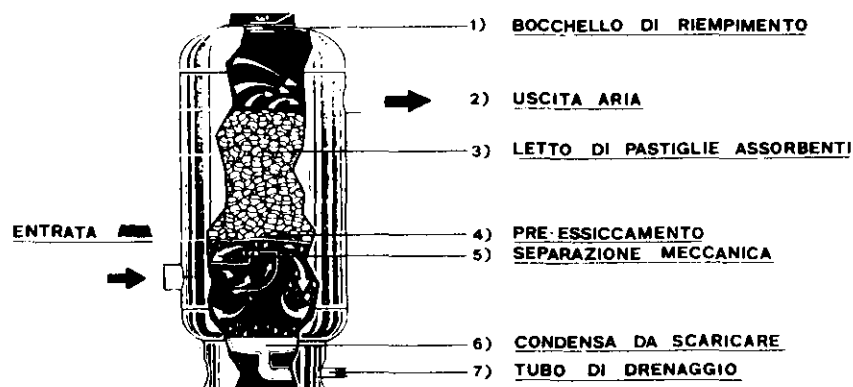
$$1) x = 0,622 \frac{p_v}{p - p_v} ; \quad 2) \varphi = \frac{p_v}{p_{sv}} ; \quad \text{per } \varphi = 100\% \text{ si ha : } p_v = p_{sv} ;$$

ove :

- p<sub>v</sub> = pressione parziale del vapore d'acqua del miscuglio;
- p<sub>sv</sub> = pressione di saturazione a temperatura t;
- p = pressione a cui si trova l'aria;

N.B. Sono stati riportati solo i valori relativi alle pressioni alle quali si opera per alimentare gli automatismi.





SCHEMA DI UN ESSICCATORE

A DELIQUESCENZA

FIG. 3.13a

### III) Deumidificazione per adsorbimento (fig. 3.14)

Tale metodo utilizza sostanze avidi di vapor d'acqua quali il gel di silice, l'allumina attivata, il carbone attivo, setacci molecolari. Tali sostanze adsorbono il

vapor d'acqua senza che tra queste ed il vapor d'acqua avvenga alcuna reazione chimica. Le sostanze adsorbenti impiegate quindi devono essere rigenerate o sostituite allorché diventano saturate.

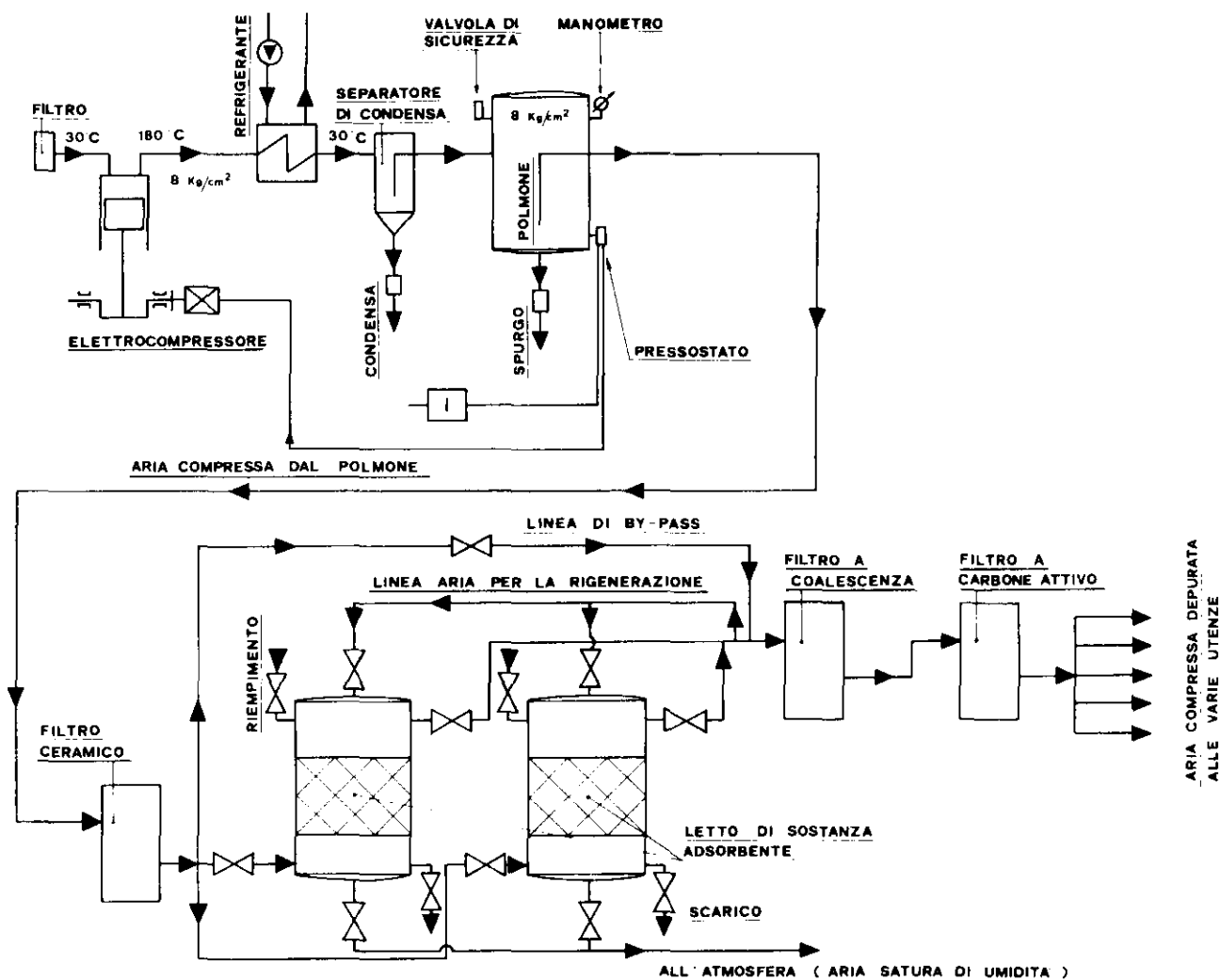
Per impedire poi l'eventuale trasporto di particelle solide delle sostanze ad-

sorbenti è necessario installare sempre un filtro dopo questo deumidificatore.

Vengono impiegati in generale due deumidificatori ad adsorbimento a funzionamento discontinuo; uno in servizio e l'altro di riserva da inserire quando il primo è saturo. L'inserzione del primo o del secondo può avvenire ciclicamente in automatico o manualmente così pure la loro rigenerazione (7).

Per la loro rigenerazione talvolta viene impiegata la stessa aria compressa all'uscita del deumidificatore ma a pressione atmosferica l'aria in queste condizioni è particolarmente secca e riesce pertanto ad effettuare la rigenerazione

7) Il ciclo di inserzione varia dai 5 minuti ai 15 minuti a seconda del numero delle utenze e del consumo d'aria. Le varie fasi per passare dall'uno all'altro deumidificatore sono: ripressurizzazione del contenitore rigenerato, inversione dei contenitori, decompressione del deumidificatore da rigenerare, rigenerazione del deumidificatore saturo. Nel tempo bisognerà provvedere alla sostituzione dell'adsorbente



Impianto di deumidificazione per adsorbimento

Fig. 3.14

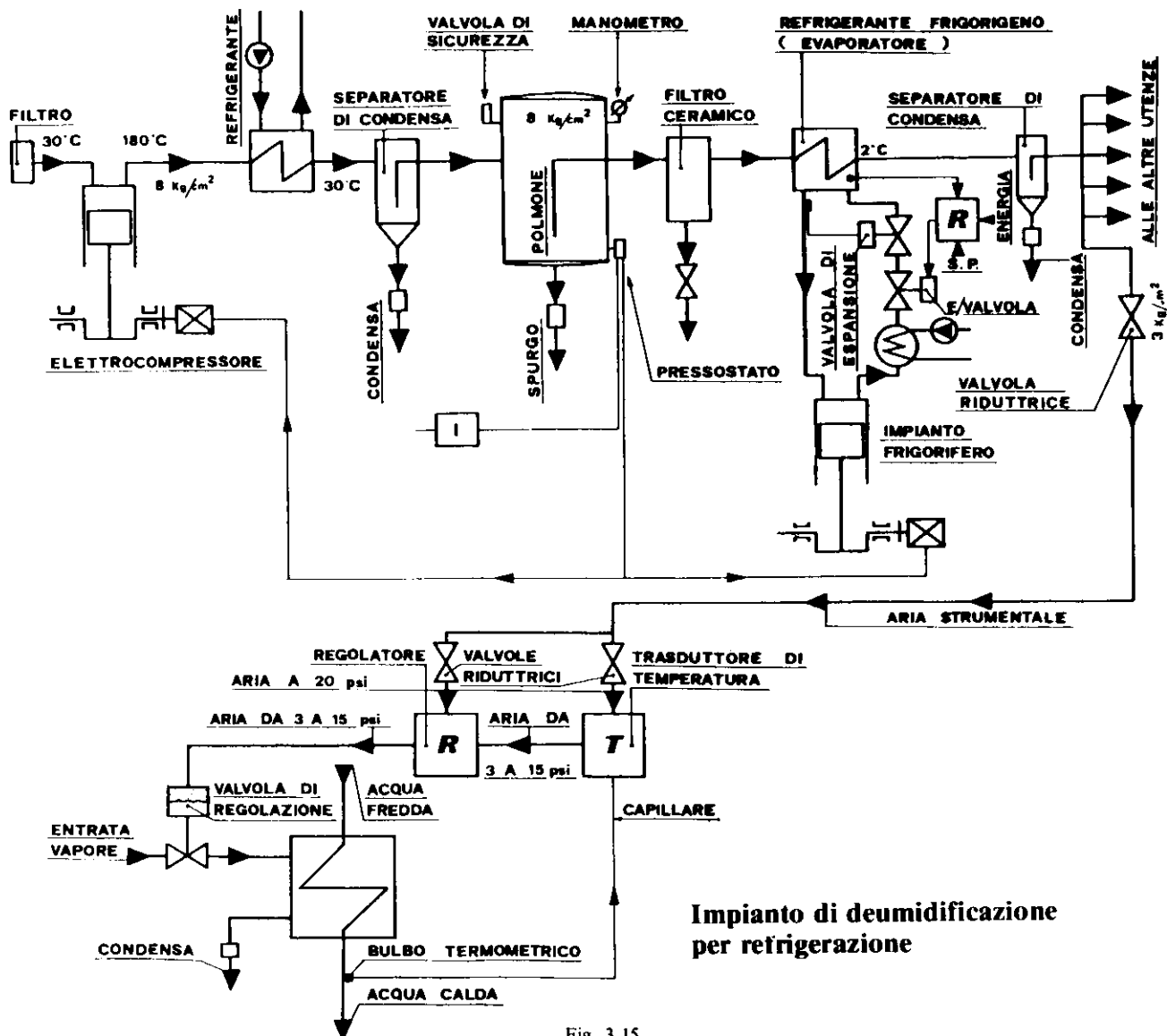


Fig. 3.15

dell'adsorbente impiegato. Lo schema riportato in figura 3.14 chiarisce quanto esposto.

#### IV) Deumidificazione per refrigerazione (fig. 3.15)

In tali impianti si utilizza l'azione concomitante della compressione, della prerefrigerazione e della refrigerazione a bassa temperatura unitamente a quella dei filtri.

La deumidificazione spinta dell'aria compressa è ottenuta appunto mediante la refrigerazione a bassa temperatura usufruendo di impianto frigorifero.

Infatti l'impianto riportato nella fig. 3.15 ha un impianto frigorifero costituito da compressore, condensatore, valvola di espansione ed evaporatore. Il raffreddamento può essere del tipo indiretto e del tipo diretto.

Nel primo caso l'evaporatore è immerso in una vasca piena di liquido incongelabile (glicole+acqua) per cui

l'aria compressa che proviene dal compressore passa in una tubazione immersa nella soluzione che provvede a raffreddare l'aria e quindi a separare la condensa in un separatore. All'uscita dal separatore si ha l'aria con umidità specifica molto bassa.

Nel secondo caso invece la tubazione dell'evaporatore e quella dell'aria da deumidificare sono coassiali. Il fluido frigorifero quindi incontrerà l'aria in controcorrente e la raffredderà separando così la condensa.

Quindi dopo la prima fase di deumidificazione, dovuta esclusivamente all'aumento di pressione ed al preraffreddamento, l'aria attraversa un refrigerante, alimentato da un impianto frigorifero, ove subisce un intenso raffreddamento raggiungendo temperature fra  $+5^{\circ}\text{C}$  e  $+2^{\circ}\text{C}$  (un po' superiore a  $0^{\circ}\text{C}$  per evitare formazione di brina che ostruirebbe il passaggio dell'aria) regolabile su un termostato.

