

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

Impianti Meccanici

1

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

**L'impiego dell'aria compressa negli
stabilimenti è ormai generalizzato per il
comando , la regolazione di utenze e
come forza motrice :**

Macchine utensili

Martelli pneumatici

Trasporti pneumatici

Pistole a spruzzo

Applicazioni dell'aria compressa

Impianti Meccanici

2

La portata dei compressori è misurata in volume di aria libera per unità di tempo (ora, minuto, secondo)

Si misura la portata in metri cubi aspirati in un'ora riferiti alla pressione di 101325 Pa

(1,013 bar o 760 mmHg)

in assenza di umidità ed alla temperatura di 0°C

Si definiscono allora i “normali metri cubi” all'ora e si scriverà Nm³/h

Per trasformare la portata di aria libera in portata allo stato normale tecnico di riferimento si applica la relazione:

$$Q_N = Q_A \frac{T_N}{T_A} \frac{P_A}{P_N} \frac{P_A}{P_N} \frac{P_V}{P_N}$$

Premesse

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

Q_N = portata espressa in Nm^3/h o Nm^3/min o Nm^3/s

Q_A = portata effettiva riferita alle condizioni di aspirazione
espressa in m^3/h o m^3/min o m^3/s

T_N = temperatura assoluta dell'aria allo stato normale tecnico di
riferimento (273 K)

T_A = temperatura assoluta dell'aria alle condizioni nominali di
aspirazione (K)

P_A = pressione assoluta dell'aria all'aspirazione (bar-a)

P_N = pressione assoluta a cui sono riferiti i Nm^3/h (1 bar-a)

ϕ = umidità relativa alle condizioni nominali di aspirazione (%)

P_v = pressione assoluta parziale (bar) del vapore acqueo saturo
alla temperatura di aspirazione

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

$$L_i = \int_{p_1}^{p_2} v \, dp + L_w$$

Lavoro di compressione dell'aria

**Impianti di
produzione e
distribuzione di aria
compressa**

$$L_{is} = RT_1 \ln \beta$$

$$L_{ad} = \frac{k}{k-1} RT_1 (\beta^{\frac{k-1}{k}} - 1)$$

Lavoro di compressione dell'aria

Impianti Meccanici

7

**Impianti di
produzione e
distribuzione di
aria compressa**

$$L_i = \frac{m}{m-1} RT_1 [\beta^{\frac{m-1}{m}} - 1] + L_w$$

Lavoro di compressione dell'aria

Impianti Meccanici

8

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

$$L_i = \frac{k}{k-1} RT_1 [\beta^{\frac{k-1}{k\eta_y}} - 1]$$

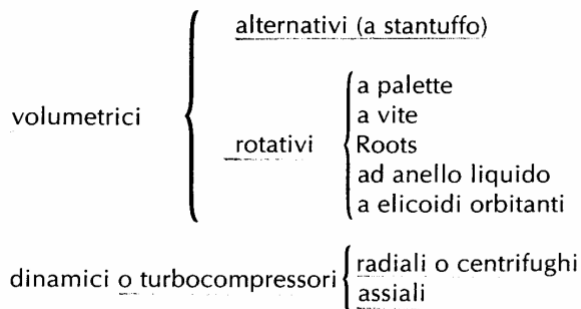
$$\eta_y = \frac{L_i - L_w}{L_i} = \frac{\frac{k-1}{k}}{\frac{m-1}{m}}$$

Lavoro di compressione dell'aria

Impianti Meccanici

9

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

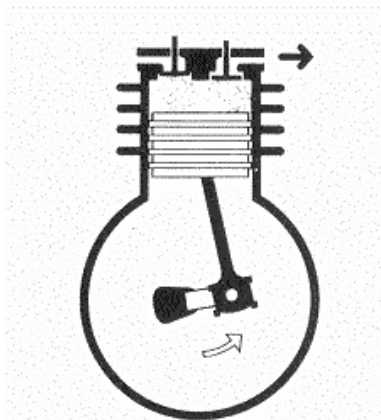


Compressori di frequente impiego

Impianti Meccanici

10

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa



Compressore a stantuffo monostadio (con cilindro raffreddato ad aria)

Impianti Meccanici

11

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

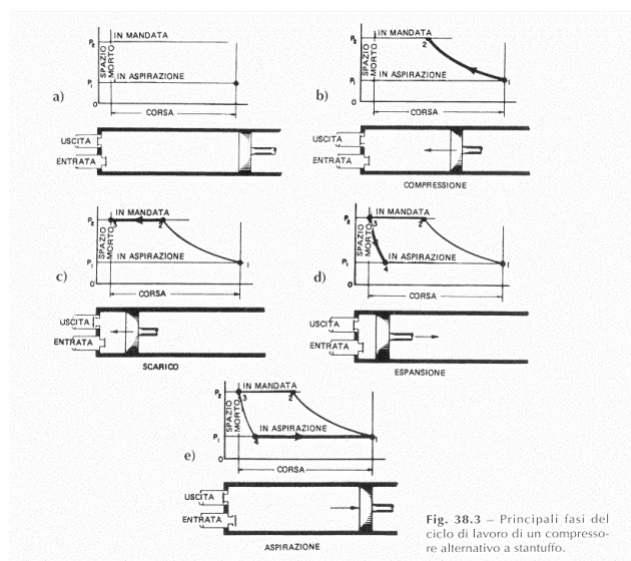


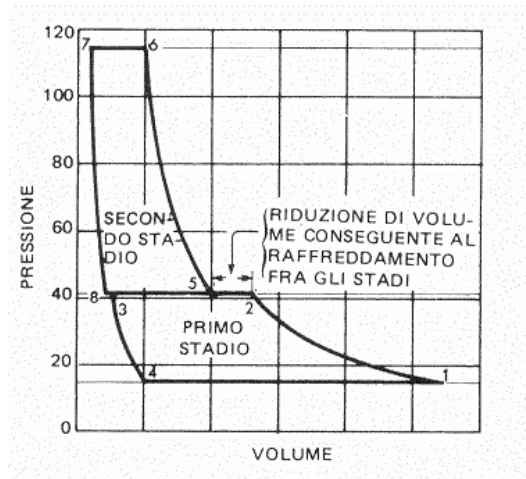
Fig. 38.3 – Principali fasi del ciclo di lavoro di un compressore alternativo a stantuffo.

