

Sommario

Fondamenti

Capitolo 1	Principi della produzione di aria compressa	4
Capitolo 2	Trattamento proficuo dell'aria compressa	6
Capitolo 3	Perché occorre essiccare l'aria compressa?	8
Capitolo 4	Scaricatori automatici di condensa	10
Capitolo 5	Scaricare la condensa a costi contenuti	12
Capitolo 6	Sistemi efficienti di gestione e controllo di compressori	14
Capitolo 7	Selezione ottimale dei compressori in base al consumo	18
Capitolo 8	Risparmiare energia grazie al recupero del calore	20
Capitolo 9	Progettazione di una nuova linea di aria compressa	22
Capitolo 10	Risanamento di una rete d'aria compressa	24
Capitolo 11	Analisi del fabbisogno d'aria compressa (ADA) – Accertamento dello stato attuale	26
Capitolo 12	Calcolo della produzione d'aria compressa più efficiente	30
Capitolo 13	Raffreddare in modo efficiente la stazione	32
Capitolo 14	Come mantenere a lungo l'affidabilità e l'ottimizzazione dei costi	34

Consigli pratici

Consiglio 1	Risparmiare con la pressione ideale	40
Consiglio 2	La pressione giusta alla connessione d'aria	42
Consiglio 3	Efficienza nella distribuzione dell'aria compressa	44
Consiglio 4	Tubazioni nella stazione d'aria compressa	46
Consiglio 5	Corretta installazione dei compressori	48
Consiglio 6	Aerazione delle stazioni d'aria compressa (captazione aria)	49
Consiglio 7	Aerazione delle stazioni d'aria compressa (espulsione aria)	50

Appendice

Appendice 1	Nomogramma – Individuazione del diametro interno del tubo	50
Appendice 2	Modelli di questionari sul Sistema di Risparmio Energetico	52

Prefazione



Ing.
Thomas Kaeser



Ing.
Tina-Maria Vlantoussi-Kaeser

Care lettrici e cari lettori,

già più di duemila anni fa il famoso filosofo greco Socrate aveva colto nel segno: "Esiste un solo bene, la conoscenza, e un solo male, l'ignoranza".

Questa perla di saggezza, proferita da uno dei capisaldi della storia del pensiero occidentale, è oggi più che mai attuale in un mondo in cui nulla sembra essere più costante del cambiamento. La crescente portata e la velocità dei mutamenti nell'ambito dell'evoluzione tecnologica e della globalizzazione dell'economia richiedono nuove risposte e nuove strategie risolutive.

Oggi più che mai le sfide devono essere considerate come delle opportunità per raggiungere successi ancora maggiori in futuro. La progressiva interconnettività e la complessità richiesta, fanno della conoscenza la risorsa più importante del futuro. Quest'ultima cresce a livelli esponenziali e l'individuo può accedervi solo investendo in istruzione e formazione professionale permanente.

Anche nella tecnologia dell'aria compressa oggi non basta più sapere solo come costruire compressori efficienti, installarli e azionarli correttamente.

Coloro che vogliono utilizzare al meglio e in chiave moderna tutta l'efficienza di questo vettore d'energia, devono considerare il sistema d'aria compressa nella sua globalità ed essere consapevoli delle complesse interazioni all'interno di questo sistema e della sua integrazione in ambito operativo.

Per questo motivo KAESER KOMPRESSOREN promuove con assoluta convinzione la continua formazione professionale dei propri clienti. Ciò avviene in vari modi. È con questo obiettivo che professionisti qualificati ed esperti viaggiano per il mondo tutto l'anno, per tenere convegni, conferenze e seminari sulla produzione e l'utilizzo efficiente dell'aria compressa. A ciò, inoltre, si aggiungono numerose pubblicazioni tecniche nei vari media.

Questo fascicolo rappresenta una sintesi di questo vasto livello di conoscenze tecniche e non vuole essere solo una introduzione esaustiva e di facile lettura nel campo della pneumatica, ma offrire al contempo anche una serie di suggerimenti pratici per tutti gli operatori di impianti e gli utenti di sistemi ad aria compressa. Grazie a questa lettura ci si rende conto che spesso anche piccole modifiche al sistema di "aria compressa" possono produrre percettibili miglioramenti in termini di efficienza e disponibilità di questo vettore di energia.

Capitolo 1

Principi della produzione di aria compressa

L'aria compressa si comporta come molte altre entità collegate all'energia: una piccola variazione può portare a risultati o conseguenze eclatanti. A volte, a osservare con attenzione le cose, si scopre che queste sono diverse da ciò che ci sembrano a prima vista. Noi speriamo che la nostra serie "Aria compressa" Vi possa aiutare a gestire, in futuro, la Vostra rete in modo più efficiente con l'applicazione di suggerimenti derivanti dalla teoria e dalla esperienza. Qui di seguito vi spiegheremo il significato di quattro termini adoperati usualmente nella tecnologia dei compressori.

1 - Aria libera resa

L'aria libera resa (FAD: acronimo delle parole inglesi Free Air Delivery) di un compressore è il volume di gas, ri-spanso e ricondotto alle condizioni di aspirazione, che viene pompato dalla macchina nel sistema di distribuzione. Il metodo corretto di misurazione di questa portata è determinato dalle norme DIN 1945, sezione 1, **allegato F** e **ISO 1217, allegato C**. Per la misurazione della portata dell'aria libera resa occorre procedere come illustrato nella **Fig. 1**: prima di tutto occorre misurare la temperatura, la pressione (in generale quella atmosferica) e l'umidità dell'aria in ingresso nella macchina completa.

Si procede quindi al rilevamento della massima pressione di lavoro ed alla misurazione della temperatura e della portata dell'aria compressa in mandata dal compressore. Infine il volume V_2 viene misurato alla flangia di mandata e riconvertito alle condizioni di ingresso usando l'equazione dei gas (si veda la formula).

$$V_1 = \frac{V_2 \times P_2 \times T_1}{[p_1 - (p_D \times F_{rel})] \times T_2}$$

Il risultato è la portata di aria resa libera dell'intera macchina che, per brevità, chiameremo FAD. Ciò non deve essere confuso con il FAD relativo al solo gruppo vite.

Attenzione!

DIN 1945 ed ISO 1217 da soli definiscono unicamente il FAD del gruppo pompante.

2. Potenza all'albero motore

Si definisce potenza all'albero quella che il motore meccanicamente rende disponibile al suo albero. La potenza nominale del motore è il dato della potenza all'albero di riferimento per la determinazione della corrente assorbita, del rendimento e del fattore di potenza $\cos \phi$ senza sovraccaricare il

motore. Questo è il valore di potenza riportato sulla targhetta del motore.

Attenzione! Se la potenza effettivamente richiesta all'albero si discosta troppo dalla potenza nominale ciò vuol dire che il compressore lavora in modo inefficiente e/o sta subendo un processo di logoramento con aumento degli attriti.

3 - Potenza elettrica assorbita

La potenza elettrica assorbita è quella potenza che il motore elettrico del compressore richiede dalla linea di alimentazione sotto un determinato carico applicato all'albero del motore stesso (potenza all'albero motore). La potenza elettrica assorbita è maggiore della potenza all'albero: la differenza è costituita dalle perdite interne del motore che sono sia di origine elettrica che meccanica (cuscinetti e raffreddamento). La potenza elettrica assorbita può essere calcolata con la seguente formula:

$$P = U_n \times I_n \times \sqrt{3} \times \cos \phi_n$$

U_n , I_n , e $\cos \phi_n$ si trovano sulla targhetta del motore.

4 - Consumo specifico

La potenza specifica di un compressore è il rapporto fra la potenza elettrica assorbita e la portata di aria libera resa (FAD) alla corrispondente pressione di lavoro (**fig. 2**). La potenza elettrica assorbita è la somma di tutte le potenze in gioco: motore principale, ventole, pompe olio, riscaldatori ausiliari, ecc. Se la potenza specifica serve per una corretta valutazione economica dei costi di esercizio, essa deve essere riferita alla macchina completa di ogni suo organo e calcolata alla massima pressione di esercizio. A riguardo, il valore della potenza elettrica totale assorbita alla pressione



Fig. 1: Misurazione della portata conforme a ISO 1217, allegato C (DIN 1945, allegato F)

massima deve essere divisa per il valore della portata dell'impianto alla massima pressione:

$$P_{\text{spec.}} = \frac{\text{Potenza elettr. assorbita}}{\text{Portata}}$$

5. IE – la nuova formula per il funzionamento energeticamente efficiente

Gli sforzi compiuti negli USA e mirati a ridurre il consumo dei motori a induzione sono sfociati nella normativa EPACT „Energy Policy Act“, entrata in vigore nel 1997. Successivamente è stato introdotto anche in Europa un sistema di classificazione dell'efficienza e dal 2010 vige per i motori elettrici la normativa internazionale IEC. Queste classificazioni e disposizioni legali hanno sortito come effetto un significativo miglioramento dell'efficienza energetica dei motori elettrici nelle classi Premium. Questi motori ad alta efficienza rappresentano per gli utenti considerevoli vantaggi:

a) Temperature d'esercizio inferiori

Nei piccoli motori le perdite interne del grado di efficienza possono talvolta arrivare fino al 20 % dell'assorbimento di potenza, mentre nei motori a partire da 160kW le perdite sono contenute entro il 4 - 5%. I cosiddetti motori IE3/IE4, invece, si caratterizzano per un surriscaldamento sensibilmente ridotto e minori perdite termiche (fig. 3): mentre un motore convenzionale in marcia normale registra un aumento della temperatura di esercizio di ca. 80K con una riserva di temperatura di 20K rispetto alla classe di isolamento F, alle stesse condizioni un motore IE registra un aumento di temperatura di soli ca. 65K ed una riserva di temperatura di 40K.

b) Maggiore vita operativa

Inferiori temperature di esercizio significano innanzitutto minor surri-

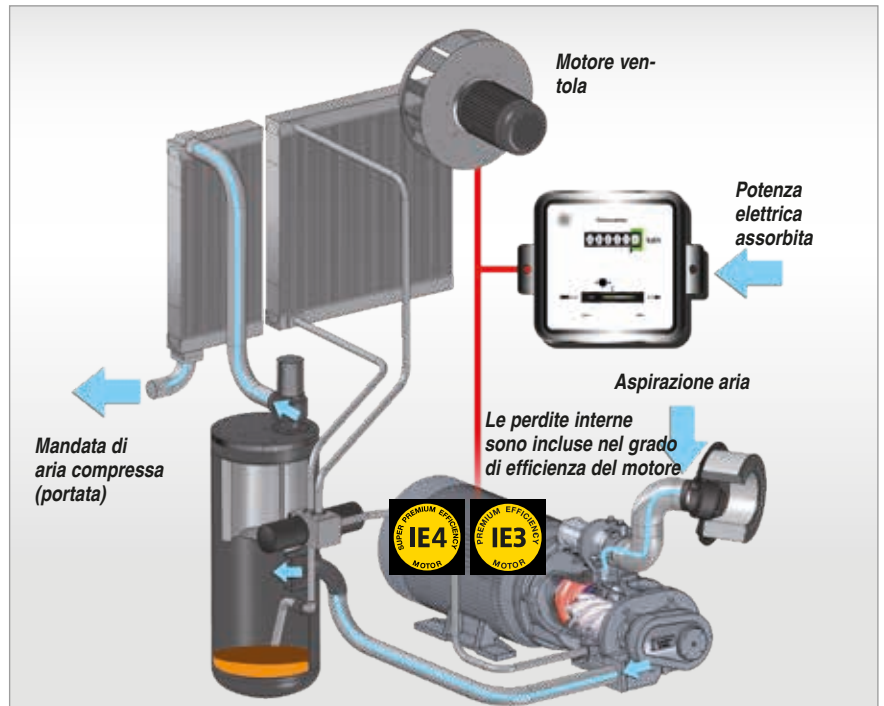


Fig. 2: Struttura principale di un compressore a vite, determinazione della potenza specifica

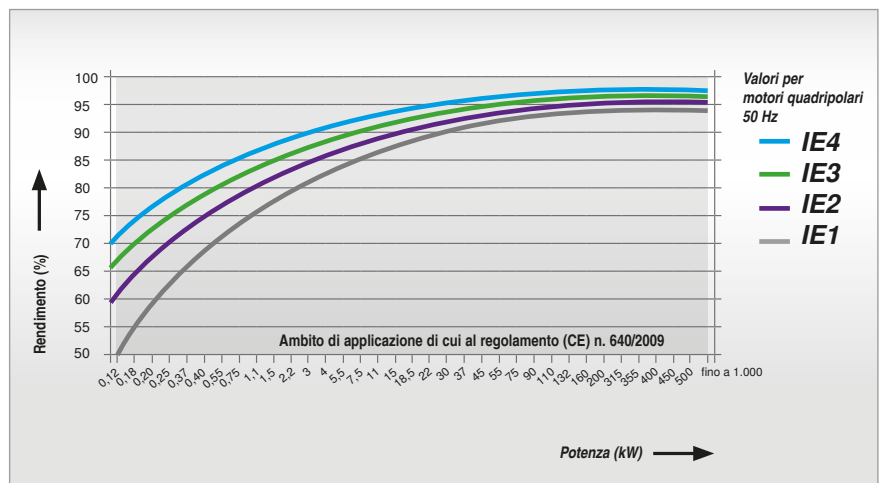


Fig. 3: la norma IEC – il nuovo standard di efficienza per i motori elettrici. In ambito UE i motori IE3 sono obbligatori dal primo gennaio 2015 e attualmente esistono già motori IE4 con una classe di efficienza ancora migliore.

scaldamento del motore, dei cuscinetti e della scatola dei contatti, favorendo così una maggiore durata del motore.

c) 6% di aria compressa in più con meno energia

Minori perdite di calore si traducono in una migliore efficienza. In questo modo la KAESER, armonizzando

esattamente i compressori con le caratteristiche dei motori ad alta efficienza, è riuscita ad elevare le portate delle macchine fino ad un 6% ed a migliorare le specifiche prestazioni fino al 5%. In sintesi: maggiore portata, minori tempi di marcia e minor dispendio di energia per ogni m³ di aria compressa generata.

Capitolo 2

Trattamento proficuo dell'aria compressa

Alla domanda: con quale sistema di compressori si riesce meglio a produrre aria compressa oilfree? A prescindere dalle affermazioni di alcuni produttori, una cosa è certa: oggi è possibile ottenere aria compressa oil-free di pregiata qualità, sia con i compressori oilfree, sia con quelli raffreddati con fluido lubrificante. L'efficienza dovrebbe quindi essere il parametro decisivo nella scelta del sistema.

1. Che significa "aria compressa oil-free"?

In conformità allo standard ISO 8573-1 l'aria compressa può essere definita oil-free se il suo valore di trasporto d'olio (compreso i vapori oleosi) è inferiore allo 0,01 mg/m³. Ciò corrisponde a circa 4/100 della quantità d'olio contenuta nell'atmosfera. Si tratta di una quantità infinitamente piccola, appena percettibile. E come stanno le cose per quanto riguarda la qualità dell'aria aspirata dai compressori? Ovviamente essa dipende in larga misura dalle condizioni ambientali. Già nelle zone con un enorme livello di inquinamento, prodotte dagli scarichi industriali e dal traffico, oscillano tra 4 e 14 mg/m³ d'aria. Nelle zone industriali, dove si fa ampio uso degli oli nelle fasi di lubrificazione, refrigerazione e processo, il livello degli oli minerali contenuto nell'atmosfera può da solo oltrepassare la soglia di 10 mg/m³. A ciò si aggiungano inoltre le altre impurità, quali idrocarburi, anidride solforosa, fuliggine, metalli e polvere.

2. Perché trattare l'aria?

Ogni compressore opera come un gigantesco aspirapolvere che assorbe le impurità contenute nell'atmosfera, le concentra nell'aria compressa e, in mancanza di trattamento, le rilascia alla linea di mandata.

a) Compressori "oil-free"

Ciò vale in particolare per gli impianti

con compressione a secco. A causa dei fattori di inquinamento riportati al punto 1, non è possibile produrre aria compressa oil-free con un compressore equipaggiato solo di un filtro per polveri a 3 micron. Oltre a questo filtro i compressori a secco non dispongono di nessun altro componente per il trattamento dell'aria compressa.

b) Compressori raffreddati ad olio

A differenza dei precedenti, nei compressori con raffreddamento ad olio le sostanze aggressive vengono neutralizzate nel fluido di raffreddamento e le particelle solide vengono eliminate dall'aria compressa per dilavamento.

3. Senza trattamento non si ottiene una qualità dell'aria compressa definita

Nonostante l'elevato grado di purezza di quest'aria, anche in questo caso non si può tuttavia prescindere da un processo di trattamento. Con la sola compressione, sia di tipo a secco o con raffreddamento ad olio, in normali condizioni di aspirazione e con l'inquinamento atmosferico esistente, non si riesce ad ottenere una qualità dell'aria che si possa definire oil-free, come prescritto dalla norma ISO 8573-1

L'efficienza della produzione d'aria compressa dipende dal campo di pressione e di portate, e da ciò a sua volta dipende il tipo di compressore necessario. Alla base di qualsiasi trattamento ci deve essere un'adeguata essiccazione dell'aria. Nella maggior parte dei casi il procedimento più efficace si ottiene per mezzo di un essiccatore a ciclo frigorifero (**si veda a riguardo anche il capitolo 3, pag. 9**).

4. Trattamento con il sistema aria pura della KAESER

I moderni compressori con raffreddamento ad olio sono ca. il 10% più efficienti dei compressori oilfree. Il sistema "aria pura" progettato dalla KAESER, per i compressori a vite con

raffreddamento ad olio e a secco, consente un ulteriore risparmio dei costi fino al 30%. Il valore del trasporto olio, ottenuto con questo sistema, è inferiore a 0,003 mg/m³ ed è di gran lunga inferiore alla soglia della classe di qualità 1, indicata dalla norma ISO. Il sistema comprende tutti i componenti concernenti il trattamento per la produzione della necessaria qualità dell'aria compressa. A seconda dell'utilizzo a cui è destinata l'aria, si impiegano essiccatori a ciclo frigorifero o ad adsorbimento (**si veda a riguardo anche il capitolo 3, pag. 9**) in combinazione con filtri di diverso tipo. In questo modo è possibile produrre in maniera affidabile ed a costi contenuti tutte le classi di qualità d'aria compressa stabilite a norma ISO, a partire da quella essiccata, per poi passare a quella priva di particelle, fino ad arrivare gradualmente all'aria tecnicamente oilfree ed infine a quella sterile (**fig. 1**).

Perché occorre essiccare l'aria compressa?

Il problema sta nell'aria, nel vero senso della parola: quando l'aria atmosferica si raffredda, ed è ciò che accade in un compressore dopo la compressione, il vapore d'acqua condensa e precipita. In questo modo un compressore con una portata di $5 \text{ m}^3/\text{min}$ in condizioni standard (temperatura ambiente di $+20 \text{ }^\circ\text{C}$, 70% di umidità relativa e $1 \text{ bar}_{\text{abs}}$) produrrà circa 30 litri di condensa per turno. Quest'acqua deve essere rimossa dal sistema di distribuzione per evitare malfunzionamenti e prevenire danni. L'essiccamento dell'aria è una parte molto importante del processo di trattamento dell'aria compressa. In questo capitolo troverete utili informazioni e suggerimenti su come essiccare l'aria compressa in modo economico ed ecologico.

1. Un esempio pratico

Un compressore a vite aspira $10 \text{ m}^3/\text{min}$ di aria a pressione atmosferica con una umidità relativa del 60% ed alla temperatura di $20 \text{ }^\circ\text{C}$: possiamo dire che quest'aria contiene ca. 100g di vapore d'acqua. Se quest'aria viene compressa ad una pressione assoluta di 10 bar con un rapporto di compressione di 1:10, allora si ottiene 1 m^3 di aria compressa. Ma, alla temperatura di fine compressione di circa $80 \text{ }^\circ\text{C}$, l'aria potrebbe trattenere fino a 290g di acqua (sotto forma di vapore). Dal momento che il contenuto aspirato è di

soli 100g, occorre dire che quest'aria compressa è piuttosto secca avendo una umidità relativa del 35% circa e, in queste condizioni, non si nota alcuna precipitazione di condensa. Ma l'aria compressa a questa temperatura non è praticamente utilizzabile ed allora si provvede a raffreddarla in un apposito scambiatore aggiuntivo, fino a circa $30 \text{ }^\circ\text{C}$. A questa temperatura 1 m^3 d'aria può però solamente assorbire e mantenere sospesi circa 30g di acqua, cosicché si ha un eccesso di circa 70g di acqua che di conseguenza condensa e precipita. In condizioni operative continue ciò accade ogni minuto e porta ad un accumulo di condensa di circa 35 litri per ogni ciclo lavorativo di otto ore. Ulteriori 6 litri possono essere separati e scaricati giornalmente se viene installato un essiccatore a refrigerazione a valle della macchina. L'aria compressa viene inizialmente raffreddata fino a $+3 \text{ }^\circ\text{C}$ e poi di nuovo riscaldata (a spese dell'aria calda in entrata) fino alla temperatura ambiente. Ciò comporta una ulteriore saturazione del 20% del vapore acqueo con addizionale precipitazione di altra condensa e quindi l'aria diventa ancora più secca (fig. 1).

2. La causa dell'umidità

La nostra aria è, a volte più ed a volte meno, umida: essa cioè contiene sempre una certa quantità d'acqua e questa umidità dipende, a parità di pressione, dalla temperatura corrente.

Ad esempio, aria satura di vapore d'acqua al 100% alla temperatura di $+25 \text{ }^\circ\text{C}$ porta circa 23g di acqua per metro cubo.

3. Precipitazione della condensa

La condensa precipita quando il volume dell'aria si riduce e quando la temperatura si abbassa. Ciò riduce la capacità dell'aria di trattenere acqua. Questo è esattamente ciò che accade dopo la compressione e nello scambiatore finale di un compressore.

4. Terminologia importante (in sintesi)

a) Umidità assoluta dell'aria

L'umidità assoluta è il contenuto di vapore acqueo nell'aria espresso in g/m^3 .

b) Umidità relativa (U_{rel})

L'umidità relativa indica il grado di saturazione, ovvero il rapporto fra il reale valore del contenuto di vapore acqueo rispetto all'attuale grado di saturazione ($100\% U_{\text{rel}}$) dell'aria. Questo valore varia in funzione della temperatura: l'aria calda ha maggiore capacità di trattenere vapore d'acqua dell'aria fredda.

c) Punto di rugiada a pressione atmosferica

Il punto di rugiada a pressione atmosferica è quella temperatura alla quale l'aria raggiunge un grado di saturazione dell'umidità (F_{rel}) del 100% .



Fig. 1: Nelle fasi di produzione, stoccaggio e trattamento dell'aria compressa si genera la condensa (dati relativi a $10 \text{ m}^3/\text{min}$, $10 \text{ bar}_{\text{abs}}$, 8 h, $60\% F_{\text{rel}}$ e $20 \text{ }^\circ\text{C}$)

d) Punto di rugiada in pressione

Il punto di rugiada in pressione è la temperatura alla quale l'aria compressa raggiunge il suo punto di saturazione dell'umidità (100% F_{rel}). Ciò significa che (cfr. esempio precedente) l'aria alla pressione di 10 bar (a) ha una umidità assoluta di 6g per metro cubo processato ad un punto di rugiada in pressione di +3 °C. A titolo d'esempio: se detto metro cubo fosse espanso da 10 bar (a) fino alla pressione atmosferica, allora il suo volume aumenterebbe di nuovo di 10 volte. Il contenuto di vapore acqueo (6g) rimarrebbe invariato ma sarebbe ora distribuito in un volume 10 volte maggiore. Ciò vuol dire che ogni metro cubo d'aria espansa conterrebbe 0,6g di vapore acqueo. Questo valore corrisponde ad un punto di rugiada atmosferico di -24 °C.

5. Essiccamento economico ed ecologico dell'aria

a) Essiccatore a refrigerazione o ad adsorbimento?

La più recente legislazione concernente i gas refrigeranti non ha cambiato uno stato di cose consolidato e cioè che gli essiccatori ad adsorbimento non sono "la" alternativa a quelli a refrigerazione né dal punto di vista economico né da quello ambientale. Gli essiccatori a refrigerazione consumano solo il 3% dell'energia occorrente a produrre l'aria compressa che essi processano. A confronto quelli ad adsorbimento consumano dal 10 al 25% o più. In casi normali dovrebbe essere usato perciò sempre un essiccatore a refrigerazione. L'uso di una macchina ad adsorbimento ha senso se viene richiesta un'aria estremamente essiccata con un punto di rugiada in pressione fino a -20 °C, -40 °C o -70 °C (fig. 2). Durante l'arco di una giornata lavorativa i sistemi ad aria compressa sono spesso soggetti a significative oscillazioni dei consumi. Ciò vale in particolare per l'intero ciclo annuale al quale vanno ancora aggiunte le forti variazioni di tempe-

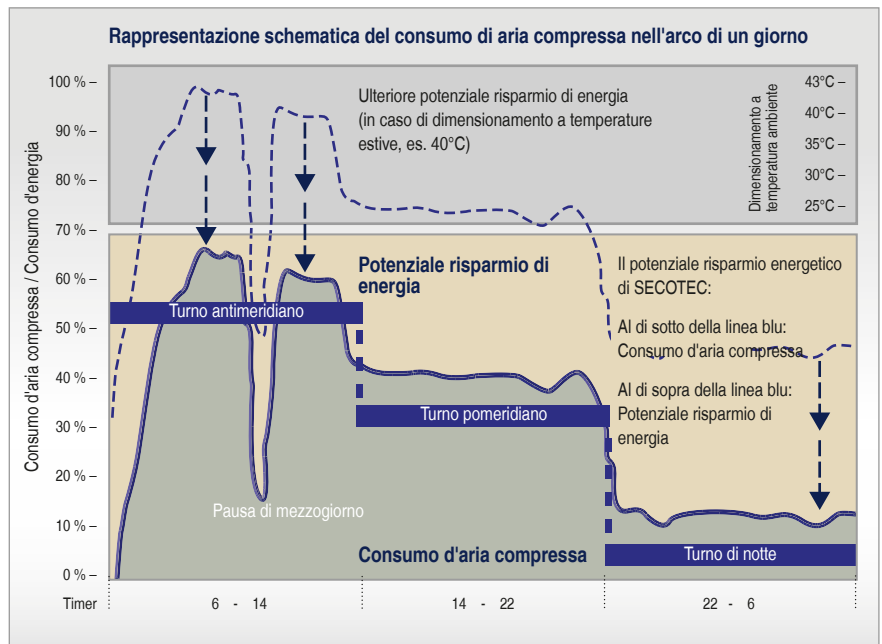


Fig. 3: Potenziale di risparmio energetico negli essiccatori frigoriferi con regolazione On-Off

Processo di essiccazione	Punto di rugiada °C	Consumo di potenza specifica tipico kW / m ³ /min **)
Essiccatore frigorifero	+ 3	0,1
HYBRITEC	+ 3 / - 40 *)	0,2 0,3
Essiccatore ad adsorbimento a rigenerazione a caldo	- 40	0,5 - 0,6
Essiccatore ad adsorbimento a rigenerazione a freddo	- 20 - 70	1,4 - 1,6

Fig. 2: Sono possibili diversi sistemi di essiccazione a seconda del punto di rugiada richiesto

ratura. Pertanto, gli essiccatori d'aria compressa devono essere dimensionati per poter far fronte alle peggiori condizioni operative immaginabili: minima pressione, massimo consumo d'aria nonché massima temperatura ambiente e massima temperatura d'ingresso dell'aria compressa. Un tempo, gli essiccatori lavoravano in servizio continuo, ma ciò causava un forte spreco di energia soprattutto nel funzionamento a carico parziale. Grazie alla efficiente regolazione On-Off i

moderni essiccatori frigoriferi adattano il loro consumo alle condizioni mutevoli, mantenendo costante l'elevata qualità dell'aria compressa (fig. 3). In questo modo è possibile risparmiare in media più del 50% di energia in un anno. L'impiego di una tecnologia ad alta efficienza energetica è fondamentale per ottenere punti di rugiada sotto zero; infatti, gli essiccatori ad adsorbimento, necessari in quest'ambito, sono macchine particolarmente energivore. Grazie al sistema HYBRITEC, una combinazione economica ed efficiente al contempo, si è riusciti a ridurre significativamente il consumo di energia: questo sistema è costituito da un essiccatore a ciclo frigorifero e un essiccatore ad adsorbimento. Dapprima l'essiccatore frigorifero porta l'aria compressa in entrata a un punto di rugiada di +3 °C; in seguito, l'aria già parzialmente essiccata passa nell'essiccatore ad adsorbimento che a questo punto richiede molta meno energia per raggiungere il punto di rugiada di -40 °C.