Alla pressione di  $8\text{ Kg/cm}^2$  ed alla

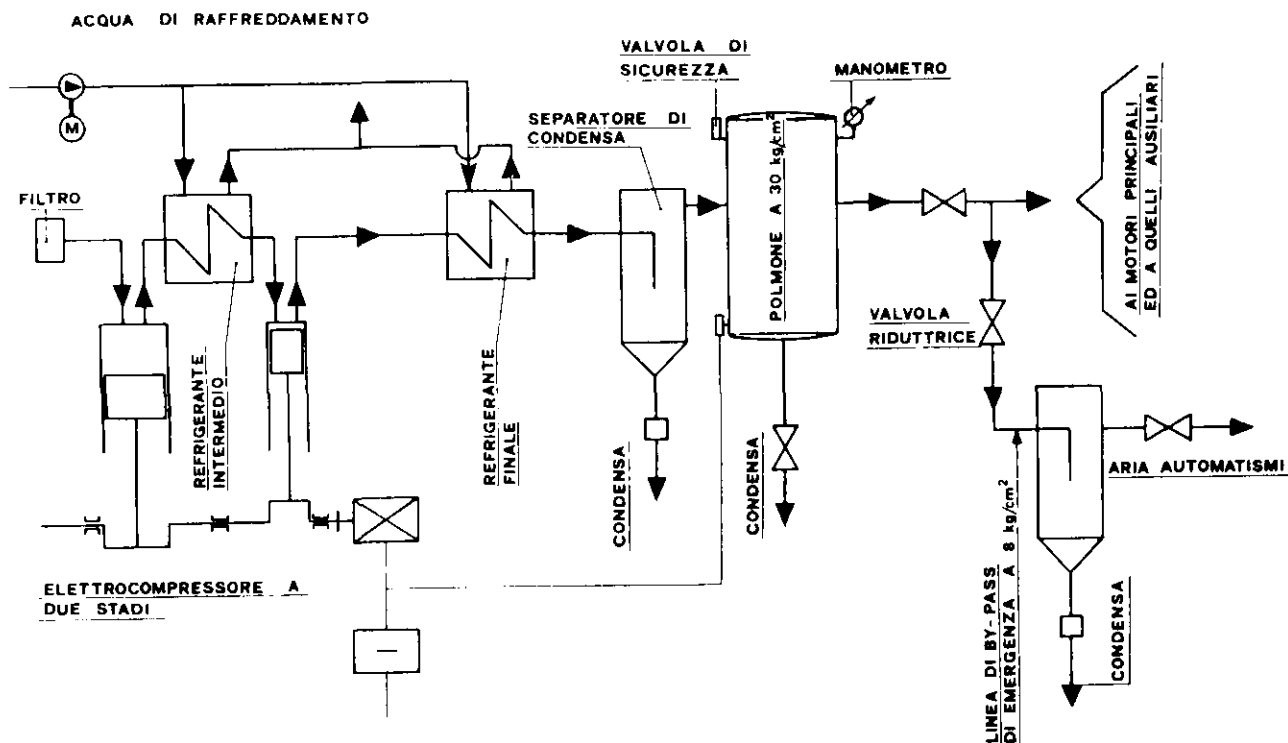
temperatura di  $+2^{\circ}\text{C}$  l'aria ha un'umidità specifica massima di  $0,56\text{ g di vapore d'acqua/Kg di aria}$ .

Pertanto si avrà per effetto di questo raffreddamento una seconda separazione di condensa in un secondo separatore di condensa. Tale condensa sarà data da:

$$\Delta x = 3,3 - 0,56 = 2,74\text{ g di vapore acqua/Kg aria}$$

A questo punto l'aria così deumidificata (infatti è passata da umidità specifica  $14,7\text{ g/Kg}$  a  $0,56\text{ g/Kg}$  con  $14,14\text{ g/Kg}$  di separazione di condensa) viene inviata alle utenze attraverso una valvola riduttrice che la porta a  $3\text{ Kg/cm}^2$  e la consegna alle utenze a tale pressione. Tale soluzione è adottata quando la tubazione corre all'aperto e si temono basse temperature.

Alla pressione di  $3\text{ Kg/cm}^2$  e con umidità specifica di  $0,56\text{ g/Kg}$  quest'aria ha una temperatura di rugiada di  $-10^{\circ}\text{C}$ . Cioè nelle linee d'aria compressa così trattata per vedere comparire condensa,



### Linea di by-pass di emergenza

Fig. 3.16

l'aria dovrà raggiungere la temperatura di  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Pertanto con tale artificio possiamo disporre di aria fortemente deumidificata e senza pericolo di alcuna natura per le apparecchiature che dovrà servire se la linea di distribuzione dell'aria non scende al di sotto di  $-10^{\circ}\text{C}$ .

La temperatura di rugiada dell'aria così trattata, riferita alla pressione atmosferica, vale circa  $-23^{\circ}\text{C}$ . Quindi si è passati da un'aria che aveva temperatura di rugiada, alla pressione atmosferica, di  $+20^{\circ}\text{C}$  ad un'altra con temperatura di rugiada di  $-23^{\circ}\text{C}$  e si è avuta una separazione totale di condensa pari a 14,14 g/Kg aria.

L'aria che alimenta i circuiti, la relativa strumentazione e gli organi finali della regolazione automatica viene anche definita aria strumentale.

Quest'aria previa opportuna riduzione di pressione a 20 p.s.i. viene inviata ai trasduttori ed ai regolatori ove modulata fra 3 ÷ 15 p.s.i. opera la regolazione del processo stesso.

### V) Linea di by-pass di emergenza per gli automatismi (fig. 3.16)

Consideriamo anche la linea per la produzione di aria compressa a 30 Kg/cm<sup>2</sup> per l'avviamento dei motori diesel perchè da tale circuito viene derivata la linea di by-pass di emergenza per gli automatismi. Esaminiamo anche per

questa installazione qual'è l'azione deumidificante dovuta alla pressione ed al preraffreddamento (fig. 3.16).

Il compressore per tali applicazioni è del tipo a due stadi con raffreddamento intermedio al fine di contenere il lavoro di compressione e quindi la potenza installata per l'azionamento del compressore stesso. Ai nostri fini interessa però il valore della temperatura dell'aria nel polmone.

A 30 Kg/cm<sup>2</sup> ed a  $30^{\circ}\text{C}$  l'umidità specifica è di circa 1 gr/Kg aria (vedi tabella) mentre all'aspirazione del compressore era di circa 15 gr/Kg aria; pertanto per effetto di queste due trasformazioni si sono separati circa 14 g acqua/Kg aria. La maggiore pressione a cui è stata portata l'aria dà luogo ad una maggiore separazione di condensa e quindi ad un'aria più deumidificata.

Sulla linea di mandata a 30 ate, in generale, è sistemata una linea di by-pass di emergenza con valvola riduttrice a 8 ate che serve ad alimentare il circuito degli automatismi.

Tale linea viene utilizzata allorchè la centrale di compressione per l'aria degli automatismi è in avaria.

La caduta di pressione poi da 30 bar a 8 bar provoca un'espansione che dà luogo al raffreddamento dell'aria e quindi a precipitazione di condensa ed in definitiva ad un'ulteriore deumidificazione dell'aria per espansione. Tale separazione di condensa avviene in un separatore di condensa. Questa linea si collegherà

con la rete dell'aria per gli automatismi previa filtrazione, eventuale deumidificazione ed ulteriore riduzione di pressione.

## 4 - La rete di distribuzione

### a) Generalità

Quando esistono più utilizzazioni dell'aria compressa è necessario realizzare una rete di distribuzione dell'aria compressa con tante derivazioni per quante sono le utenze da alimentare.

Il dimensionamento delle condutture deve tener conto dei seguenti elementi:

- portata;
- lunghezza delle reti;
- perdita di carico ammissibile;
- pressione di esercizio;
- perdite di carico localizzate.

In generale, nomogrammi, di uso ormai corrente, permettono facilmente di determinare, una volta conosciuti gli elementi suindicati, i diametri più opportuni della rete principale e delle deviazioni.

### b) La distribuzione

La posa in opera delle condutture dell'aria compressa è un'operazione estremamente delicata perchè esse devono essere facilmente ispezionabili per verificare il loro stato di conservazione ed eventuali fughe.

Le condutture vanno poste in opera con una pendenza dell'1-2% nel senso del flusso per favorire il deflusso di eventuale condensa e di impurità dovute ai processi di ossidazione e che vanno

raccolte e scaricate in opportune deviazioni poste nella parte inferiore della condotta.

Le derivazioni da una linea principale orizzontale vanno fatte dalla parte superiore del tubo per evitare trascinamenti di morchie.

La distribuzione dell'aria compressa può essere fatta in tre modi:

- in linea (fig. 4.1);
- ad anello (fig. 4.2);
- in parallelo (fig. 4.3).

Le condutture negli impianti di aria compressa devono essere realizzate con materiale resistente alla corrosione. Vengono generalmente utilizzati i seguenti materiali:

- rame;
- ottone;
- acciaio legato;
- acciaio bruciato;
- acciaio zincato;
- materiale plastico.

Le derivazioni verso le stazioni di utilizzo, quando è necessario offrire una certa flessibilità alla condotta, vengono realizzate con tubi di gomma. I tubi di materie plastiche stanno diffondendosi sempre più per la rapidità con cui vengono installati mediante raccordi ad innesti rapidi.

## 5 - Le valvole

### a) Generalità

Le valvole sono quei dispositivi che consentono il comando ed il controllo di un fluido in pressione. Le valvole a seconda della funzione che svolgono, vengono suddivise in cinque gruppi:

- valvole di direzione a più vie;
- valvole di arresto;
- valvole di pressione;
- strozzatori di flusso;
- valvole di intercettazione.

### b) Valvole di direzione a più vie

Per rappresentare simbolicamente una di tale valvole si ricorre a tanti quadrati consecutivi, quante sono le posizioni della valvola. Nell'interno dei quadrati vengono rappresentate le diverse funzioni che espleta la valvola. I numeri che identificano una valvola sono due: il primo indica il numero di vie, il secondo le posizioni.

Per quanto concerne il comando, poi, le valvole possono essere ad azionamento:

- muscolare;
- meccanico;
- elettrico;
- pneumatico;
- misto (elettropneumatico);

Le valvole di direzione a più vie vengono denominate, per la funzione che esse svolgono, "distributori".

Le valvole pneumatiche per servoco-

mandi sono valvole del tipo "o tutto o niente" cioè sono delle valvole le cui vie di passaggio del flusso d'aria, sono totalmente aperte o totalmente chiuse senza alcuna possibilità di modulazione del flusso.

### Rappresentazione schematica delle valvole (simboli grafici)

Per rappresentare le valvole sugli schemi si utilizzano i simboli. Questi simboli non forniscono alcuna indicazione riguardo i particolari costruttivi, ma indicano unicamente la funzione della valvola.

Le posizioni delle valvole vengono rappresentate mediante quadrati. Il nu-

mero dei quadrati consecutivi indica il numero delle posizioni della valvola.



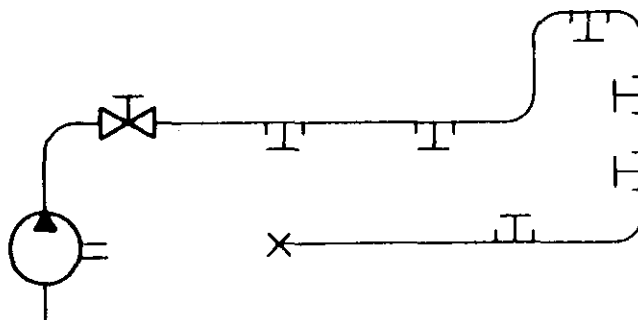
Le diverse funzioni sono rappresentate schematicamente all'interno del quadrato.



Le frecce indicano direzione e verso del flusso.

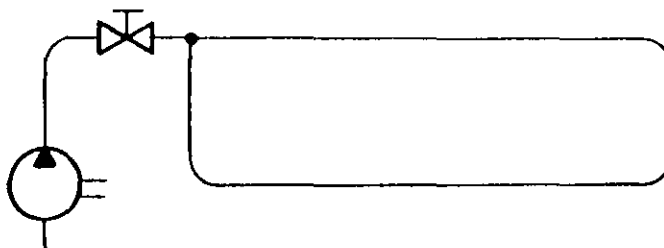


Le posizioni di arresto del flusso sono rappresentate mediante tratti trasversali.



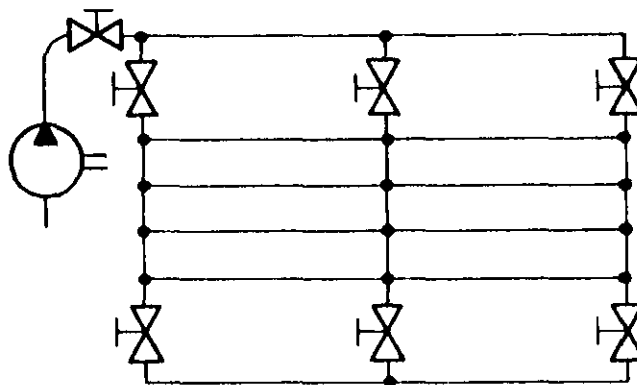
**DISTRIBUZIONE IN LINEA**

Fig. 4.1



**DISTRIBUZIONE AD ANELLO**

Fig. 4.2



**DISTRIBUZIONE IN PARALLELO**

Fig. 4.3



Il collegamento di passaggi all'interno della valvola viene indicato con un punto.



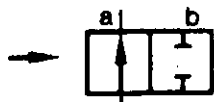
I riferimenti che indicano i collegamenti con le condutture (alimentazioni e utilizzi) sono rappresentati mediante tratti raccordati ad un solo quadrato della valvola rappresentante la posizione di riposo o una posizione di azionamento.



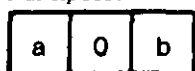
Le altre posizioni risultano dalla traslazione dei quadrati fino a far coincidere le canalizzazioni interne con i riferimenti esterni.



Le differenti posizioni possono essere identificate mediante lettere minuscole o, a, b, c, d.



Valvola a tre posizioni. Posizione intermedia = posizione di riposo.



Per *posizione di riposo* si intende, per le valvole nelle quali una molla di ritorno determina una ben definita posizione stabile, quella assunta quando manca l'eccitazione.

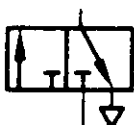
Per *posizione iniziale* si intende la posizione assunta dalla valvola dopo il montaggio e il collegamento con l'intero impianto (pressione, rete elettrica) e prima che inizi il ciclo di lavoro.

Orifizio di scarico senza raccordo (scarico nell'ambiente).

Triangolo direttamente collegato al quadrato.



Orifizio di scarico con raccordo (scarico convogliato in una conduttura). Triangolo non collegato direttamente al quadrato.



Per evitare possibili errori di montaggio, gli orifizi di collegamento sono identificati da lettere maiuscole:

Orifizi degli utilizzi A, B, C . . . .  
Orifizio di alimentazione P . . . . .  
Orifizi di scarico R, S, T . . . . .  
Orifizi dei segnali di pilotaggio Z, Y, X . . . .

## Tabella riassuntiva delle valvole

Denominazione	Posizione di riposo	Rappresentazione
Valvola 2/2	chiusa	
Valvola 2/2	aperta	
Valvola 3/2	chiusa	
Valvola 3/2	aperta	
Valvola 3/3	chiusa	
Valvola 4/2	1 canalizzazione in pressione 1 canalizzazione in scarico	
Valvola 4/3	Posizione intermedia chiusa	
Valvola 4/3	A e B in scarico alimentazione chiusa	
Valvola 5/2	1 canalizzazione in pressione 1 canalizzazione in scarico 2 scarichi separati	
Valvola 6/3	2 alimentazioni separate	

Le valvole si distinguono in funzione del numero degli orifizi (numero di vie) e del numero delle posizioni assunte.