Principali fasi del ciclo di lavoro di un compressore alternativo a stantuffo

Impianti Meccanici

12

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

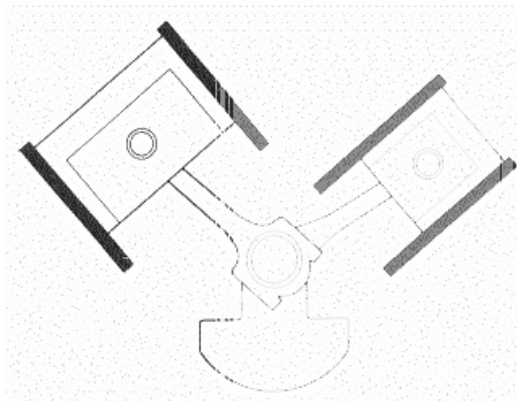


Ciclo di lavoro di un compressore volumetrico a due stadi

Impianti Meccanici

13

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa



Schema di compressore a stantuffo bistadio

Impianti Meccanici

14

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

La potenza assorbita dai compressori alternativi è data dalla

$$(38.7) \quad N = \frac{\rho_a A L_i}{1000 \eta_m} \quad (\text{kW})$$

essendo:

ρ_a la massa volumica dell'aria all'aspirazione (kg/m^3);

A la portata d'aria aspirata (m^3/s);

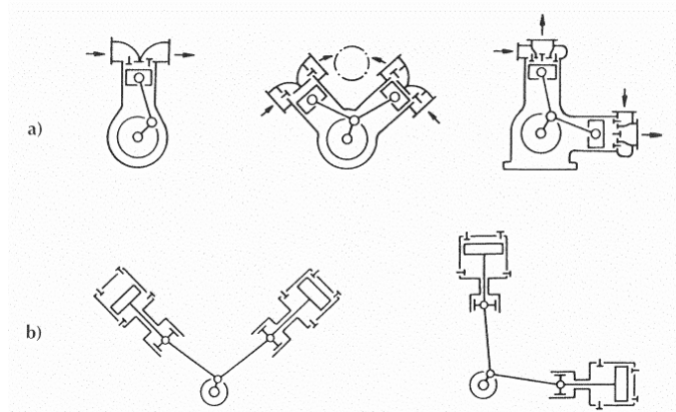
η_m il rendimento meccanico del compressore ($\eta_m \approx 0,88 \div 0,95$).