Scaricatori automatici di condensa

Nella produzione d'aria compressa la condensa costituisce, purtroppo, un inevitabile prodotto di scarto. Ecco quindi che un compressore da 30 kW, con una portata di 5 m³/min, già produce in condizioni normali d'esercizio ca. 20 litri di condensa per turno di lavoro. Questa deve essere ovviamente rimossa dal sistema d'aria compressa, onde evitare malfunzionamenti, interruzioni nella produzione e danni da corrosione. In questa sede sarà illustrato come scaricare la condensa in modo efficace e come risparmiare al contempo notevoli costi.

1. Scarico della condensa

La condensa, satura di diverse impurità, si forma in determinati punti di ogni sistema d'aria compressa (fig. 1). Si rende perciò indispensabile affidarsi a un valido sistema di scarico della condensa che tenga essenzialmente conto sia della qualità dell'aria, ma anche dell'economicità e dell'affidabilità operativa dell'impianto d'aria compressa.

a) Punti di raccolta e scarico della condensa

Ad una prima fase di raccolta e scarico della condensa provvedono già alcuni meccanismi all'interno del sistema d'aria compressa.

È qui che, nei compressori che dispongono di un buon sistema di raffreddamento dell'aria compressa, si forma infatti già un buon 70-80% dell'intera condensa.

Separatore centrifugo:

Si tratta di un separatore meccanico che separa la condensa dall'aria con l'ausilio dell'accelerazione centrifuga (fig. 2). Per poter operare in maniera ottimale, il separatore deve essere sempre proporzionato al generatore d'aria compressa.

Radiatore intermedio:

Nei compressori bistadio con radiatori



Fig. 1: La condensa si forma in determinati punti di ogni sistema d'aria compressa

intermedi, la condensa si forma al livello del separatore del radiatore intermedio.

Serbatoi d'aria compressa:

Il serbatoio d'aria compressa, oltre alla sua principale funzione di accumulatore, separa la condensa dall'aria per effetto della forza di gravità. (fig. 1). Se il dimensionamento è sufficiente (il volume minimo suggerito vale la portata del compressore/ min : 3 = volume minimo del serbatoio in m³) risulterà altrettanto efficace quanto un separatore centrifugo.

A differenza di quest'ultimo però, il serbatoio può essere impiegato nella linea centrale di raccolta dell'aria compressa della stazione di compressori, se l'ingresso dell'aria è posto in basso e l'uscita in alto. Inoltre il serbatoio è in grado di raffreddare l'aria per mezzo della sua vasta superficie di dissipazione, favorendo così ulteriormente la separazione della condensa.

Separatore d'acqua nella linea d'aria compressa:

Al fine di evitare una circolazione incontrollata della condensa, la linea d'aria compressa della zona non trattata deve essere predisposta in maniera tale che tutti i punti di ingresso e di uscita d'aria siano connessi dall'alto o dal lato, mentre le linee di scarico della condensa devono partire dal basso.

Se la velocità di circolazione dell'aria viene limitata tra 2 e 3 m/s, un separatore d'acqua ben dimensionato (fig. 3), situato lungo una linea non trattata del circuito d'aria compressa, può separare la condensa in maniera altrettanto efficace come un serbatoio d'aria compressa (fig. 1).

b) Essiccatori d'aria compressa

Nell'ambito dell'essiccazione dell'aria compressa esistono altri punti di formazione e di scarico della condensa oltre a quelli già citati.

Essiccatore a ciclo frigorifero:



Fig. 2: Separatore centrifugo con scaricatore di condensa



- 1 Collettore d'aria compressa con pendenza (2 %)
- 2 Collo d'oca
- 3 Connessione del compressore
- 4 Intercettazione di condensa nel collettore d'aria compressa (separatore d'acqua)
- 5 Direzione della rete d'aria compressa
- 6 Scaricatore di condensa
- 7 Collettore di condensa

Fig. 3: Separatore d'acqua con scaricatore di condensa lungo una linea non trattata del circuito d'aria compressa

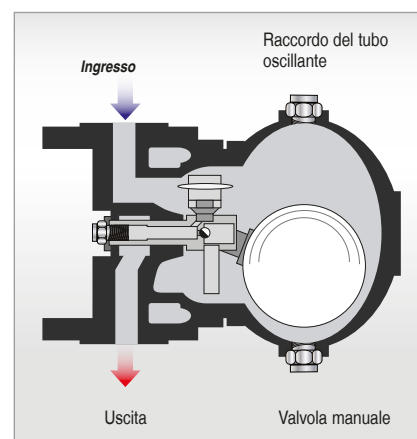


Fig. 4: Scaricatore di condensa a galleggiante

nell'essiccatore frigorifero ha luogo una ulteriore separazione della condensa a seguito dell'essiccazione dell'aria compressa mediante raffreddamento.

Essiccatore ad adsorbimento:

a causa del naturale raffreddamento nella linea dell'aria compressa si forma già condensa all'altezza del prefiltro dell'essiccatore ad adsorbimento: qui l'umidità, allo stato di vapore, è eliminata per effetto delle forti relazioni di compressione parziale nel materiale adsorbente.

c) Separatore decentralizzato

Qualora manchi un essiccatore centralizzato, è logico attendersi grosse quantità di condensa a monte degli eventuali separatori d'acqua installati in linea: essi richiedono comunque molta manutenzione.

Attualmente sono tre i sistemi generalmente impiegati:

a) Scaricatore a galleggiante

Questo scaricatore rientra tra i più antichi sistemi di scarico ed ha sostituito lo scarico manuale, di per sé né economico, né tanto meno sicuro. Tuttavia anche lo scarico della condensa per mezzo di sistemi a galleggiante (fig. 4) si è dimostrato poco affidabile, in quanto le impurità presenti nell'aria

compressa causavano frequenti guasti e una continua manutenzione.

b) Elettrovalvola

Le elettrovalvole con temporizzatore offrono sicuramente maggiori garanzie di funzionamento rispetto agli scaricatori a galleggiante, tuttavia queste devono essere regolarmente sottoposte ad un controllo a causa delle particelle presenti nella condensa. Inoltre, una inesatta regolazione dei tempi di apertura delle valvole dà luogo a perdite di pressione e ad un conseguente consumo d'energia.

c) Scaricatore di condensa con controllo di livello

Oggigiorno vengono impiegati in prevalenza scaricatori di condensa provvisti di un controllo di livello intelligente. (fig. 5). Questi, a differenza di quelli a galleggiante soggetti a frequenti guasti, offrono il vantaggio del controllo con sensore elettronico.

Ciò significa che non si verificano guasti a causa di intasamento da impurità o per l'usura di parti meccaniche. Inoltre, una precisa ed automatica determinazione dei tempi di apertura delle valvole consente di eliminare anche le perdite di pressione. Tra gli altri vantaggi si annoverano inoltre la semplicità di monitoraggio e la



Fig. 5: Scaricatore di condensa con controllo elettronico di livello (mod. ECO-DRAIN)

possibilità di trasmettere i segnali ad un sistema di gestione centralizzato.

d) Corretta installazione

Tra il sistema di scarico della condensa e lo scaricatore di condensa dovrebbe esserci sempre un tratto di linea munito di rubinetto (figg. 2 e 3).

Questo per consentire, durante i lavori di manutenzione, di isolare lo scaricatore e permettere all'impianto d'aria compressa di funzionare senza alcun inconveniente.

Trattamento economico della condensa

Nella produzione d'aria compressa si formano inevitabilmente considerevoli quantità di condensa. La denominazione di "condensa" ci indurrebbe a ritenere che si tratti esclusivamente di vapore acqueo condensato. Ma attenzione! Ogni compressore funziona come un enorme aspirapolvere: aspira dall'ambiente aria contaminata da impurità, le quali, concentrate in forma di aria compressa non trattata, passano alla condensa.

1. Perché è necessario il trattamento della condensa?

Gli utenti d'aria compressa rischiano molte salate se scaricano la condensa nelle fognature. poiché la condensa in quanto prodotto di scarto dell'aria compressa è una miscela nociva. A causa del crescente inquinamento ambientale, oltre alle particelle solide, la condensa contiene sempre più quantità di idrocarburi, anidride solforosa, rame, piombo, ferro ed altre sostanze nocive. In Germania lo smaltimento della condensa degli impianti di produzione d'aria compressa è disciplinato dalla legge sul regime idrico. La norma prescrive che le acque reflue; contenenti sostanze, contenenti sostanze nocive, debbano essere trattate in conformità alle "norme tecnologiche generalmente approvate" (§ 7a WHG). Ciò riguarda ogni tipo di condensa derivante dalla produzione di aria compressa - anche quella prodotta dai compressori cosiddetti oil-free.

Per ogni sostanza nociva sono previste delle soglie differenti sia per settore che per zona. Per gli idrocarburi ad es il limite massimo ammissibile è di 20 mg/l; i valori pH ammessi per lo smaltimento della condensa oscillano tra il 6 ed il 9.

2. Le proprietà della condensa (fig. 1)

a) la dispersione

La condensa può avere diverse composizioni e la dispersione degli elementi si

verifica in genere nei compressori a vite raffreddati ad olio che impiegano refrigerante sintetico come il "Sigma Fluid S460". La condensa in questi casi ha valori pH tra 6 e 9 che si possono considerare come valori neutri. Con questo tipo di condensa le impurità contenute nell'atmosfera si raccolgono in un sottile strato d'olio facilmente separabile dall'acqua.

b) l'emulsione

Un chiaro segno di riconoscimento della emulsione è la presenza di un liquido lattiginoso che anche a distanza di parecchi giorni non si separa. Questo tipo di condensa lo si ritrova spesso nei compressori a palette, a vite ed a pistone che impiegano oli convenzionali. Anche in questo caso gli elementi nocivi si ritrovano inglobati nelle sostanze oleose.

Per effetto della forte stabilità della miscela non basta la sola forza di gravità a separare l'acqua, l'olio e con esso anche le altre impurità come ad es. polvere e metalli pesanti. Se gli oli contengono composti di esteri, la condensa può risultare aggressiva e deve essere quindi neutralizzata. Il trattamento di tali condense può essere effettuato solo con apparati o sostanze demulsionanti.

3. Smaltimento affidato a terzi

Ovviamente è anche possibile raccogliere la condensa ed affidarne lo smaltimento a ditte specializzate. Tuttavia i costi di smaltimento oscillano, a seconda delle caratteristiche della condensa - tra 40 e 150€/m³. Tenuto conto delle quantità di condensa prodotte, conviene generalmente trattare le condense all'interno dell'azienda, con il vantaggio che della massa originaria rimane solo lo 0,25% che dovrà poi essere smaltita da aziende specializzate.

4. Procedure di trattamento

a) per dispersioni

Per il trattamento di questo tipo di condensa occorre generalmente un separatore a tre stadi, composto da due camere di separazione preliminare ed una camera con filtri al carbone attivo. (fig. 2). Il processo di separazione si basa sulla forza di gravità. Lo strato di olio galleggiante sulla superficie all'interno dello scompartimento viene condotto in un contenitore di raccolta e smaltito come olio esausto.

L'acqua residua, dopo essere stata sottoposta a due stadi di filtraggio, può essere scaricata nella canalizzazione delle acque reflue. Rispetto allo



Fig. 1: Ogni compressore aspira dall'atmosfera impurità e vapore acqueo. La condensa derivata dalla compressione dell'aria (fig. 1,1) deve essere separata dall'olio e da ulteriori sostanze nocive (fig. 1,2) prima che l'acqua residua possa essere espulsa (fig. 1,3).



Fig. 2: Sistema di separazione gravitazionale della condensa (schema funzionale)

smaltimento effettuato da un'azienda specializzata, questo tipo di trattamento della condensa consente un risparmio dei costi di ca. il 95%.

Attualmente i separatori sono in grado di trattare condense derivanti da compressori con portate di aria fino a 105 m³/min. Naturalmente, in caso di maggior fabbisogno, è possibile collegare più separatori in parallelo.

b) per emulsioni

Per il trattamento di emulsioni stabili oggi vengono sostanzialmente impiegati due tipi di separatori:

i sistemi di separazione a membrana lavorano secondo il principio dell'ultrafiltrazione con il cosiddetto processo Cross-Flow, in base al quale la condensa, già parzialmente prefiltrata, attraversa le membrane che ne trattengono le impurità mentre la parte di liquido che trapassa le membrane è acqua depurata e può essere riversata nella canalizzazione di scarico. Il secondo tipo di separatore opera con una sostanza separatrice a polveri che cattura le particelle di olio e le neutralizza in macrofloculi adatti ad essere filtrati. Filtri con pori ad ampiezza definita trattengono questi fiocchi, lasciando passare solo l'acqua depurata.

Sistemi efficienti di gestione e controllo di compressori

Solo se la portata dei compressori è correttamente calibrata al fabbisogno variabile d'aria compressa, possono essere in gran parte evitate fasi di carico parziale, caratterizzate da un elevato consumo energetico e di conseguenza costose. Un adeguato sistema di controllo del compressore svolge un ruolo chiave in termini di efficienza energetica.

Se il rendimento dei compressori scende sotto il 50%, lo sperpero di energia ha ormai raggiunto livelli allarmanti. Molti utenti non ne sono tuttavia consapevoli, poiché i loro impianti contengono solo le ore di funzionamento

e non anche le ore a pieno carico. Il rimedio è offerto da sistemi di controllo appropriatamente regolati: essi infatti possono elevare la percentuale di resa dell'impianto fino al 90% e oltre, realizzando notevolissimi risparmi.

1. Controllo interno

a) Regolazione pieno carico/marcia a vuoto

La maggior parte dei compressori impiega motori asincroni trifase ed occorre tener presente che non solo il numero di partenze consentito per questi motori è inversamente proporzio-

nale alla loro potenza, ma lo è, seppure con funzione diversa, anche il numero di passaggi dal regime di pieno carico a quello di carico ridotto (marcia a vuoto). In generale questo dato non corrisponde alla frequenza di interventi che sarebbero necessari per seguire con buona approssimazione l'andamento del consumo effettivo d'aria compressa. Nel passaggio al regime di marcia a vuoto risultano tuttavia sgravati solamente quei settori del compressore soggetti a pressione: il motore, invece, rimane alimentato ancora per un determinato tempo (**fig.1**) e l'energia impiegata in questo periodo è da considerarsi praticamente sprecata. Giova ricordare che il fabbisogno d'energia dei compressori (dei migliori compressori), durante il periodo di marcia a vuoto, è circa pari al 20% della potenza richiesta a pieno carico.

I moderni modi di regolazione computerizzati consentono di limitare le costose fasi di marcia a vuoto e al contempo proteggere il motore, come ad esempio: la regolazione Quadro che seleziona automaticamente il tipo di funzionamento ottimale (**fig. 2**), la regolazione Dynamic che gestisce i tempi di vuoto in base alla temperatura del motore (**fig. 3**) e la regolazione Vario con i tempi di marcia a vuoto calcolati in maniera variabile (**fig. 4**).

Dispositivi di controllo proporzionale con valvola a farfalla sul lato di aspirazione non sono raccomandati perché con una portata al 50% il compressore consuma il 90% dell'energia necessaria per il 100% della portata.

b) Conversione di frequenza

I compressori con inverter (**fig. 5**) non hanno un campo di regolazione con efficienza costante. Il rendimento di un motore di 90 kW cala ad esempio da 94 a 86% nel campo di regolazione compreso tra 30 e 100%. A ciò si aggiunga inoltre la perdita del convertitore di fre-

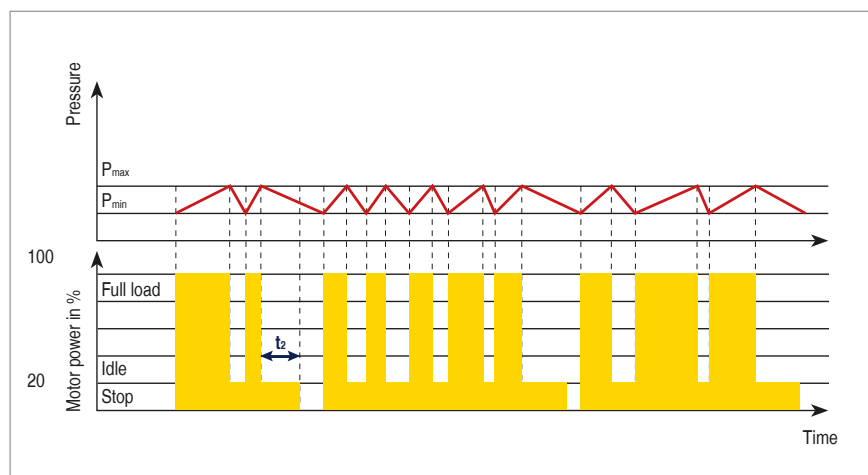


Fig. 1: Modalità Duale: regolazione carico-vuoto-standby con tempi di marcia a vuoto fissi

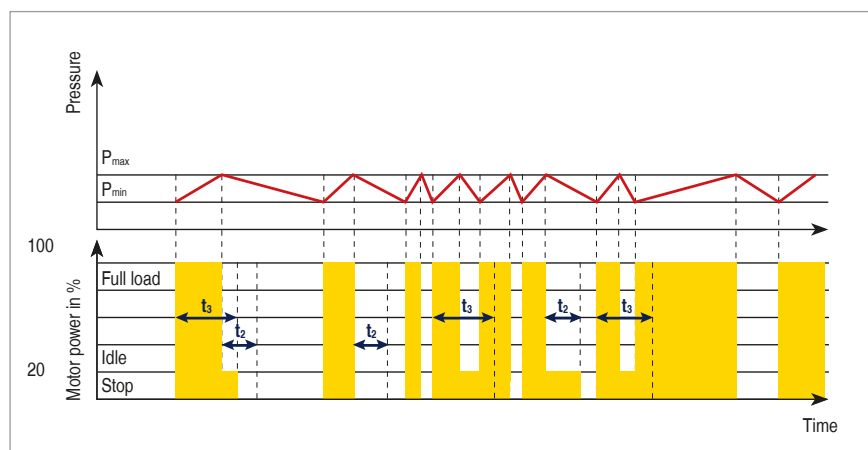


Fig. 2: Modalità Quadro: regolazione carico-vuoto-standby con selezione automatica del modo di funzionamento ottimale

quenza stesso e la curva di potenza non lineare dei compressori. I compressori con inverter dovrebbero essere azionati in un campo di regolazione tra il 40 e il 70%, questo è infatti il range ottimale di efficienza.

Questi componenti dovrebbero essere dimensionati per il 100% di carico. Se impiegati male i sistemi con variatore di frequenza possono addirittura rivelarsi dei divoratori di energia, senza che l'utente se ne accorga. Gli inverter non sono tuttavia una panacea universale per economizzare al massimo il consumo energetico del compressore.

2. Classificazione del fabbisogno d'aria

I compressori sono classificabili, a seconda delle funzioni, come macchine per carico base, carico medio, carico di picco e stand-by.

a) Carico base

Vengono così definite le macchine di maggior portata che, lavorando al 100%, forniscono buona parte dell'aria richiesta dalla rete.

b) Carico picco

Il carico picco è la portata d'aria compressa necessaria durante i picchi di consumo. Si incaricano di generare la portata mancante per raggiungere il 100% della richiesta.

Per poter seguire le diverse variazioni del carico, i compressori sono dotati di sistemi di controllo autonomi.

Questi sistemi devono essere capaci di garantire il loro funzionamento e con esso la fornitura d'aria, anche in caso di avaria di un sistema di supervisione.

3. Master controller

I moderni master controller con software su base web consentono non solo di coordinare i compressori della stazione, ottimizzando il loro rendimento energetico, ma al contempo sono anche in grado di registrare i dati operativi per

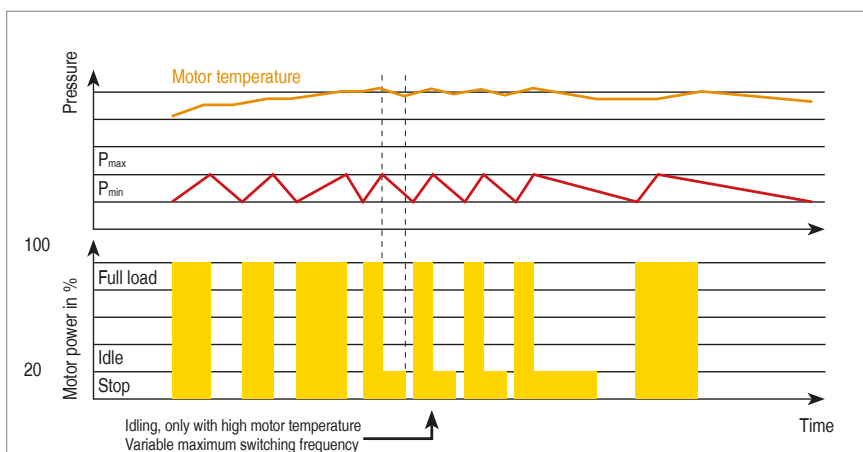


Fig. 3: Regolazione dinamica basata sulla modalità Duale, con tempi di marcia a vuoto gestiti in funzione della temperatura del motore

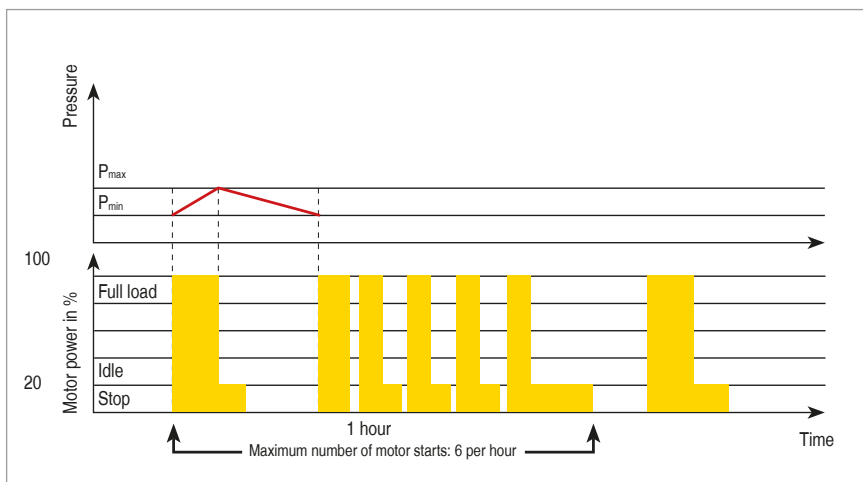


Fig. 4: Regolazione Vario con tempi di marcia a vuoto calcolati in modo variabile

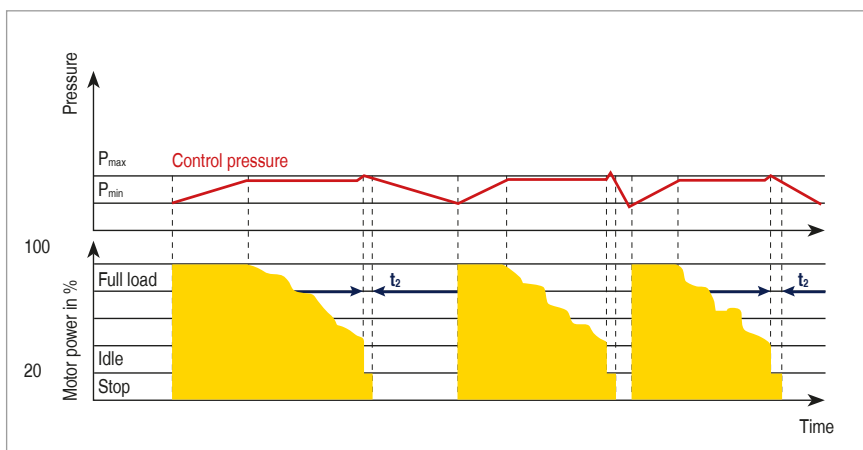


Fig. 5: Regolazione continua della portata variando la velocità del motore (inverter)

Sistemi efficienti di gestione e controllo di compressori

documentare l'efficienza dell'approvvigionamento d'aria compressa.

a) Lo splitting dei compressori

Lo splitting è la suddivisione dei compressori, per livello di potenza e tipo di gestione e controllo, a seconda della loro inclusione nei gruppi di classifica precedenti (fig. 6)..

b) Mansioni dei master controller

Il coordinamento dei compressori è un compito tanto complesso quanto difficile. I sistemi di controllo di supervisione non devono essere solamente in grado di azionare al momento opportuno i compressori, diversi per costruzione e misura. Essi devono anche sorvegliare gli impianti sotto il profilo della manutenzione, gestire le ore operative dei compressori e registrarne i guasti, per ridurre i costi di manutenzione dell'impianto e aumentarne la sicurezza.

c) Dimensionamento corretto

Una condizione importante per un

sistema di controllo improntato al risparmio energetico è il corretto dimensionamento dei compressori.

La suddivisione migliore è tale che la somma delle portate delle macchine di picco sia superiore alla portata di una singola macchina di medio carico o base. Il campo di regolazione di una unità di picco con inverter deve pertanto essere maggiore della portata del compressore che va a collegarsi successivamente. In caso contrario non potrebbe essere garantito un corretto ed economico funzionamento dell'impianto.

d) Trasmissione dati con sicurezza intrinseca

Un'altra condizione essenziale per il funzionamento ineccepibile ed efficiente di un sistema di controllo di supervisione è la trasmissione con sicurezza intrinseca dei dati.

A tal fine deve essere assicurata non solo la trasmissione delle informazioni all'interno delle singole unità di com-

pressione, ma anche tra i compressori e il sistema di gestione di supervisione. Inoltre occorre anche controllare il percorso dei segnali stessi, in modo da poter riconoscere immediatamente eventuali disturbi o addirittura la rottura di un cavo di connessione.

Qui di seguito le modalità di trasmissione più frequenti:

1. Contatti senza potenziale
2. Segnali analogici 4 – 20 mA
3. Interfacce elettroniche come RS 232, RS 485, Profibus DP o Ethernet.

La tecnica di trasmissione più moderna suggerisce il "profibus": per trasmettere grandi quantità di dati, in tempi rapidissimi e su lunghe distanze. Grazie alle connessioni Ethernet e alla moderna tecnologia telefonica è possibile connettersi a sistemi informatici e di monitoraggio standard. I sistemi di controllo non devono perciò essere posizionati necessariamente all'interno del locale ove opera l'impianto d'aria compressa (fig. 7).