Esempio:

Valvola 3/2: 3 vie (1 alimentazione, 1 utilizzo, 1 scarico) 2 posizioni.

Valvola 4/3: 4 vie (1 alimentazione, 2 utilizzi, 1 scarico) 3 posizioni.

### Sistemi di azionamento

In funzione delle diverse applicazioni le valvole possono essere azionate in diverse maniere. I simboli dei sistemi di

azionamento vengono indicati all'esterno dei quadrati.

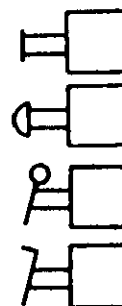
#### 1. Azionamento muscolare

generico

a pulsante

a leva

a pedale



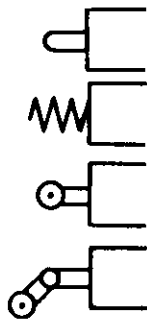
## 2. Azionamento meccanico

a tasto

a molla

a leva a rullo

a leva a rullo  
unidirezionale

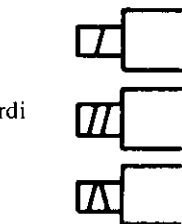


## 3. Azionamento elettrico

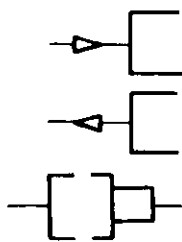
ad un solenoide

a due solenoidi concordi

a due solenoidi  
contrapposti

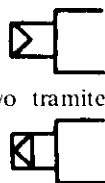


## 4. Azionamento pneumatico Comando diretto



segnale di pressione positivo tramite ser-  
vopilota

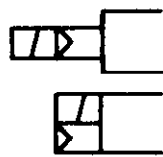
segnale di pressione negativo tramite  
servopilota



## 5. Azionamento misto

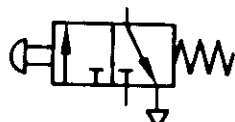
solenoid  
e servopilota

solenoid oppure  
segnale di pressione  
servopilotato



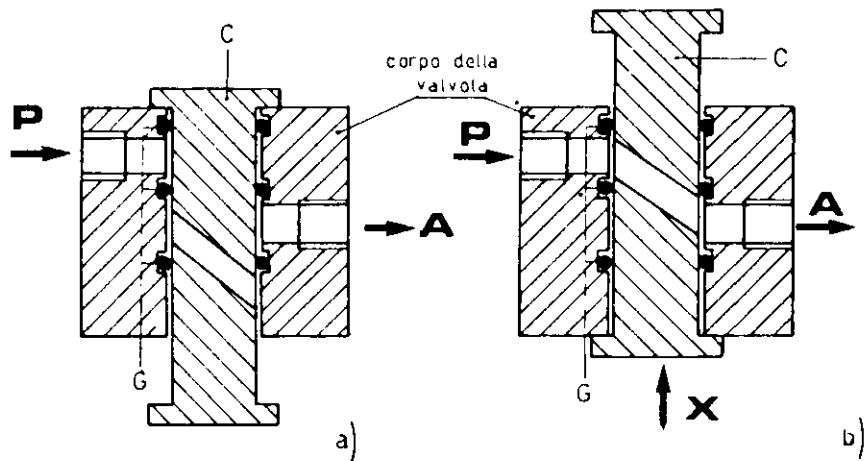
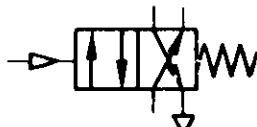
**Esempio 1:**

valvola 3/2, azionata a pulsante, con  
posizione di riposo stabile



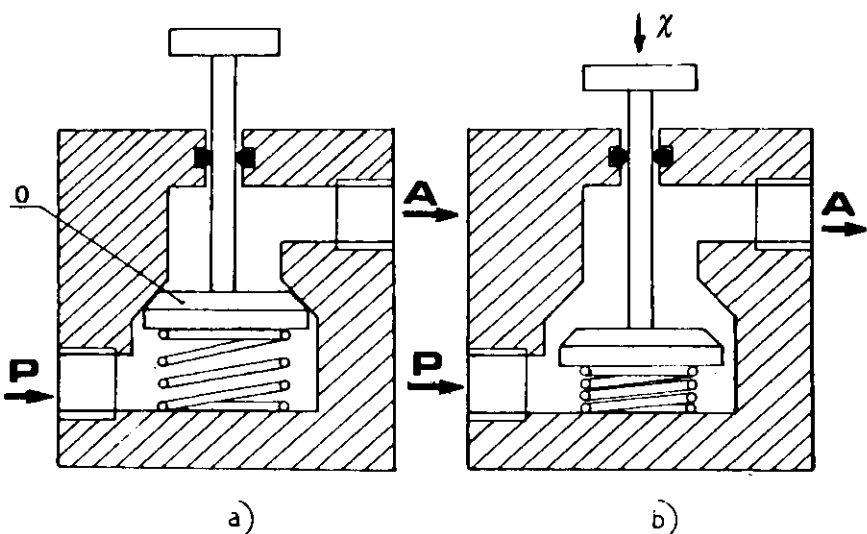
**Esempio 2:**

valvola 4/2, azionata con segnale di  
pressione positivo, posizione di riposo  
stabile



**VALVOLA A DUE VIE E A DUE POSIZIONI A CASSETTO**

Fig. 5.1



**VALVOLA A DUE VIE  
E A DUE POSIZIONI AD OTTURATORE**

Fig. 5.2

Le valvole di direzione a più vie sono  
poi ad otturatore o a cassetto.

Riportiamo di seguito i principali tipi  
di valvole di direzione a più vie:

**Valvola a due vie a cassetto** (fig. 5.1)

L'aria compressa entrando da P non  
può passare verso A (fig. 5.1 a) se in-  
vece, per effetto di un segnale di pilotag-  
gio X, viene spostato il cassetto (fig. 5.1  
b) il flusso d'aria può passare verso B.

**Valvola a due vie ad otturatore** (fig. 5.2)

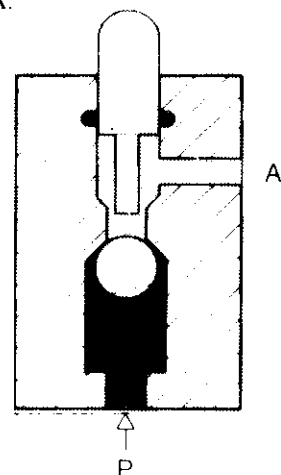
L'aria compressa entrando da P non  
può passare verso A fino a quando un  
segnale di pilotaggio X, non abbassa  
l'otturatore permettendo all'aria di de-  
fluire verso A.

**Valvola a due vie a sfera** (fig. 5.3)

Una molla tiene bloccata una sfera  
contro la sede impedendo al flusso  
d'aria che proviene da P di passare ver-  
so A.

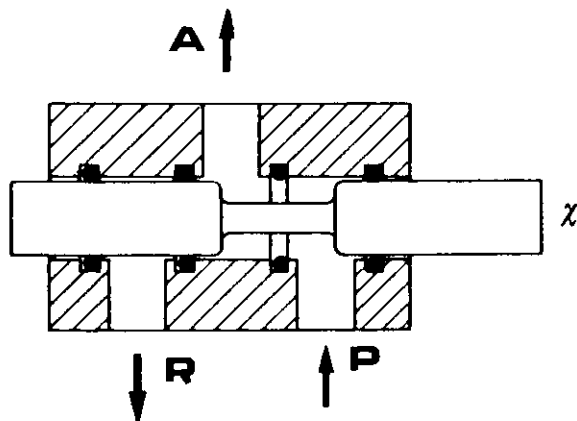
Allorchè un segnale di Pilotaggio X

spinge l'asta verso il basso, la sfera si  
abbassa e lascia passare il flusso d'aria  
verso A.



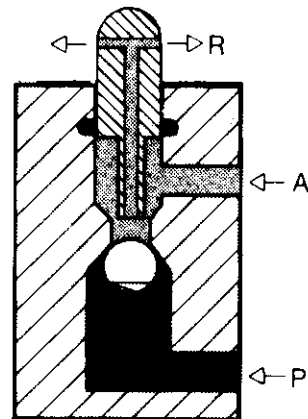
**Valvola 2/2**

Fig. 5.3



**VALVOLA A TRE VIE CON DISTRIBUZIONE  
A CASSETTO**

Fig. 5.4



**Valvola 3/2**

Fig. 5.5

*Valvola a tre vie e a due posizioni con distributore a cassetto (Fig. 5.4)*

L'aria compressa entrando da P può passare verso A. Allorché il cassetto di distribuzione si sposta verso sinistra per effetto di un segnale di pilotaggio X e l'ingresso P di alimentazione viene chiuso e A viene messo in comunicazione con lo scarico R.

*Valvola a tre vie e a due posizioni a sfera (fig. 5.5)*

La valvola è simile a quella a due vie a sfera però l'asta di comando della valvola viene modificata per ricavare un passaggio per lo scarico R.

*Valvola a quattro vie e a tre posizioni a cassetto (fig. 5.6)*

La fig. 5.6 mostra tale valvola e il funzionamento di essa è facilmente intuibile. L'aria entra in P ed esce da A andando ad alimentare l'utenza; i ritorno va in B e poi scarica attraverso R.

Spostando il cassetto verso sinistra di poco, possono essere bloccate sia le vie P-A che B-R; in tal caso l'utenza rimarrà bloccata nella posizione raggiunta.

Se spostiamo ulteriormente il cassetto verso sinistra P sarà collegat con B e A con lo scarico R.

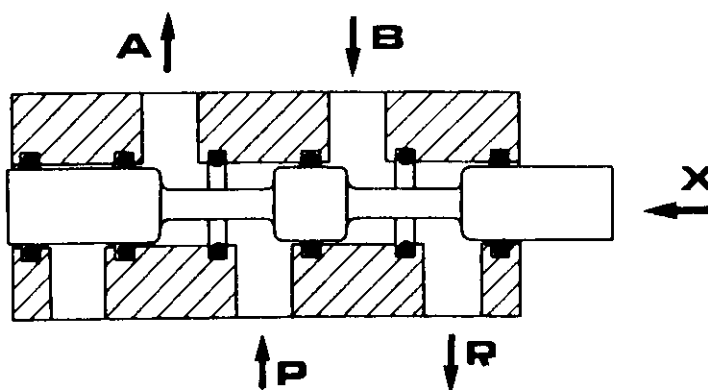
In tal modo viene invertito il moto dell'utenza.

#### c) Valvole di arresto

Tali valvole servono per intercettare il flusso dell'aria in una certa direzione. Esse possono essere:

- *Valvole unidirezionali* se bloccano completamente il passaggio dell'aria in un solo senso. La chiusura può essere ottenuta mediante un cono, una sfera o una membrana per gravità o mediante precarica di una molla (fig. 5.7)

- *Valvole selettive* se permettono una sola uscita e due ingressi (fig. 5.8)



**VALVOLA A QUATTRO VIE E A TRE POSIZIONI  
CON DISTRIBUZIONE A CASSETTO**

Fig. 5.6

#### d) Valvole di pressione

Tali valvole si dividono in:

- valvole di regolazione di pressione;
- valvole di limitazione di pressione;
- valvole di sequenze di pressione;

*Valvole di regolazione di pressione* (figg. 5.9 - 5.10)

Lo scopo di tali valvole è quello di mantenere costante la pressione nella re-

te di distribuzione e di alimentare così le utenze al valore di pressione di lavoro desiderato. Le valvole regolatrici della pressione possono essere di due tipi senza orifizio di scarico o con orifizio di scarico. Il valore della pressione di uscita può essere facilmente variato ruotando una rotellina e leggendo il valore della pressione all'uscita.

#### Simboli:

Valvola unidirezionali con chiusura determinata dalla gravità o dalla pressione del fluido.



Valvola unidirezionale con chiusura determinata dalla pressione del fluido o dal precarico di una molla



#### Valvola unidirezionale

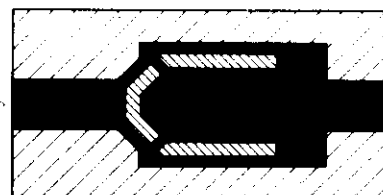
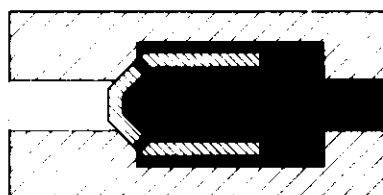


Fig. 5.7

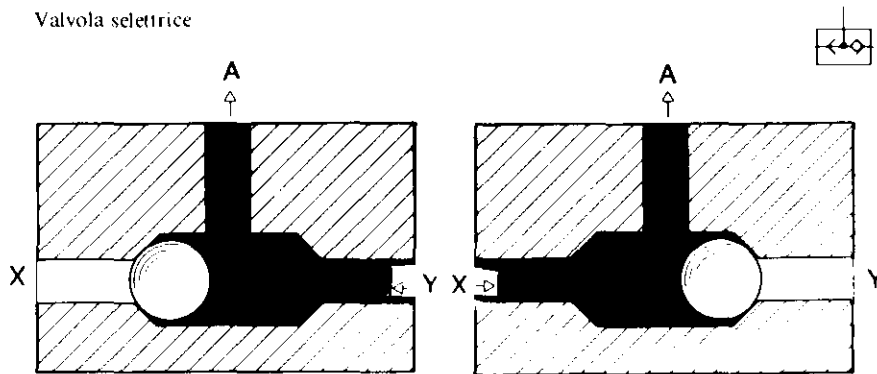


Fig. 5.8

**Valvole limitatrici di pressione (fig. 5.11)**

Tali valvole sono soprattutto valvole di sicurezza. Esse non permettono all'aria compressa di superare il valore di pressione prestabilito.

Infatti allorché la pressione tende a superare questo valore mettono il circuito in comunicazione con l'atmosfera scaricando la sovrappressione. Quando la pressione riprende i valori normali lo scarico si chiude.

**Valvole di sequenza (fig. 5.12)**

Tali valvole hanno funzionamento analogo a quello delle valvole limitatrici di pressione, mettendo però in comunicazione il flusso d'aria compressa al valore di taratura con l'utilizzatore.