Potenza elettrica assorbita

Impianti Meccanici

15

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

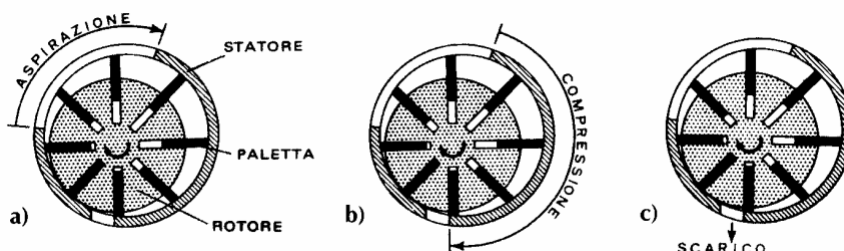


Schemi di compressori a stantuffo : a) a semplice effetto; b) a doppio effetto

Impianti Meccanici

16

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

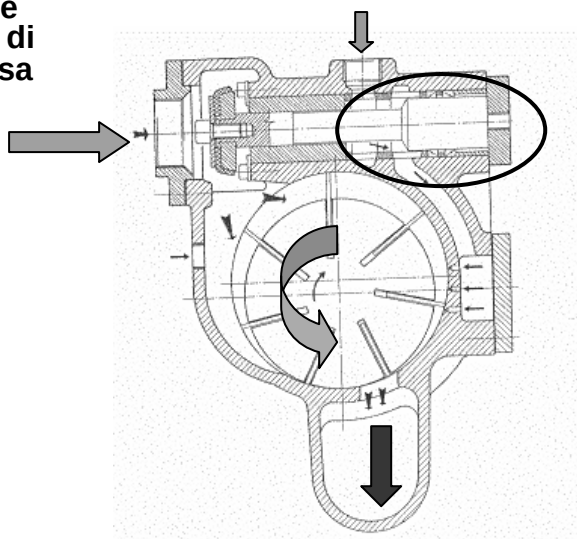


Fasi del ciclo di lavoro di un compressore rotativo a palette

Impianti Meccanici

17

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

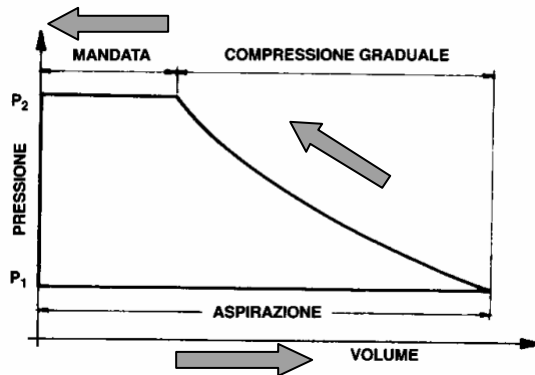


Sezione schematica di un compressore rotativo

Impianti Meccanici

18

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

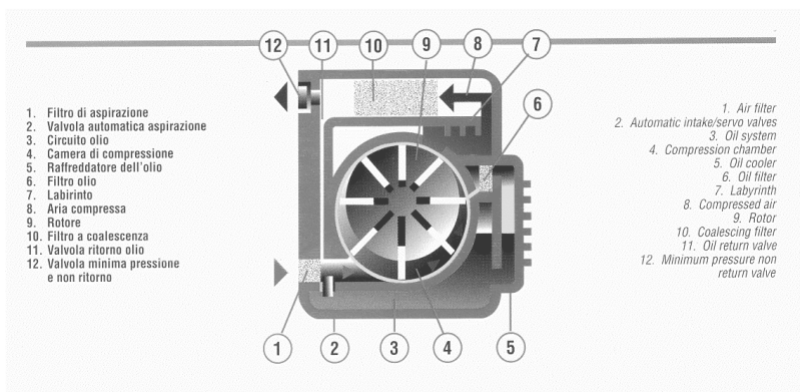


Ciclo di lavoro di un compressore a palette

Impianti Meccanici

19

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

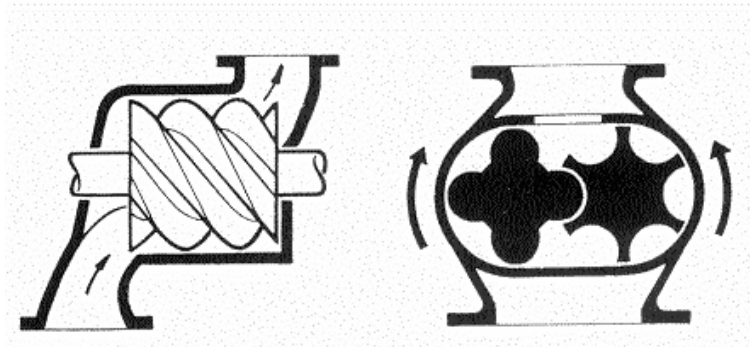


Compressore a palette

Impianti Meccanici

20

**Impianti di
produzione e
distribuzione di
aria compressa**

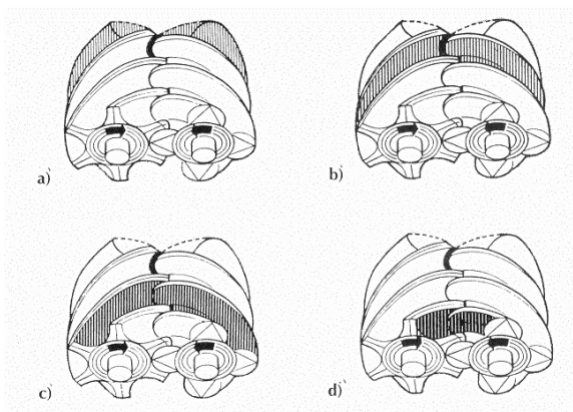


Schema di un compressore rotativo a viti

Impianti Meccanici

21

**Impianti di
produzione e
distribuzione di
aria compressa**

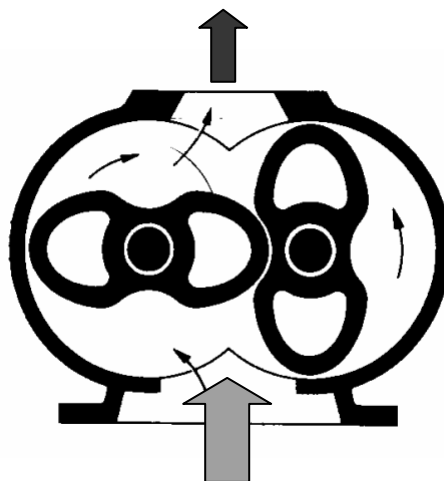


Schema del ciclo di compressione di un compressore a vite

Impianti Meccanici

22

**Impianti di
produzione e
distribuzione di
aria compressa**

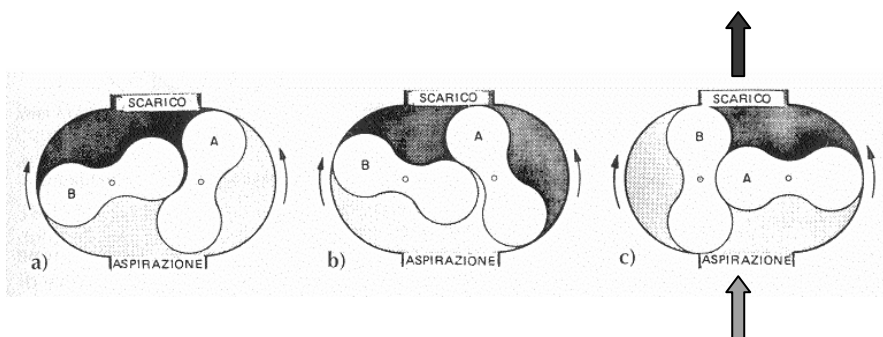


Sezione schematica di un compressore Roots

Impianti Meccanici

23

**Impianti di
produzione e
distribuzione di
aria compressa**



Ciclo di lavoro di una soffiante Roots

Impianti Meccanici

24

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

Ciclo di lavoro di un compressore Roots

(38.9)

$$N = \frac{l v_o (p_2 - p_1) n}{1000 \eta_m} = \frac{A H}{1000 \lambda_v \eta_m}$$

dove, oltre ai simboli già noti o rilevabili sul diagramma di fig. 38.15:

l = numero totale di lobi dei due rotori;

v_o = volume compreso fra il lobo B di fig. 38.14 e la carcassa del compressore;

n = numero di giri al secondo;

λ_v = coefficiente di riempimento del compressore ($0,6 \div 0,8$);

$H = p_2 - p_1$ (N/m²).

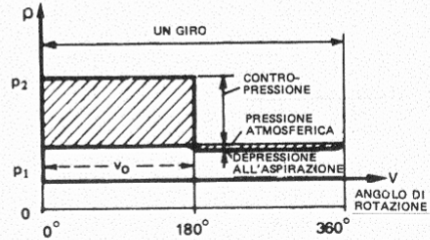
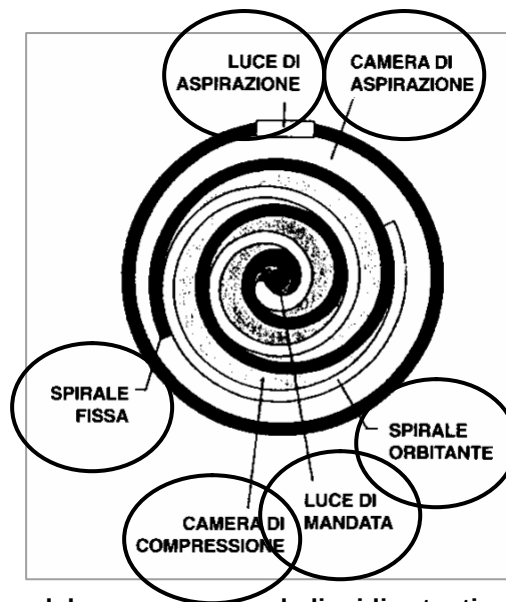


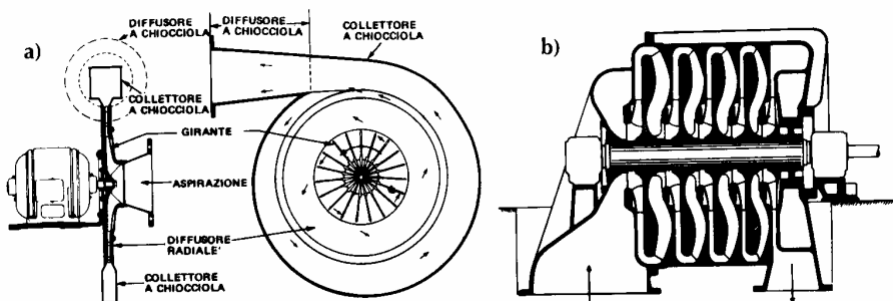
Fig. 38.15 – Ciclo di lavoro di un compressore Roots.

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa



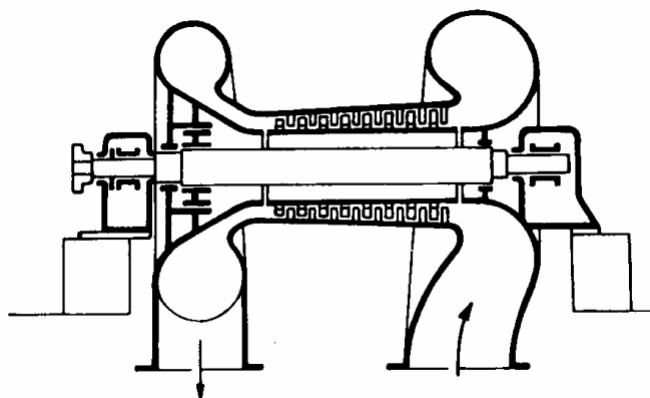
Composizione del compressore ad elicoidi rotanti

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa



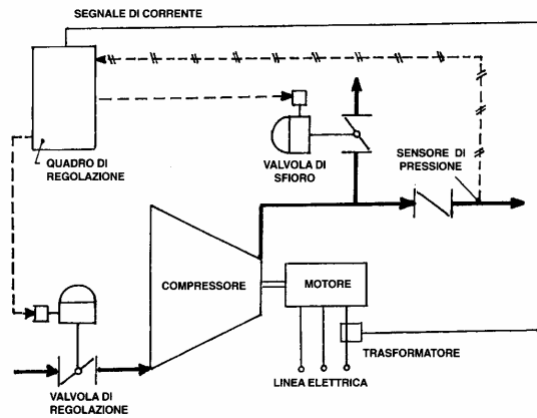
Schema di compressori centrifughi : a) monostadio b) multistadio

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa



Schema di compressore assiale pluristadio

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa



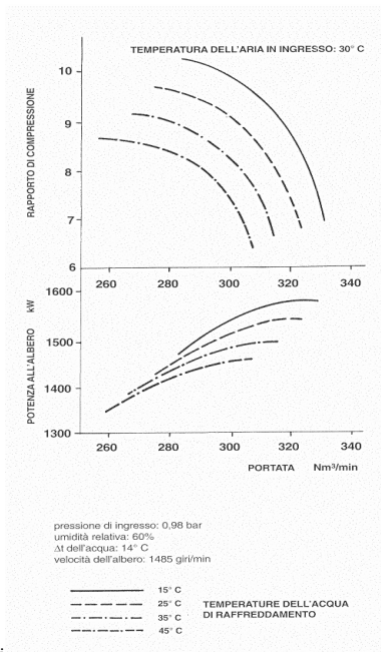
Sistema di regolazione dei turbocompressori