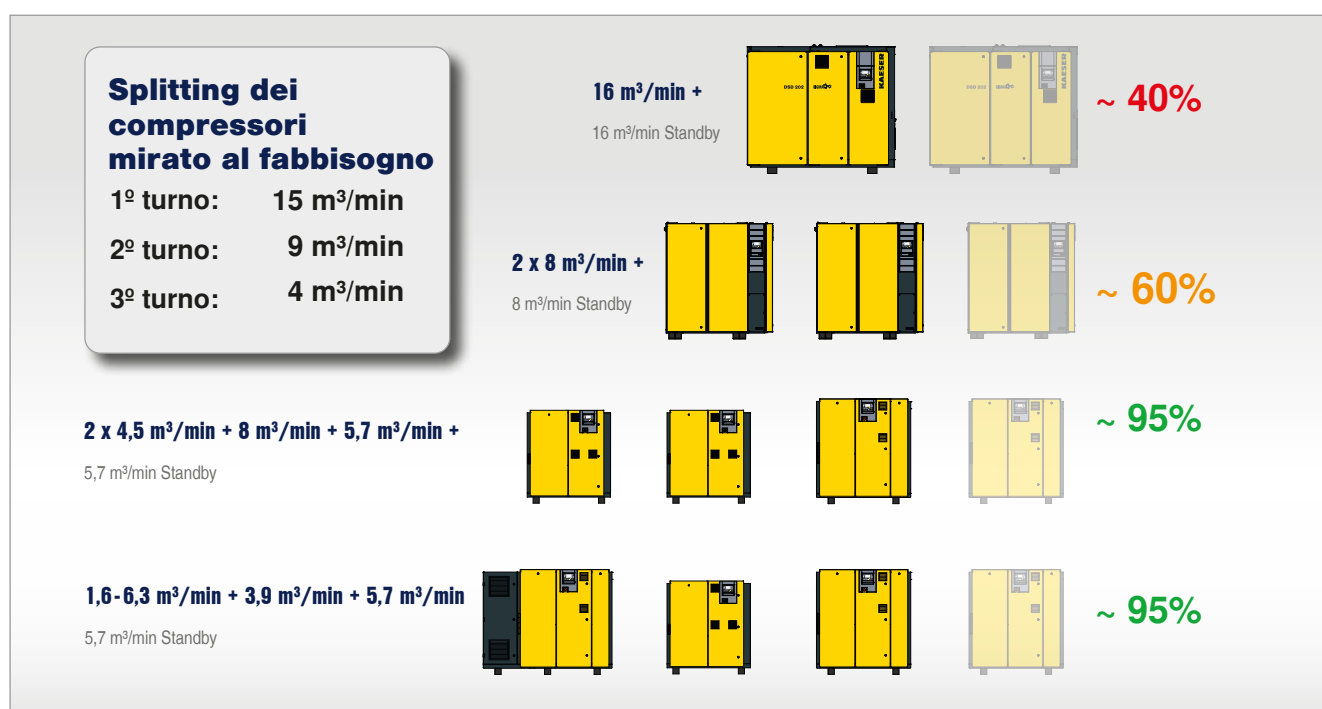


Fig. 6: Ripartizione del carico tra i compressori di varia potenza, in base al fabbisogno d'aria



Fig. 7: La spiccata connettività del master controller contribuisce notevolmente all'efficienza di una stazione d'aria compressa

Armonizzazione dei compressori, ottimale ed orientata al contenimento dei consumi

La maggior parte delle stazioni d'aria compressa si compone di più compressori di uguale o diversa grandezza. La coordinazione individuale di queste macchine richiede l'impiego di un master controller: l'obiettivo è adattare l'erogazione d'aria al fabbisogno dell'utente ed ottenere al contempo la massima efficienza energetica.

Quelli che generalmente chiamiamo sistemi di controllo dei compressori sono di fatto dei sistemi di regolazione che si suddividono in quattro gruppi in base al rispettivo principio di funzionamento:

1. Regolazione a cascata

Sotto l'aspetto della tecnica di controllo, la cosiddetta regolazione a cascata rappresenta il metodo classico di collegamento dei compressori. A ciascun compressore viene cioè assegnato un punto di commutazione inferiore ed uno superiore. Se ci sono più compressori da coordinare, il sistema di regolazione avrà un aspetto scaglionato o meglio a cascata. Nel caso di scarsa richiesta d'aria, viene azionato solamente un compressore e la pressione oscilla tra la pressione minima (p_{\min}) e la pres-

sione massima (p_{\max}) tipica di questo compressore; essa invece cala qualora aumenti la richiesta d'aria, anche con più compressori collegati (fig. 1, colonna 1).

Ciò tuttavia dà luogo ad una situazione alquanto sfavorevole: ad una scarsa richiesta d'aria corrisponde la massima pressione nel sistema, aumentando così le perdite di energia dovute alle fughe; in caso di maggior richiesta d'aria invece, cala la pressione e si riduce la riserva di pressione all'interno del sistema.

A causa dell'assegnazione dei compressori a un determinato campo di pressione, la banda di pressione del sistema di regolazione è molto ampia, con differenze a seconda del tipo di sensore utilizzato (comune pressostato a membrana, manometro con contatti o un trasduttore elettronico di pressione). Quanto maggiore è il numero dei compressori in servizio, tanto maggiori saranno i campi di pressione. Tutto ciò si traduce in una regolazione inefficace con pressioni eccessive, fughe e perdite di energia. Le regolazioni a cascata dovrebbero pertanto essere sostituite da altri sistemi di regolazione quando la stazione è costituita da più di due compressori.

2. Regolazione a banda di pressione

Contrariamente alla regolazione a cascata, la regolazione a banda di pressione (fig. 1, colonna 2) è in grado di coordinare il funzionamento di un numero qualsiasi di compressori. Ciò permette di circoscrivere nel dettaglio il campo di pressione nel quale verrà regolata l'intera stazione d'aria compressa.

2. a) Regolazione semplice

Le versioni semplici della regolazione a banda di pressione non sono tuttavia in grado di coordinare dei compressori di diversa grandezza; pertanto non soddisfano i requisiti necessari per coprire il carico picco delle reti d'aria compressa soggette a frequenti variazioni dei consumi.

Questo procedimento è stato quindi integrato da un sistema che cerca di gestire i compressori adattandoli di volta in volta ai tempi di caduta e di aumento della pressione, e di coprire così il fabbisogno di picco. La curva caratteristica di questa regolazione richiede tuttavia una banda di pressione relativamente ampia (fig. 2). Inoltre, analogamente alla regolazione a cascata, non si tiene conto delle reazioni dei compressori né della rete d'aria compressa; la pressione è dunque suscettibile di scendere sotto la soglia minima definita. È perciò necessario rispettare un margine di sicurezza tra la pressione minima richiesta e il punto minimo di commutazione della regolazione.

2. b) Regolazione a banda di pressione in funzione della pressione impostata

La regolazione a banda di pressione in funzione della pressione impostata ha rappresentato un miglioramento significativo (fig. 1, colonna 3). Essa mira a rispettare una pressione definita e a gestire compressori di varia grandezza in base al fabbisogno d'aria compressa. Il principale vantaggio di questa variante consiste nella possibilità di abbassare

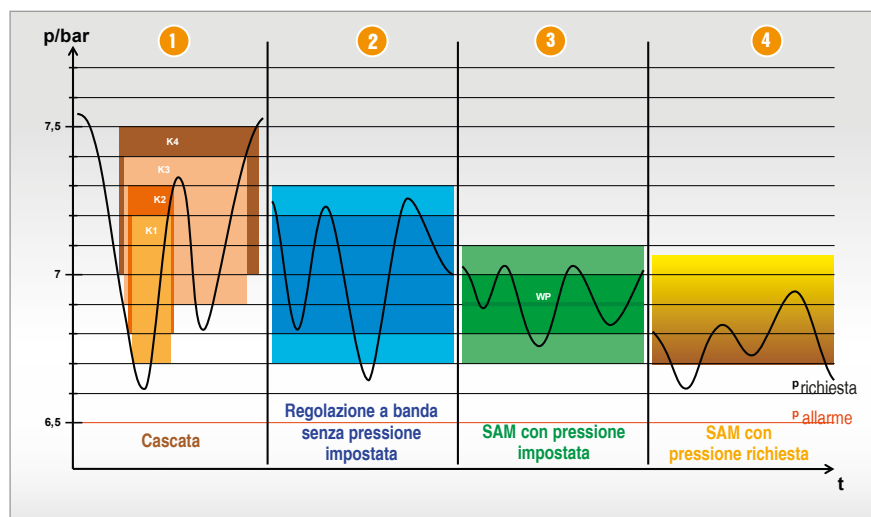


Fig. 1: Varianti per la regolazione dei compressori con un master controller

significativamente la pressione di lavoro media del sistema d'aria compressa e dunque di conseguire notevoli risparmi in termini economici ed energetici.

3. Regolazione in funzione della pressione richiesta

Questa variante (fig. 1, colonna 4) rappresenta attualmente quanto di meglio in termini di regolazione. Quest'ultima non richiede limiti di pressione min. e max., ma unicamente la pressione di lavoro minima ammissibile al punto di misurazione del sensore di pressione (fig. 3). Tenendo conto di tutte le perdite imputate all'aumento di pressione, ai tempi di avviamento, di reazione e di marcia a vuoto, nonché alla regolazione della velocità delle singole macchine, la regolazione individua la migliore commutazione possibile e la selezione dei compressori. Conoscendo i singoli tempi di reazione, il sistema è in grado di impedire che la pressione richiesta scenda sotto la soglia minima ammissibile (fig. 4).

Grazie alla innovazione di questa regolazione adattativa 3D^{advanced}, il master controller SIGMA AIR MANAGER 4.0 riesce a ridurre ulteriormente il consumo di energia rispetto alla regolazione a banda di pressione orientata alla pressione impostata. La nuova regolazione impedisce al contempo che la pressione possa scendere al di sotto della soglia predefinita. Questo tipo di regolazione sorprende per la facilità con la quale l'utente stesso sia in grado d'impostare la pressione richiesta.

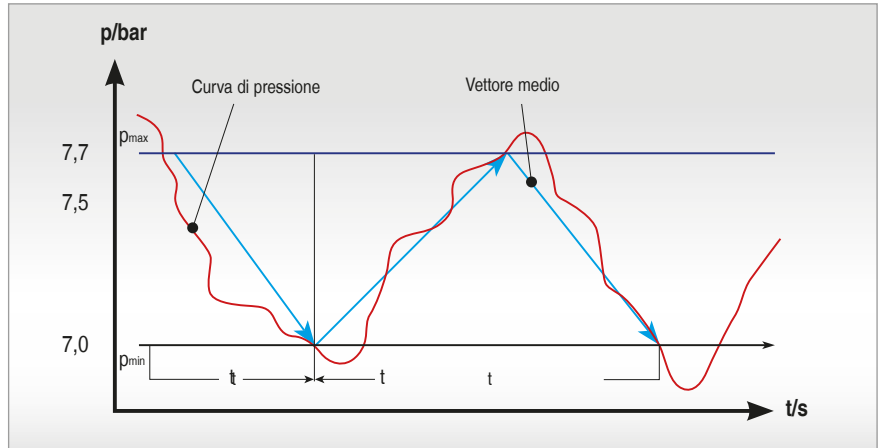
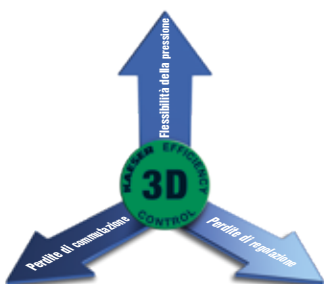


Fig. 2: Il sistema regola la pressione ottimale tenendo conto di tutte le perdite correlate alla regolazione

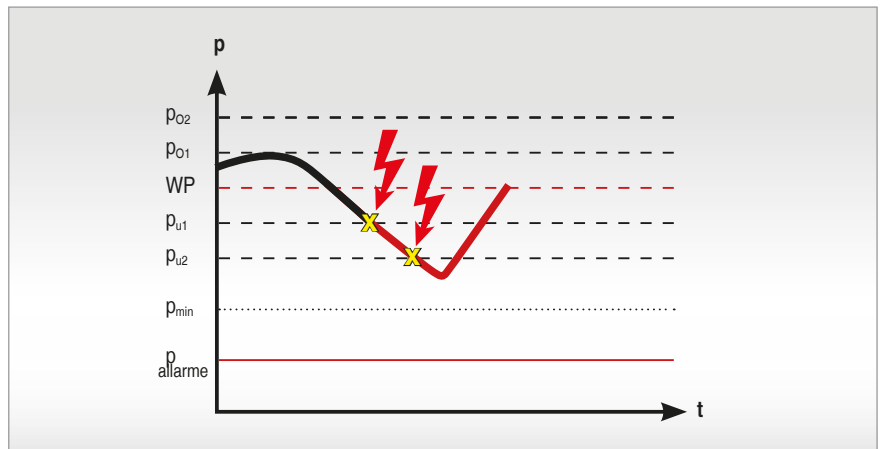


Fig. 3: Con la regolazione in base alla pressione richiesta, non occorre più definire le soglie di pressione minima e massima

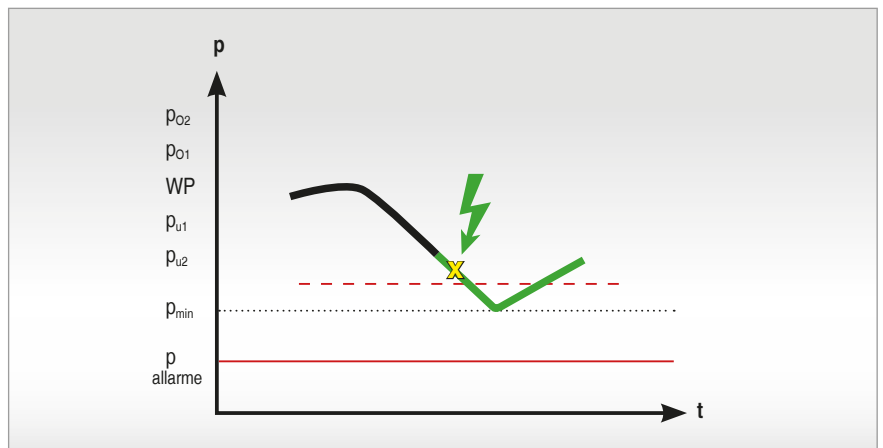


Fig. 4: Il sistema impedisce che la pressione scenda oltre la soglia della pressione richiesta definita

Capitolo 8

Risparmiare energia grazie al recupero del calore

Il risparmio di energia non rappresenta oggi solo una questione economica, bensì anche una necessità ecologica. I costruttori di compressori offrono a riguardo un'ampia scelta di possibilità. Una potenzialità non ancora sfruttata dagli Utenti di aria compressa è il recupero di calore nei compressori a vite.

1. I compressori generano in primo luogo calore

quasi il 100% di energia associata ad un compressore viene in realtà trasformata in calore. Con la compressione, l'aria contenuta nel compressore si carica di un potenziale di energia (fig. 1), che è possibile sfruttare nella sua fase di espansione.

2. Possibilità di Recupero del calore

Gli Utenti interessati ad uno sfruttamento ancora più efficiente dell'aria compressa, possono optare per diverse varianti di recupero termico:

a) Riscaldamento dell'aria

La possibilità più semplice per recuperare il calore dai compressori a vite, raffreddati ad aria ed olio, consiste nell'utilizzare direttamente l'aria calda usata per il raffreddamento del compressore. In questo caso il calore espulso viene convogliato mediante un sistema di canali e rilasciato negli ambienti destinati ad essere riscaldati. È possibile ovviamente sfruttare l'aria calda anche per altri scopi: quali i processi di essiccazione, negli impianti di apertura con barriere a getto d'aria calda o per il preriscaldamento dell'aria dei bruciatori di combustibili. Quando non occorre il calore, l'aria viene rilasciata nell'atmosfera mediante azionamento di un diaframma orientabile o di una chiusura a serranda che devia il flusso dal condotto. Un controllo a regolazione termostatica della serranda rende possibile dosare esattamente l'aria calda in maniera tale da raggiungere negli

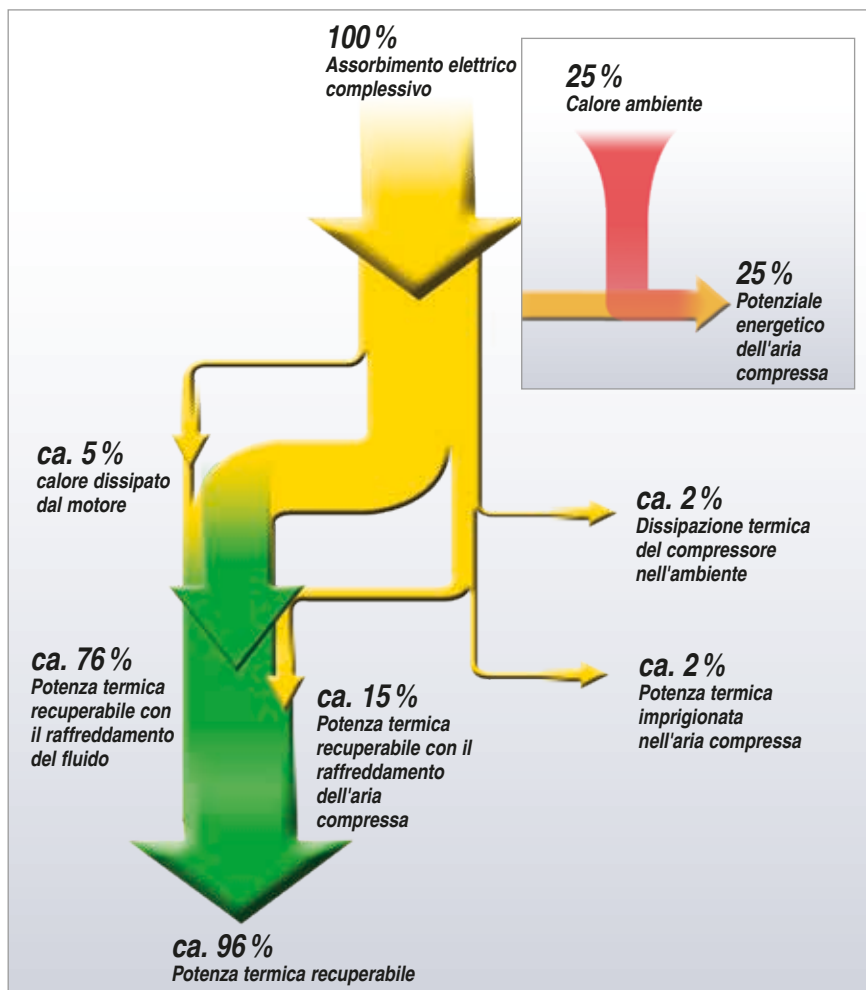


Fig. 1: Diagramma del flusso termico

ambienti temperature sempre costanti. Grazie a questa variante è possibile sfruttare fino al 96% dell'assorbimento di corrente di un compressore a vite. Il vantaggio è già visibile nei piccoli compressori, infatti un compressore da 7,5 kW già è in grado di fornire tanta energia termica sufficiente a riscaldare una casa monofamiliare.

b) Riscaldamento dell'acqua

Installando uno scambiatore di calore nel circuito dell'olio (sia con compressori a vite raffreddati ad aria che raffreddati ad acqua), è possibile ottenere acqua calda per diversi impieghi. Qui trovano

Fig. 3: Corretto allacciamento dei compressori a un sistema di recupero del calore



impiego gli scambiatori di calore a piastre o gli scambiatori di sicurezza – a seconda che l'acqua sia impiegata per uso domestico (riscaldamento, doccia) o nei processi produttivi e detergenti. Con questi scambiatori di calore l'acqua può raggiungere temperature fino a 70 °C. L'esperienza ci conferma che i costi extra per questa variante di recupero del calore, nei compressori da 7,5kW in poi, si ammortizzano nell'arco di due anni, a condizione che sia stata eseguita una corretta pianificazione.

3. La sicurezza in primo luogo

Normalmente il sistema di raffreddamento primario del compressore non dovrebbe mai essere usato al contempo come sistema per il recupero del calore, poiché in caso di avaria del sistema per il recupero del calore anche il raffreddamento del compressore ne risulterebbe compromesso e con esso la produzione di aria compressa. A tal fine, per il recupero del calore, è sempre prudente installare nei compressori degli speciali scambiatori di calore supplementari. In tal modo infatti, in caso di avaria, il compressore è in grado di garantire la propria sicurezza: qualora il sistema di recupero del calore non riuscisse a smaltire il calore attraverso lo scambiatore di calore acqua-olio, il compressore si commuta internamente al sistema primario di raffreddamento ad aria o ad acqua. In questo modo l'approvvigionamento d'aria rimane comunque garantito (fig. 2 e 3).

4. Energia utilizzabile fino al 96%

La parte del leone, ovvero il 76% dell'energia impiegata ed utilizzabile sotto forma di calore, la ritroviamo nell'agente di raffreddamento all'interno dei compressori (olio o altro fluido), il restante 15% è racchiusa nell'aria compressa e fino al 5% nella perdita di calore del motore elettrico. Nei compressori a vite con raffreddamento ad olio o a fluido è possibile addirittura recuperare anche

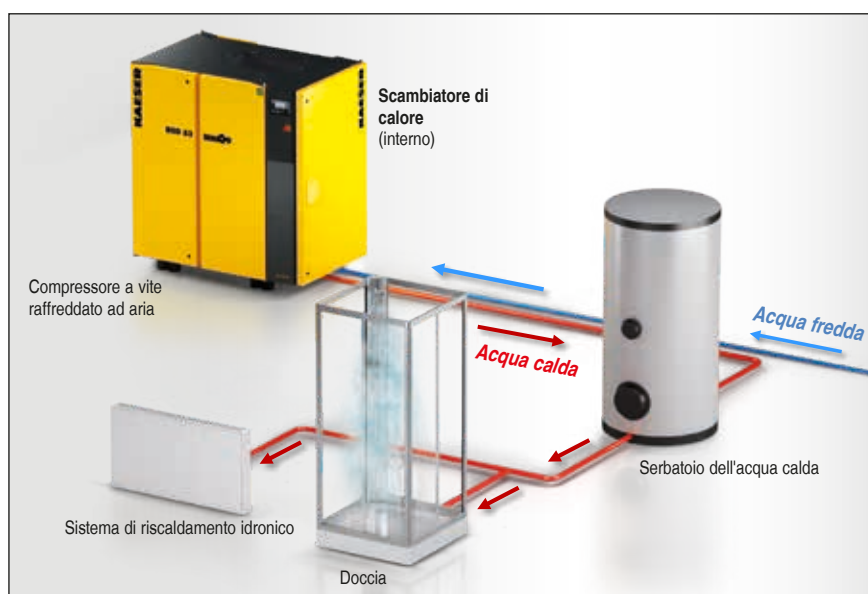


Fig. 3: Schema del sistema di recupero del calore

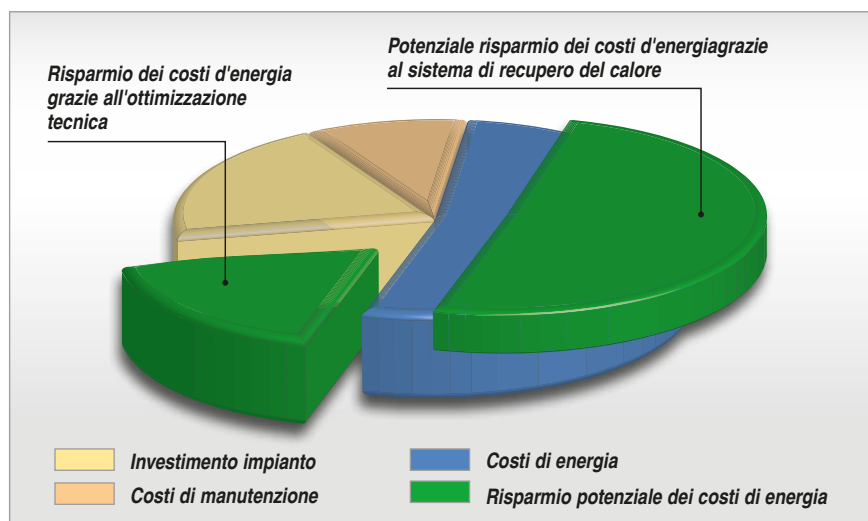


Fig. 4: Il sistema di recupero del calore rappresenta un ulteriore notevole potenziale di risparmio dei costi energetici

queste perdite di energia del motore elettrico con un sistema di raffreddamento opportuno. Complessivamente è possibile un recupero termico fino al 96% dell'energia impiegata per il compressore.

Solo il 2% dell'energia si perde per effetto della dispersione termica per irraggiamento, mentre il restante 2% rimane nell'aria compressa (fig. 1).

5. Conclusione

Il recupero del calore rappresenta una seria opportunità di accrescere l'efficacia di un impianto di aria compressa ed allo stesso tempo rispetta l'ambiente. In rapporto i costi sono minimi. L'ammontare degli investimenti è determinato dalle condizioni locali dell'Utente, dalla finalità d'utilizzo e dal tipo di procedura adottata per il recupero del calore (fig. 4).

Progettazione di una nuova linea di aria compressa

Affinché l'aria compressa sia un vettore d'energia veramente efficiente, è innanzitutto necessario che la sua produzione, il trattamento e la distribuzione siano perfettamente armonizzati. In ciò rientrano, oltre alla adeguata progettazione della stazione d'aria compressa, anche il dimensionamento e l'installazione corretti della linea d'aria.

1. Produzione economica di aria compressa

Se si tiene conto di tutti i costi per energia, lubrificante, manutenzione e ammortamento, un m³ d'aria compressa costa tra 0,5 e 2,5 centesimi, a seconda delle dimensioni, dell'utilizzo, delle condizioni di manutenzione e del tipo di compressore. Ecco perché molte aziende danno grande importanza all'aspetto economico della produzione di aria compressa. Questo è il motivo dell'affermazione dei compressori a vite lubrificati: è infatti possibile risparmiare fino al 20% rispetto al passato.

2. Il trattamento influenza la rete d'aria

Purtroppo minore attenzione è rivolta al trattamento dell'aria. Solo da un trattamento dell'aria adeguato al fabbisogno si possono ottenere minor costi di manutenzione per le utenze e l'intera rete di distribuzione. Le tubazioni che trasportano aria compressa umida, a monte del processo di essiccazione, devono essere assolutamente realizzate con materiale resistente alla corrosione. Per il resto osservare, a valle del trattamento, che la qualità dell'aria compressa non venga pregiudicata da tubazioni difettose.

a) Gli essiccatori riducono il fabbisogno di manutenzione

In ca. l'80% delle applicazioni gli essiccatori a ciclo frigorifero sono sufficienti al trattamento dell'aria compressa e con essi si risparmia l'impiego di filtri addizionali, che causano perdite di

pressione nelle tubazioni. Questi essiccatori, se di qualità, assorbono solo una minima parte dell'energia necessaria al compressore per produrre aria compressa. Si aggiunga che il risparmio per le spese di riparazione e manutenzione delle tubazioni e degli utensili pneumatici può arrivare facilmente ad un valore 10 volte superiore all'investimento fatto per la essiccazione.

b) Unità salvaspazio

Unità poco ingombranti, composte da: compressore a vite, essiccatore frigorifero e serbatoio d'aria compressa (fig. 1), sono disponibili per le esigenze delle piccole imprese o per l'approvvigionamento decentralizzato d'aria compressa.

Progettazione ed installazione di una rete d'aria compressa

In generale, per piccole e medie imprese, è adatto un tipo di alimentazione centralizzata, poiché in questo caso non si verificano i tipici problemi che caratterizzano le grandi reti di distribuzione, quali le elevate spese d'installazione ed il forte calo di pressione a causa delle tubazioni molto lunghe.