Con la presenza di tali valvole l'utilizzatore è alimentato solo quando la pressione dell'aria compressa raggiunge il valore di taratura della valvola.

**e) Strozziatori di flusso**

Questi elementi vengono utilizzati per la regolazione della velocità degli utilizzatori negli impianti pneumatici. Essi possono essere di tipo unidirezionale o bidirezionale.

**Strozziatori di flusso unidirezionale**

Gli strozzatori di flusso unidirezionale sono denominati anche limitatori di portata unidirezionale. Infatti essi svolgono una duplice funzione;

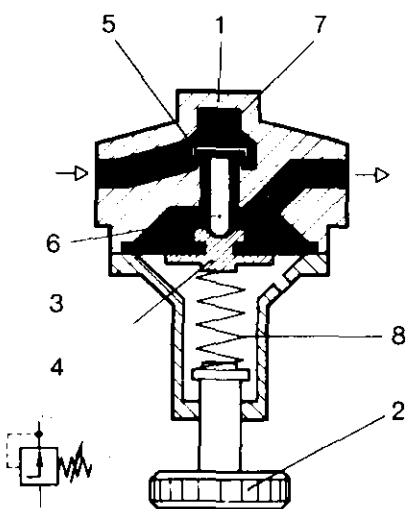
- in una direzione permettono il flusso regolare dell'aria;
- nella direzione opposta invece strozzano il flusso dell'aria; Pertanto essi sono costituiti dalla combinazione di una valvola con sezione di passaggio regolabile e di una valvola unidirezionale.

La rappresentazione di tale elemento è riportata in fig. 5.13.

Tali elementi possono essere montati in alimentazione o in scarico dell'utilizzatore. Generalmente vengono montati in alimentazione o in scarico dell'utilizzatore. Generalmente vengono montati strozzati. Trovano particolare applicazione sui cilindri a semplice e a doppio effetto per rendere regolare il moto dello stantuffo.

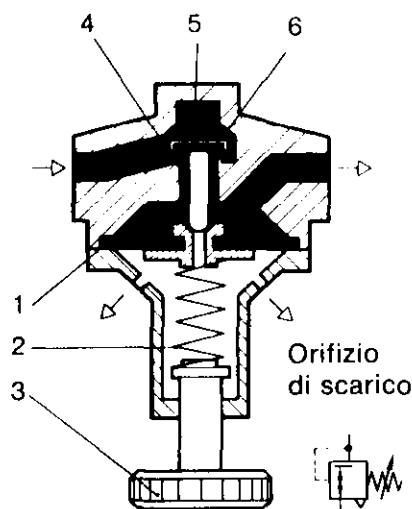
**Strozziatori di flusso bidirezionale (fig. 5.14)**

Sono regolatori di portata in entrambi i sensi di flusso dell'aria. Quindi tali



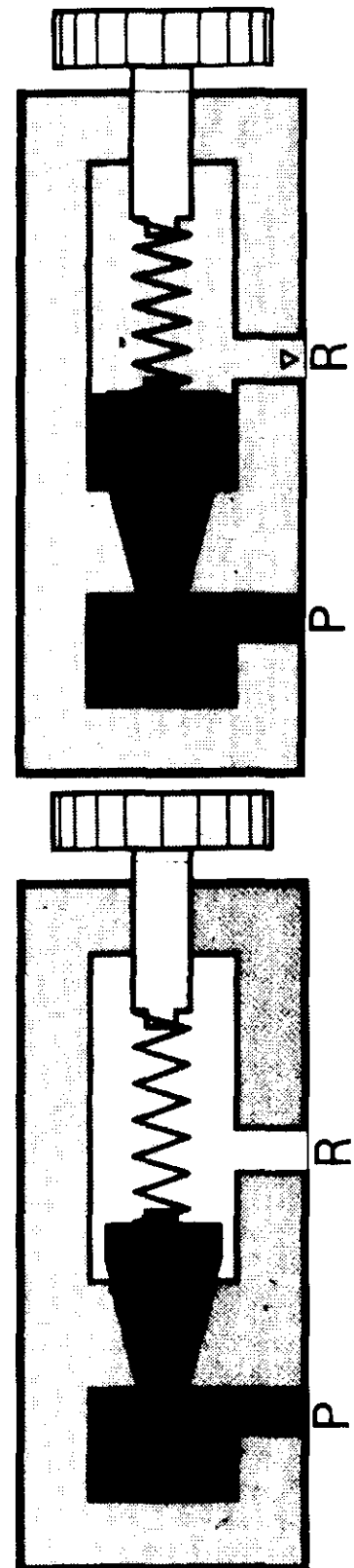
**Regolatore di pressione senza orifizio di scarico**

Fig. 5.9



**Regolatore di pressione con orifizio di scarico**

Fig. 5.10

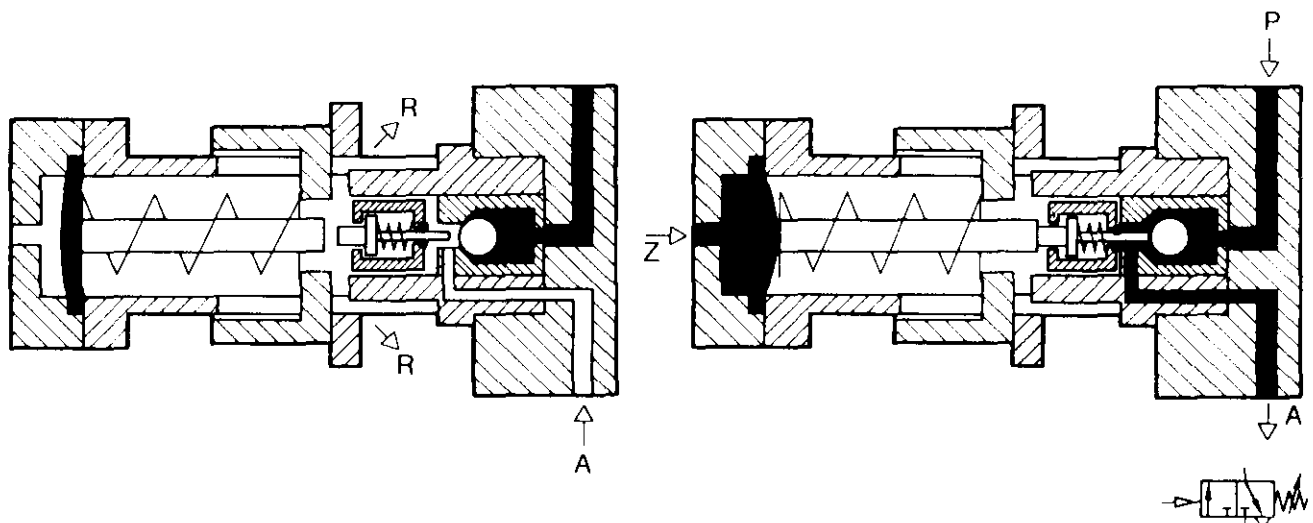


**Valvola di limitazione della pressione**

**Funzione:**

La pressione d'aria esercita una forza di spinta sulla sede della valvola, la cui forza d'apertura è regolabile mediante una molla. Quando la forza di spinta della pressione sulla superficie è superiore alla forza impostata della molla, si avverrà l'apertura della sede della valvola e l'aria potrà liberamente passare all'esterno.

Fig. 5.11



Valvola a soglia di pressione

non normalizzato

Fig. 5.12

elementi sono delle valvole che permettono, mediante una vite micrometrica, di strozzare il flusso dell'aria. Essi possono essere:

- strozzatori di portata a sezione costante;
- strozzatori di portata a sezione variabile;

La rappresentazione simbolica di tali elementi è riportata nella fig. 5.15.

e) Valvole di intercettazione (fig. 5.16)

Tali valvole servono per intercettare il flusso dell'aria compressa nelle condutture.

Esse vengono denominate anche rubinetti di isolamento.

## 6 - Utilizzazioni

### a) Generalità

L'aria compressa viene utilizzata per l'alimentazione di:

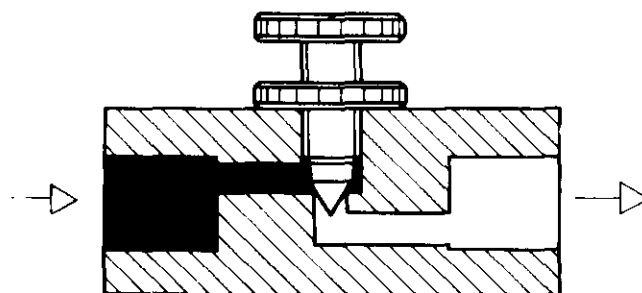
- motori pneumatici;
- trasduttori pneumatici;

- trasduttori, regolatori e servomotori pneumatici per la regolazione di processo;

- elementi logici pneumatici e fluidici.

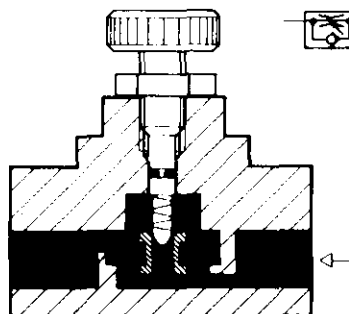
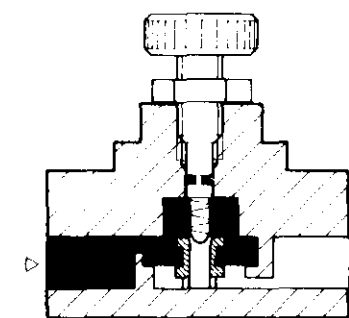
b) Gruppo di condizionamento (fig. 6.1)

Ad ogni presa d'aria compressa solo



Strozzatore di flusso bidirezionale

Fig. 5.14



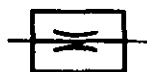
Strozzatore unidirezionale

Fig. 5.13

Strozzatori di portata a sezione costante:

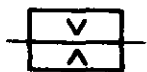
Elemento di strozzamento

Nell'elemento di strozzamento la lunghezza della gola è maggiore del diametro della sezione.



Elemento a diaframma

Nell'elemento a diaframma la lunghezza della gola di strozzamento è inferiore al diametro



Strozzatore di portata a sezione variabile

Strozzatore di portata con regolazione manuale della sezione di passaggio



Strozzatore di portata con regolazione meccanica della sezione di passaggio. E' vantaggioso applicare direttamente al cilindro gli strozzatori di portata per la regolazione della velocità dei pistoni.

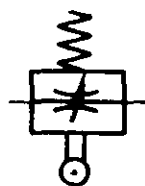
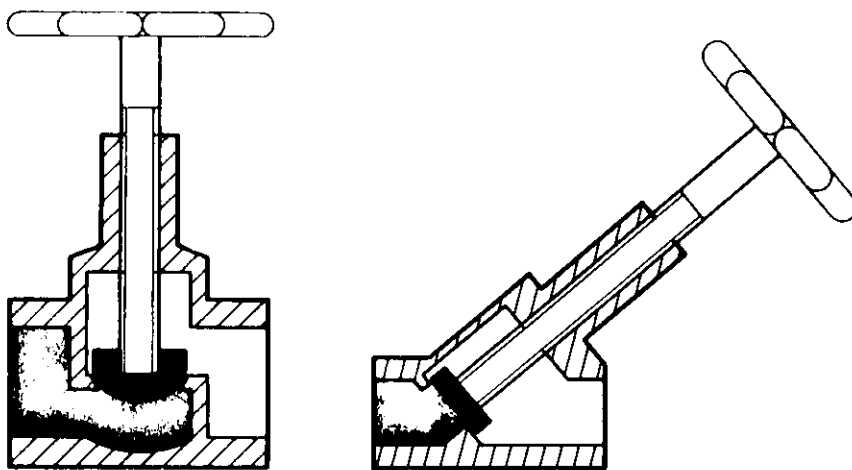
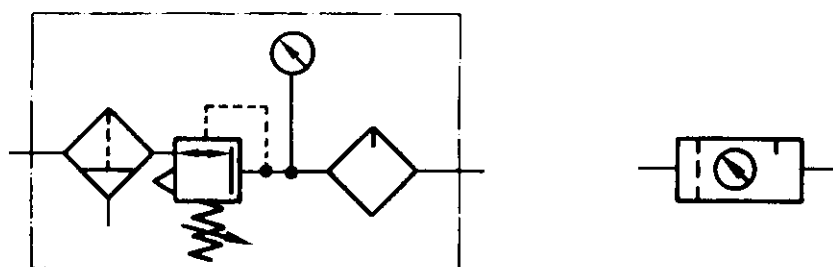


Fig. 5.15



**Valvola di intercettazione**

Fig. 5.16



**Gruppo di Condizionamento**

Fig. 6.1

per gli impianti di servocomando è necessario installare un gruppo di condizionamento.

Tale gruppo è costituito dai seguenti elementi disposti in serie uno di seguito all'altro:

- un filtro;
- un regolatore di pressione;
- un lubrificatore.

Appare evidente che la presenza di tale gruppo:

- elimina la possibilità che qualsiasi corpo estraneo che si forma nella linea di distribuzione possa penetrare nel servocomando rovinandolo;
- permette di alimentare il servocomando con una pressione di lavoro costante indipendentemente dalle variazioni di pressione nella rete di distribuzione e dal consumo d'aria;
- permette di inviare ai diversi componenti pneumatici aria sufficientemente lubrificata riducendo così l'usura dei pezzi in movimento.

L'olio per la lubrificazione deve possedere particolari caratteristiche per evitare ossidazioni e schiume che potrebbero rovinare le guarnizioni dei componenti pneumatici.

La fig. 6.1 rappresenta simbolicamente il gruppo di condizionamento.

### c) Motori pneumatici

Si definiscono motori pneumatici quei dispositivi capaci di trasformare l'energia potenziale, posseduta dall'aria compressa, in lavoro. In fig. 6.2 ne sono riportate le rappresentazioni simboliche.

I motori pneumatici si dividono in tre tipi in relazione al moto che essi generano:

- motori pneumatici alternativi;
- motori pneumatici semirotativi;
- motori pneumatici rotativi.