Impianti Meccanici

29

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

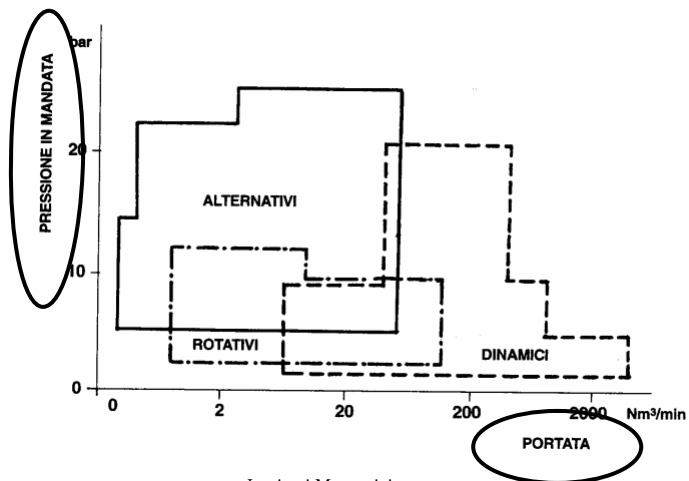
Caratteristiche dei compressori centrifughi



Impianti Meccanici

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

Campi di impiego dei compressori



Impianti Meccanici

31

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

Prevalenti campi di impiego dei compressori

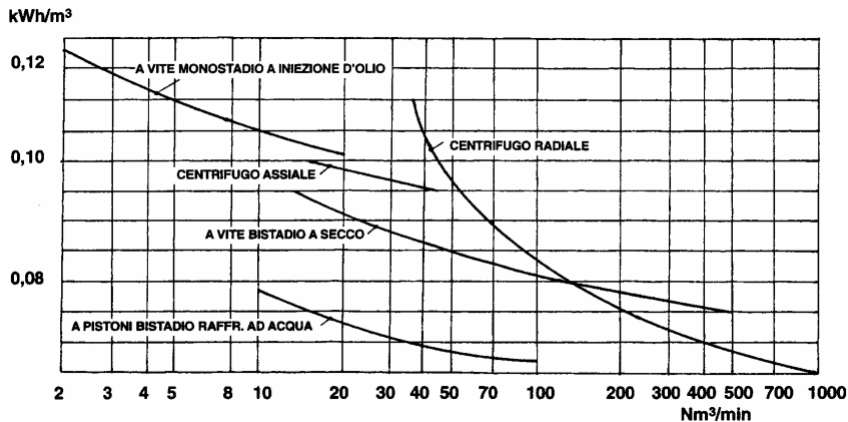
TIPI DI COMPRESSORI		PRESSIONI bar	PORTATE Nm³/min
Alternativi	monostadio	7÷10	< 20
	multistadio	> 20	
A palette		2÷10	< 100
A vite	lubrificati		
	– monostadio	3÷13	< 70
	– bistadio	< 20	
	a secco:		
	– monostadio	< 4	< 100
	– multistadio	4÷10	
Roots	monostadio	< 1	< 300
	bistadio	< 2,5	
A elicoidi		< 10	< 1
Dinamici	radiali	< 22	< 1000
	assiali	< 5	< 8000

Impianti Meccanici

32

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

Consumi specifici dei compressori in funzione della portata d'aria



Impianti Meccanici

33

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

I compressori sono caratterizzati da una relativa rumorosità.

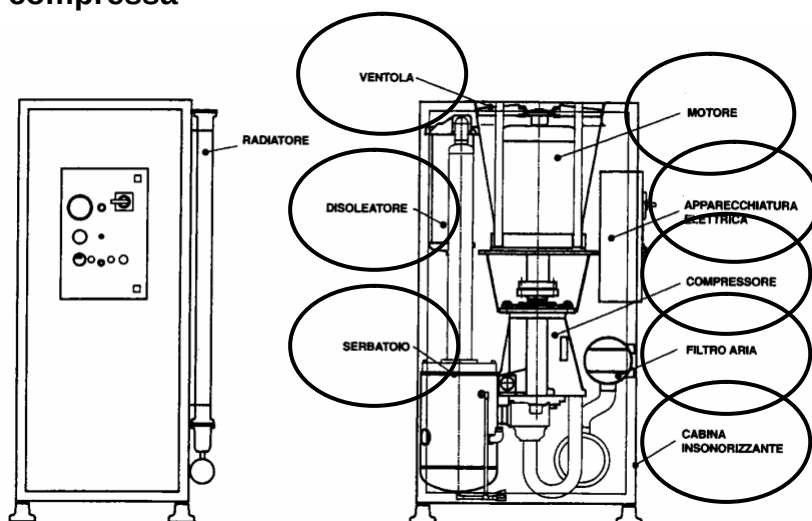
Per ridurre la rumorosità i costruttori forniscono macchine racchiuse dentro specifiche cappottature fonoisolanti.

Rumorosità

Impianti Meccanici

34

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa



Insonorizzazione
Impianti Meccanici

35

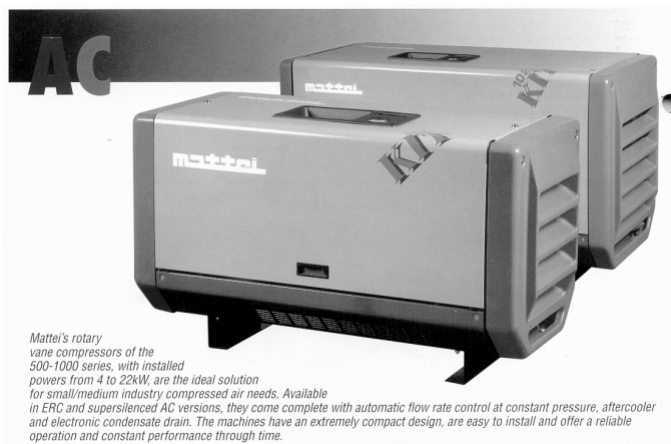
Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa



Impianti Meccanici

36

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa



Impianti Meccanici

37

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

**Ai compressori è normalmente accoppiato
il refrigeratore finale.**

**Il raffreddamento dell'aria è ottenuto l'aria stessa
in un fascio di tubi lambiti esternamente dall'acqua**

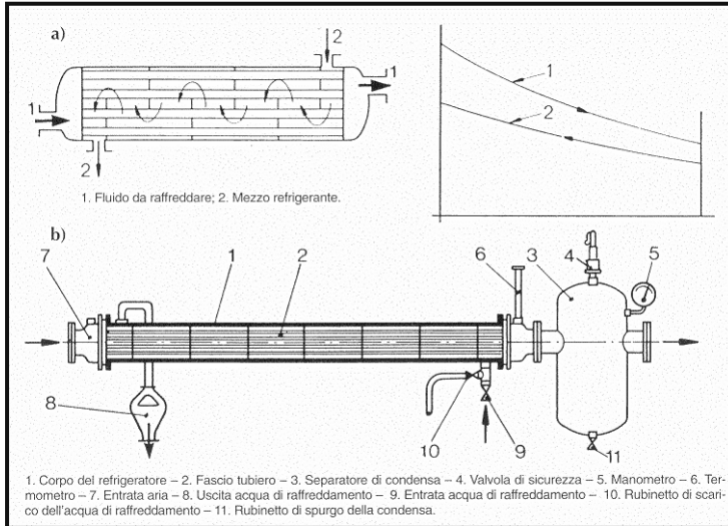
**L'acqua di condensa si raccoglie in apposito
separatori e viene scaricata in fognatura**

Refrigeratori finali

Impianti Meccanici

38

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa



Refrigeratori finali

Impianti Meccanici

39

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

Serbatoi per aria compressa

A valle del refrigeratore finale è previsto un serbatoio polmone avente le seguenti funzioni :

Assicurare alla rete una portata d'aria ed una pressione circa costanti limitando gli interventi per la regolazione della portata.