Fig. 1: La moderna stazione AIRCENTER per produrre, trattare e stoccare aria compressa in poco spazio

a) Il corretto dimensionamento della rete

Per il corretto dimensionamento è sempre necessario stabilire la massima perdita di pressione che si ammette fra due punti opportunamente scelti della rete. Generalmente si ammette il valore massimo di 1 bar tra il compressore e le utenze più lontane, includendo il trattamento d'aria compressa.

In particolare bisogna tenere conto delle seguenti perdite di pressione (fig. 2):

1	Linee principali	0,03 bar
2	Linee di distribuzione	0,03 bar
3	Linee di collegamento	0,04 bar
4	Essiccatore	0,20 bar
5	Unità di manutenzione e tubo	0,50 bar
Totale		0,80 bar

Questo mostra quanto sia importante calcolare le perdite di pressione nelle singole sezioni della linea, tenendo anche conto dei raccordi e degli organi di intercettazione. Non basta quindi inserire in una tabella o in una formula la semplice lunghezza lineare delle tubazioni, bisogna invece definire la lunghezza della linea di mandata in funzione della sua effettiva composizione inclusi tutti i raccordi, curve e organi di intercettazione. Nella pratica si determina la lunghezza teorica moltiplicando la lunghezza lineare per il fattore 1,6. Il diametro delle tubazioni si ricava sulla base di comuni formule (fig. 3) o di diagrammi di dimensionamento (allegato 1, pag. 54).

Con l'ausilio del KAESER Toolbox <https://it.kaeser.com/servizi/esperienza-e-know-how/calcolatore/> è anche possibile effettuare il dimensionamento.

b) Corretta posa in opera dei tubi per un impianto efficiente

Per risparmiare energia occorre disporre le tubature nel modo più rettilineo possibile. Le curve intorno ai montanti di sostegno possono essere

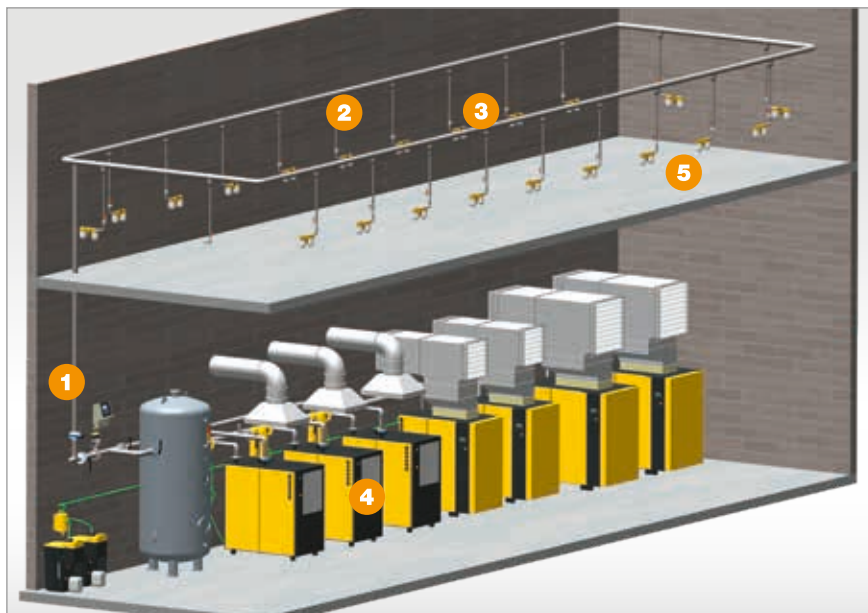


Fig. 2: I principali componenti di una rete di distribuzione d'aria compressa: linea principale (1), linee di distribuzione (2), linee di collegamento (3), essiccatore (4), unità di manutenzione/tubo (5)

evitate allineando la tubazione parallelamente all'ostacolo. Gli angoli acuti a 90°, causa di gravi perdite di pressione, possono essere facilmente superati con

Formula di approssimazione:

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{1,6 \times 10^3 \times V^{1,85} \times L}{\Delta p \times p_s}}$$

d_i = diametro interno del tubo (m)

p_s = pressione del sistema (assoluta, in Pa)

L = lunghezza nominale (m)

V = portata volumetrica (m^3/s)

Δp = perdita di carico (Pa)

Fig. 3: Formula di approssimazione per calcolare i diametri delle tubazioni

gomiti a 90° generosamente dimensionati. Si dovrebbero impiegare rubinetti sferici o valvole a farfalla a passaggio integrale.

Nelle zone umide della linea d'aria, ovvero prima della essiccazione, i collegamenti di prelievo dell'aria compressa devono essere realizzati partendo dall'alto o dal fianco della tubazione principale. La pratica consiglia di adot-

tare questo tipo di collegamento per tutta la rete che dovrà avere una pendenza del 2 per mille nella direzione del flusso dell'aria. Prevedere uno scarico della condensa nel punto più basso di questa linea. In questo modo ci si mette al riparo dagli inconvenienti derivanti da un blocco (casuale o per manutenzione) dell'essiccatore e dalla condensa che, in mancanza di opportuni dispositivi od accorgimenti, si formerà sempre al momento del riempimento dell'impianto, nonostante il perfetto funzionamento dell'essiccatore.

c) Qual è il materiale più adatto per le tubazioni?

Riguardo a ciò non è possibile dare alcun suggerimento basato solamente sul tipo di materiale da impiegare: tubi zincati, di rame o di plastica hanno all'incirca lo stesso prezzo, se si considerano i costi di installazione. I costi per le tubazioni in acciaio inossidabile sono invece di ca. il 20% più alti. Nel frattempo metodi di lavorazione più efficienti hanno consentito anche qui delle riduzioni dei prezzi. Buona parte dei costruttori propone tabelle che indi-

cano le condizioni ottimali di impiego per ogni tipo di materiale ed è raccomandabile, prima di un investimento, tenere conto delle possibili estensioni dell'azienda. Solo così è possibile fare una buona scelta.

d) Importante: la giusta tecnica di raccordo

Le tubazioni vanno saldate o incolate oppure avvitate ed incollate. Un eventuale smontaggio potrà essere complicato, ma si potrà essere certi che in questo modo il rischio di fughe sarà ridotto al minimo.

Risanamento di una rete d'aria compressa

Ogni anno in molte aziende svaniscono letteralmente „nell'aria“ ingenti somme di denaro. Il motivo: la rete d'aria, obsoleta e/o trascurata, porta alle stelle il fabbisogno di energia del sistema. Chi vuole porre rimedio a questo spreco deve adottare misure adeguate. Qui di seguito i nostri consigli per il corretto risanamento della rete d'aria compressa.

1. Premessa di fondo: aria compressa secca

Già al momento di pianificare una nuova rete d'aria è possibile evitare molti errori e con essi tanti problemi in avvenire. Al risanamento invece di una rete d'aria esistente sono spesso collegate alcune difficoltà. L'impresa si fa disperata se nella rete continua ad accumularsi aria umida. Prima di procedere al risanamento si deve pertanto verificare se si dispone di una unità centrale di essiccazione.

2. Cosa fare in caso di eccessivo calo di pressione in rete?

Se il calo di pressione della rete di alimentazione risulta considerevole malgrado l'installazione di un adeguato sistema di trattamento, si dovrà allora ricercare la causa dell'avaria nei sedimenti accumulatisi all'interno delle tubature.

a) Sostituire i tubi o spurgarli con aria a pressione

Se le tubature risultano fortemente incrostate, conviene rimpiazzarle. Se invece il restringimento provocato dalle incrostazioni non è eccessivo, è spesso possibile ampliare la sezione di scorrimento del flusso d'aria, spurgando i condotti ed essiccandoli.

b) Installazione di linee complementari

Un'ottima soluzione per linee derivate ostruite, consiste nell'installazione di una linea collegata parallelamente

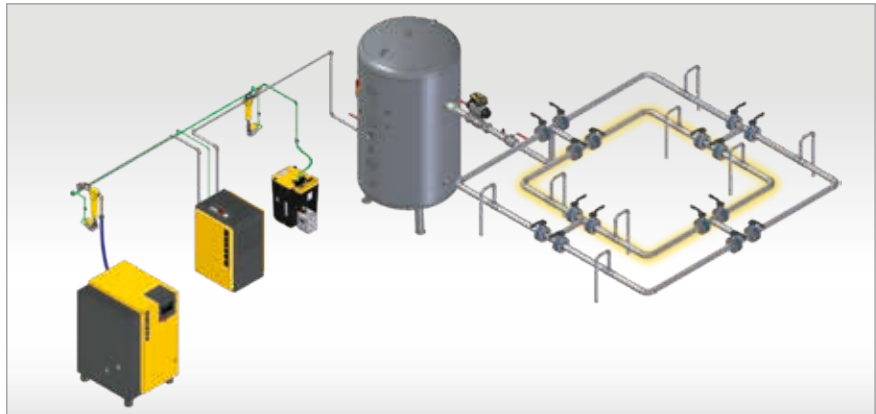


Fig. 1: Risanamento di una linea d'aria mediante installazione di una seconda condotta anulare

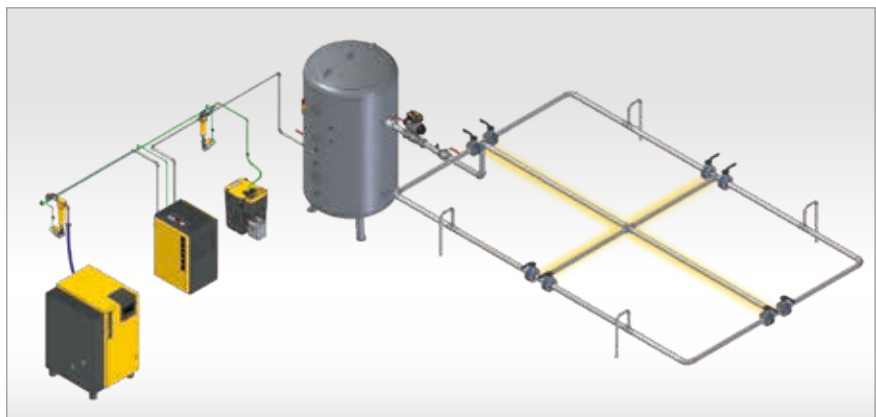


Fig. 2: Ampliamento della capacità di linea per mezzo di maglie intermedie

con la linea derivata. Lo stesso vale per le linee anulari ostruite, anche qui occorre posizionare una seconda linea in parallelo (fig. 1). Il corretto dimensionamento di un simile sistema a doppia linea o anulare consente di ottenere, oltre al risultato principale – la sensibile riduzione delle perdite di pressione – anche il vantaggio di una migliore distribuzione totale dell'aria compressa. Un'ulteriore possibilità di risanamento per linee anulari consiste nell'ampliare il sistema con delle cosiddette maglie intermedie (fig. 2).

3. Localizzazione ed eliminazione di fughe

Il risultato del risanamento della rete si può considerare completo solo se si eliminano anche le fughe di aria compressa.

a) Accertamento del volume complessivo delle fughe

Prima di mettersi alla ricerca delle singole fughe all'interno della linea d'aria, occorre individuare la perdita complessiva dell'intera rete. A tal fine si può adottare un metodo relativamente semplice, ricorrendo all'ausilio del compressore.

Innanzitutto occorre disattivare tutte le utenze d'aria, quindi vanno misurati i tempi di pompaggio del compressore entro un determinato arco di tempo (fig. 3). In base a questa misurazione si calcola il volume complessivo delle perdite con la seguente formula: Legenda:

$$VL = \frac{VK \times \sum t_x}{T}$$

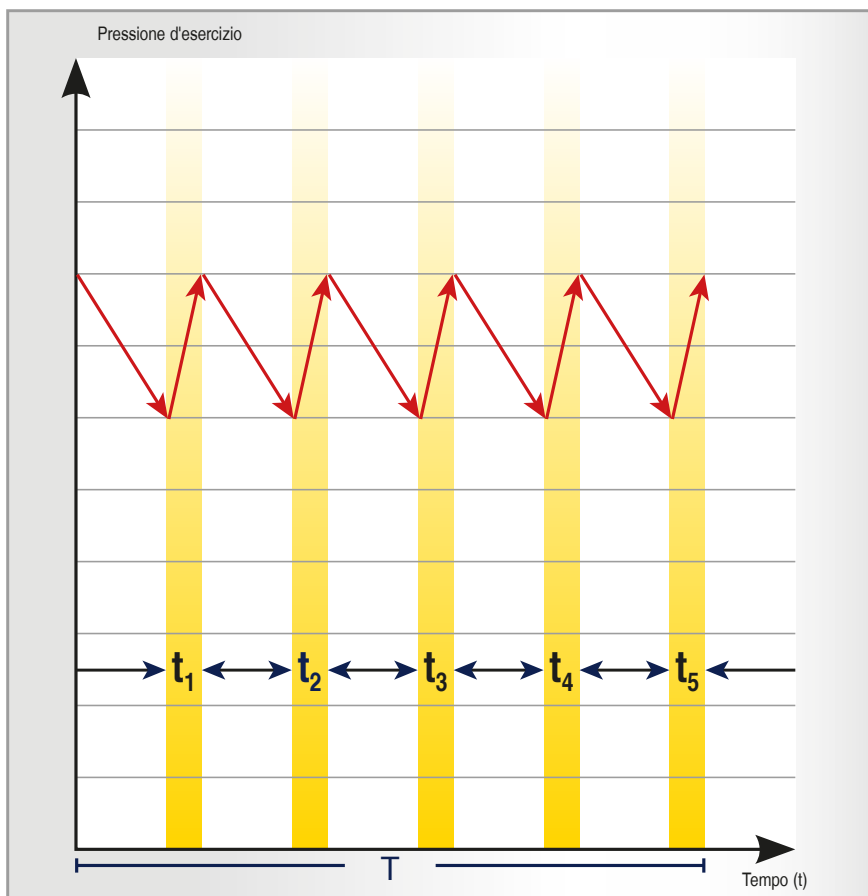


Fig. 3: Intercettazione di fughe mediante misurazione dei tempi di fermata del compressore con utenze disattivate

VL = volume delle fughe (m³/min)

VK = portata del compressore (m³/min)

$\Sigma t_x = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$
somma dei tempi di marcia a carico del compressore (min)

T = tempo totale occorrente per la misurazione (min)

b) Intercettazione delle fughe ai punti di utenza

Per intercettare le fughe nei punti di utenza decentrati, occorre innanzitutto collegare tutti gli utensili, le macchine e gli apparecchi ad azionamento pneumatico, quindi si determina la somma di tutte le fughe (fig. 4). Fatto questo si chiudono le valvole d'intercettazione a monte dei punti di allacciamento delle utenze e si misurano le fughe della rete di tubazioni (fig. 5). La differenza tra le

fughe compressive e quelle di rete corrisponde alle perdite delle utenze, dei loro accessori e dei rispettivi raccordi.

4. Dove si concentra la maggior parte delle fughe?

L'esperienza ha dimostrato che ca. il 70% delle fughe si concentra negli ultimi metri delle tubature, ovvero nei punti di mandata della rete d'aria compressa. Per individuare tali fughe basta adoperare dell'acqua saponata o spray speciali. Nei condotti principali, ad esempio, ci si imbatte in numerose e cospicue fughe, qualora si tratti di una rete originariamente alimentata con aria compressa umida, ed ora invece con aria secca, le cui vecchie ed ormai inaridite guarnizioni di stoppa si sgretolano col passare del tempo. Per un'efficace localizzazione delle fughe

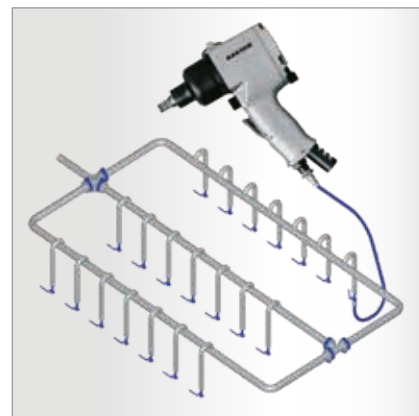


Fig. 4: Misurazione delle fughe in corrispondenza dei punti di utenza

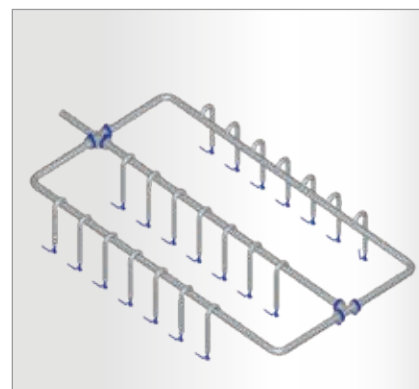


Fig. 5: Misurazione delle perdite della tubazione

all'interno della rete principale, si raccomanda l'impiego di un apparecchio ad ultrasuoni. Una volta che le fughe sono state individuate ed eliminate, e la sezione dei condotti è stata adeguata all'attuale portata richiesta d'aria, possiamo dire a questo punto che la nostra vecchia rete è (ri)diventata un sistema di distribuzione d'aria nuovamente efficiente sotto il profilo economico.

Analisi del fabbisogno d'aria compressa (ADA): accertamento dello stato attuale

Le stazioni d'aria compressa sono sistemi complessi. La loro gestione può tuttavia essere economica solo se se ne tiene conto in sede di pianificazione, ampliamento e ammodernamento. La loro gestione può tuttavia essere economica solo se se ne tiene conto in sede di pianificazione, ampliamento e ammodernamento. A riguardo la KAESER offre un ampio pacchetto di servizi, comprendente componenti pneumatici di comprovata affidabilità, consulenza ed assistenza agli utenti, con l'ausilio della moderna tecnologia informatica applicata alla tecnica dell'aria compressa.

La gamma degli utenti di aria compressa va dalla A, come auto, alla Z, come zecca. Un'affidabile tecnica di produzione e di trattamento costituisce quindi la premessa indispensabile per un efficiente impiego dell'aria compressa nei più svariati campi d'applicazione. La tecnica deve essere infatti in grado di fornire aria economica ed in qualità e quantità ben definite.

1. La consulenza è decisiva ai fini dell'efficienza

Un sistema d'aria compressa che risponda a questi requisiti deve soddisfare esattamente le applicazioni cui è destinato, le condizioni d'installazione e quelle ambientali. In altre parole è necessario disporre di compressori, strumenti per il trattamento dell'aria e tubature tarati a misura, possedere inoltre un sistema di gestione e controllo il più efficiente possibile, un'adeguata tecnica di ventilazione ed un trattamento della condensa; infine, laddove possibile, la stazione d'aria dovrebbe comprendere anche un sistema per il recupero del calore. Il sistema KAESER di valutazione del risparmio energetico (KESS) rispecchia questo sapere: esso racchiude analisi del fabbisogno d'aria, pianificazione (fig. 1), realizzazione, training di addestramento e servizio di assistenza.

Decisive sono la qualità della consulenza e la scelta della tecnica giusta: il grosso potenziale di risparmio sta infatti proprio nel fabbisogno energetico e nella manutenzione, non nell'acquisto.

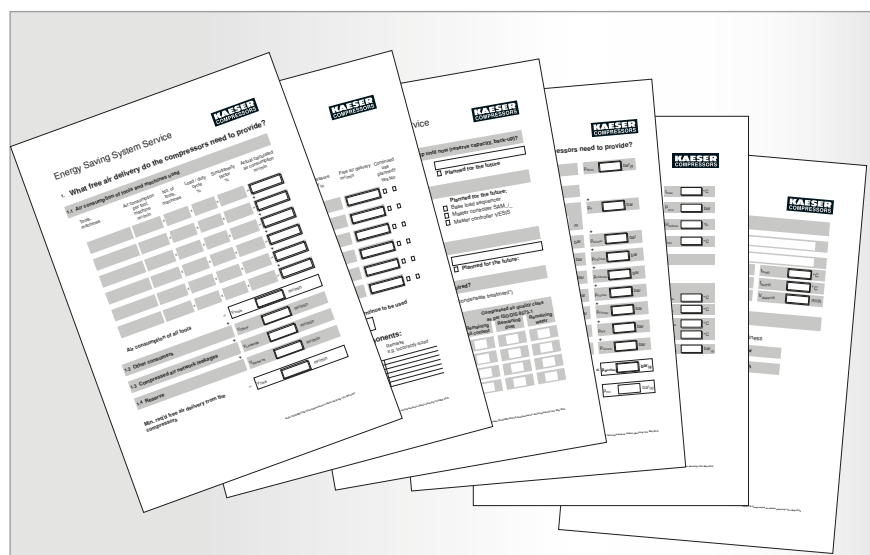
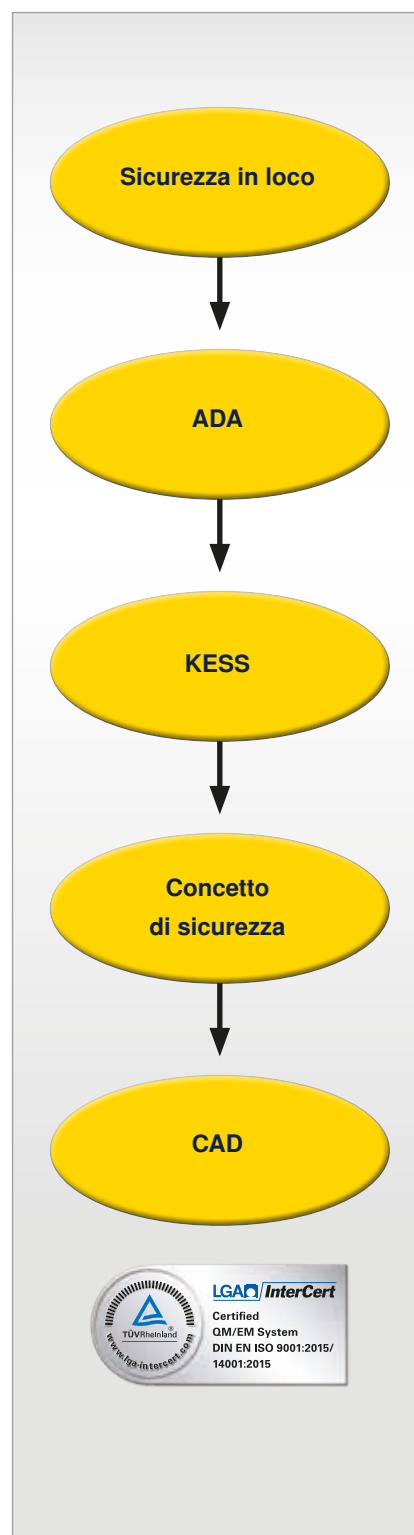


Fig. 2: Questionario "Stazione d'aria compressa" per i nuovi e i vecchi impianti (cfr. allegato, pag. 56 e sg.)

Fig. 1: Il sistema di analisi della KAESER Compressori

2. Analisi del fabbisogno d'aria

Punto di partenza di ogni consulenza KESS è l'analisi dell'attuale ed eventualmente futuro fabbisogno d'aria.

Quest'analisi condotta dalla KAESER con l'acronimo ADA (Air Demand Analysis) deve, a seconda del fabbisogno, tenere conto delle diverse circostanze operative:

a) Progettazione di una centrale d'aria compressa

Per la pianificazione di una nuova stazione d'aria, il futuro utente riceve uno speciale questionario di progettazione (fig. 2). Sulla scorta di questo formulario è possibile, con la collaborazione di un esperto consulente KAESER, individuare il presunto fabbisogno d'aria e l'equipaggiamento necessario. Il questionario concerne tutti i principali aspetti per un approvvigionamento d'aria efficiente ed ecologico.

b) Ampliamento e ristrutturazione

Contrariamente ad una nuova pianificazione, nei progetti di ampliamento vi sono sufficienti punti d'appoggio per una costruzione conforme al fabbisogno. La KAESER mette a disposizione dell'utente strumenti e processi di misurazione, mediante i quali è possibile individuare con assoluta esattezza il fabbisogno d'aria compressa all'interno dei vari reparti ed a diversi orari. In ciò è molto importante determinare non solo i valori medi, ma anche quelli di minimo e massimo (fig. 8, pag. 29).

c) Verifica dell'efficienza delle stazioni esistenti

Anche per gli impianti già installati da tempo è consigliabile, di tanto in tanto, eseguire un controllo con un sistema di analisi computerizzata. Con ciò infatti è possibile stabilire se il grado di sfruttamento dei compressori è (ancora) corretto, se centraline a gestione di sequenza, eventualmente presenti, non sono (più) correttamente programmate, oppure se le fughe rientrano ancora nel

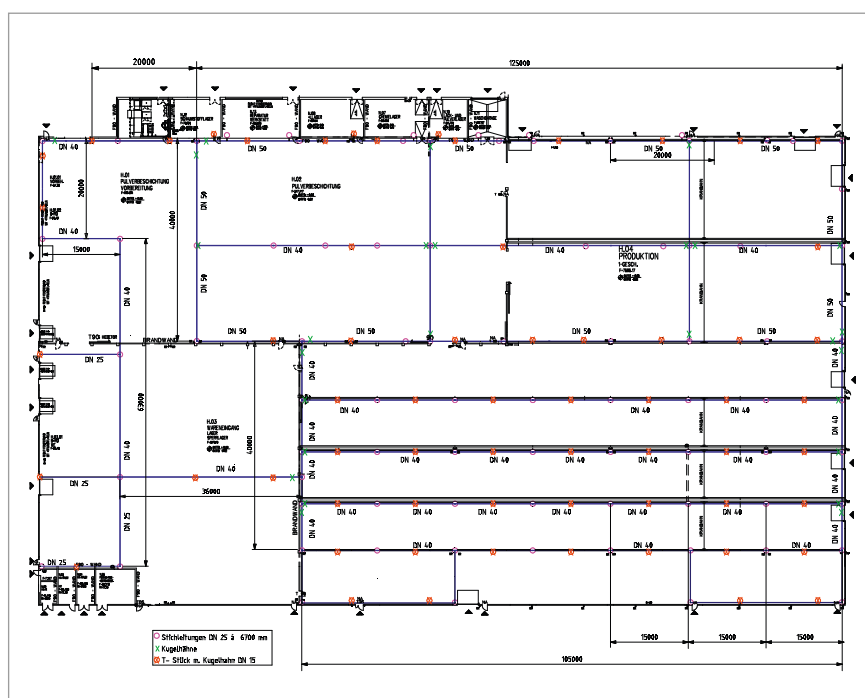


Fig. 3: Pianta di una rete d'aria compressa

limite della tolleranza. L'analisi ADA si dovrebbe eseguire anche nei casi di sostituzione di vecchie macchine con nuovi compressori. In questo modo si ha l'opportunità di rimpiazzare eventuali erronee grandezze di potenza con grandezze calibrate, migliorare il funzionamento dei compressori nel campo di carico parziale ed dotare l'installazione di un adeguato master controller.

d) Modifica delle condizioni di utilizzo dell'aria compressa

Anche in caso di modifica delle condizioni d'impiego è consigliabile ricorrere alla consulenza di un esperto. In molti casi è infatti possibile conseguire sensibili risparmi mediante l'impiego di un'adeguata tecnica di trattamento dell'aria o di reimpostazione della pressione di esercizio.

3. Informazioni dell'operatore

a) Pianta

Una pianta dell'installazione deve essere disponibile per favorire l'orientamento generale (fig. 3). Lo schema

deve indicare la linea d'aria principale, le linee di collegamento ed i punti di alimentazione della stazione di compressori.