#### Motori pneumatici alternativi

I motori pneumatici alternativi sono quelli che normalmente vengono denominati cilindri pneumatici. Essi sono costituiti da: testate, cilindro, pistone e stelo o asta (fig. 6.3).

I cilindri possono possedere un pistone o una membrana ed essere a:

- semplice effetto con o senza ritorno a molla;
- membrana rotolante o non con ritorno a molla;
- doppio effetto con o senza asta passante;
- cavo flessibile.

*Cilindri a semplice effetto* (fig. 6.4 - 6.5 - 6.6)

Questi cilindri producono lavoro e

quindi spostamento solo in un senso; il ritorno è assicurato da una forza esterna o da una molla.

*Cilindri a membrana rotolante o non* (fig. 6.7)

Una membrana fissata al cilindro lo divide in due camere. L'aria compressa che dovrà muovere l'asta, solidale alla membrana, entra in una camera ed esercita la sua azione spingendo la membrana e facendola rotolare. Il ritorno, al cessare dell'azione dell'aria compressa, è assicurato da una molla. La membrana può anche essere non rotolante quando la corsa che deve effettuare l'organo finale è piccola (ad esempio valvole).

*Cilindri a doppio effetto* (fig. 6.8)

Questi cilindri utilizzano, per generare lavoro, i due sensi, pertanto l'asta lavorerà alternativamente a compressione e a trazione. Il lavoro svolto dai due cilindri A e B non sarà uguale perché nel cilindro A bisognerà tener conto del diametro dell'asta. In alcuni casi poi l'asta è passante, cioè esce dalle due testate.

*Cilindri a cavo flessibile* (fig. 6.9)

E' un cilindro a doppio effetto in cui l'asta è sostituita da un cavo flessibile vincolato allo stantuffo. Il cavo esce dalle due testate passando su due pulegge.

### II - Motori pneumatici semirotativi

Questi motori sono di due tipi a seconda che utilizzano sistemi che trasformano il moto alternativo in semirotativo o sistemi che direttamente danno il moto semirotativo.

*Cilindri semirotativi* (fig. 6.10 - 6.11).

Tali motori sono costituiti da cilindri a doppio effetto le cui aste posseggono una cremagliera che ingrana con un rocchetto. Appare evidente come il moto alternativo dello stantuffo si trasforma in moto semirotativo con angoli che vanno da 45° fino a 720°.

*Cilindro a palmole* (fig. 6.12)

Questo elemento, più frequentemente utilizzato in oleodinamica, è costituito da una o più alette denominate anche palmole il cui numero determina l'angolo di rotazione.

### III - Motori pneumatici rotativi

I motori pneumatici rotativi sono classificati in:

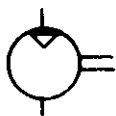
- motori a pistoncini;
- motori a lamelle (o palette);
- motori ad ingranaggi;
- motori aerodinamici (turbine).

*Motori a pistoncini* (fig. 6.13)

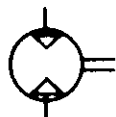
I motori a pistone possono essere in relazione al moto dei pistoncini, assiali e radiali.

I motori radiali sono costituiti da un certo numero di cilindri a semplice effetto collegati per mezzo di bielle ad un albero a manovella. Una valvola di distribuzione, dell'aria di tipo rotativa im-

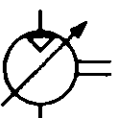
Motore pneumatico a portata costante, con rotazione unidirezionale.



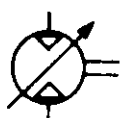
Motore pneumatico a portata costante, con rotazione bidirezionale.



Motore pneumatico a portata variabile con rotazione unidirezionale.



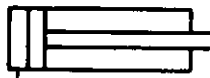
Motore pneumatico a portata variabile, con rotazione bidirezionale.



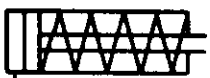
Motore pneumatico con rotazione limitata.



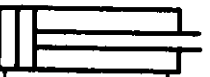
Cilindro a semplice effetto, ritorno mediante forza esterna.



Cilindro a semplice effetto, ritorno mediante molla.



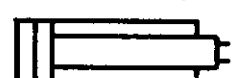
Cilindro a doppio effetto con asta semplice.



Cilindro a doppio effetto con asta passante.



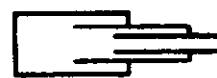
Cilindro differenziale con asta semplice.



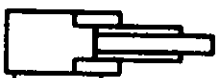
Cilindro a doppio effetto con ammortizzazione di finecorsa regolabile nei due sensi di marcia.



Cilindro telescopico a semplice effetto, ritorno mediante forza esterna.



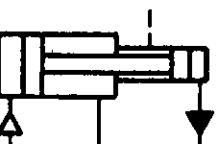
Cilindro telescopico a doppio effetto.



Amplificatore di pressione con un unico fluido.



Amplificatore di pressione con fluidi differenti (aria-liquido).



Convertitore di pressione (aria-liquido).

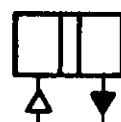


Fig. 6.2

mette e scarica l'aria compressa dai singoli cilindri garantendo così la continuità della rotazione dell'albero motore.

La velocità di rotazione massima è di

5.000 giri/min. e la potenza arriva fino a circa 20 kW. Possono ruotare nei due sensi di rotazione.

I motori assiali funzionano analoga-

mente a quelli radiali. Il movimento prodotto dai pistoni assiali è trasformato in moto rotatorio mediante un disco inclinato nell'asse di rotazione.

**Motori a lamelle** (fig. 6.14)

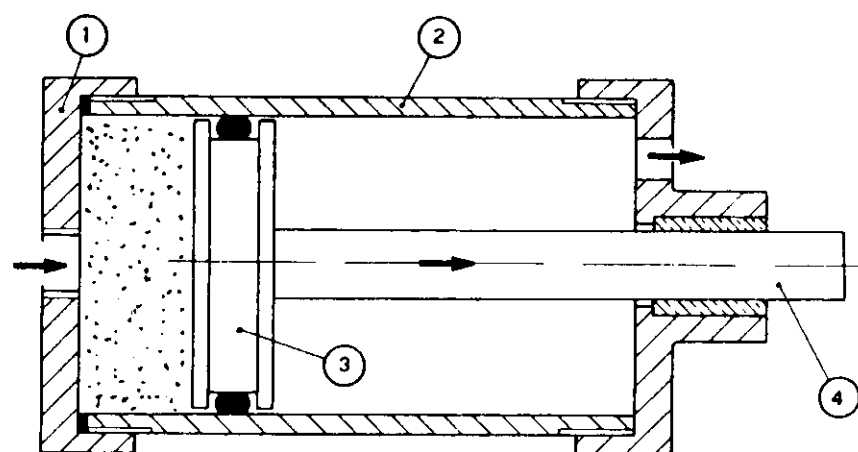
Un rotore è disposto eccentricamente in un cilindro. Sul rotore sono sistemate delle lamelle che vengono tenute aderenti al cilindro mediante delle molle e per effetto della forza centrifuga che nasce allorché il rotore ruota. L'aria compressa entrando da A agisce nelle parti sporgenti delle lamelle facendo nascere la rotazione dell'albero motore ed espandere l'aria compressa per effetto dell'aumento delle camere. Infine l'aria compressa espansa fuoriesce da B.

La velocità di rotazione può arrivare fino a 8500 giri/min. Il motore può girare nei due sensi di rotazione. Le potenze erogate arrivano fino a 17 kW.

**Motori ad ingranaggi**

Questo tipo di motore è costituito da una coppia di ruote dentate che ingranano l'una nell'altra. Una delle due ruote è solidale all'albero motore.

Il motore può girare nei due sensi di



1, testate;

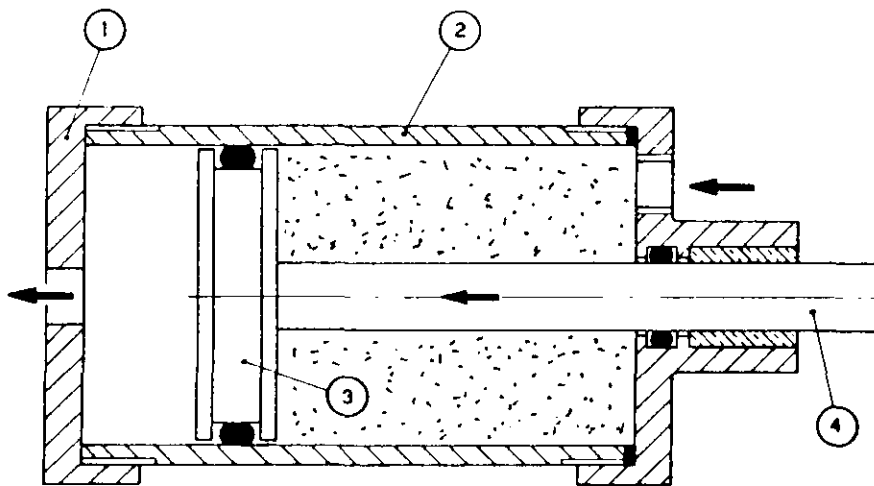
2, tubo di scorrimento o camicia;

3, pistone;

4, stelo o asta sporgente.

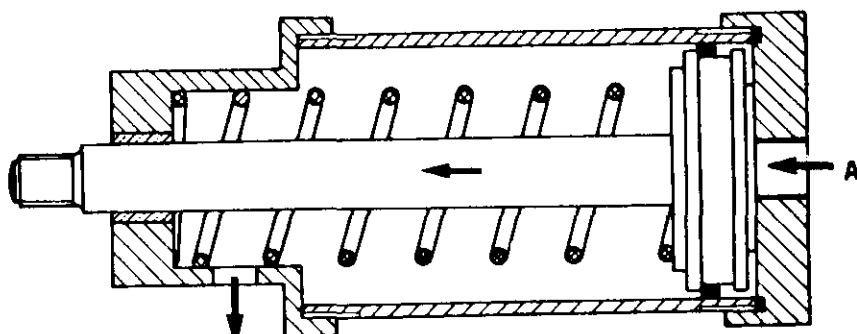
### CILINDRO PNEUMATICO A SEMPLICE EFFETTO CON AZIONE DI SPINTA

Fig. 6.3



**CILINDRO PNEUMATICO A SEMPLICE EFFETTO  
CON AZIONE TRAENTE**

Fig. 6.4



**CILINDRO A SEMPLICE EFFETTO CON AZIONE DI SPINTA  
E RITORNO A MOLLA INCORPORATA**

Fig. 6.5

rotazione. Le potenze erogate arrivano fino a 44 kW.

#### *Motori aerodinamici*

Tali motori sono delle turbinette che possono ruotare fino a 500.000 giri/min. Vengono utilizzati per potenze ridotte.

#### *d) Trasduttori pneumatici*

L'aria compressa per tali usi viene talvolta denominata "aria strumentale".

Il trasduttore pneumatico denominato anche trasmettitore pneumatico, serve per trasmettere a distanza mediante l'aria compressa il valore istantaneo di

un parametro da controllare in un processo, quale ad esempio: temperatura, pressione, livello, portata, ecc.

Esso è costituito (fig. 6.15) da un blocco nel quale arriva il valore da trasdurre e l'aria compressa a pressione ridotta a 20 p.s.i. ed esce un segnale modulato a 3-15 p.s.i. che rappresenta il valore trasdotto. Il trasduttore è costituito da una lamina metallica azionata dal parametro da trasdurre che può variare la sua distanza da un ugello alimentato con aria a 20 p.s.i.

Il tutto è denominato in anglosassone flapper. Allorché la lamina varia la sua distanza dall'ugello l'aria strumentale varia la sua pressione in uscita dal trasduttore modulandola fra 3-15 p.s.i.

In tal modo attraverso un tubicino di uscita lungo fino a circa 100 metri, può essere trasmesso il segnale pneumatico modulato ad uno strumento situato in una sala di controllo che è un manometro, ma nella realtà è un indicatore e/o registratore del parametro da misurare.

L'aria compressa utilizzata deve essere particolarmente privata di particelle solide, di olio e di umidità; tale aria prende anche il nome di aria strumentale. Il funzionamento del trasduttore pneumatico viene trattato esaurientemente nel paragrafo successivo.

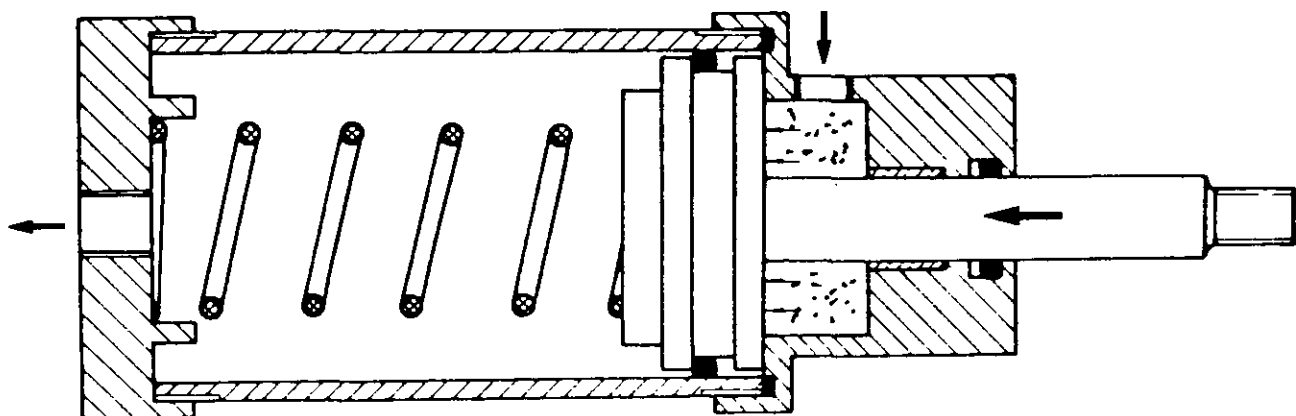
#### *e) Regolazioni pneumatiche (fig. 6.16)*

##### *1) Generalità*

La catena di regolazione pneumatica è costituita: dall'elemento sensibile, dal trasmettitore o trasduttore, dal controllore o regolatore, dall'organo finale della regolazione.

L'elemento sensibile è l'elemento rilevatore della grandezza regolata ed invia un segnale, proporzionale alla grandezza regolata, al trasduttore.