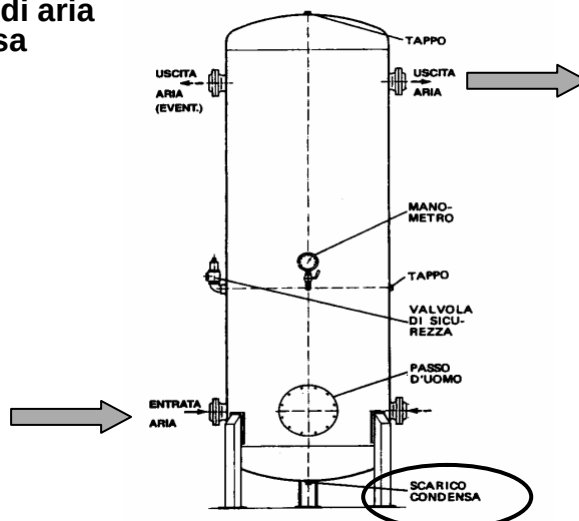
Interrompere il funzionamento del motore del compressore realizzando risparmi di energia (15-16% per pressioni di 7 - 8 bar)

Favorire la separazione di condensa immettendo aria compressa dalla parte bassa verso l'alto.

Impianti Meccanici

40

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

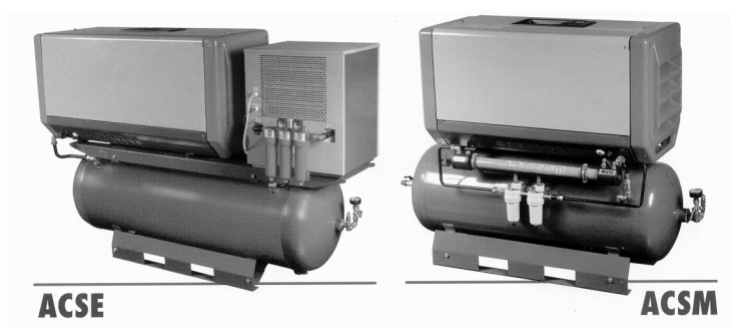


Moderno compressore - Serbatoio per aria compressa

Impianti Meccanici

41

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa



Compressore con serbatoio

Impianti Meccanici

42

**Impianti di
produzione e
distribuzione di
aria compressa**

**Definizione delle dimensioni del
serbatoio**

**Per compressori con pressioni di lavoro max di 10 bar
e portate da 1 a 100 Nm³/min la capacità del serbatoio,
espressa in m³**

**è compresa fra 2 e 6 decimi della portata volumetrica
del compressore mandata al minuto
espressa in m³**

0,6 per piccoli impianti

0,2 per grandi impianti

**Impianti di
produzione e
distribuzione di
aria compressa**

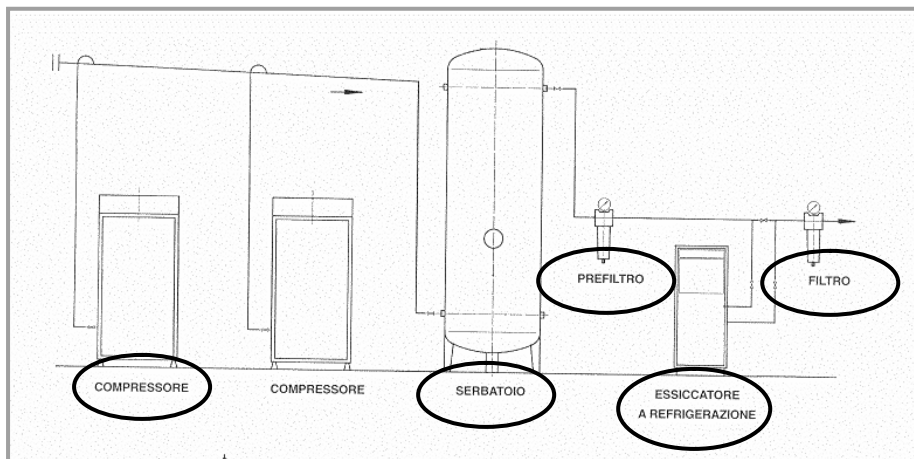
**In Italia i serbatoi sono soggetti a collaudo da parte
dell'ISPESL (Istituto Superiore per la Prevenzione
E Sicurezza del Lavoro)**

**Il collaudo avviene ad una pressione del 50% superiore
a quella massima di esercizio.**

**E' prevista la verifica annuale se il prodotto di
pressione di targa in bar e volume del serbatoio
in litri è >5000.**

Collaudo

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

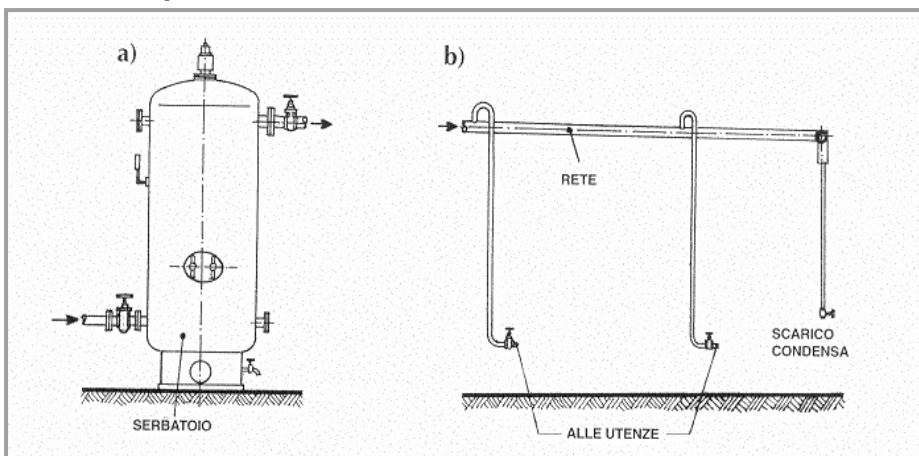


Posizioni di ingresso e di uscita dell'aria rispetto al serbatoio

Impianti Meccanici

45

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa



Stralcio di rete di distribuzione

Impianti Meccanici

46

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

L'aria atmosferica è una miscela di
gas vari (ossigeno, azoto, ecc.) e di
vapore d'acqua, chiamata aria umida.