Sono inoltre necessari i dati relativi a dimensionamento e materiale dei tubi, ubicazione dell'utenza principale (con relativi consumi) e mandate d'aria con pressione e qualità specifiche.

b) Applicazioni dell'aria compressa

Considerata la versatilità di applicazioni dell'aria compressa, l'utente dovrà fornire informazioni dettagliate sui diversi tipi di utilizzo. L'aria compressa viene ad es. impiegata come aria di controllo, per il trattamento delle superfici, per utensili a rotazione, per processi di pulizia, come aria di processo, ecc.?

c) Compressori installati

Oltre al tipo ed al modello dei compressori occorre indicare i rispettivi dati tecnici: pressione di lavoro, portata, consumo di corrente, tipo di raffreddamento ed eventuale sistema di recupero del calore. ▶



Fig. 6: Unità di manutenzione con riduttore di pressione

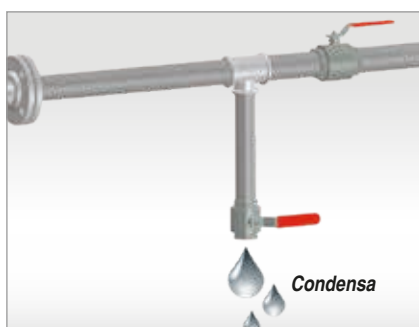


Fig. 7: Rilevare la presenza di umidità nelle condotte di mandata d'aria compressa

tazione rientrano tra i punti nevralgici. Si deve ad es. controllare se le valvole di intercettazione sono installate correttamente, se si tratta di valvole fluidodinamiche a pieno flusso o di valvole a farfalla e non di valvole inefficienti o a gradino.

c) Tubazione principale

Nella tubazione principale va verificata la presenza di strozzature o gomiti acuti.

d) Il sistema di trattamento

Qui i principali criteri d'esame sono rappresentati dal punto di rugiada raggiunto (grado di essiccazione) e dalla relativa pressione differenziale. A seconda delle applicazioni possono essere necessari anche altri controlli della qualità.

e) La stazione d'aria compressa

La stessa stazione d'aria compressa può ovviamente presentare conside-

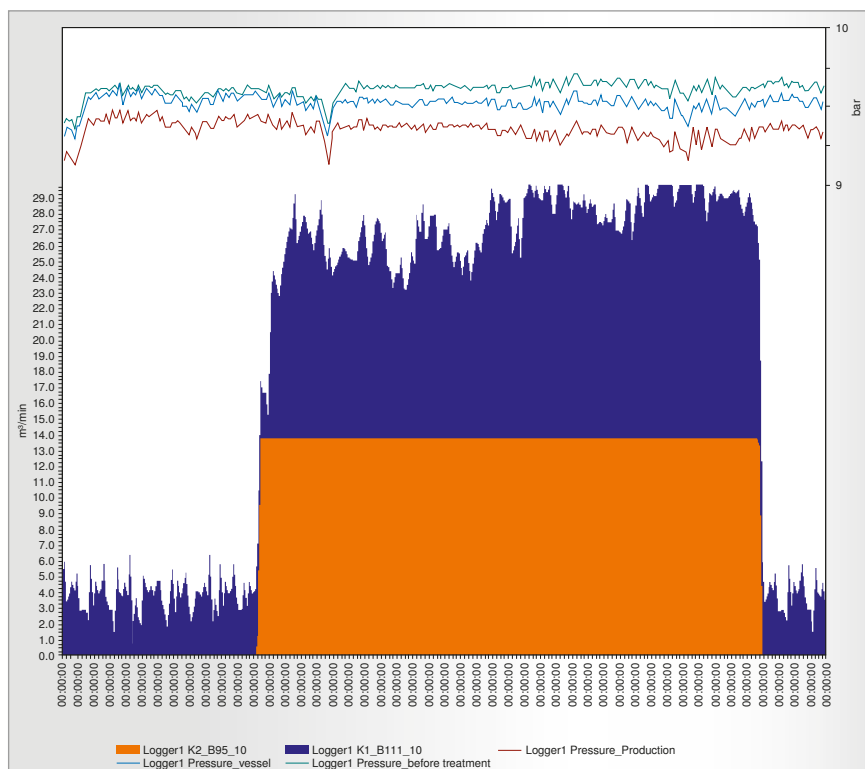


Fig. 8: Profilo della pressione e del consumo d'aria compressa di un'azienda industriale, rilevato con il sistema ADA

revoli anomalie. Il controllo deve tener conto in particolare dell'installazione delle macchine, del sistema di ventilazione, del raffreddamento e della tubazione. Si deve inoltre accertare la pressione differenziale complessiva dei compressori, il volume dei serbatoi ed il punto di misurazione dal quale devono essere controllati i compressori.

f) Individuazione dei punti di misurazione

Al termine dell'ispezione lo specialista e l'utente identificano insieme i punti di misurazione per l'analisi del consumo d'aria. Il controllo minimo prevede la misurazione della pressione a monte ed a valle del trattamento ed un'altra all'uscita della rete d'aria.

6. Misurazione della pressione e del consumo d'aria (ADA)

Per la misurazione della pressione e del consumo d'aria, il funzionamento della stazione e del sistema d'aria com-

pressa viene monitorato per almeno 10 giorni con l'ausilio di moderna tecnologia di supervisione di processo dei dati (data logger technology). Il data logger registra ciclicamente i valori principali che verranno scaricati in un PC che provvederà, tramite un apposito software, ad elaborarli e produrre un dettagliato diagramma di consumo. Il grafico mostra le cadute e le oscillazioni di pressione e di consumo, i profili del funzionamento a vuoto, i tempi di carico e di fermata dei compressori ed anche la relazione tra prestazione di ogni singolo compressore e attuale consumo d'aria. Per avere un quadro completo, occorre che durante la misurazione si individuino anche le fughe d'aria – come già descritto nel **capitolo 10, (pag. 24 e sg.)** – e ciò richiede, tra l'altro, una intercettazione mirata di determinate aree della rete durante il fine settimana.

Individuazione di una soluzione economica

Grazie alla coerente ottimizzazione dei sistemi d'aria compressa, l'industria europea può risparmiare in media oltre il 30% dei costi complessivi d'aria compressa. La parte del leone (70 - 90 %) di questi costi va imputata al fabbisogno di energia. È dunque evidente che per l'utente d'aria compressa è fondamentale individuare un concetto che sia economicamente efficiente.

Grazie al calcolo di ottimizzazione del sistema KAESER di valutazione del risparmio energetico (KES) è possibile determinare, sulla base di più varianti, la configurazione più idonea alle esigenze dell'azienda in esame. La base di calcolo per la progettazione di nuove stazioni di compressori è costituita dal questionario dettagliatamente compilato.

In caso di stazioni già esistenti, la base di calcolo sarà fornita dall'Analisi della Domanda d'Aria (ADA) riferita al funzionamento quotidiano caratteristico (vedi pag. 29, fig. 8).

1. Elaborazione computerizzata

Per ottimizzare una stazione esistente si immettono nel computer i dati tecnici dei compressori installati e delle nuove possibili varianti. In brevissimo tempo KES determina la variante ottimale ed il relativo risparmio. Nel realizzare il calcolo non si tiene solo conto del preciso consumo di energia per un determinato fabbisogno d'aria, incluse tutte le possibili perdite, ma è finanche possibile farsi un quadro esatto della caratteristica specifica di potenza della stazione di compressori durante l'intero periodo di marcia (fig. 1).

In questo modo è possibile individuare e correggere eventuali punti deboli già in fase di carico parziale. L'esito complessivo dell'analisi sarà una informazione chiara sul risparmio conseguibile e l'ammortamento dell'installazione.

2. Lo splitting è vincente

Nella maggior parte dei casi la soluzione ideale consiste nel combinare compressori di diversa potenza ben armonizzati tra di loro. In linea di massima alle grosse macchine atte a coprire il carico di base si abbinano piccoli compressori per il carico di picco. Sarà poi compito del master controller garantire un fabbisogno specifico di potenza quanto più omogeneo possibile. Il master controller sceglierà automaticamente di volta in volta la combinazione ideale tra compressori con carico base e carico picco, e ciò fino ad un massimo di 16 compressori, in un campo di variazione della pressione di soli 0,2 bar. I sistemi di gestione e controllo intelligenti come

ad es. il SIGMA AIR MANAGER della KAESER sono in grado di soddisfare in pieno queste aspettative. Questo master controller utilizza un sistema di bus per scambiare i dati con i compressori e gli altri componenti come gli scaricatori di condensa, gli essiccatori, ecc.. Mediante apposite interfacce è inoltre in grado di trasferire tutti i dati operativi ad un sistema di comando e controllo centralizzato.

3) Ottimizzazione strutturale

La progettazione o la modernizzazione di una stazione di compressori dovrebbe sfruttare al meglio gli spazi ed i locali disponibili. A riguardo i moderni sistemi di pianificazione, adottati dalla KAESER, costituiscono

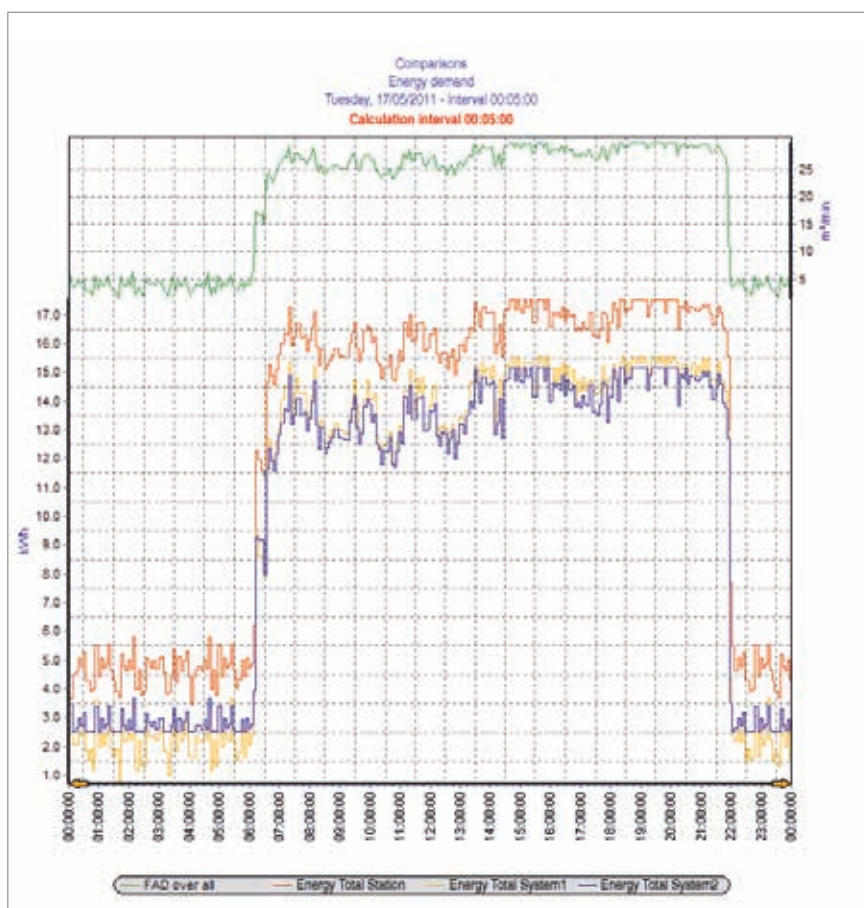


Fig. 1: Consumo di energia di una stazione di compressori già esistente a confronto con le nuove possibili varianti nell'arco di una giornata lavorativa in relazione al fabbisogno d'aria

un prezioso aiuto. Essi non comprendono solo schemi di installazione e diagrammi P&I, ma anche rappresentazioni ed animazioni tridimensionali computerizzate. Oggi è ad es. possibile ricorrere ad un efficace raffreddamento ad aria anche quando si dispone di spazi ristretti, risparmiando in questo modo un buon 30- 40% di costi rispetto al più dispendioso raffreddamento ad acqua. (fig. 2a-b-c).

4. Ottimizzazione con l'ausilio della moderna tecnologia informatica

Per assicurare a lungo termine un efficiente approvvigionamento d'aria compressa, non basta solo un rapporto ottimale costi-utilizzo, ma occorre anche la dovuta trasparenza per un controllo effettivo. La base per conseguire tutto ciò è rappresentata dal SIGMA CONTROL, un computer ad architettura industriale con cinque modalità di controllo programmabili e la possibilità di registrare e trasmettere informazioni ad una rete di dati. Il SIGMA AIR MANAGER, anch'esso un PC di tipo industriale, assolve alle stesse funzioni, tuttavia ad un livello di sistema superiore (pag. 18). Oltre al controllo ottimizzato ed al monitoraggio della stazione, questo master controller ha il compito di raccogliere tutti i dati rilevanti e di trasmetterli ad una rete di computer (Ethernet). La trasmissione può avvenire sia via internet, sia mediante il software del SIGMA CONTROL CENTER che, grazie al sistema di visualizzazione SIGMA AIR CONTROL, rimanda sul computer un quadro chiaro di tutti i compressori della stazione con i loro principali dati operativi. Questo sistema consente a colpo d'occhio di individuare se la stazione lavora correttamente, se vi sono segnalazioni di allarme o manutenzione in corso e qual è l'attuale pressione di esercizio.

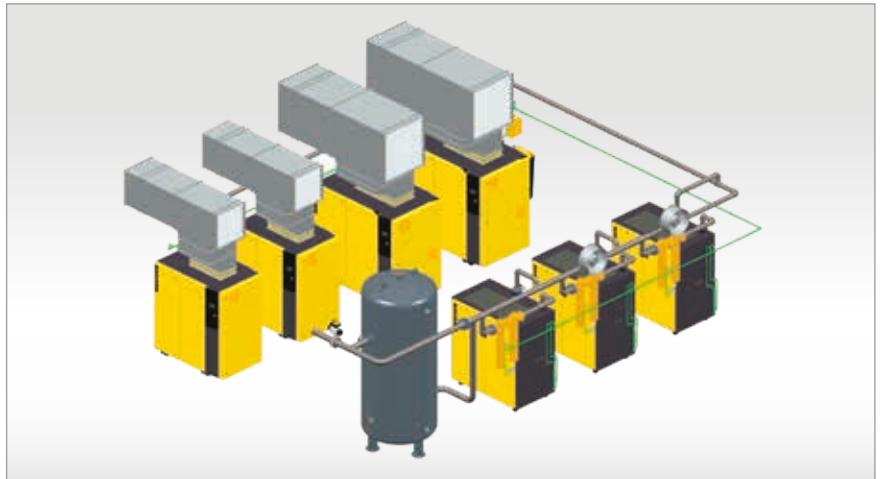


Fig. 2a: Progettazione CAD 3D ottimizzata di una stazione d'aria compressa

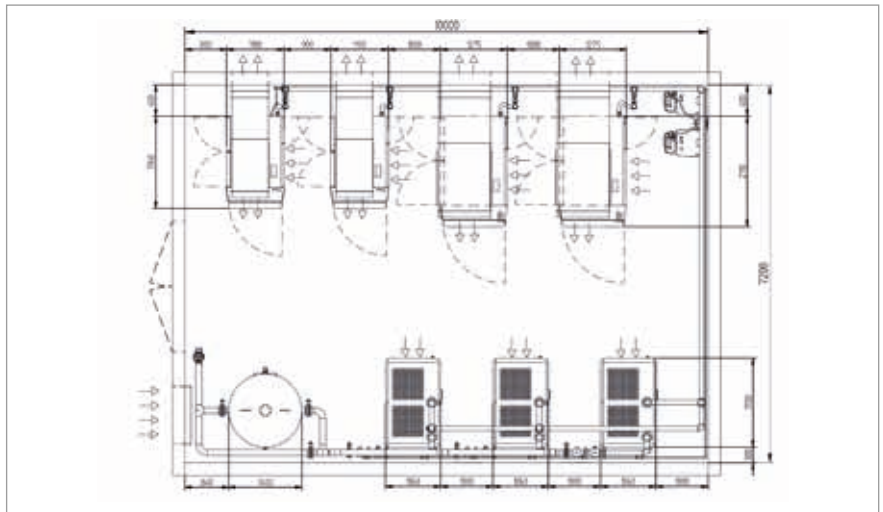


Fig. 2b: Pianta di una stazione d'aria compressa

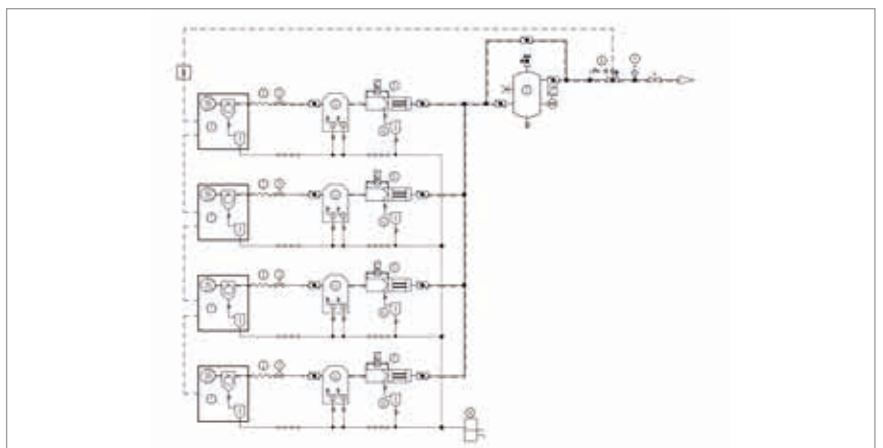


Fig. 2c: Diagramma P&I di una stazione d'aria compressa

Capitolo 13

L'efficienza nel raffreddare le stazioni d'aria compressa

I compressori trasformano in calore quasi il 100% dell'alimentazione elettrica. Un piccolo compressore di soli 18,5 kW in servizio a pieno carico, già "fornisce" tanta energia termica quasi sufficiente per riscaldare una casa monofamiliare. Ecco perché un efficiente sistema di raffreddamento è fondamentale per garantire un ineccepibile funzionamento di una stazione di compressori.

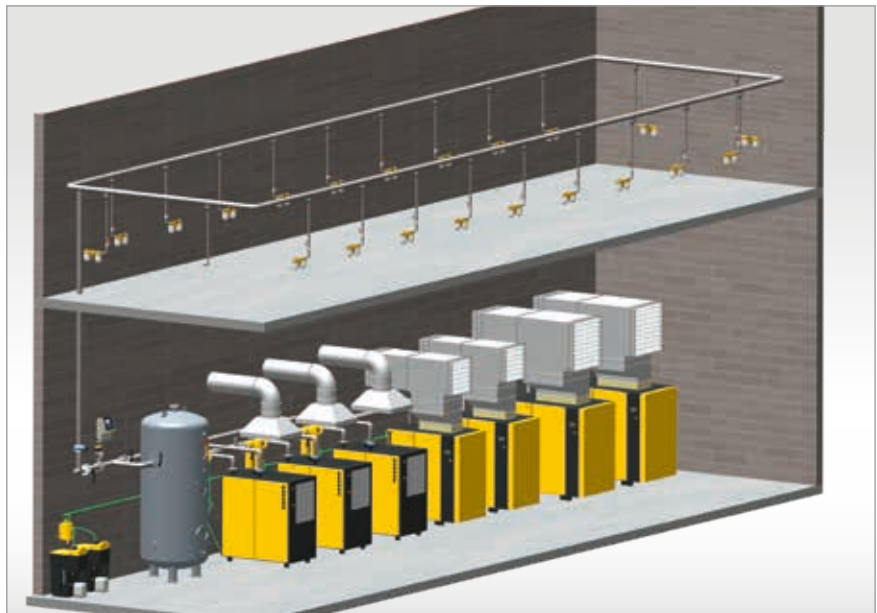
Il calore dissipato dai compressori è idoneo per gli impieghi più svariati. Grazie ad esempio all'ausilio di sistemi di recupero del calore è comunque possibile recuperare fino al 96 % dell'energia impiegata, sfruttarla e ridurre al contempo sensibilmente i costi di produzione dell'aria compressa (vedi cap. 8, pag. 20). Tuttavia è necessario che anche gli impianti d'aria compressa con sistemi di recupero del calore dispongano di un valido sistema di raffreddamento, a sua volta prezioso strumento di risparmio. Infatti i costi sostenuti per il raffreddamento ad aria possono essere fino ad un 30% inferiori a quelli derivanti dal raffreddamento ad acqua. Laddove possibile, si raccomanda oggi di preferire sempre il raffreddamento ad aria.

1. "L'habitat" dei compressori

1.1 Pulito e fresco

Nel regolamento tedesco di prevenzione degli infortuni (alla voce „Compressori“, § 12) si legge: „Installare i compressori in maniera tale che siano accessibili e che dispongano di un adeguato raffreddamento.“ Le modalità di applicazione prevedono inoltre che la temperatura ambiente delle macchine, sia con raffreddamento ad aria che ad olio, non superi la soglia di +40 °C.

Nel § 15 si legge inoltre che: nella zona di aspirazione dei compressori non devono essere rilasciate sostanze pericolose.“ Queste prescrizioni vanno considerate come raccomandazioni di base, il cui obiettivo è di mantenere quanto minimo possibile il rischio di



Esempio di una stazione di compressori con aria di espulsione canalizzata e una ventilazione termostatica supplementare per gli essiccatori frigoriferi

incidenti. Ad una stazione di compressori che però punti ad una maggiore efficienza e ad un minimo fabbisogno di manutenzione servirà qualcosa di più.

1.2 Sala compressori ... non ripostiglio

Valga come principio che un ambiente destinato all'ubicazione dei compressori non equivale ad un ripostiglio, ovvero in questi ambienti non vi è posto per attrezzature non pertinenti, polvere ed impurità di altro genere; il pavimento deve inoltre essere antiscivolo e possibilmente lavabile. Alla stregua dell'aria di aspirazione anche l'aria di raffreddamento, senza un intenso processo di filtraggio, non deve mai essere aspirata in un ambiente con una forte concentrazione di polvere, fuliggine o altro tipo di contaminazione. Anche in normali condizioni operative l'aria di aspirazione e quella di raffreddamento dei compressori dovrebbero essere sottoposte a purificazione preventiva.

1.3 Clima temperato

Le temperature risultano anche determinanti per l'affidabilità ed il fabbisogno

manutentivo dei compressori: l'aria di aspirazione e quella di raffreddamento non devono essere né troppo fredde (<+3 °C) né troppo calde (>+40 °C)*. Di ciò bisogna tener conto in sede di progettazione e realizzazione. Durante i mesi estivi si può verificare un eccessivo riscaldamento dell'aria nei locali esposti a sud, sud-ovest. Talvolta anche nelle zone temperate possono essere raggiunte temperature di +40 o addirittura +45 °C.

Si raccomanda pertanto di non disporre le aperture d'aria sui versanti maggiormente esposti ai raggi del sole. La dimensione delle aperture è correlata alla potenza dei compressori ed al tipo di aerazione.

2. Aerazione della sala compressori

Un'adeguata ventilazione della sala compressori è fondamentale non solo nei compressori raffreddati ad aria, ma anche in quelli con raffreddamento ad acqua. In ogni caso deve essere espulso sia il calore irradiato dal compressore che quello generato dal motore elettrico. Ciò corrisponde

complessivamente a circa il 10 % della potenza del compressore.

3. Diversi tipi di aerazione

3.1 Aerazione convettiva

L'aria di raffreddamento lambisce il compressore, si riscalda, sale poi verso l'alto per effetto della differenza di densità ed esce dal locale attraverso una adeguata apertura disposta nella parte alta (fig. 1). Si raccomanda questo tipo di aerazione solo in casi eccezionali e comunque per compressori inferiori a 5,5 kW, in quanto già l'incidenza dei raggi solari o la pressione esercitata dal vento sull'apertura di espulsione possono compromettere l'efficienza della ventilazione di tipo naturale.

3.2 Aerazione forzata

Questo metodo molto diffuso si realizza tramite un sistema ad aria di raffreddamento convogliata. Per evitare durante i mesi invernali temperature $< +3^{\circ}\text{C}$ si dovrebbe disporre di un sistema di controllo termostatico. Temperature troppo basse possono compromettere il funzionamento dei compressori, dello scarico della condensa e del relativo trattamento. Il controllo a termostato è necessario per poter pilotare adatte persiane in modo da trattenere parte dell'aria calda nel locale compressori. Esistono due tipi di aerazione forzata:

3.2.1 Aerazione con ventilatore esterno

Un ventilatore esterno installato nell'apertura di espulsione della sala compressori e dotato di controllo a termostato (fig. 2) aspira l'aria riscaldata. Per questo tipo di ventilazione è importante che l'apertura per l'aspirazione dell'aria di raffreddamento non sia troppo piccola (fig. in basso a destra), altrimenti si genera una forte rumorosità a causa della velocità eccessiva del flusso d'aria. Ciò danneggerebbe inoltre il raffreddamento della stazione. Il sistema di raffreddamento deve essere dimensionato in maniera

tale che l'aumento di temperatura prodotto dal calore dissipato dai compressori non superi i 7K, altrimenti si può verificare un sovraccarico termico e la conseguente disattivazione dei compressori.

3.2.2 Aerazione con canale di ventilazione

Ai nostri giorni, con l'ausilio di un canale di espulsione, le moderne unità a vite compatte consentono di realizzare un tipo di ventilazione pressoché ideale: il compressore aspira l'aria attraverso un'apposita apertura e rilascia l'aria calda al canale che la espelle dalla sala compressori (fig. 3). Il grande vantaggio di questo metodo consiste nel fatto che il flusso d'aria di raffreddamento può riscaldarsi molto di più e cioè di circa 20K. In questo modo si riduce la quantità d'aria di raffreddamento necessaria. Normalmente le ventole standard incorporate nei compressori sono perfettamente sufficienti all'espulsione dell'aria. Rispetto alla aerazione con un ventilatore esterno non c'è un dispendio supplementare di energia. Ciò vale tuttavia se non viene superata la prevalenza a disposizione generata dalla ventola. Il canale di espulsione deve inoltre disporre di una serranda a controllo termostatico (fig. 4) che impedisca in inverno il raffreddamento della sala compressori. Se all'interno di quest'ultima sono installati anche essiccatori raffreddati ad aria, è importante tenere presente che, sotto l'aspetto della ventilazione, compressore ed essiccatore non devono influenzarsi reciprocamente. A temperature $> 25^{\circ}\text{C}$ si raccomanda di incrementare l'apporto d'aria di raffreddamento con un sistema di espulsione aria a controllo termostatico per l'essiccatore frigorifero.