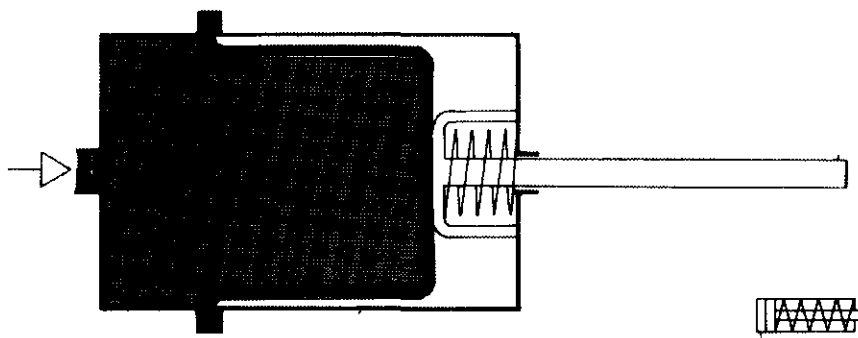
Il trasmettitore o trasduttore alimentato da aria strumentale a 20 psi trasduce il valore della grandezza regolata, misurato dall'elemento sensibile, in un segnale normalizzato pneumatico da 20 psi a



**Cilindro a semplice effetto con azione traente e ritorno a molla incorporata**

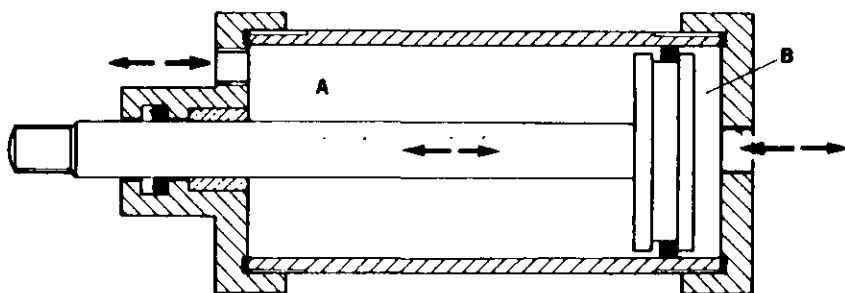
Fig. 6.6





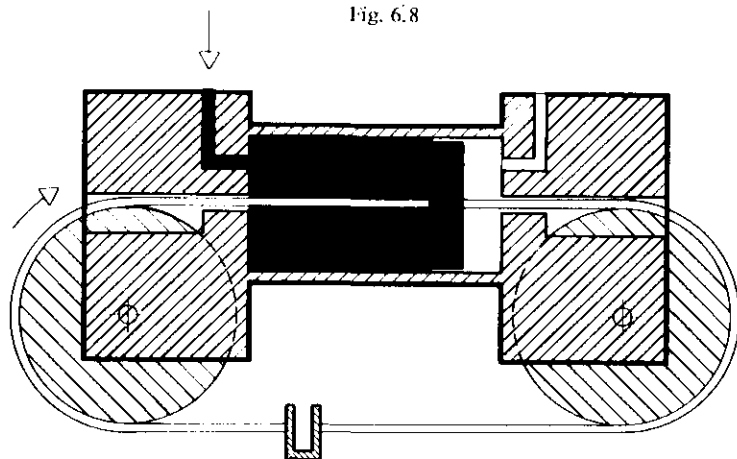
**Cilindro a membrana rotolante**

Fig. 6.7



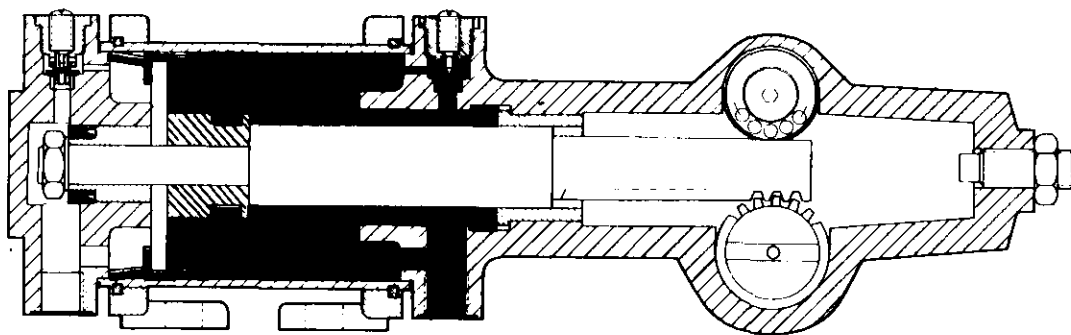
**CILINDRO PNEUMATICO A DOPPIO EFFETTO**

Fig. 6.8



**Cilindro a cavo flessibile**

Fig. 6.9



**Cilindro rotativo**

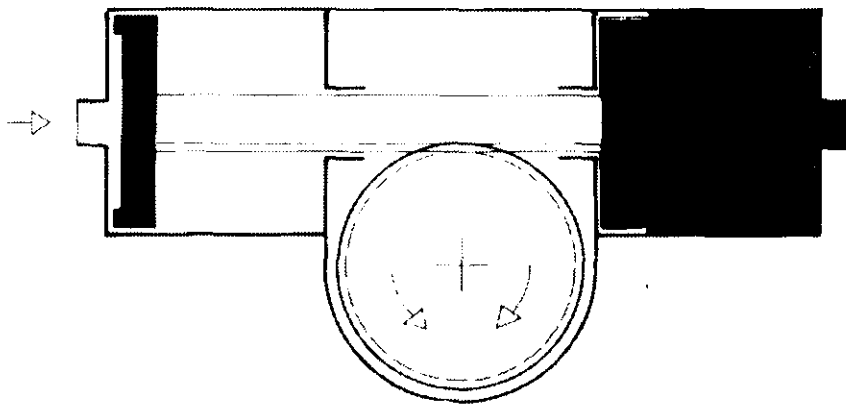
Fig. 6.10

valori modulati fra  $3 \div 15$  psi. Il valore della grandezza regolata, sia esso espresso in  $^{\circ}\text{C}$ , in bar, in mm  $\text{H}_2\text{O}$  ed altro, viene trasdotto in un segnale normalizzato tra  $3 \div 15$  p s i.

Ad esempio, se bisogna regolare una pressione intorno a 8 bar, si sceglierà un trasduttore di pressione con campo  $0 \div 10$  bar così il segnale inviato al controllore o regolatore sarà di 3 p s i in corrispondenza di 0 bar e di 15 p s i in corrispondenza di 10 bar. In tal modo, in corrispondenza di 8 bar, si avrà 12 p s i e per valori intermedi della pressione i corrispondenti valori normalizzati corrispondenti. Analogamente se la grandezza regolata fosse stata la temperatura, l'umidità, la portata di un fluido, ecc.

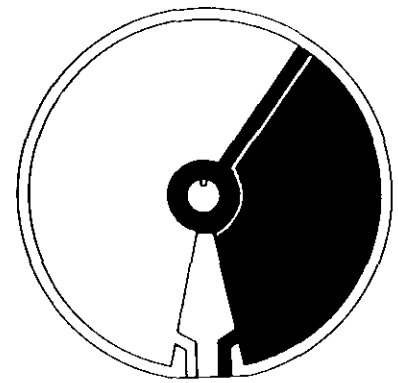
Il controllore o regolatore viene alimentato da aria strumentale a 20 p s i che viene modulata dal segnale modulato proveniente dal trasduttore; viene emesso quindi un nuovo segnale modulato normalizzato tra  $3 \div 15$  p s i che dipende: dal valore istantaneo della grandezza regolata, dal valore prefissato della grandezza regolata e dalla modalità di intervento del controllore.

L'organo finale della regolazione riceve il segnale pneumatico modulato da  $3 \div 15$  p s i che proviene dal controllore e quindi assume quella posizione per la quale la grandezza regolata assumerà il valore prefissato nel controllore. Se l'organo finale è provvisto di posizionatore questo viene alimentato da pressioni più elevata, intorno a 35 p s i, che a sua volta viene modulata dal segnale pneumatico  $3 \div 15$  p s i proveniente dal controllore. Tale soluzione viene adottata quando è richiesta: a causa delle notevoli dimensioni dell'organo finale, una maggiore potenza per azionare l'organo finale di regolazione; una maggiore precisione nella corrispondenza pressione/corsa; quando, a causa della distanza fra il regolatore e l'organo finale, è necessario una prontezza nella risposta.



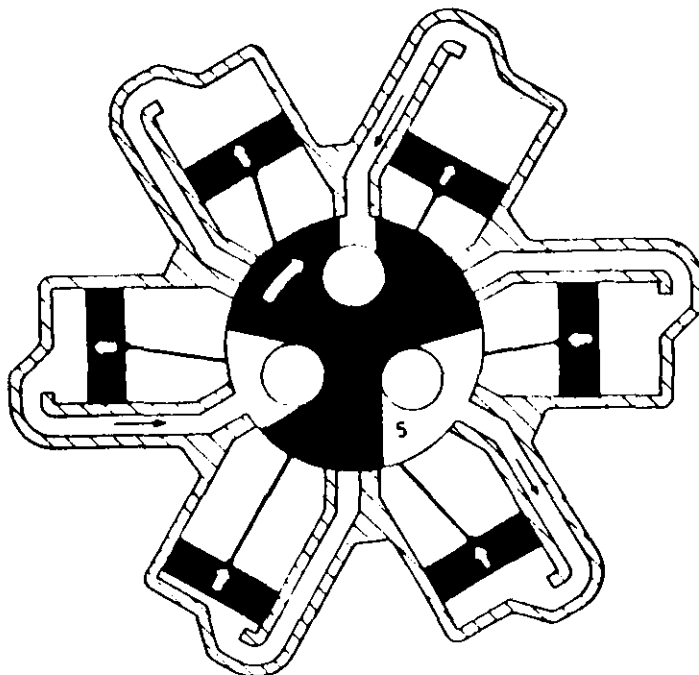
**Cilindro rotativo**

Fig. 6.11



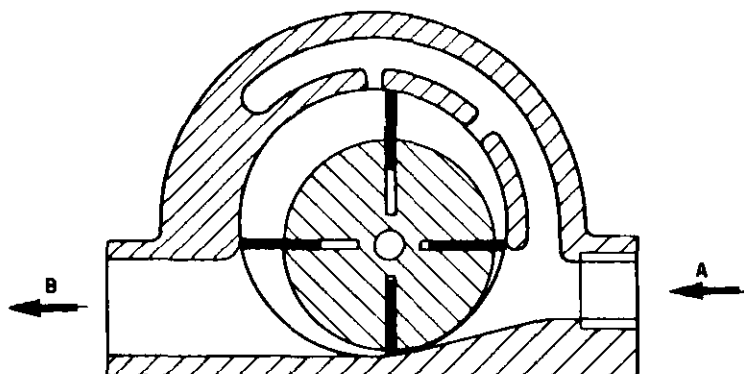
**Cilindro ad aletta**

Fig. 6.12



**SCHEMA DI FUNZIONAMENTO DEL MOTORE PNEUMATICO A PISTONI**

Fig. 6.13



**PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEI MOTORI PNEUMATICI A LAMELLE**

Fig. 6.14

L'elemento caratterizzante una regolazione pneumatica è il modulatore pneumatico del quale è necessario dare maggiori dettagli costruttivi.

## 2) Modulatore pneumatico (6.17)

Il gruppo modulatore costituisce l'elemento caratteristico della regolazione automatica ed è presente nei trasduttori, nei controllori, nei generatori della pressione di riferimento (set point) e nei posizionatori dell'organo finale della regolazione.

Il gruppo modulatore è costituito da un ugello e da una lamina (flapper) che può ruotare intorno ad un proprio fulcro. Con il modulatore viene infatti modulata da 3 a 15 p.s.i. la pressione dell'aria strumentale che trovasi a 20 p.s.i. Tale modulazione è ottenuta variando la portata dell'aria strumentale che dipende dalla distanza tra ugello e lamina.

I modulatori sono costruiti in maniera che basta uno spostamento della lamina dell'ugello di 0,02 mm per ottenere la variazione della pressione da 3 ÷ 15 p.s.i.

L'ugello è in comunicazione dal lato lamina con l'atmosfera mediante un forellino calibrato, attraverso cui l'aria sfugge, il cui diametro è inferiore a quello dell'ugello.

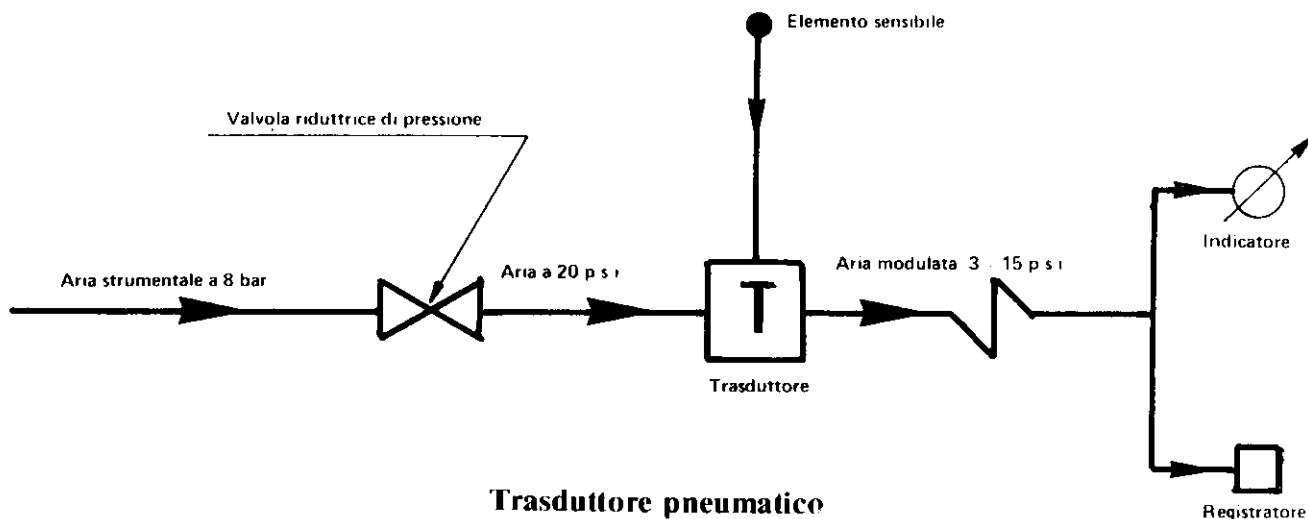
Il diametro dell'ugello infatti è di alcuni millimetri mentre quello dell'orifizio è di decimi di millimetri.