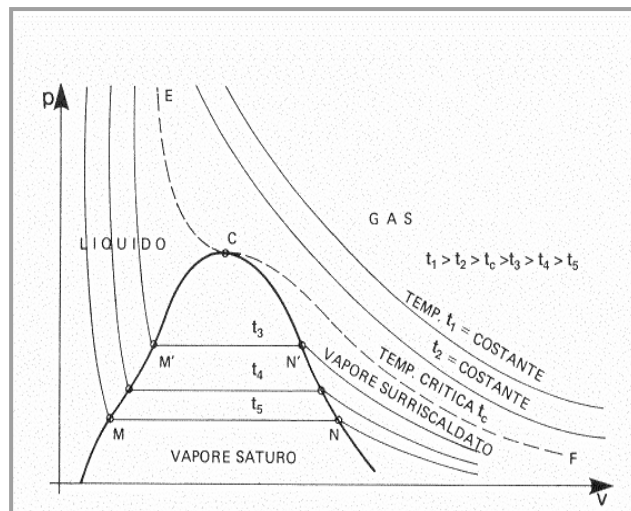
Per tale miscela vale la legge di Dalton

Essiccazione dell'aria compressa

Impianti Meccanici

47

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa



Essiccazione dell'aria compressa

Impianti Meccanici

48

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

Temperatura aria libera (p=1 bar-a) aspirata dal compressore	Vapore d'acqua nell'aria libera satura (*)	Punti di rugiada dell'aria compressa ottenuta da aria libera saturata		
		p=5 bar-a	p=6 bar-a	p=11 bar-a
+ 50 °C	82,3	89 °C	104 °C	113 °C
+ 45 °C	64,9	83 °C	96 °C	106 °C
+ 40 °C	50,7	77 °C	89 °C	99 °C
+ 35 °C	39,3	70 °C	83 °C	91 °C
+ 30 °C	30,1	64 °C	75 °C	84 °C
+ 25 °C	22,8	57 °C	68 °C	76 °C
+ 20 °C	17,2	51 °C	61 °C	69 °C
+ 15 °C	12,7	44 °C	54 °C	61 °C
+ 10 °C	9,4	38,5 °C	48 °C	55 °C
+ 5 °C	6,8	32 °C	41 °C	48 °C
0 °C	4,9	26 °C	35 °C	41 °C
- 5 °C	3,2	19 °C	27 °C	32,5 °C
- 10 °C	2,15	12 °C	20 °C	25 °C
- 15 °C	1,40	5 °C	13 °C	18 °C
- 20 °C	0,88	- 1 °C	6 °C	10,5 °C
- 25 °C	0,55	- 7 °C	- 1 °C	3 °C
- 30 °C	0,33	- 13 °C	- 7 °C	- 3 °C
- 35 °C	0,20	- 18 °C	- 13 °C	- 9,5 °C
- 40 °C	0,12	- 24 °C	- 19 °C	- 15,5 °C
- 45 °C	0,065	- 30 °C	- 25 °C	- 22 °C
- 50 °C	0,038	- 35 °C	- 31 °C	- 27,5 °C

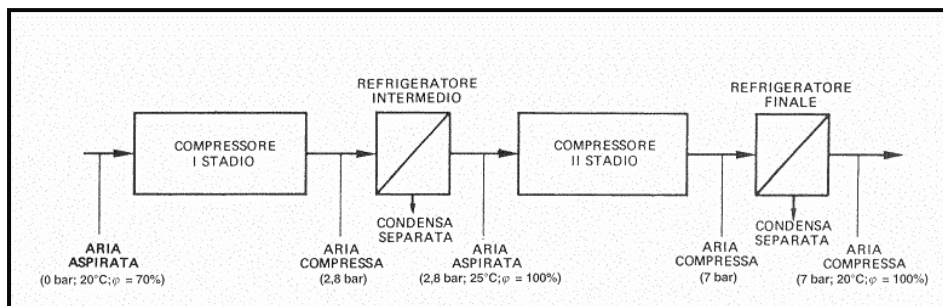
N.B.: Poiché nella prima colonna si è considerata dell'aria libera in condizioni di saturazione, le temperature indicate nella colonna stessa sono anche le temperature di rugiada dell'aria libera.

(*) Grammi di vapore per metro cubo di aria libera.

Refrigeratori finali Impianti Meccanici

49

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

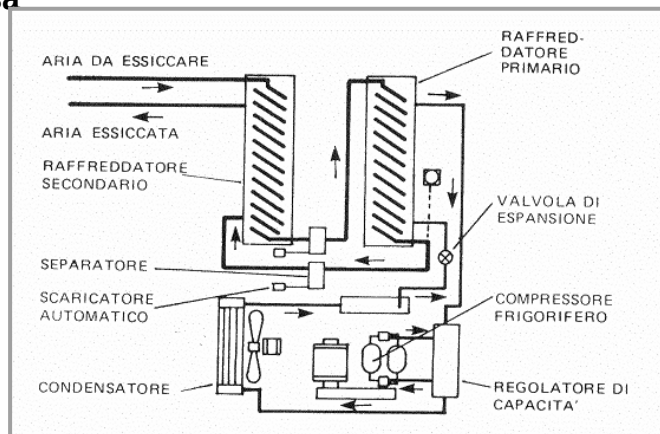


Schema di compressore bistadio con due refrigeratori dell'aria

Impianti Meccanici

50

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

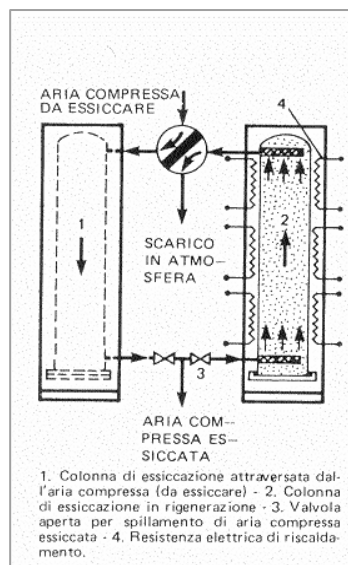


Impianto di essiccazione dell'aria compressa per refrigerazione

Impianti Meccanici

51

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa



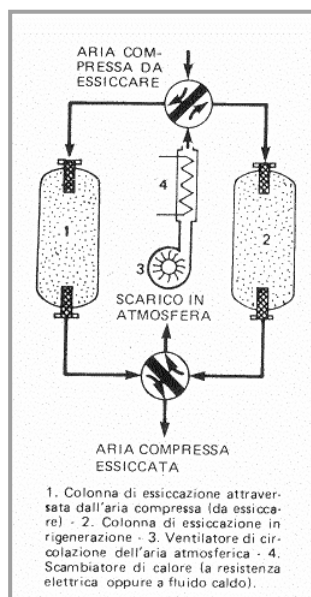
Essiccatore ad adsorbimento con rigenerazione mediante aria secca calda

Impianti Meccanici

52

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

Essiccatore ad adsorbimento con rigenerazione mediante aria atmosferica riscaldata