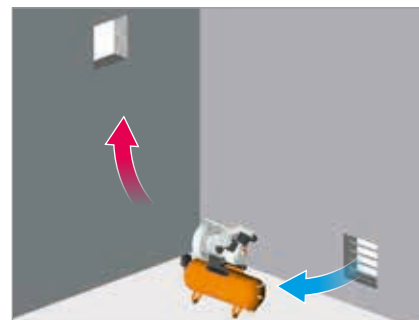


Fig. 1: Sala compressori con ventilazione convettiva, per macchine inferiori a 5,5 kW

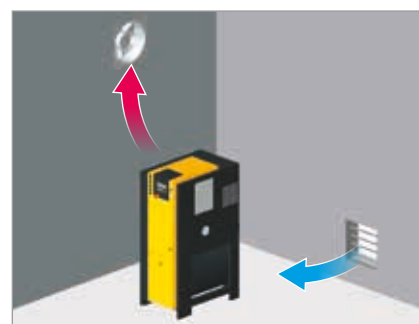


Fig. 2: Aerazione forzata con ventilatore, per macchine tra 5,5 e 11 kW

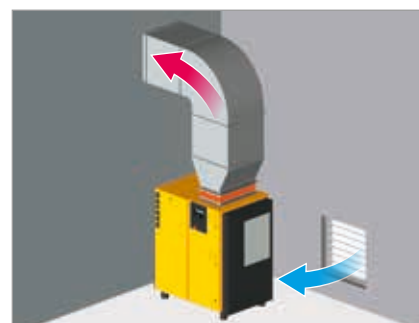


Fig. 3: Aerazione forzata con aria di espulsione canalizzata, per macchine superiori a 11 kW

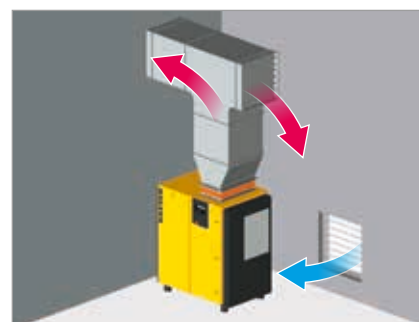


Fig. 4: Una serranda a controllo termostatico provvede ad equalizzare le temperature

Come mantenere a lungo l'affidabilità e l'ottimizzazione dei costi

Da pag. 22 a 33 abbiamo illustrato quali sono i principali punti da considerare qualora si decida di rinnovare o installare una nuova rete d'aria compressa, nonché come si pianifica una efficiente stazione di compressori. Tuttavia una pianificazione e realizzazione improntate al risparmio di energia e dei costi rappresentano solo metà del cammino: chi vuole garantirsi nel tempo un proficuo approvvigionamento d'aria compressa deve anche puntare su di un efficiente sistema di trattamento e distribuzione.

Per l'utente puntare alla massima efficienza nella produzione d'aria compressa è tre volte vantaggioso: si migliora la sicurezza dell'erogazione ed al contempo si riducono sensibilmente il consumo di energia ed i costi d'aria compressa. Il potenziale di risparmio è enorme: secondo lo studio „SAVE II“, patrocinato dall'UE, nel 2000 i compressori europei avrebbero consumato ca. 80 miliardi di kWh, ed almeno il 30% poteva essere risparmiato (fig. 1)

1. Cosa s'intende con efficienza ottimale?

L'efficienza economica di un sistema di aria compressa si riflette direttamente nei suoi costi di gestione. Il risultato

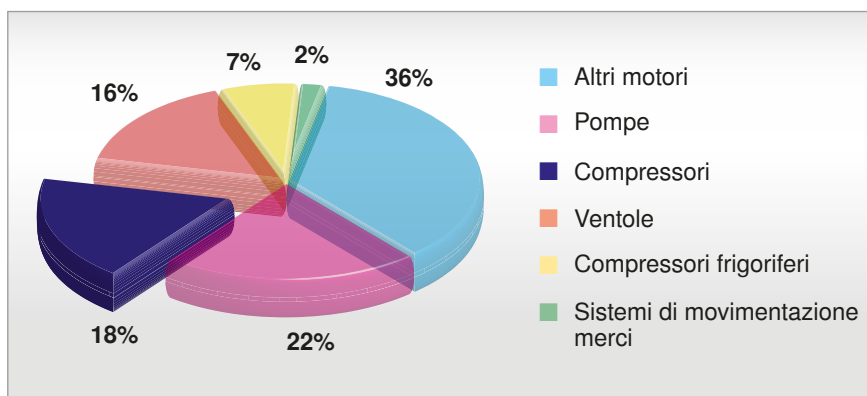


Fig. 1: Percentuale del consumo di energia dei compressori nel quadro industriale complessivo dei sistemi ad azionamento elettrico dell'UE (fonte: SAVE II (2000))

ottimale sarà differente in virtù del tipo di azienda e del tipo di produzione. Decisivi sono i tempi di marcia dei compressori, il livello di pressione ed altri parametri collaterali.

Ecco a titolo di esempio un sistema ottimizzato con stazione di compressori raffreddata ad aria: tempo di funzionamento 5 anni, prezzo dell'energia elettrica 8 cent/kWh, tasso d'interesse 6 %, pressione di lavoro 7 bar, qualità dell'aria conforme ad ISO 8573-1: classe 1 per trasporto olio e polvere, classe 4 per condensa. L'esempio evidenzia, inoltre, che anche in condizioni ottimali, il consumo di energia copre quasi il 70% dei costi

complessivi per la produzione dell'aria compressa (fig. 2). Uno studio svolto nel 2003 dall'istituto universitario di qualificazione professionale di Coburg ha individuato e censito le anomalie delle installazioni d'aria compressa presenti in Germania (fig. 3, pag. 35).

2. Efficienza a lungo termine

Affinché l'approvvigionamento d'aria compressa rimanga a lungo efficiente è necessario tenere presente alcuni punti fondamentali:

2.1 Manutenzione mirata

I moderni sistemi di controllo integrati nei compressori come il „SIGMA CONTROL“ ed i master controller come il „SIGMA AIR MANAGER 4.0“, basati su PC ad architettura industriale, segnalano con la massima esattezza gli intervalli di servizio dei componenti della stazione, permettendo così di eseguire una manutenzione mirata e preventiva. Tutto ciò produce minori costi di manutenzione, più efficienza ed affidabilità, nonché un miglioramento dell'approvvigionamento d'aria compressa e anche della produttività.

2.2 Impiego di utenze adeguate

Il rischio di fare economie sbagliate vale tanto per la produzione d'aria quanto per il consumo: l'acquisto ad es. di macchinari a buon mercato si rivela

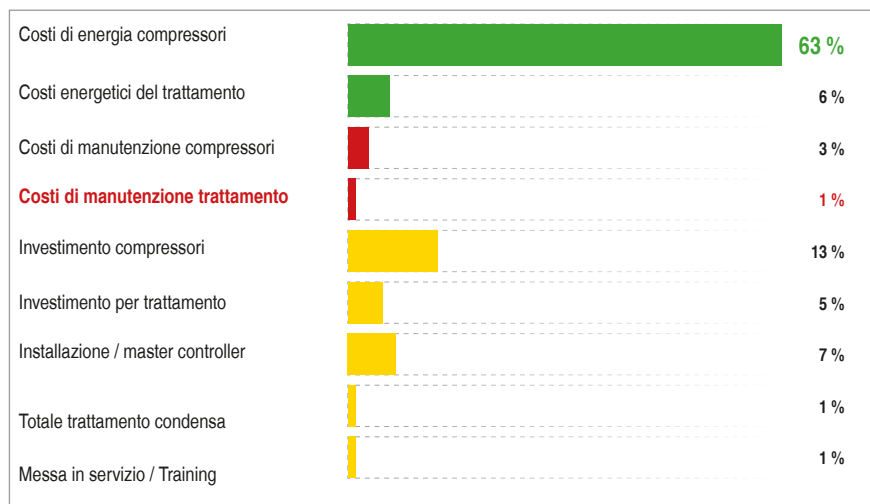


Fig. 2: Struttura dei costi di produzione dell'aria compressa in impianto ottimizzato

talvolta poco redditizio poiché spesso gli impianti richiedono una maggiore pressione di lavoro o una maggior portata d'aria. L'aumento di pressione necessario e/o l'adeguamento del sistema d'aria compressa si rivelerà ben presto molto più costoso rispetto all'acquisto di una macchina che lavori a pressione inferiore, ad. esempio di 6 bar. Per questa ragione l'acquisto di macchinari di produzione deve essere dettato da motivi che tengano non solo conto del consumo elettrico, ma anche di quello dell'aria.

2.3 Nuove esigenze produttive

2.3.1 Consumo d'aria compressa

a) Ristrutturazione della produzione

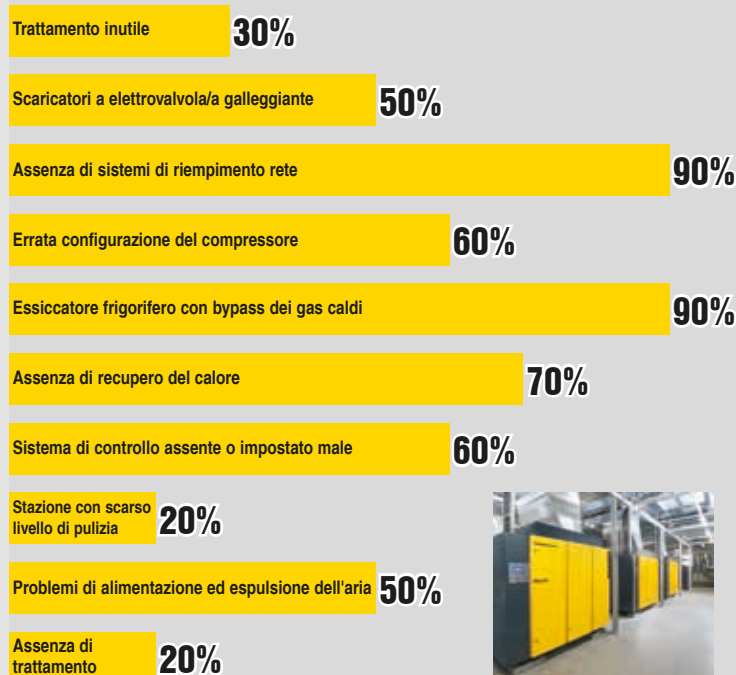
Le oscillazioni nei consumi d'aria sono all'ordine del giorno. A ciò non si dà spesso importanza e succede talvolta che in seguito ad un riassetto della produzione alcuni compressori lavorino improvvisamente molto a lungo a minimo carico, mentre in altri turni il fabbisogno d'aria è così alto da assorbire completamente anche le macchine di riserva. Per questa ragione la produzione d'aria deve sempre essere al passo con le variazioni dei carichi di produzione.

b) Aumento della produzione

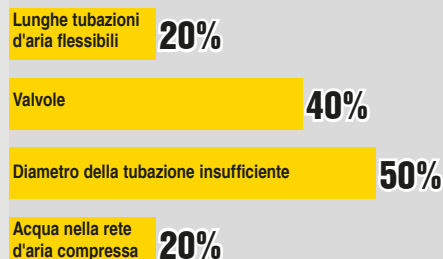
In caso di aumento, non solo si dovrà incrementare la potenza dei compressori, ma le stesse tubazioni di distribuzione ed il sistema di trattamento dell'aria compressa andranno riconfigurati ed adattati alle nuove condizioni. Qualora si ampli la capacità produttiva, mantenendo un impianto già esistente, si raccomanda di misurare e documentare il consumo d'aria effet-

Anomalie riscontrate nelle stazioni d'aria compressa e negli stabilimenti di produzione

Stazione aria compressa



Produzione



Aziende prese in esame (in %)

Fig. 3: Analisi dei risultati degli audit eseguiti dalla KAESER KOMPRESSOREN per la campagna sull'efficienza energetica dell'aria compressa (originale in tedesco). Tesi di laurea di Anja Seitz presso l'istituto universitario di qualificazione professionale di Coburg, Dipartimento di Ingegneria meccanica (2003)

Come mantenere a lungo l'affidabilità e l'ottimizzazione dei costi

tivo dell'installazione, al fine di ottenere informazioni il più possibile dettagliate e poter calcolare ed adattare in modo adeguato la crescita produzione di aria compressa.

2.3.2 Sicurezza di produzione

Solitamente le stazioni di aria compressa sono equipaggiate con un compressore in standby (ovvero non in moto permanente ma a disposizione per eventuali picchi o emergenze) mentre nel trattamento dell'aria, in generale, non si ricorre a componenti di riserva. Se quindi, all'aumento del consumo



Fig. 4: Rilevamento perdite con ultrasuoni

d'aria, interviene il compressore in standby, una non adeguata capacità di trattamento comporterà purtroppo un deterioramento della qualità dell'aria. Una soluzione molto comune per ovviare a questo problema prevede che ogni compressore in standby disponga di un'apposita unità di trattamento (essiccatore/filtri).

2.3.3 Modifica della qualità d'aria compressa

Nel caso occorra aria di qualità superiore, bisogna distinguere se questa riguarda tutta la produzione o solo una parte. Nel primo caso non basta implementare l'equipaggiamento centrale per il trattamento dell'aria, ma occorre pulire o sostituire anche le tubature

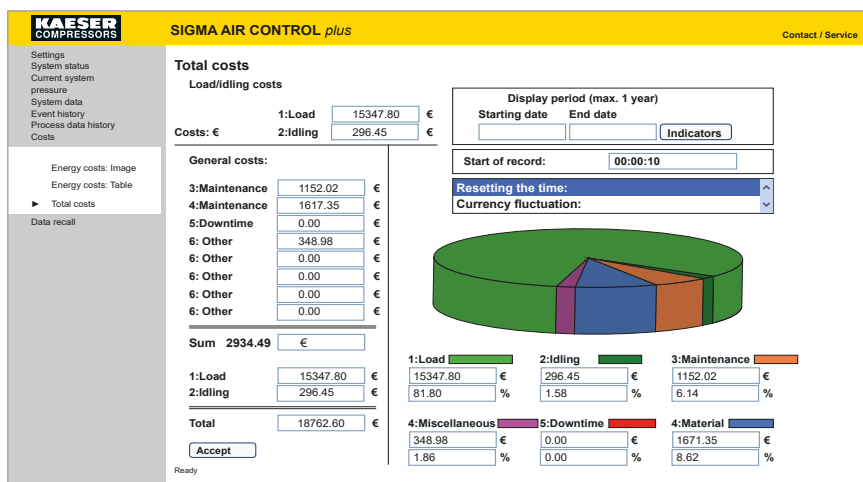


Fig. 5a: Sistema di gestione: analisi dei costi d'aria compressa (basata sul web)

che fino a quel momento hanno trasportato aria di qualità inferiore. Nel secondo caso invece si raccomanda l'installazione di un sistema decentrato di trattamento, in grado di fornire la qualità dell'aria richiesta. Per garantire questa qualità è necessario installare un limitatore della portata onde evitare un eccessivo afflusso di aria compressa da trattare; il sistema non è ovviamente configurato per la portata massima dei compressori.

2.4 Sorvegliare le fughe

Nonostante tutte le dovute manuten-

zioni, il rischio di fughe è presente in ogni rete d'aria e la tendenza è un aumento di questo problema. Le fughe causano forti perdite di energia e la causa principale è l'usura degli utensili, dei raccordi e dei componenti (fig. 4). È quindi fondamentale rintracciare per tempo eventuali anomalie e rimuoverle tempestivamente. Con l'ausilio di moderni sistemi di controllo come ad es. il SIGMA AIR MANAGER è inoltre possibile misurare a turno tutte le fughe. Se si registra un incremento si procederà a rintracciare la fuga ed a rimuoverla.

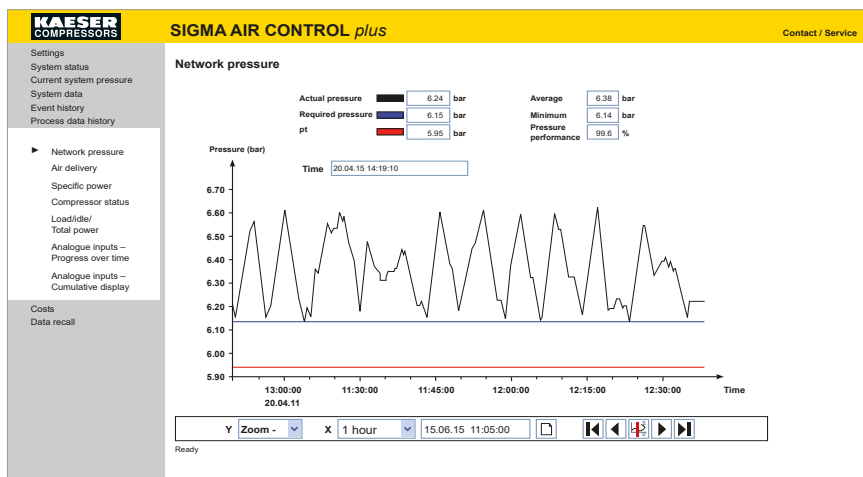


Fig. 5b: Curva di pressione

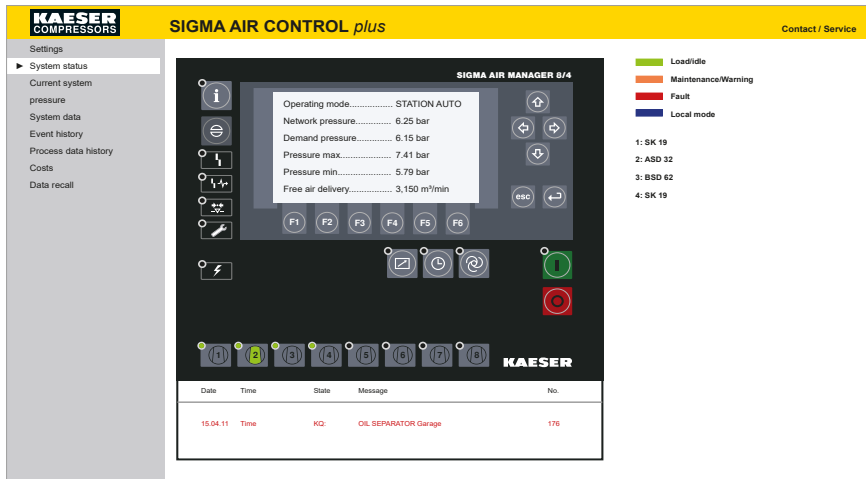


Fig. 5c: Schema: sistema di gestione e controllo

3. La gestione dei costi è garanzia di efficienza

I dati analitici acquisiti durante la pianificazione – una volta atualizzati – risultano interessanti anche per la gestione futura. Per la registrazione e l'estrazione dei dati non occorrono altre analisi poiché sistemi come il "SIGMA AIR MANAGER" assolvono anche questo compito. Essi offrono così una base ideale per un audit on-line dell'aria compressa ed una effettiva gestione dei costi di produzione della medesima (fig. 5a ÷ e). Quanti più utenti miglioreranno la conoscenza dei costi della propria d'aria compressa, analizzando e valutando i potenziali di risparmio e mettendo al primo posto l'efficienza energetica al momento dell'acquisto dei componenti di un sistema, tanto più ci avvicineremo tutti all'obiettivo di ridurre il consumo energetico del 30% ed oltre, con tutti i vantaggi che ciò comporta per le imprese e per l'ambiente.

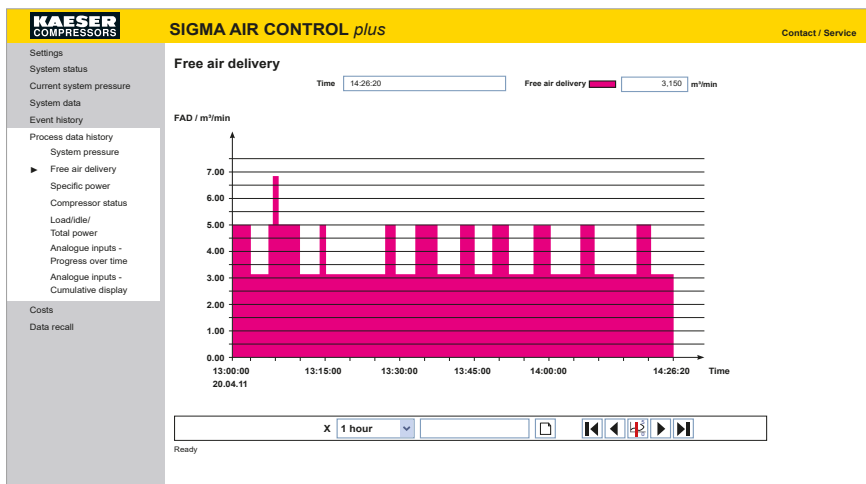


Fig. 5d: Consumo d'aria compressa

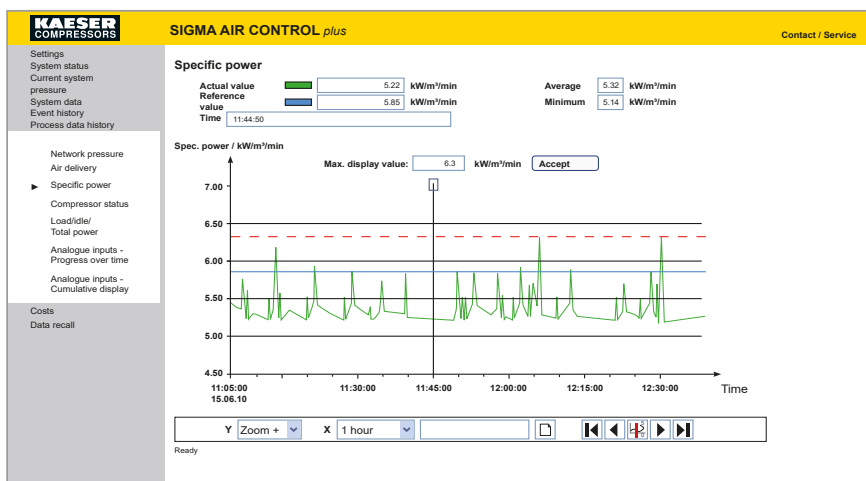


Fig. 5e: Potenza specifica

Consigli pratici

Consigli 1 ÷ 7

40-51

Consiglio n. 1

Risparmiare con la pressione ideale

La corretta pressione di servizio è uno dei presupposti fondamentali per l'efficienza di un sistema d'aria compressa. Già adottando semplici misure si possono ottenere grandi effetti.

Spesso la connessione delle utenze pneumatiche si presenta come segue: quando l'utensile è fermo, l'unità di manutenzione ha una pressione di 6,1 bar e l'utensile di 6,0 bar. Questa non è tuttavia la pressione applicata all'utensile quando utilizza aria compressa.

Perdita di carico all'utenza, che fare?

La misurazione della pressione con l'utensile in funzione mostra spesso un grave calo di pressione. Nell'esempio raffigurato, la perdita è di 2 bar ovvero l'utensile fornisce solo il 54% della sua potenza. Le cause possono essere facilmente eliminate:

a) Sezione del raccordo troppo piccola: utilizzare un raccordo rapido con sezione maggiore.

b) Riduttore di pressione tarato male: aprire ulteriormente.

c) Pressione di rete troppo bassa: aumentare la pressione della rete principale o installare tubazioni con sezione maggiore.

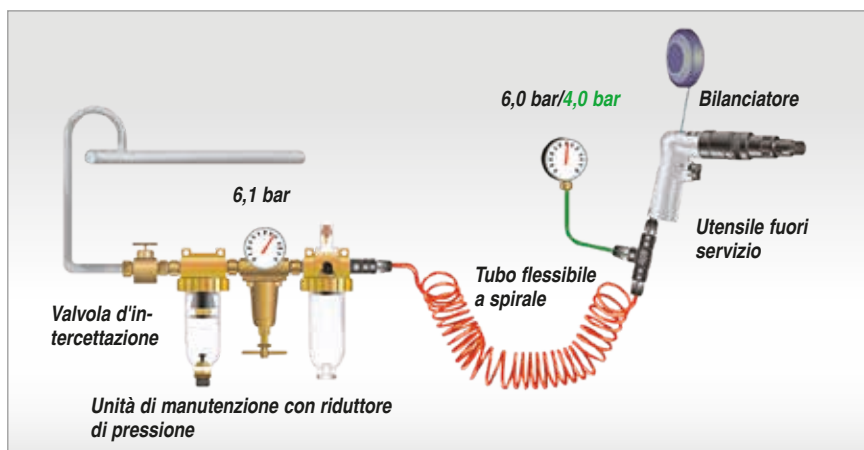
d) Tubo flessibile a spirale troppo piccolo: utilizzare un tubo flessibile a spirale di maggiore dimensione, o preferibilmente un tubo flessibile liscio.

e) Perdita di carico del separatore d'acqua decentralizzato: centralizzare l'essiccazione dell'aria compressa (separatore superfluo).

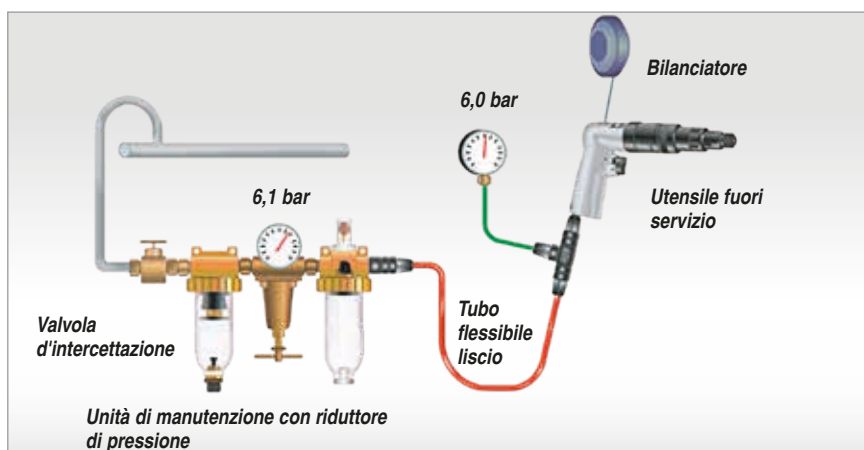
Adottando queste misure, si può ottenere la pressione d'utenza ottimale (nel caso specifico: 6 bar) e l'utensile pneumatico potrà fornire il 100% di potenza.

Il modo migliore di risparmiare energia

Spesso sottovalutiamo l'impatto dei riduttori di pressione sull'efficienza dell'aria compressa. Nell'esempio raf-



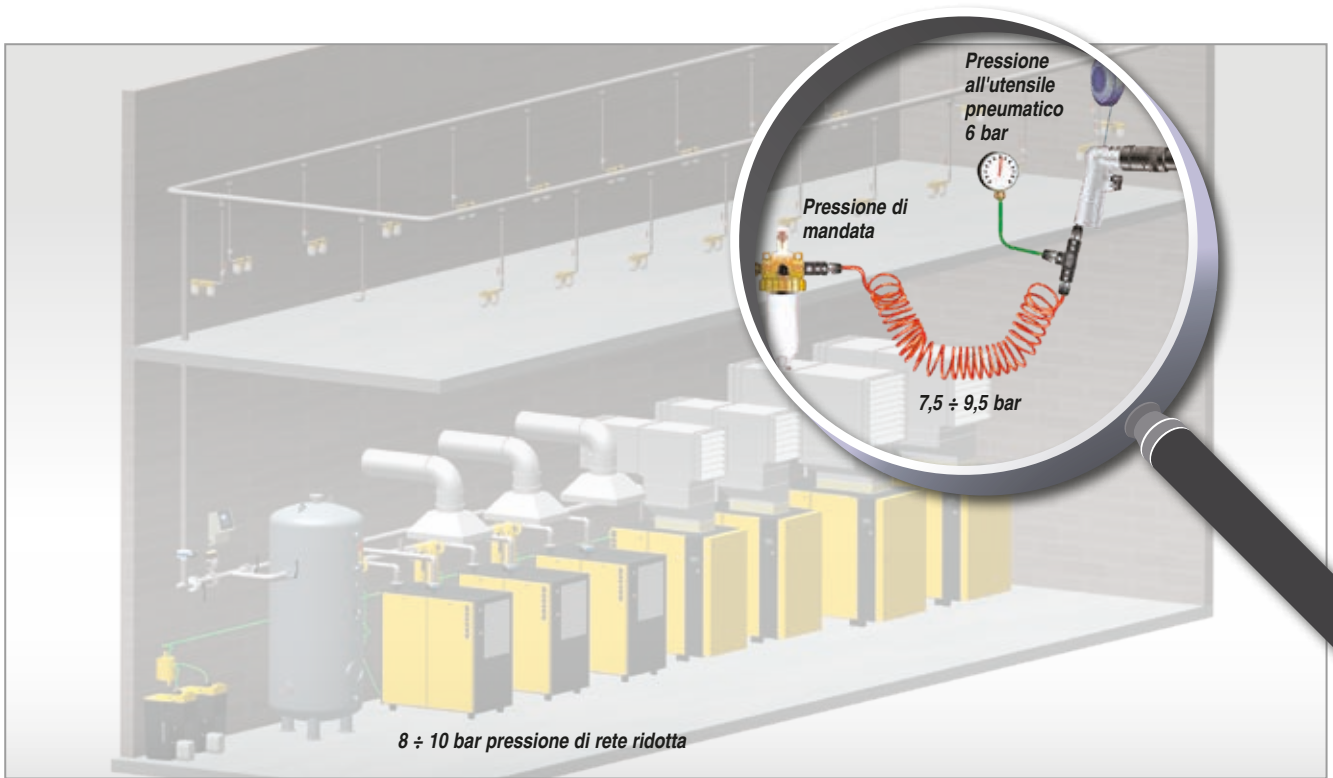
Utensile collegato con tubo flessibile a spirale – pressione di 6 bar in assenza di consumi d'aria. 4,0 bar con l'utensile in funzione = perdita di carico di 2 bar: potenza ridotta al 54 %!