Dall'altro lato dell'ugello poi vi è una strozzatura, il cui diametro varia tra i 2/10 e i 5/100 di mm, che costituisce una grande resistenza pneumatica.

L'ugello è alimentato dall'aria strumentale e con pressione costante di 20 p.s.i.

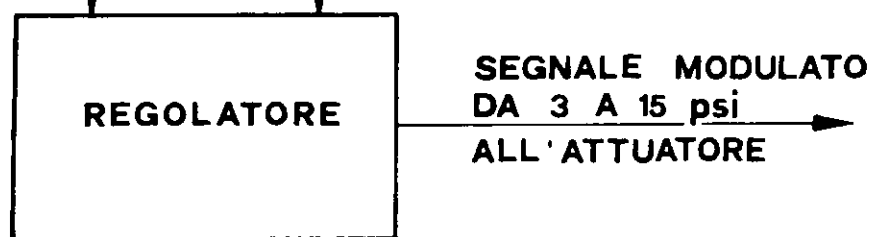
L'aria strumentale proviene dalla centrale d'aria compressa e, prima di essere inviata al modulatore, viene ridotta, mediante una valvola riduttrice, alla pressione di 20 p.s.i.

Se sistemiamo due manometri come in figura, possiamo, allorché provochiamo lo spostamento della lamina dalla



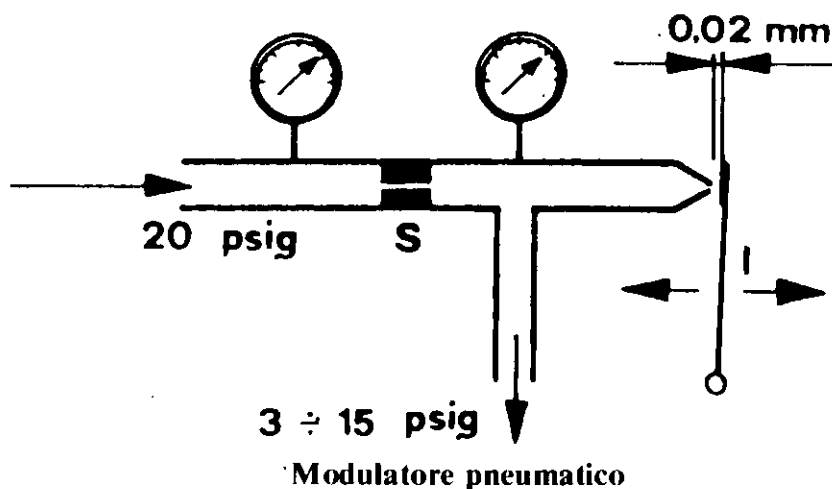
**SEGNALE MODULATO  
DA 3 A 15 psi  
DAL SET-POINT**

**ARIA STRUMENTALE A 20 psi**



**SEGNALE MODULATO  
DA 3 A 15 psi DAL TRASDUTTORE**

Fig. 6.16



posizione di contatto con l'orizzio, registrare per ogni posizione della lamina la relativa pressione che si stabilizza nell'ugello.

Pertanto, per ogni modulatore pneumatico può essere tracciato un diagramma spostamento lamina / pressione di risposta.

Il legame fra lo spostamento e la pressione non è lineare e bastano spostamenti molto piccoli per provocare notevoli variazioni di pressione.

### 3) Caratteristiche del compressore e del polmone negli impianti per l'aria strumentale

Per quanto concerne il dimensionamento del compressore e del polmone negli impianti per l'aria strumentale si fa riferimento ai seguenti valori:

- consumo dell'aria strumentale per

punto di utilizzazione rappresentato da trasduttore, regolatore e posizionale: 3 Kg/h;  
- capacità del polmone  $1/8 \text{ m}^3$  per punto di utilizzazione.

La conoscenza del numero dei punti di utilizzazione permette di conoscere quindi la potenzialità del compressore e la capacità del polmone.

Se le apparecchiature sono munite di relé a perdita discontinua, i consumi d'aria strumentale si ridurranno ad un terzo.

Infatti con tali apparecchiature si ha un consumo d'aria solo nei periodi transitori mentre a regime il consumo d'aria è nullo.

I tubi per la trasmissione dei segnali sono di rame o di acciaio inox o di plastica a seconda dell'aggressività dell'ambiente in cui sono collocati.

Tali tubi hanno in generale un diametro esterno di 6 mm, uno spessore di 1 mm se raggiungono il trasduttore, il controllore e l'organo finale di regolazione.

Le distanze massime tra gli elementi in campo (trasduttore a valvole di regolazione) ed elementi a quadro (regolatori) non devono superare i 100 m per evitare eccessivi ritardi dovuti alla trasmissione dei segnali pneumatici.

#### f) Le principali funzioni ed i principali circuiti logici pneumatici e fluidici relativi

##### 1) Generalità

I circuiti logici possono essere realizzati oltre che in forma meccanica, elettromeccanica ed elettronica anche in forma pneumatica e fluidica.

##### 2) Circuiti logici pneumatici

Riportiamo di seguito le principali funzioni logiche ed i circuiti pneumatici relativi.

Le funzioni logiche di base sono tre:

- AND
- OR
- NOT

Accanto a queste vengono considerate le seguenti funzioni elementari:

- YES; implicazione
- NOR; inibizione
- NAND; identità

La funzione AND rappresenta il prodotto logico. Essa è rappresentata schematicamente in fig. 6.18 con le entrate X, Y ed un uscita U. La tabellina della verità, riportata di seguito, indica che il segnale di uscita U ha il valore 1 solo se tutte e due le entrate sono 1:

X	Y	U
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Fig. 6.18

Tale funzione logica "AND" riferita ad un circuito pneumatico è data dal circuito in fig. 6.19. In esso sono montate in serie 2 valvole 2/2 normalmente chiuse. Solo se i due segnali di pilotaggio X e Y spostano i cassetti delle due valvole esse lasciano passare l'aria compressa da P verso Y e avremo  $U = X \cdot Y$ .

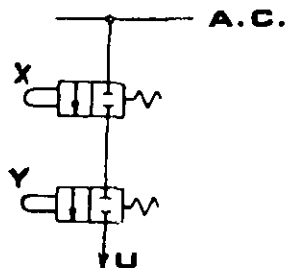


Fig. 6.19

La funzione OR rappresenta la somma logica. Essa è rappresentata schematicamente come in fig. 6.20 con le entrate X, Y ed un uscita U. La tabellina della verità, riportata di seguito, indica che il segnale di uscita U ha il valore 1 se una qualsiasi delle due entrate ha valore 1:

X	Y	U
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1
0	0	0

Fig. 6.20

Tale funzione logica "OR" riferita ad un circuito pneumatico è data dal circuito in fig. 6.21. In esso sono montate in parallelo due valvole 2/2 normalmente chiuse. Solo se uno dei due segnali di pilotaggio X e Y spostano uno dei cassetti delle due valvole esse lasciano passare l'aria compressa da P verso U e avremo  $U = X + Y$ .

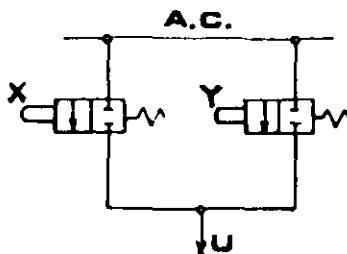
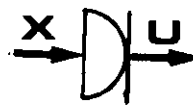


Fig. 6.21

La funzione NOT rappresenta la funzione negatrice o inversione. Essa è rappresentata schematicamente come in fig. 6.22 con l'entrata X e l'uscita U. La tabellina della verità, riportata di seguito, indica che il segnale di uscita U ha

valore 1 se l'entrata X ha valore 0 e viceversa ha uscita 0 se l'entrata X ha valore 1:



X	U
0	1
1	0

Fig. 6.22

Tale funzione logica "NOT" riferita ad un circuito pneumatico è dato dal circuito in fig. 6.23. In esso è montata una valvola 2/2 normalmente aperta e ciò consente, all'aria compressa, di passare da P verso U quando il segnale di pilotaggio X è a 0. Viceversa se il segnale di pilotaggio X è uguale a 1 viene interrotto il flusso d'aria da P verso U. Infatti il segnale di pilotaggio X sposta il cassetto della valvola in posizione di chiusura.

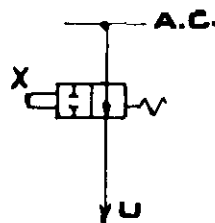
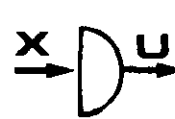


Fig. 6.23

##### Yes o identità

La funzione Yes rappresenta una ripetizione. Essa è rappresentata schematicamente come in fig. 6.24 con l'entrata X e l'uscita U contemporaneamente e senza ritardo. Se l'impulso esiste all'entrata si manifesta immediatamente anche all'uscita. La tabellina della verità, riportata di seguito indica che il segnale di uscita U ha valore 1 se l'entrata X ha valore 1 e viceversa ha valore 0 se l'entrata X ha valore 0:



X	U
0	0
1	1

Fig. 6.24

Tale funzione logica riferita ad un circuito pneumatico è data dal circuito in fig. 6.25.

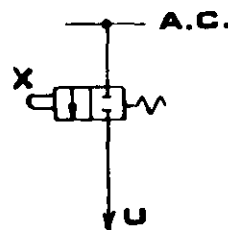


Fig. 6.25

In esso è montata una valvola 2/2 normalmente chiusa e ciò consente all'aria compressa di passare da P verso U quando il segnale di pilotaggio X è uguale a 1.

Viceversa se il segnale di pilotaggio  $X = 0$  il flusso d'aria da P verso U viene interrotto. Infatti il segnale di pilotaggio X sposta il cassetto della valvola in posizione di apertura.

La funzione **NOR** è l'inversa della funzione **OR**. Essa ha una sigla composta dalle sigle "NOT" e "OR".

Essa è rappresentata schematicamente come in fig. 6.26 con le entrate X e Y ed un'uscita U. La tabellina della verità, riportata di seguito, indica che il segnale di uscita ha valore 1 solo se le due entrate hanno valore 0.

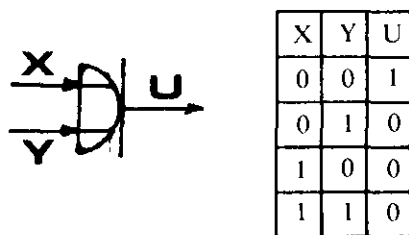


Fig. 6.26

Tale funzione logica "NOR" riferita ad un circuito pneumatico è data dal circuito in fig. 6.27. In esso sono montate in serie due valvole 2/2 normalmente aperte. Solo se i segnali di pilotaggio X e Y spostano i cassette delle due valvole il flusso d'aria da P verso U viene interrotto. Pertanto per avere segnale in uscita U i due segnali di pilotaggio X e Y devono essere entrambi nulli.

L'elemento "NOR" può essere scomposto come nella fig. 6.28 e risulta pertanto più comprensibile.

Infatti tale funzione riferita ad un circuito pneumatico risulta costituita da un circuito OR il cui segnale di uscita Z diventa il segnale di ingresso di un circuito NOT.

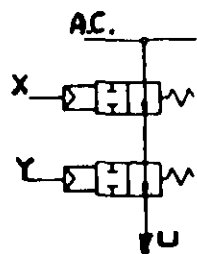


Fig. 6.27

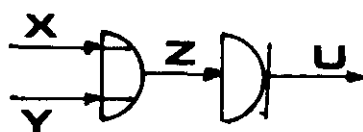


Fig. 6.28

La funzione **NAND** è l'inverso della funzione **AND**. Essa è composta dalle sigle "NOT" e "AND" ed è rappresentata schematicamente come in fig. 6.29. La tabellina della verità, riportata di seguito, indica che il segnale di uscita U ha valore 0 solo quando i due segnali X e Y sono entrambi uguali a 1. Viceversa ha valore 1 se uno dei due segnali o entrambi hanno valore 0:

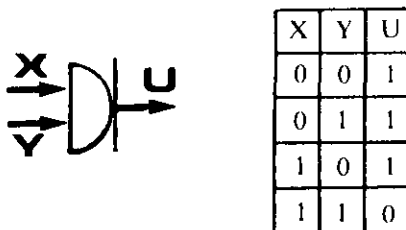


Fig. 6.29

Tale funzione logica "NAND", riferita ad un circuito pneumatico, è data dal circuito in fig. 6.30. In esso sono riportate due valvole 2/2 normalmente chiuse in serie ed una valvola 2/2 normalmente aperta. Solo se entrambi i segnali di pilotaggio X e Y hanno i valori 1 il segnale di uscita U è 0. Infatti se i segnali di pilotaggio hanno valore 1 ci sarà un segnale che chiuderà la valvola che collega il flusso d'aria compressa P con l'uscita U.

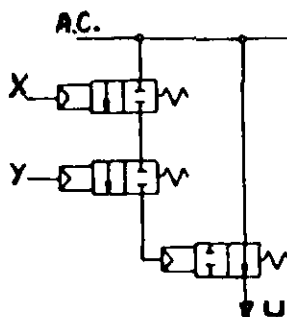


Fig. 6.30

La funzione **inibizione** è rappresentata in un circuito pneumatico come in fig. 6.31. Esso è costituito da due valvole 2/2 inserite in serie di cui una è normalmente chiusa e l'altra è normalmente aperta (fig. 6.32).

Ciò significa che il segnale di uscita U ha valore 1 solo se i segnali di pilotaggio  $X = 1$   $Y = 0$

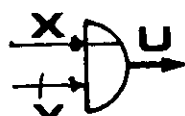


Fig. 6.31

X	Y	U
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	0

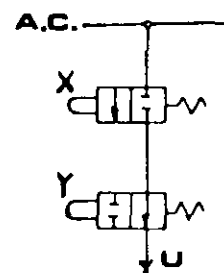


Fig. 6.32

La funzione **implicazione** è rappresentata in circuito pneumatico come in fig. 6.33. Esso è costituito da due valvole 2/2 inserite in parallelo di cui una è normalmente aperta e l'altra normalmente chiusa (fig. 6.34).