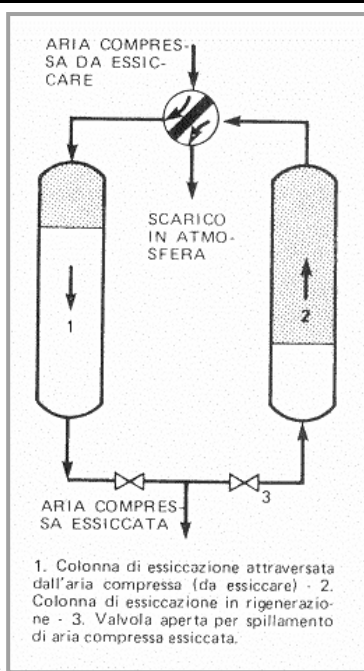


Impianti Meccanici

53

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

Essiccatore ad assorbimento con rigenerazione mediante aria secca a freddo

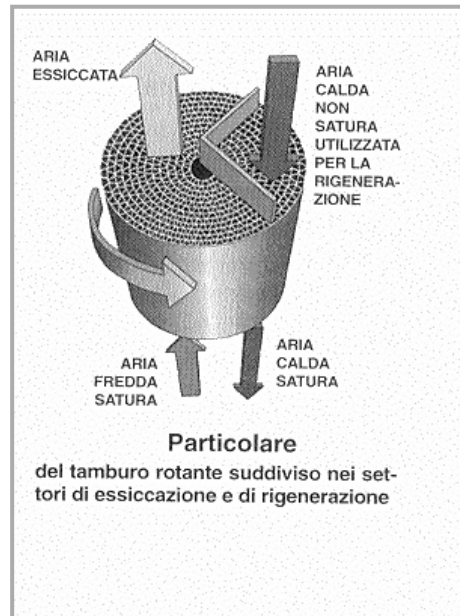


Impianti Meccanici

54

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

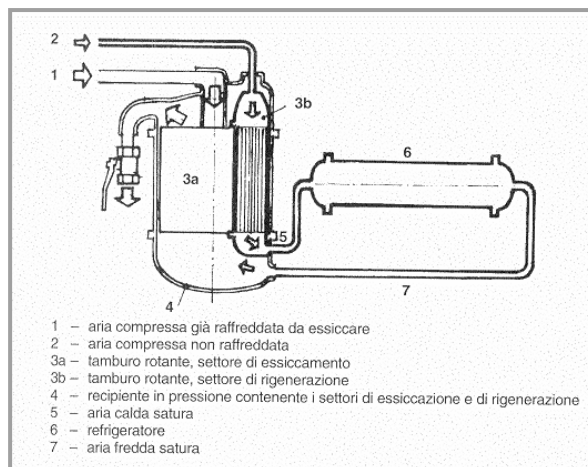
Essiccatore ad adsorbimento a caldo con recupero di energia



Impianti Meccanici

55

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

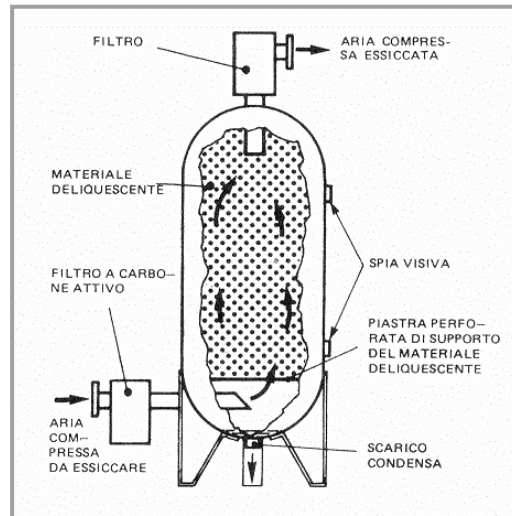


Essiccatore ad adsorbimento a caldo con recupero di energia

Impianti Meccanici

56

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

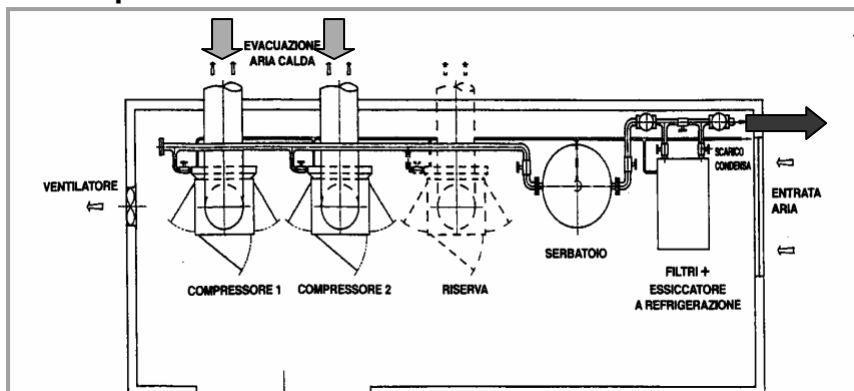


Essiccazione a deliquescenza

Impianti Meccanici

57

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa



Sistemazione planimetrica di una sala compressori

Impianti Meccanici

58

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

Sala compressori

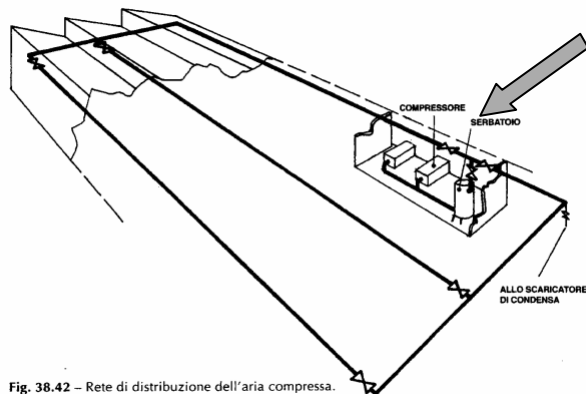


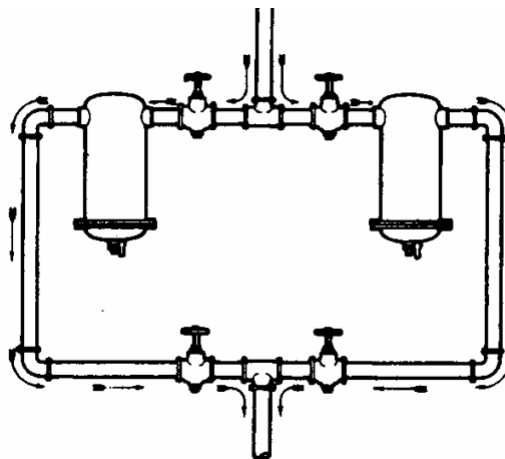
Fig. 38.42 – Rete di distribuzione dell'aria compressa.