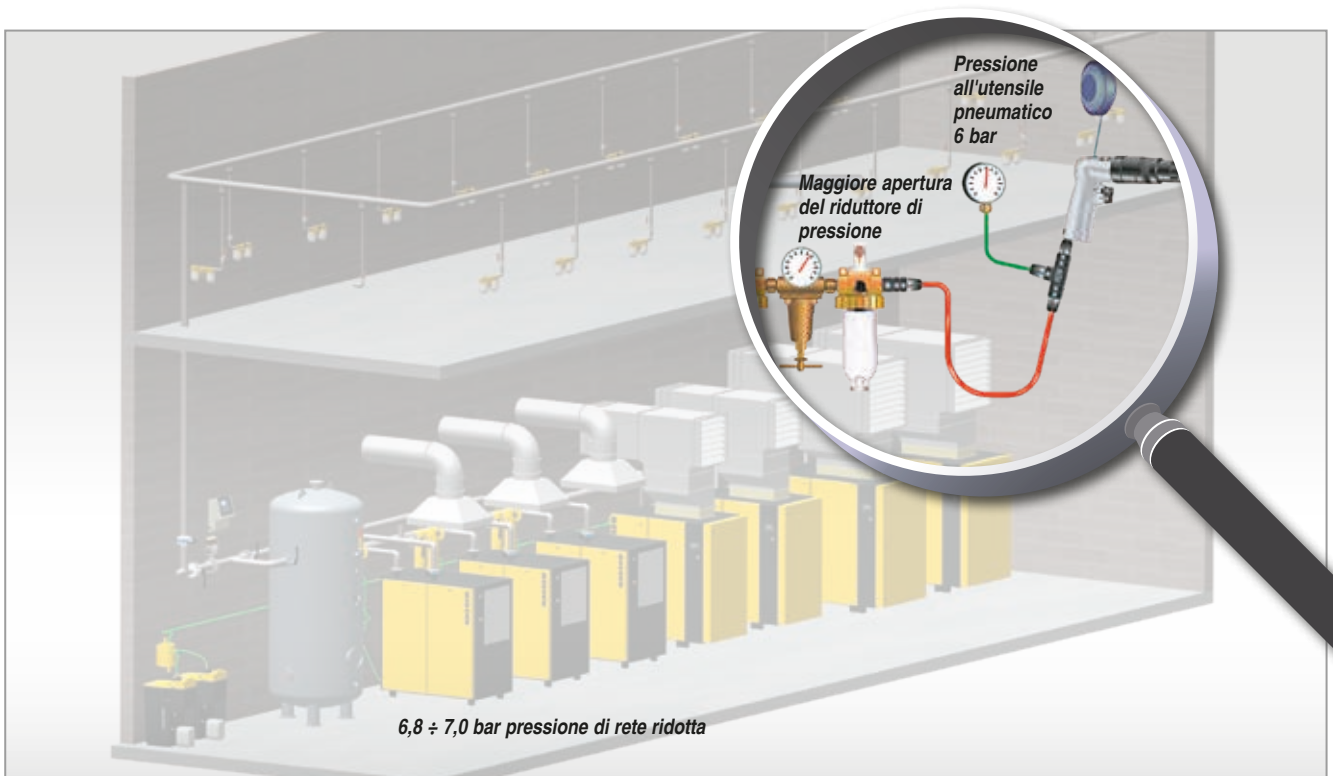
Separatori d'acqua e tubi flessibili a spirale sono elementi energivori: centralizzare l'essiccazione dell'aria compressa e utilizzare tubi flessibili lisci

figurato, un sistema d'aria compressa opera con una pressione tra 8 e 10 bar. La pressione dei punti di mandata, tra 7,5 e 9,5 bar, è abbassata a 6 bar dai rispettivi riduttori. Per risparmiare energia, si riduce la pressione di rete tra 6,8 e 7 bar. In questo modo la pressione di mandata è di 6,1 bar, ma alle utenze è solo di 4 bar. Risultato: tempi di lavoro prolungati, risultati mediocri a causa della scarsa pressione d'utenza e maggiori tempi di marcia dei compressori. Il risparmio desiderato è semplice da ottenere: riducendo non solo la pressione di rete, ma utilizzando al contempo tubi flessibili lisci, eliminando separatori d'acqua superflui e

aprendo maggiormente i riduttori di pressione nei punti di utenza.



Un vero spreco di energia: impostare una pressione dell'aria troppo elevata, per poi ridurla nel punto di utenza



... abbassare invece la pressione di rete e aprire ulteriormente il riduttore di pressione

Consiglio n. 2

La pressione giusta alla connessione d'aria

La pressione della stazione d'aria compressa è corretta, ma alle utenze ne arriva solo una piccola parte. Da cosa dipende?

Non di rado i "colpevoli" sono i tubi flessibili, i raccordi rapidi o i riduttori di pressione. Spesso però la pressione risulta già troppo bassa alla mandata: può capitare che dei 6,8 - 7 bar, disponibili inizialmente per le utenze pneumatiche, ne rimangano appena 5 bar scarsi. Generalmente la soluzione è presto trovata: "Basta aumentare la pressione nella stazione di 1 bar, qual è il problema?" È proprio questo il problema, infatti, ad ogni bar di aumento della pressione, corrisponde non solo un aumento del 6% del fabbisogno energetico della stazione di compressori, ma aumenta notevolmente anche la percentuale di fughe. Pertanto, è più consigliabile individuare le cause e porvi un adeguato rimedio.

Perdite dalla tubazione

Se la pressione a valle del compressore è normale e le unità di trattamento non la riducono eccessivamente, il problema può essere solo nella tubazione.

Quest'ultima si suddivide in tre parti: linea principale, di distribuzione e di collegamento (fig.1). In un sistema d'aria compressa ottimizzata, le seguenti perdite di carico sono accettabili sotto il profilo economico:

Linea principale (1):	0,03 bar
Linea di distribuzione (2):	0,03 bar
Linea di collegamento (3):	0,04 bar
A ciò si aggiungono:	
Essiccatore (4):	0,2 bar
Unità di manut./	
tubo fless. (5):	0,5 bar
Totale:	0,8 bar

Eliminare le strozzature

Ad un attento esame ci si accorge che se spesso le linee principali e di distribuzione sono adeguatamente dimensionate, non è sempre così anche per le linee di collegamento. Il loro diametro non dovrebbe essere inferiore a DN 25 (1").

KAESER propone sul proprio sito un tool utile per calcolare le sezioni delle tubazioni:

<https://it.kaeser.com/servizi/esperienza-e-know-how/calcolatore/calco-di-pressione/>

A riguardo è disponibile anche uno specifico **Nomogramma**, consultare l'allegato 1, pag. 54.

Assicurare un collegamento corretto

Per evitare guasti e danni causati da un eventuale accumulo di umidità, il collegamento alla linea di distribuzione dovrà essere realizzato a collo d'oca per favorire il flusso d'aria (fig. 2). Solo se è garantito al 100% che nella tubazione non si forma della condensa, si può scegliere un raccordo a T con un tubo che scende direttamente verso il basso (fig. 3).

L'esempio a pag. 40 mostra un raccordo ottimizzato che limita al massimo a 1 bar la perdita di carico tra la mandata del compressore e l'utenza pneumatica.

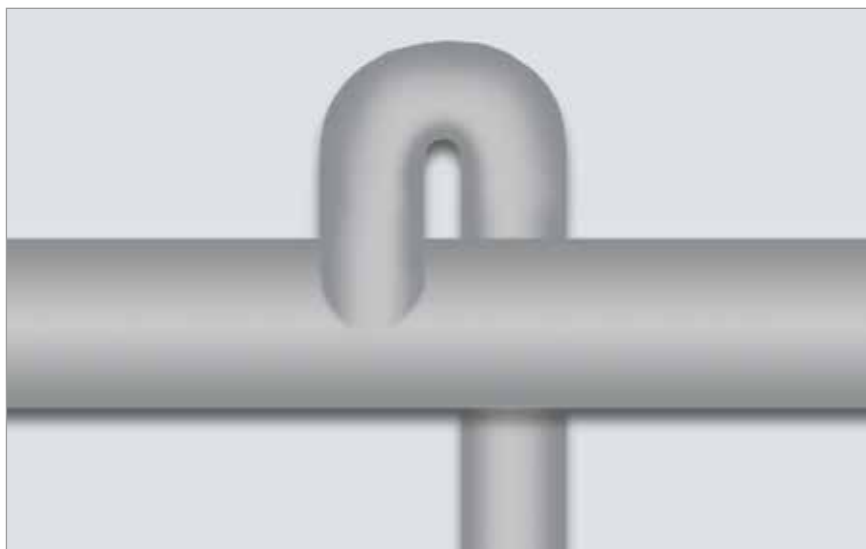


Fig. 2: collo d'oca

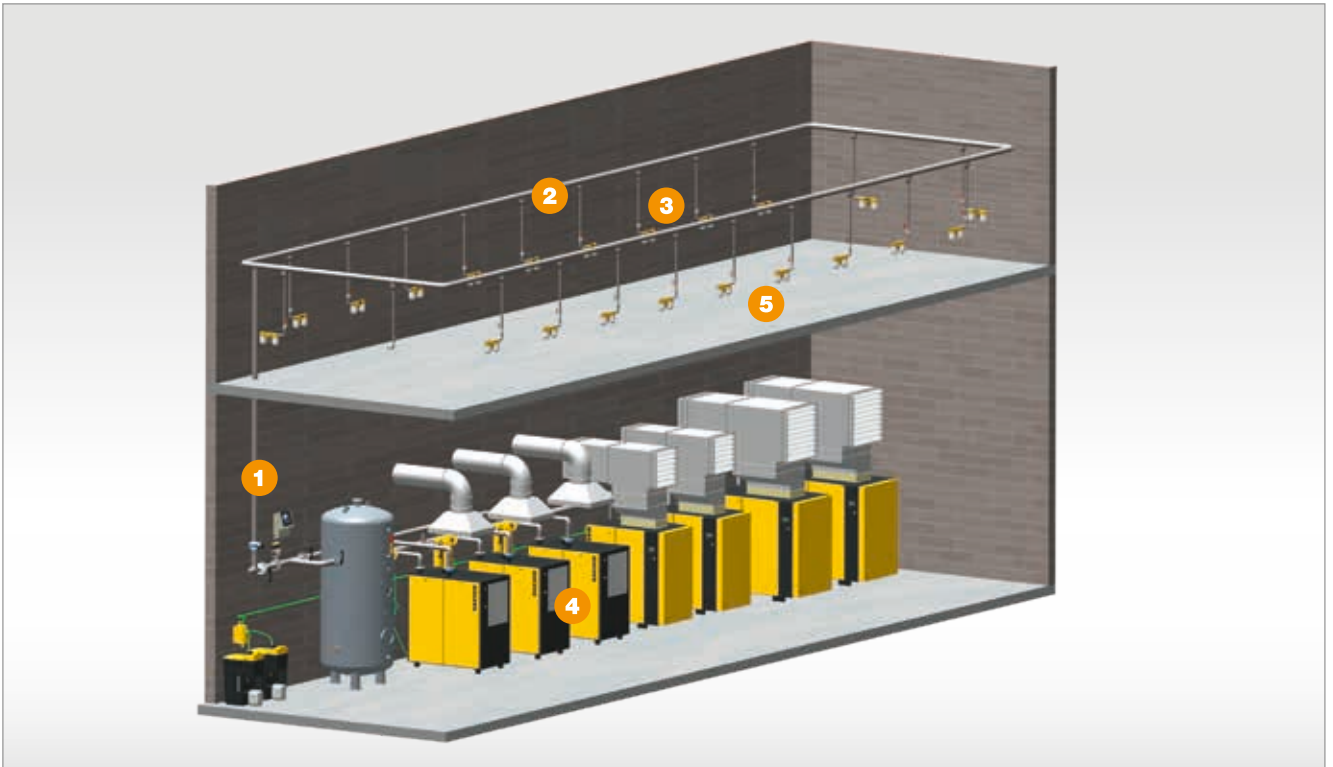


Fig. 1: I principali componenti di una rete di distribuzione d'aria compressa: linea principale (1), linee di distribuzione (2), linee di collegamento (3), essiccatore (4), unità di manutenzione/tubo (5)



Fig. 3: tubo di collegamento diretto

Consiglio n. 3

Efficienza nella distribuzione dell'aria compressa

Tra una rete di tipo a pettine, circolare o a maglie, la scelta dell'architettura della rete di distribuzione dipende dalla configurazione del sito. Per chi vuole utilizzare l'aria compressa in modo efficiente, non deve assicurarsi solo una produzione energeticamente performante, ma disporre anche di una rete di distribuzione quanto più efficiente possibile. Qui di seguito alcuni consigli a riguardo.

Rete di distribuzione a pettine

La rete a pettine con linee di collegamento alle singole utenze pneumatiche (fig. 1) è semplice da realizzare. La lunghezza dei tubi da posare è relativamente modesta, ma la tubazione deve offrire una capacità di trasporto sufficiente per il consumo complessivo d'aria compressa. In altre parole, questa rete dovrà avere una sezione nettamente maggiore rispetto a una rete di tipo circolare o a maglie. A causa della maggiore distanza delle utenze anche le linee di collegamento sono più lunghe e pertanto devono essere quotate con diametri maggiori. Poiché questo tipo di rete non consente di isolare sezioni di tubazioni in caso di ampliamento o di manutenzione, questa configurazione è di solito adottata dalle piccole imprese.

Rete circolare

Benché siano più complicate da installare, le reti di distribuzione circolare (fig. 2) presentano un grosso vantaggio rispetto alle reti a pettine: Se tutte le utenze pneumatiche richiedono lo stesso fabbisogno d'aria, le lunghezze e i volumi dei tubi possono essere divisi per due. Pertanto, sono sufficienti sezioni di tubi minori per la stessa capacità di trasporto. Le linee di collegamento sono corte e raramente sono dimensionate con diametri superiori a DN 25. Un numero sufficiente di valvole di intercettazione consentono d'isolare tratti di tubazione e quindi di realizzare interventi di manutenzione e

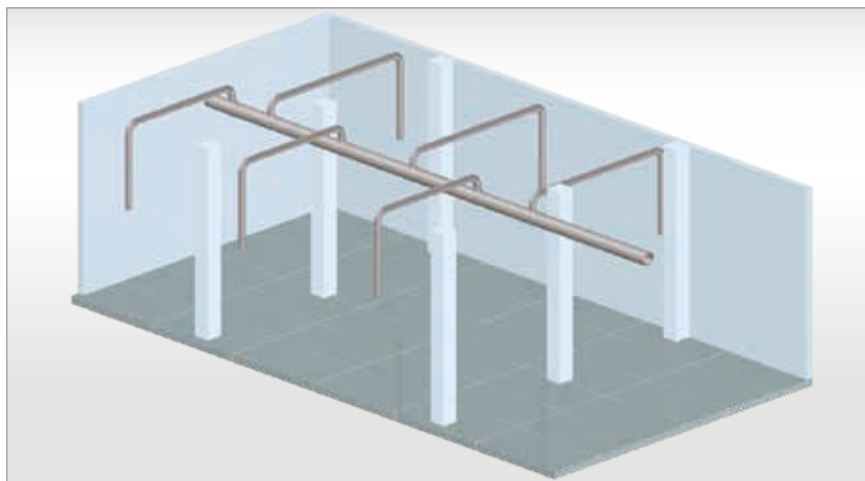


Fig. 1: Rete di distribuzione a pettine

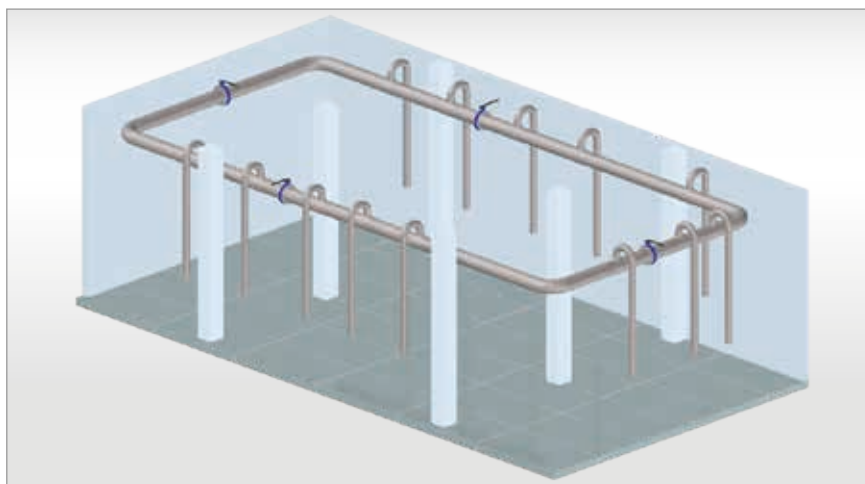


Fig. 2: Rete di distribuzione circolare

ampliamento senza interrompere il funzionamento dell'impianto.

Rete a maglie

Le aziende i cui locali si estendono su vaste aree, optano di preferenza per una rete a maglie, ovvero di una rete circolare completata con linee longitudinali e trasversali (fig. 3). Tra tutti i tipi, la rete a maglie è sicuramente quella che presenta maggiori complessità sotto il profilo dell'installazione, ma al contempo è anche quella che offre i maggiori benefici. Grazie alla struttura a maglie è possibile approvvigionare grandi stabilimenti con

aria compressa in modo affidabile ed efficiente, senza tuttavia dover sovradimensionare le tubazioni. Al contrario: con la struttura a maglie, alla stregua delle reti circolari nelle piccole e medie imprese, è possibile mantenere le sezioni dei tubi relativamente piccole. Se necessario, anche questa rete può essere parzialmente isolata con delle valvole.

Dimensionamento della linea principale

La linea principale del sistema d'aria compressa collega la stazione d'aria compressa (produzione) alle

linee di distribuzione dei vari settori (stabilimenti).

Il dimensionamento della linea principale dipende dalla portata complessiva dei compressori. È il dimensionamento che determina le dimensioni e la capacità della linea. La perdita di carico non dovrebbe essere maggiore di 0,03 bar.

Alimentazione con una sola stazione

Se più stabilimenti di produzione sono alimentati da un'unica stazione d'aria compressa, è necessario dimensionare la linea principale di ciascun settore in base al consumo massimo del rispettivo settore (perdita di carico < 0,03 bar). Le tubazioni, raggruppate in un collettore all'interno della stazione d'aria compressa, consentono, se necessario, la semplice interruzione dell'approvvigionamento d'aria di alcuni settori. Installando inoltre appositi misuratori di portata, è possibile rilevare i rispettivi consumi d'aria dei singoli settori (fig. 4).

Alimentazione con più stazioni d'aria

Se due o più stazioni approvvigionano un'ampia rete di linee principali, i tubi devono essere dimensionati in modo tale che la portata massima della stazione maggiore possa raggiungere tutti i settori di utenza. La perdita di carico tra le varie stazioni non deve comunque essere superiore a 0,03 bar. In caso contrario, sono necessari sistemi di regolazione complessi (fig. 5).

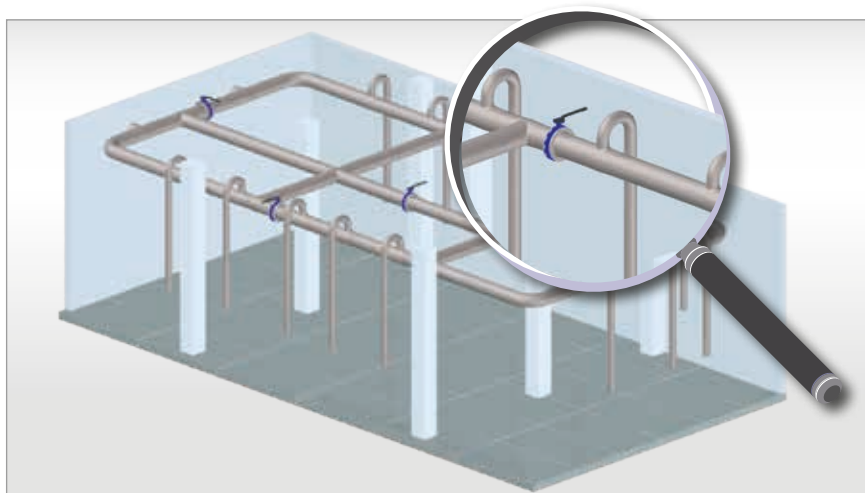


Fig. 3: Rete di distribuzione a maglie

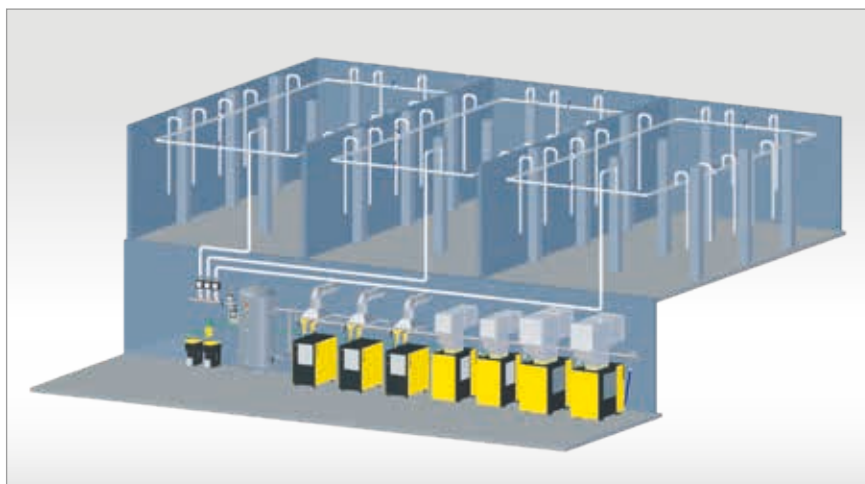


Fig. 4: Alimentazione d'aria compressa con una stazione centrale per più settori di produzione

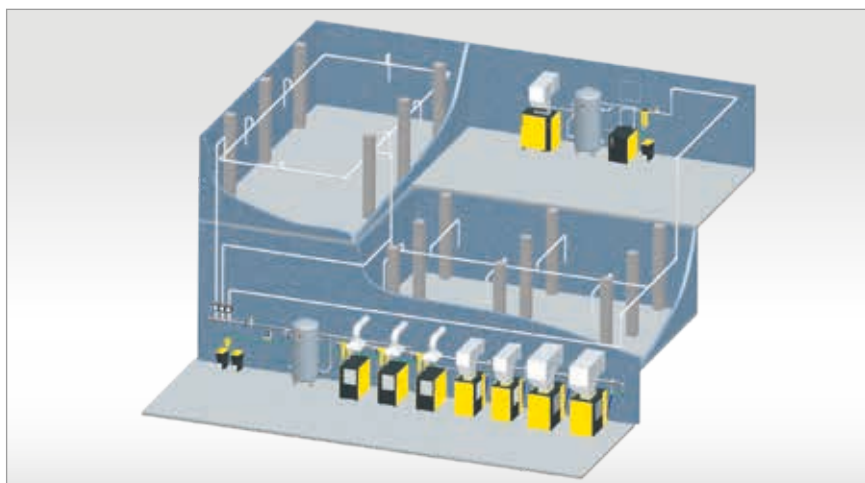


Fig. 5: Alimentazione d'aria compressa con due stazioni e una regolazione centralizzata per più settori di produzione

Consiglio n. 4

Tubazioni nella stazione d'aria compressa

Oltre a distribuire l'aria compressa, le tubazioni hanno il compito di collegare i compressori e gli altri componenti della stazione alla rete. Per conseguire anche qui il massimo in termini di efficienze e sicurezza operativa, vanno tenuti in considerazione alcuni punti importanti in fase di installazione.

In generale, le tubazioni all'interno della stazione d'aria compressa devono essere dimensionate in modo tale che a piena mandata le perdite di carico siano $< 0,01$ bar. A causa delle sollecitazioni termiche, impossibili da definire, è inoltre consigliabile utilizzare solo tubi metallici.

Connessione delle linee di distribuzione

Per collegare le tubazioni alla rete d'aria compressa, si raccomanda di utilizzare un collettore dal quale partono, a loro volta, tutte le linee di distribuzione (fig. 1.1). In tal modo, in caso di emergenza, il rifornimento di determinati settori può essere interrotto.

Installazione nella parte di aria compressa umida

Lungo la linea d'aria compressa della zona non trattata, ovvero nei punti a valle dei compressori e a monte degli essiccatori, evitare possibilmente accumuli d'acqua. In caso contrario, la tubazione deve avere una pendenza verso l'accumulo d'acqua e in quel punto si deve installare uno scaricatore di condensa (Abb. 2).

Corretta connessione dei componenti

All'interno della stazione d'aria compressa, i componenti (compressori, essiccatori, ecc.) devono essere connessi dall'alto alla linea principale. I tubi a partire da DN 100 possono essere collegati anche lateralmente (fig. 3 a/b).

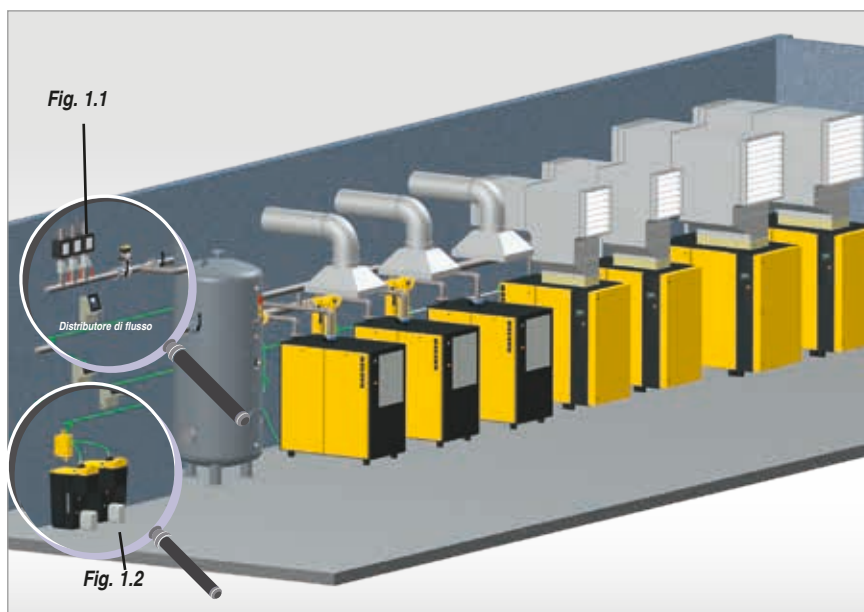


Fig. 1: Stazione d'aria compressa con collettore

Connessione dei compressori

Per prevenire la diffusione di vibrazioni, i compressori devono essere collegati al sistema di tubazioni con dei compensatori elastici. Per i tubi $< DN 100$ i raccordi elastici possono essere realizzati con tubi flessibili (fig. 4). A monte della curvatura, l'estremità del tubo rigido deve essere fissata per compensare le forze ed evitare che queste si trasmettano alla tubazione (fig. 4.1). Per i tubi $> DN 100$, il giunto antivibrante per collegare il compressore alla tubazione deve essere realizzato con un compensatore assiale (fig. 3b) e non con un tubo flessibile.