Ciò significa che il segnale di uscita U ha valore 1 se i segnali di pilotaggio sono:  $Y = 0$  o  $X = 1$  o ancora  $X = 0$  e  $Y = 0$ .

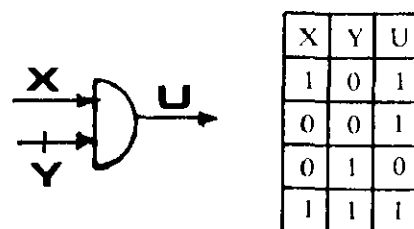


Fig. 6.33

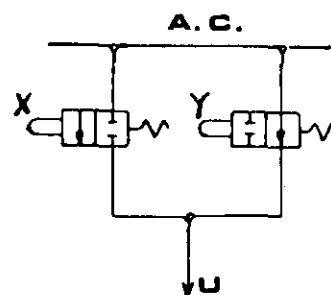


Fig. 6.34

### 3) Circuiti logici fluidici

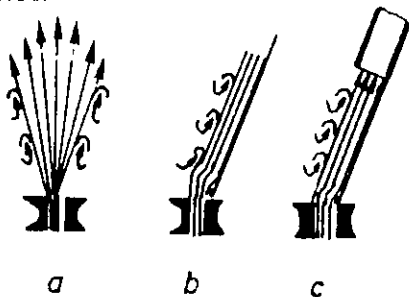
Nei paragrafi precedenti abbiamo applicato le funzioni logiche a circuiti pneumatici i cui componenti sono costituiti da elementi ad azione meccanica cioè da elementi in cui la commutazione interna avviene solo per effetto dello spostamento di un otturatore di un cassetto o di una membrana.

Tali elementi inoltre sono alimentati da segnali di pilotaggio persistenti cioè l'uscita è vincolata alla presenza di segnali di pilotaggio X, Y, Z, ecc.

Esaminiamo ora i circuiti pneumatici costituiti da elementi senza parti meccaniche in movimento con l'uscita U vincolata solo dall'impulso iniziale di segnali di pilotaggio X, Y, Z, ecc.

I dispositivi che permettono di realizzare tali circuiti sono basati sull'effetto

parete o anche denominato effetto Coanda perché scoperto appunto dall'ing. rumeno Enrico Coanda nel 1930.



### Principio dell'effetto Coanda

Fig. 6.35

Il principio dell'effetto parete è il seguente: un getto libero d'aria o di qualsiasi liquido turbolento può essere deviato facilmente allorché viene avvicinata alla direttrice del getto una parete piana inclinata. Successivamente il getto può essere fatto entrare in una tubazione (fig. 6.35).

Se alla parete piana operiamo un forellino ed insuffliamo aria sotto pressione il getto d'aria ritorna nella sua posizione originaria come se la parete inclinata non esistesse.

Se consideriamo la tubazione come un'uscita U di regolazione e il foro con l'aria sotto pressione come un segnale di pilotaggio X, abbiamo realizzato la componente di regolazione pneumatica con sistemi pneumatici e senza parti meccaniche in movimento.

Esaminiamo di seguito i principali componenti logici ad impulso e senza parti meccaniche in movimento.

### La funzione AND

Costituita da una piastra come in fig. 6.36.

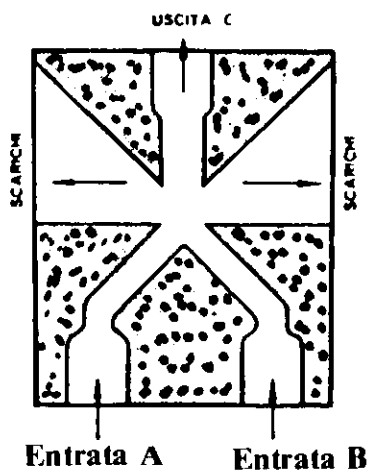
Se immettiamo aria solo in una delle due entrate questa esce da uno dei due scarichi e attraverso l'uscita non passa l'aria. Se invece immettiamo aria contemporaneamente allora esce aria dall'uscita.

### La funzione OR

È realizzata con una piastra come in fig. 6.37.

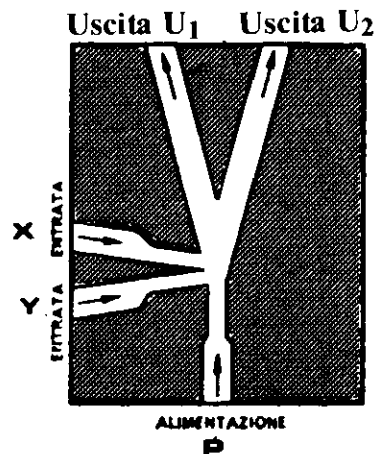
Un'alimentazione P può dar luogo a due uscite U1 e U2 a seconda della presenza di uno qualsiasi dei segnali di pilotaggio X o Y.

In assenza di segnali il getto d'aria si incolla stabilmente a sinistra uscendo da U1; allorché uno dei due segnali X o Y di pilotaggio danno valore 1 il getto d'aria si sposta a destra uscendo da U2.



### Circuito logico "And"

Fig. 6.36



### Circuito logico "Or"

Fig. 6.37

### Bibliografia

- Andrea Langfelver - L'automazione nelle industrie ed altri campi - Hoepli - Milano
- Giorgio Uggeri - Servocomandi pneumatici - Hoepli - Milano
- Bollettini tecnici della "Hiross Italia"
- Carlo Torresan - Automazione di impianti chimici e termici - Hoepli - Milano
- Introduzione alla pneumatica - Festo Didactic
- Corradino Ciampa - I servizi ausiliari di bordo: ventilazione, refrigerazione e condizionamento dell'aria - L'automazione Navale - Genova

# Automazione Festo off shore

La piattaforma di estrazione NAM K 14 FA1 si trova nel Mar del Nord a 100 Km dalle coste danesi. Ha una superficie di  $75 \times 30$  mq e si trova a 30 m sul livello del mare che in questo punto ha una profondità di 30 m.

Il giacimento di metano si trova a 3000 m di profondità, alla pressione di 150 bar a temperatura di  $40^\circ$  C.

Si estraggono mediamente 5 milioni di  $m^3$  al giorno.

Il gas sulla piattaforma viene essiccato e filtrato per eliminare umidità e sabbia residua e viene convogliato alla terraferma mediante un gasdotto di 100 km. Durante questo trattamento preliminare sulla piattaforma la temperatura del gas

viene ridotta a  $35^\circ$  C e la pressione a 80 bar.

In questo settore la sicurezza ha un ruolo predominante e impone l'impiego della tecnica pneumatica per comando e regolazione.

Nella sala di comando (fig. 4) si svolgono tutti i procedimenti di controllo: i segnali ingresso e in uscita sono prevalentemente pneumatici e la loro elaborazione avviene all'interno degli armadi di comando.

L'aria compressa a 1,4 bar necessaria per il funzionamento degli strumenti viene essiccata mediante un impianto a assorbimento (figg. 5-6-7).

L'impianto è costituito da 2 colonne di essiccazione in cui si alternano le fasi

di essiccazione e di rigenerazione.

Le colonne sono collegate in parallelo e mentre una è in fase di essiccazione l'altra è in fase di rigenerazione. In questo modo si garantisce costantemente la funzionalità dell'impianto.

Per la commutazione automatica da fase di essiccazione a fase di rigenerazione e viceversa secondo periodi stabiliti è

FIGG. 1-2-3: La piattaforma NAM-K14-FA-1 che si trova nel Mar del Nord a 100 Km, dalle coste danesi. Un elicottero provvede al collegamento con la terraferma 5 giorni alla settimana. Vengono estratti 5 milioni di  $m^3$  di gas al giorno, che vengono depurati da residui di acqua e sabbia e convogliati alla terraferma mediante un gasdotto.



FIG. 4 La sala centrale di comando che controlla tutti gli impianti della piattaforma. La notte tutte le funzioni di controllo vengono effettuate per mezzo di telecamere collegate ad una centrale in terraferma.

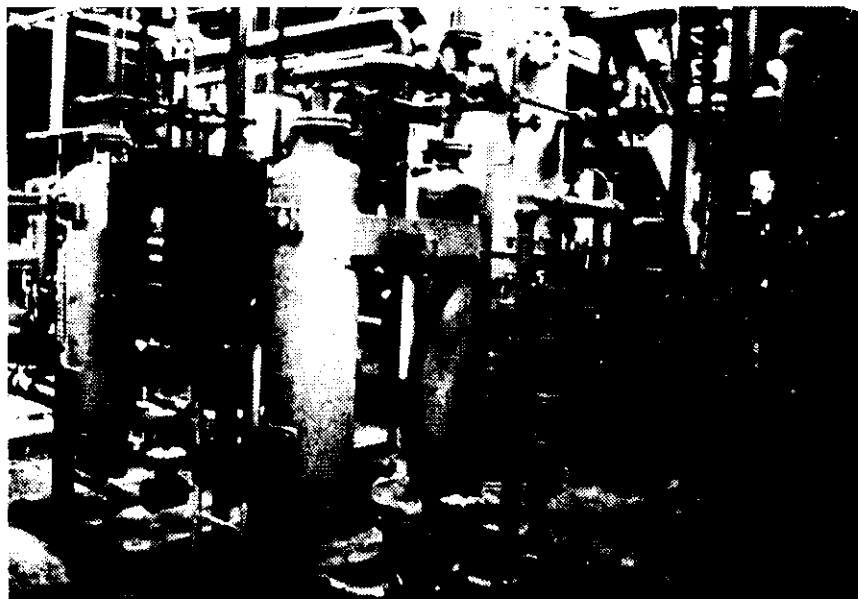


FIG. 5 Gli impianti di generazione aria compressa.

impiegato un sistema di comando Festo a bassa pressione.

Determinanti per la scelta di questo tipo di comando sono state le condizioni ambientali del Mar del Nord con aria salmastra ed escursione termica tra -20 e +30°C. L'ambiente in cui è collocato l'impianto di essiccazione non può essere

isolato per impedire che eventuali fughe di gas provochino nell'ambiente stesso la concentrazione esplosiva; pertanto l'aria atmosferica umida e salmastra penetra ovunque.

In queste condizioni il sistema di comando Festo, installato nel 1977, funziona ininterrottamente 24 ore al giorno

per 365 giorni all'anno. Il sistema di comando (figg. 5 e 6) è racchiuso in armadio verniciato con sostanze antistatiche; tutti i condotti in ingresso e in uscita sono in acciaio inox. Lo scarico delle valvole all'interno dell'armadio garantisce una leggera sovrappressione che impedisce infiltrazioni di aria salmastra.

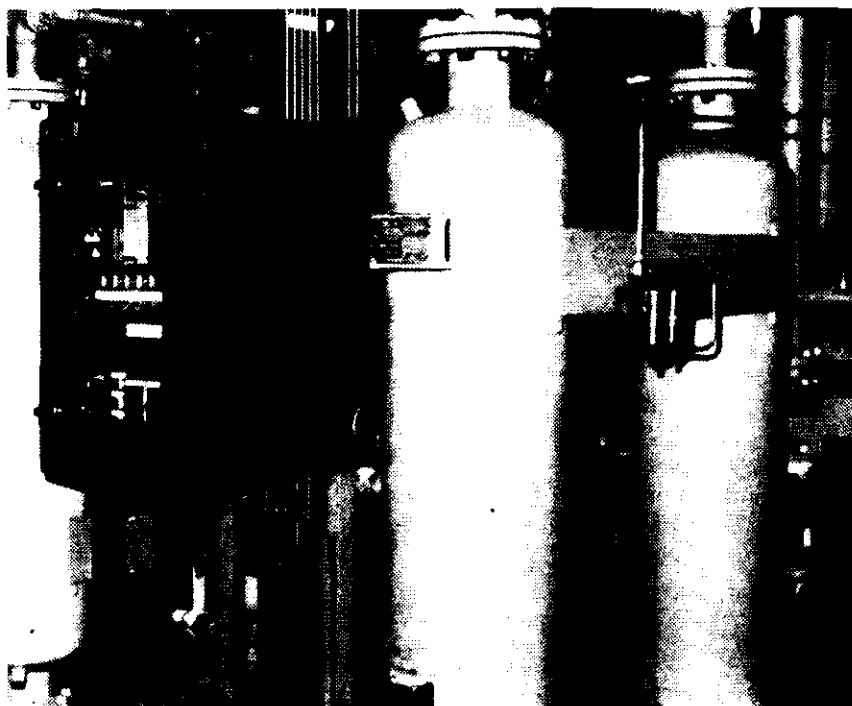


FIG. 6. Il comando Festo a bassa pressione per l'impianto di essiccazione dell'aria compressa per il funzionamento degli strumenti di controllo e regolazione a 1,4 bar. Il sistema pneumatico comanda automaticamente 2 impianti di essiccazione 24 ore al giorno per 365 giorni all'anno.

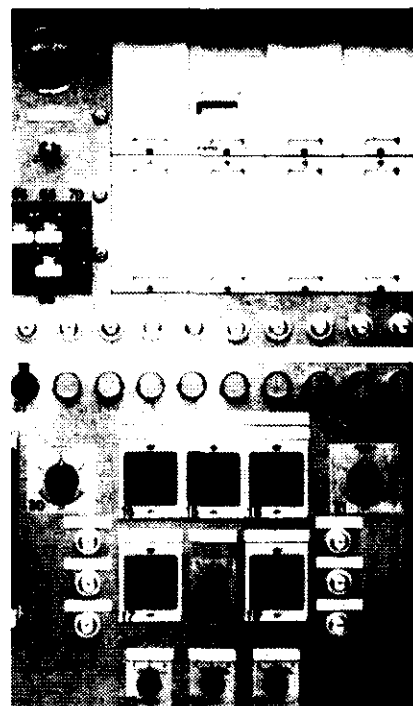


FIG. 7 Display del comando pneumatico con i contatori a preselezione per il mantenimento dei diversi tempi del processo di essiccazione e i temporizzatori per lo scarico automatico di condensa.