Rete di distribuzione

Impianti Meccanici

59

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

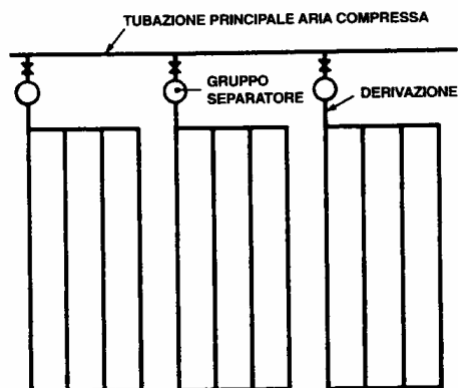


Schema di derivazione con separatori di condensa

Impianti Meccanici

60

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

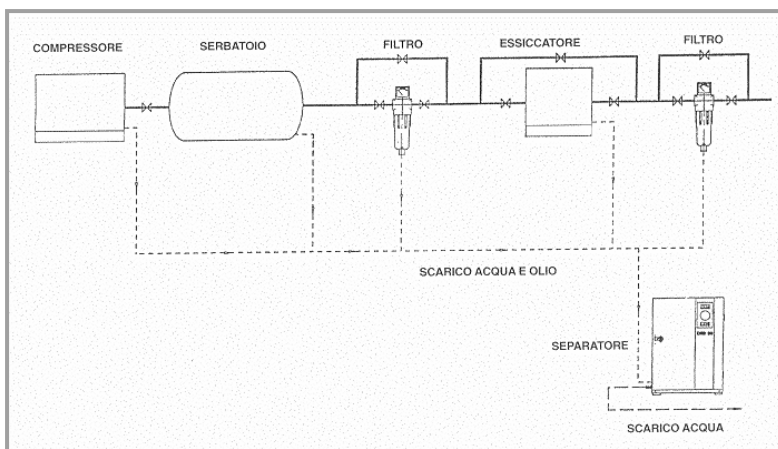


Schema di derivazione con separatori di condensa

Impianti Meccanici

61

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa



Modalità di separazione dell'olio dalla condensa nel caso di compressori

lubrificati
Impianti Meccanici

62

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

$$(38.11) \quad \Delta p = 10^{-4} \lambda \gamma_a \frac{v^2 L}{2g D}$$

dove:

Δp = caduta di pressione (bar);

λ = coefficiente di attrito del movimento dell'aria dentro tubi (19);

γ_a = peso dell'unità di volume di aria compressa (kg_f/m^3);

v = velocità media dell'aria (m/s);

D = diametro interno della tubazione (m);

L = lunghezza equivalente della tubazione (m).

Molti progettisti applicano la formula sperimentale:

$$(38.12) \quad \Delta p = 1,6 \cdot 10^8 \frac{Q^{1,85} \cdot L}{d^5 \cdot p_o}$$

Perdite di carico

Impianti Meccanici

63

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

Tipo di resistenza		Lunghezza equivalente in metri di tubo						
		Diametro interno del tubo in mm						
		25	40	50	80	100	125	150
Valvole a flusso avviato		3-6	5-10	7-15	10-25	15-30	20-50	25-60
Valvole a diaframma		1,2	2,0	3,0	4,5	6	8	10
Saracinesca		0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	2,5
Gomito		1,5	2,5	3,5	5	7	10	15
Curva R = d		0,3	0,5	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5
Curva R = 2d		0,15	0,25	0,3	0,5	0,8	1,0	1,5
Ti		2	3	4	7	10	15	20
Riduzione		0,5	0,7	1,0	2,0	2,5	3,5	4,0

Lunghezze equivalenti di perdite localizzate

Impianti Meccanici

64

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

La velocità dell'aria nelle tubazioni non dovrebbe mai superare i 10 - 15 m/s

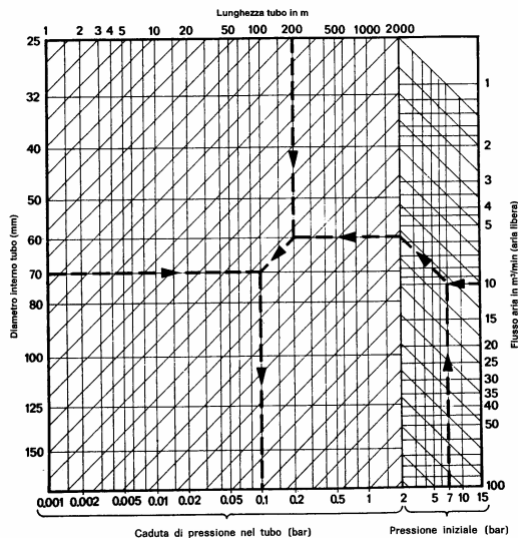
La perdita di carico massima fra il compressore ed estremità della rete deve risultare contenuta entro 0,5 bar, compresi i 0,2 bar perduti nell'essiccatore.

Progettazione delle reti

Impianti Meccanici

65

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa



Nomogramma per la valutazione delle perdite di carico

Impianti Meccanici

66

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

Tabella 38.VIII – Consumi medi di aria compressa allo stato normale di alcune utenze industriali.

Denominazione	Caratteristiche principali	Consumi (l/min)
Avvitatori pneumatici	per viti da 25 a 35 mm	900÷1350
Trapani pneumatici	per fori fino a ϕ 20 in acciaio	900÷1300
Smerigliatrici pneumatiche	mola ϕ 150 x 25 mm	1000÷1500
Sabbiatrici pneumatiche		1000÷1400
Pistole per verniciatura a spruzzo	medie	200÷300
Martelli pneumatici	medio-pesanti	500÷750
Paranchi pneumatici	da 150 a 1500 kg	700÷2000
Sollevatori per autocarri	stazioni di servizio	500÷700

Consumi medi di aria compressa allo stato normale di alcune utenze industriali

Impianti Meccanici

67

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

Compressori



ERCSM (ACSM)
(solo 50 Hz / 50Hz only)



SERIE 1000 SERIES

Modello / Model		1015		1018		1022		1030	
Versione / Version	50Hz	L	L	H	L	H	-	-	-
Resa d'aria effettiva* Free air delivery*	m³/min	2,5	3,05	2,45	3,65	3	-	-	-
Versione / Version	60Hz	-	LX	-	LX	HX	LX	HX	-
Resa d'aria effettiva* Free air delivery*	m³/min	-	2,8	-	3,5	2,7	4,2	4,1	-
Pressione d'esercizio Working pressure	bar	7	7	10	7	10	7	10	-
Motore elettrico Electric motor	kW	15	18,5	18,5	22	22	30	30	-
Velocità di rotazione Rotational speed	50 Hz	giri/min / r.p.m. ~ 1460							
	60 Hz	1750							
ERC dB(A)**									
Livello press. acustica Sound pressure level	50Hz	79	79	79	79	79	-	-	-
	60Hz	-	81	-	79	81	81	81	81
AC dB(A)**									
Livello press. acustica Sound pressure level	50 Hz	72	72	72	72	72	-	-	-
	60 Hz	-	74	-	74	74	-	-	-

* Portata secondo CAGI Pneurop PN2CPTC2 / As per CAGI Pneurop PN2CPTC2.

** Livello di pressione acustica secondo CAGI Pneurop PN8NTC2.2 / Sound pressure level as per CAGI Pneurop PN8NTC2.2.

Impianti Meccanici

68

Impianti di produzione e distribuzione di aria compressa

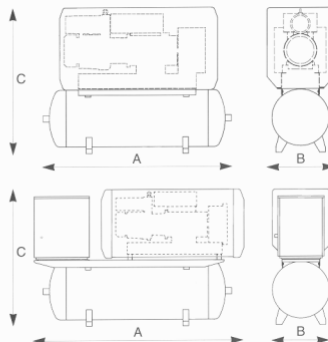
PACKAGE

	A	B	C	Massa/ Weight (Kg)
ERCS - ERCSM				
504 - 505	1630	500	1173	200
507	1630	500	1277	270
511 - 515	1630	500	1277	280

ACS - ACSM				
504 - 505	1630	530	1230	260
507	1630	600	1330	340
511 - 515	1630	600	1330	340

	A	B	C	Massa/ Weight (Kg)
ERCSE				
504 - 505	1745	500	1180	250
507 - 511 - 515	2083	600	1382	420

ACSE				
504 - 505	1850	530	1238	310
507 - 511 - 515	2213	600	1438	470



Compressori

Impianti Meccanici