Efficace eliminazione della condensa

L'affidabile eliminazione della condensa è uno dei presupposti essenziali alla base della sicurezza operativa e dell'affidabilità della stazione d'aria compressa. È dunque fondamentale non commettere errori, soprattutto nella posa delle linee di scarico della condensa. Malgrado la moderna tecnologia, spesso i tubi che collegano al sistema di trattamento della condensa

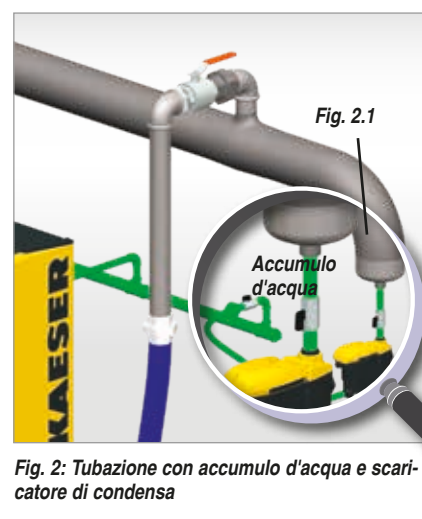


Fig. 2: Tubazione con accumulo d'acqua e scaricatore di condensa

non sono installati a regola d'arte, danneggiando l'efficacia dei sistemi di scarico. I seguenti suggerimenti possono aiutare a evitare queste insidie:

Isolare gli scaricatori di condensa

Gli scaricatori di condensa devono essere dotati su entrambi i lati di una valvola a sfera, per isolare la rete durante le operazioni di manutenzione (fig. 2.1).

Corretto dimensionamento dei raccordi

La connessione al collettore deve essere almeno di 0,5 pollici, per evitare una pressione dinamica inutile.

Connessione dall'alto

Le linee della condensa devono essere collegate dall'alto, in modo che i punti di scarico restano indipendenti l'uno dall'altro (fig. 3a (1)).

Linea in pendenza e a pressione atmosferica

Il collettore della condensa deve avere una inclinazione che favorisca la fuoriuscita della condensa per gravità. Deve inoltre essere a pressione atmosferica per consentire l'afflusso della condensa dagli scaricatori dei componenti operanti a pressioni diverse (separatore centrifugo, serbatoio, essiccatore frigorifero, filtri). In caso contrario, si devono utilizzare i collegamenti del dispositivo di trattamento della condensa (Aquamat).

Più dispositivi di trattamento

Se le quantità di condensa da scaricare richiedono diversi dispositivi di trattamento, collegare questi ultimi con un distributore di flusso alla linea principale di scarico della condensa (fig. 1.2).

Pressione di rete superiore a 15 bar

Nei sistemi con un livello di pressione superiore a 15 bar, utilizzare una camera di espansione separata, installata a monte dell'ingresso della condensa nel dispositivo di trattamento.

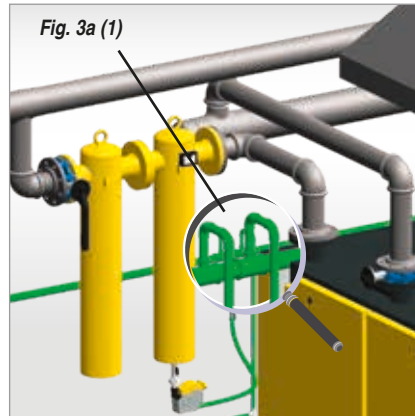


Fig. 3a: Connessione (dall'alto) dell'essiccatore frigorifero e dello scaricatore di condensa



Fig. 3b: Giunti elastici del compressore con compensatori assiali

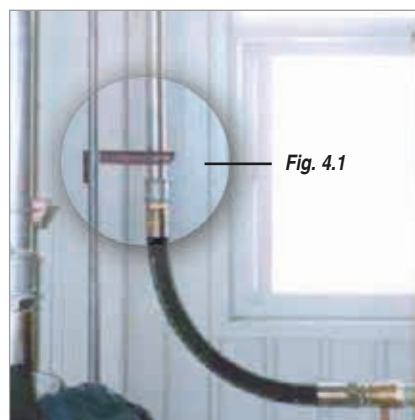


Fig. 4: Giunto elastico del compressore con tubo flessibile

Consiglio n. 5

Corretta installazione dei compressori

Le condizioni d'installazione e ambientali influiscono considerevolmente sull'affidabilità e l'efficienza della produzione d'aria compressa. Tre sono le regole fondamentali che devono essere rispettate.

1. Mantenere la stazione pulita

Benché in molte stazioni d'aria compressa, la pulizia e la manutenzione lasciano spesso a desiderare, non tutte hanno l'aspetto come quella nella **fig. 1**. Assicurare la pulizia della sta-



Fig. 1: Sistema d'aria compressa trascurato

zione, significa in primo luogo evitare la polvere, in caso contrario i filtri di aspirazione dei compressori si intasano rapidamente e ciò si traduce in: maggior fabbisogno di manutenzione, minori prestazioni e scarso raffreddamento dell'aria. Un ambiente polveroso non solo causa malfunzionamenti per il surriscaldamento dei compressori, ma anche un calo della capacità di essiccazione e quindi un maggior accumulo di condensa con il rischio di danneggiare gli utensili pneumatici e di conseguenza anche il prodotto finale. Se nel luogo scelto per l'installazione la polvere è inevitabile, si raccomanda di filtrare l'aria di aspirazione con speciali filtri per ambienti polverosi (**fig. 2a, 2b**).

2. Locali temperati

D'inverno la stazione non deve essere esposta al rischio di gelo: prima di essere trattata, l'aria compressa è umida e gela nei tubi, danneggiando seriamente il funzionamento del sistema. Inoltre, temperature inferiori a +5 °C compromettono il potere lubrifi-



Fig. 2a: Filtro per ambienti polverosi (lato di aspirazione)

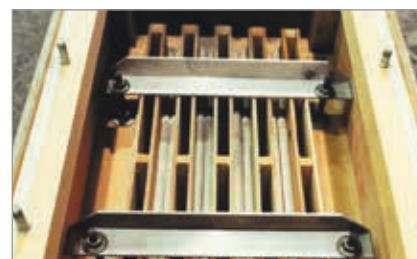


Fig. 2b: Filtro per ambienti polverosi (lato compressore)

cante degli oli e dei grassi dei cuscinetti, e ciò cagionerebbe a sua volta il malfunzionamento dei compressori. In estate, al contrario, è necessario espellere il calore generato dai compressori, in maniera tale che, ove possibile, la temperatura del locale d'installazione non superi quella esterna. In caso contrario, i motori e i componenti elettrici rischiano il surriscaldamento e gli essiccatori il sovraccarico a causa dello scarso raffreddamento dell'aria compressa. Tutto ciò produce come risultato la formazione di condensa e danni alle utenze pneumatiche. Nel peggiore dei casi, l'accumulo di calore causato da una insufficiente aerazione del locale compressori provoca l'arresto delle macchine (compressori ed essiccatori) e quindi la totale avaria del sistema di approvvigionamento d'aria compressa.

Tutto ciò si può tuttavia prevenire mediante sistemi di raffreddamento a controllo termostatico che gestiscono automaticamente la temperatura della stazione d'aria compressa, regolando l'ingresso, l'espulsione e la circolazione dell'aria di raffreddamento (**Abb. 3**).

3. Stazione di facile manutenzione

I compressori e i sistemi di trattamento moderni richiedono un fabbisogno di manutenzione indubbiamente ridotto, ma nonostante ciò indispensabile. Le macchine devono essere disposte in maniera tale da consentire l'agevole accesso a tutti i punti di manutenzione. La massima efficienza e affidabilità dell'erogazione d'aria compressa potrà essere assicurata solo se si tengono nella giusta considerazione i tre criteri qui discussi.



Fig. 3: Stazione d'aria compressa con sistema di aerazione a controllo termostatico

Consiglio n. 6

Aerazione delle stazioni d'aria compressa (captazione aria)

Un sistema di aerazione ben progettato può contribuire notevolmente alla disponibilità dell'aria compressa e a ridurre sensibilmente i costi di manutenzione della stazione.

1. Prese d'aria ben posizionate

La disposizione delle prese d'aria è molto importante per l'aerazione della stazione d'aria compressa. Ai fini della sicurezza operativa e dell'affidabilità, l'aria di alimentazione prelevata dall'esterno deve essere il meno possibile soggetta alle condizioni meteorologiche. Si consiglia di realizzare aperture per le prese d'aria nella parte bassa della parete esterna non esposta al sole e protetta dalle intemperie.

2. Al riparo da contaminazioni e sostanze inquinanti

L'aria aspirata deve contenere il meno possibile polvere e sostanze nocive, quali ad esempio le sostanze aggressive e combustibili nonché gas di scarico dei motori a combustione. Il traffico di veicoli pesanti deve essere bandito dalla zona di aspirazione dell'aria della stazione. Se polvere e sostanze inquinanti non possono essere evitate all'interno del locale d'installazione, è necessario adottare opportune misure di protezione. Ricorrere all'impiego di filtri aria di raffreddamento è un rimedio in caso di inquinamento modesto; in casi estremi è invece necessario l'uso di aspiratori.

3. Dimensionamento ed equipaggiamento delle prese d'aria

Le dimensioni delle prese d'aria dipendono innanzitutto dalla potenza dei compressori raffreddati ad aria. La sezione libera di passaggio deve essere di $0,02 \div 0,03 \text{ m}^2$ per ogni KW di potenza nominale installata, corrispondente a un flusso d'aria di raffreddamento di $130 \div 230 \text{ m}^3/\text{h}$.

Fondamentale è il concetto di "sezione libera" perché il passaggio è considerevolmente limitato da griglie di

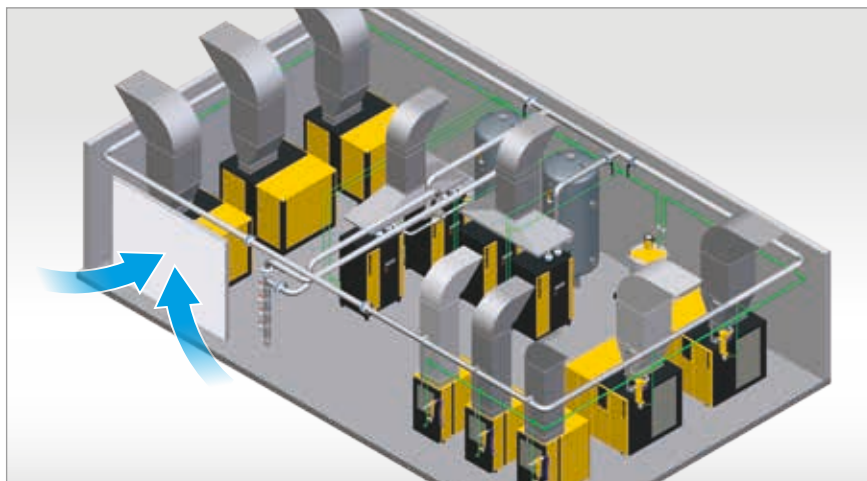


Fig. 2: Prese d'aria nella stazione d'aria compressa

protezione contro le intemperie, persiane a lamelle e filtri necessari per compensare le sfavorevoli condizioni di aspirazione. In base al sistema di ventilazione, la riduzione varia dal 30 al 60%, da qui l'importanza di scegliere dei sistemi di aerazione che favoriscano il più possibile la circolazione dell'aria. I restringimenti della sezione, dovuti all'intervento di dispositivi di protezione e controllo, devono ad ogni modo essere assolutamente compensati.

In generale, un sistema di presa d'aria (fig. 1) è costituito da una griglia di protezione contro i volatili e le intemperie,

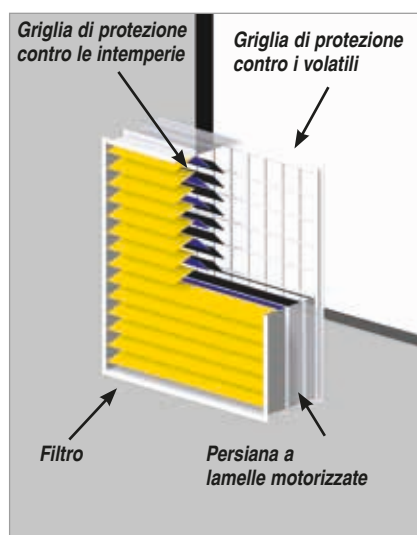


Fig. 1: Struttura del sistema di presa d'aria

da una persiana a lamelle azionate a motore e eventualmente da un filtro. Nelle stazioni composte da più compressori, si raccomanda di installare un termostato di controllo dei sistemi di alimentazione dell'aria e di ripartire le aperture a seconda della posizione e della potenza delle singole macchine (fig. 2).

4. Anche i compressori raffreddati ad acqua richiedono un'adeguata aerazione

Anche i compressori raffreddati ad acqua necessitano di un'adeguata ventilazione perché sono generalmente azionati da motori raffreddati ad aria, che dissipano calore nell'ambiente. Il calore che deve essere espulso con l'aria di raffreddamento rappresenta all'incirca il 20% della potenza installata di un compressore raffreddato ad acqua. Anche in questo caso si deve pertanto tener conto di un appropriato dimensionamento delle prese d'aria.

Consiglio n. 7

Aerazione delle stazioni d'aria compressa (espulsione aria)

Una corretta aerazione è essenziale per garantire la disponibilità dell'aria compressa e controllare i costi di manutenzione dell'installazione. Quando la temperatura esterna scende sotto i 5 °C, il clima all'interno della stazione deve essere temperato mediante il recupero dell'aria calda.

1. Canalizzazione dell'aria di scarico

I condotti dell'aria di scarico svolgono un ruolo importante nella stazione: espellono l'aria calda e con essa anche il calore dissipato dai motori e dai compressori (fig. 1). Nelle macchine moderne il calore dissipato dai diversi componenti viene scaricato da un'unica apertura (fig. 1, zoom) che è collegata al condotto di scarico da un giunto di tela olona (fig. 2). Questo sistema consente di estrarre tutta l'aria calda del locale compressori, quando la temperatura esterna supera i 10 °C. Se necessario, installare dei condotti individuali per quei compressori obsoleti che dispongono di diversi punti per lo scarico dell'aria.



Fig. 2: Raccordo di aerazione del compressore con giunto di tela olona

2. Installare un collettore

Quando la struttura del locale non consente l'installazione di singoli condotti, la soluzione è offerta da un collettore (fig. 3). Persiane a lamelle con dispositivo di ritegno sono indispensabili per collegare ciascuno dei compressori. Una volta chiuse, impediscono all'aria

calda di rifluire nella stazione quando il compressore è fermo. Le persiane con azionamento a motore limitano la perdita di carico e possono essere controllate dal segnale "Motore in funzione". Dei deflettori nel canale collettore evitano le perdite di carico.

3. Mitigare la temperatura con il ricircolo dell'aria

Quando la temperatura esterna è inferiore a +5 °C, le persiane di ricircolo dell'aria dovrebbero aprirsi più o meno a partire da una temperatura interna di +10 °C (fig. 1). Nei casi in cui l'intera stazione è temporaneamente fuori servizio, un sistema di riscaldamento ausiliario dovrà mantenere la temperatura del locale compressori a +5 °C.

4. Aerazione degli essiccatori frigoriferi

Il calore generato dagli essiccatori frigoriferi corrisponde a quattro volte la potenza elettrica assorbita. Perciò essi hanno bisogno di un proprio sistema di scarico, provvisto di ventola (fig. 1 e 3). Se nella stazione sono installati più essiccatori a ciclo frigorifero, la ventola dovrà essere munita di un sistema di controllo progressivo che si attiva a partire da +20 °C. Poiché questo sistema di espulsione non opera in modo continuo, il condotto dell'aria di scarico non deve essere posizionato direttamente sull'essiccatore.

5. Dimensionare e controllare correttamente i sistemi di espulsione aria

Tutti i sistemi di scarico dell'aria devono essere progettati in modo tale che la loro perdita di carico non sia maggiore della riserva di spinta della macchina più piccola (consultare i dati del costruttore), altrimenti l'aria calda espulsa da questa macchina potrebbe rifluire nella sala compressori. Se la spinta residua non fosse sufficiente, si devono installare delle ventole supplementari. Le lamelle devono essere controllate

automaticamente dai termostati e dai compressori. Per rilevare rapidamente i malfunzionamenti delle lamelle e trasmettere il guasto a un sistema di comando e controllo centralizzato, si raccomanda di affidare il monitoraggio a un master controller (ad esempio: SIGMA AIR MANAGER).

6. Caso particolare: raffreddamento ad acqua

Poiché anche i compressori raffreddati ad acqua trasformano in calore circa il 20% della loro potenza installata, anche in questo caso è indispensabile un sistema idoneo di espulsione dell'aria calda.

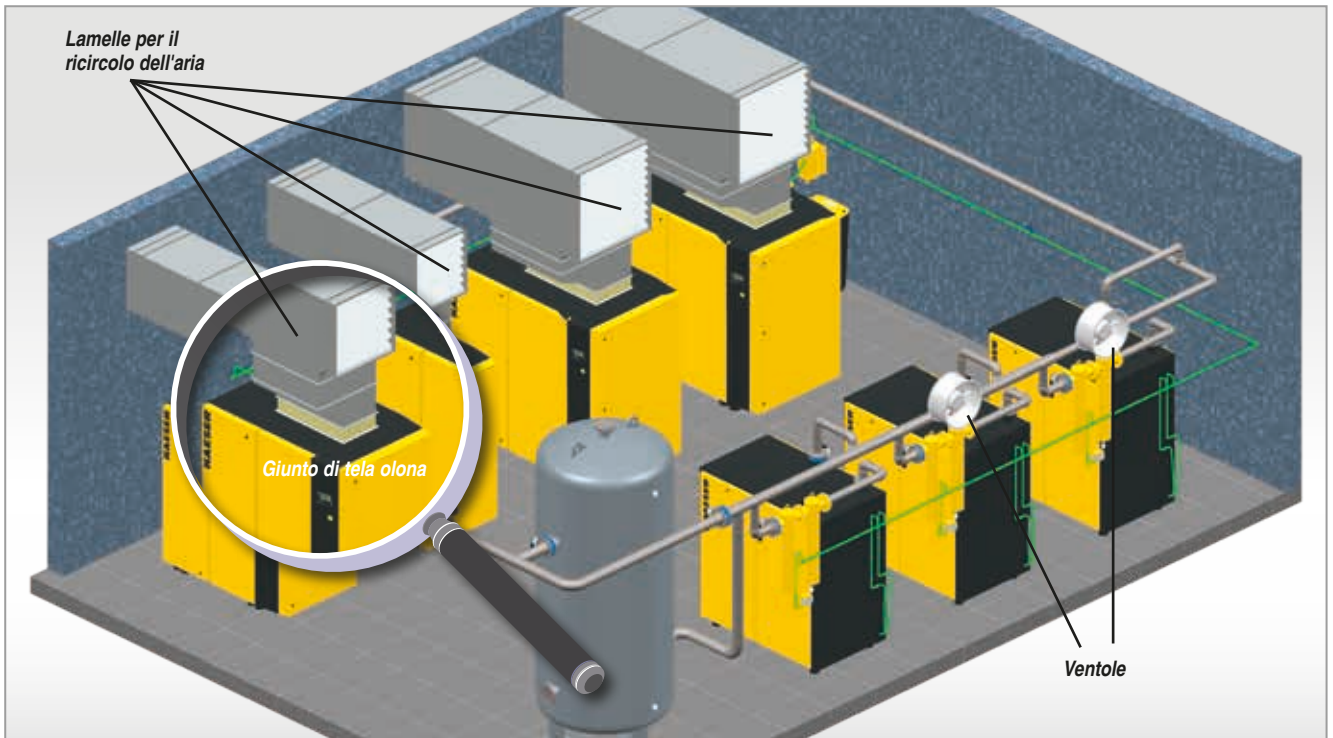


Fig. 1: Sistema di canalizzazione ed espulsione aria su ogni singolo compressore

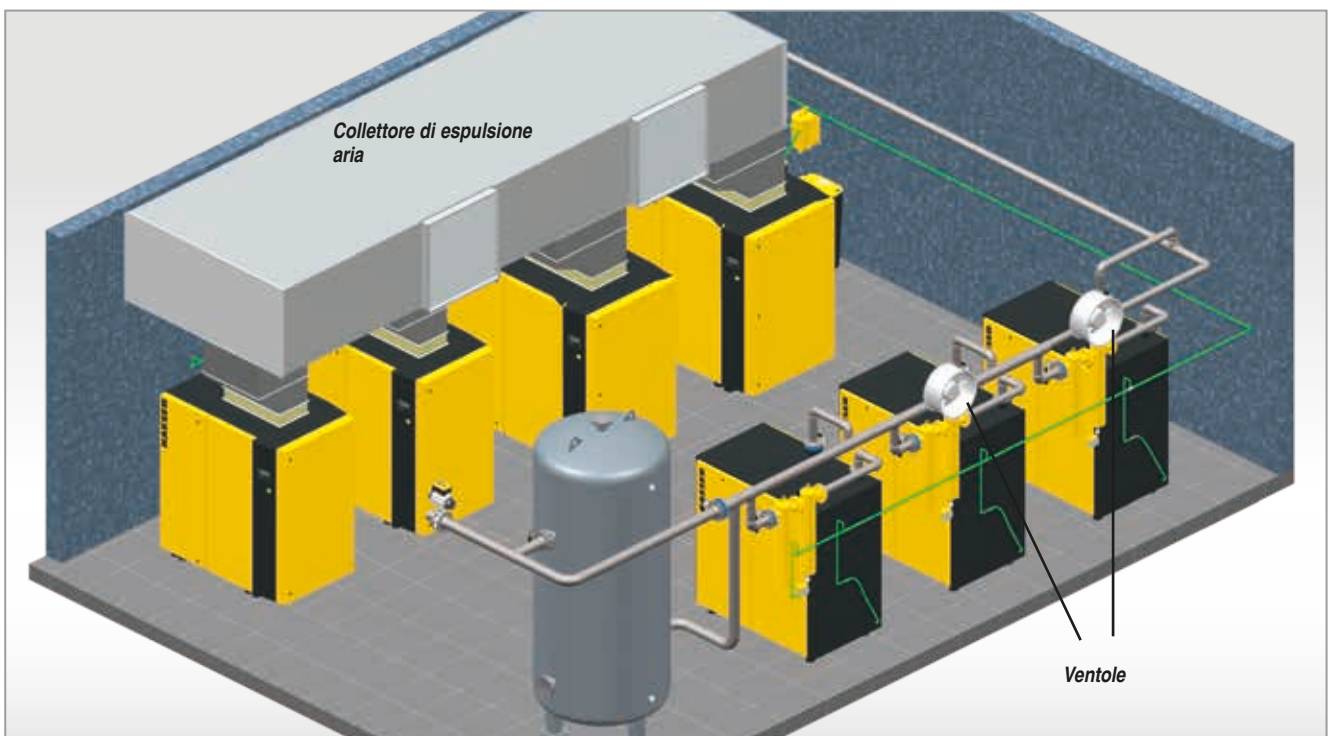


Fig. 3: Sistema di espulsione aria con un collettore per tutti i compressori

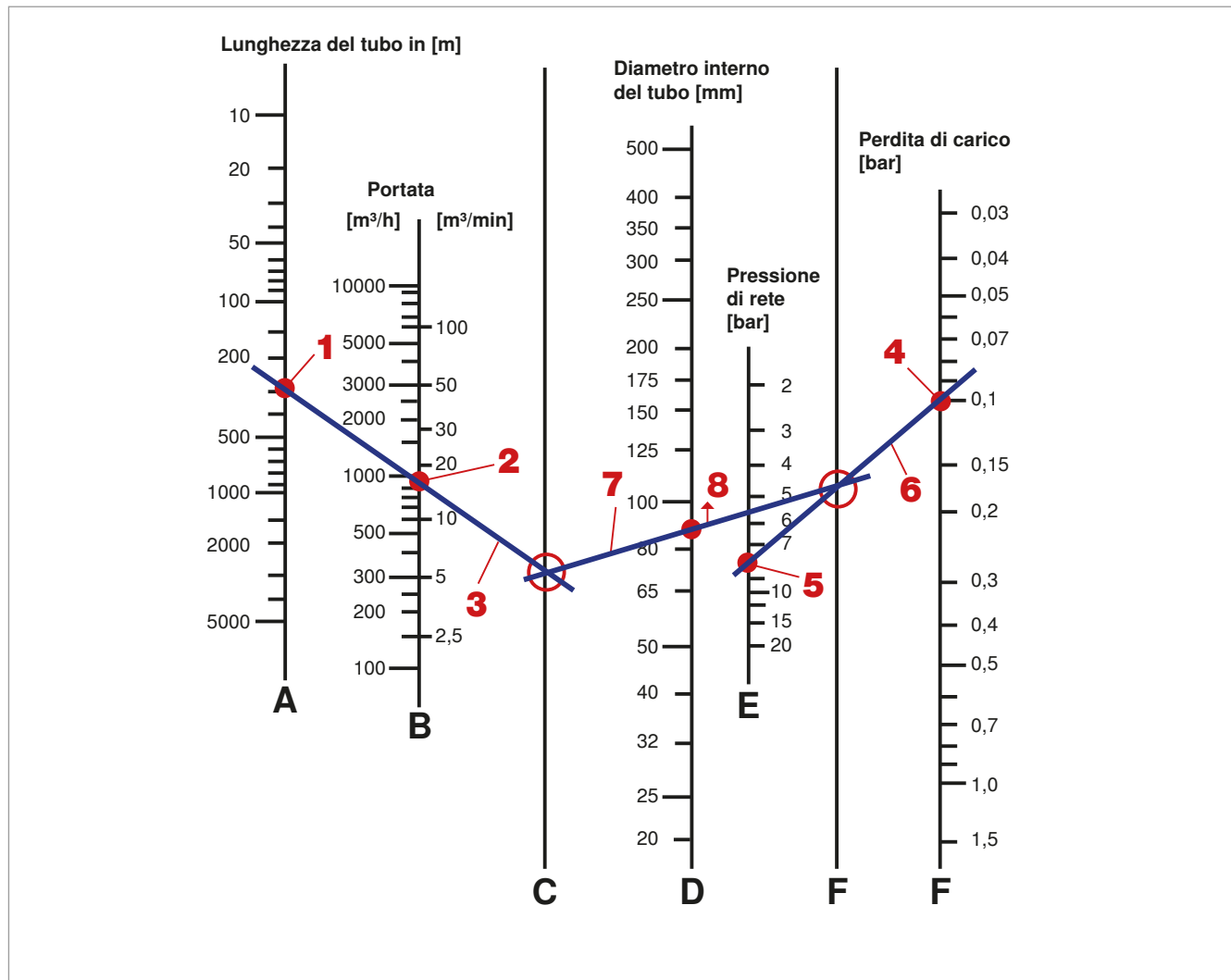
Appendice

Allegato 1 - 2

54-57

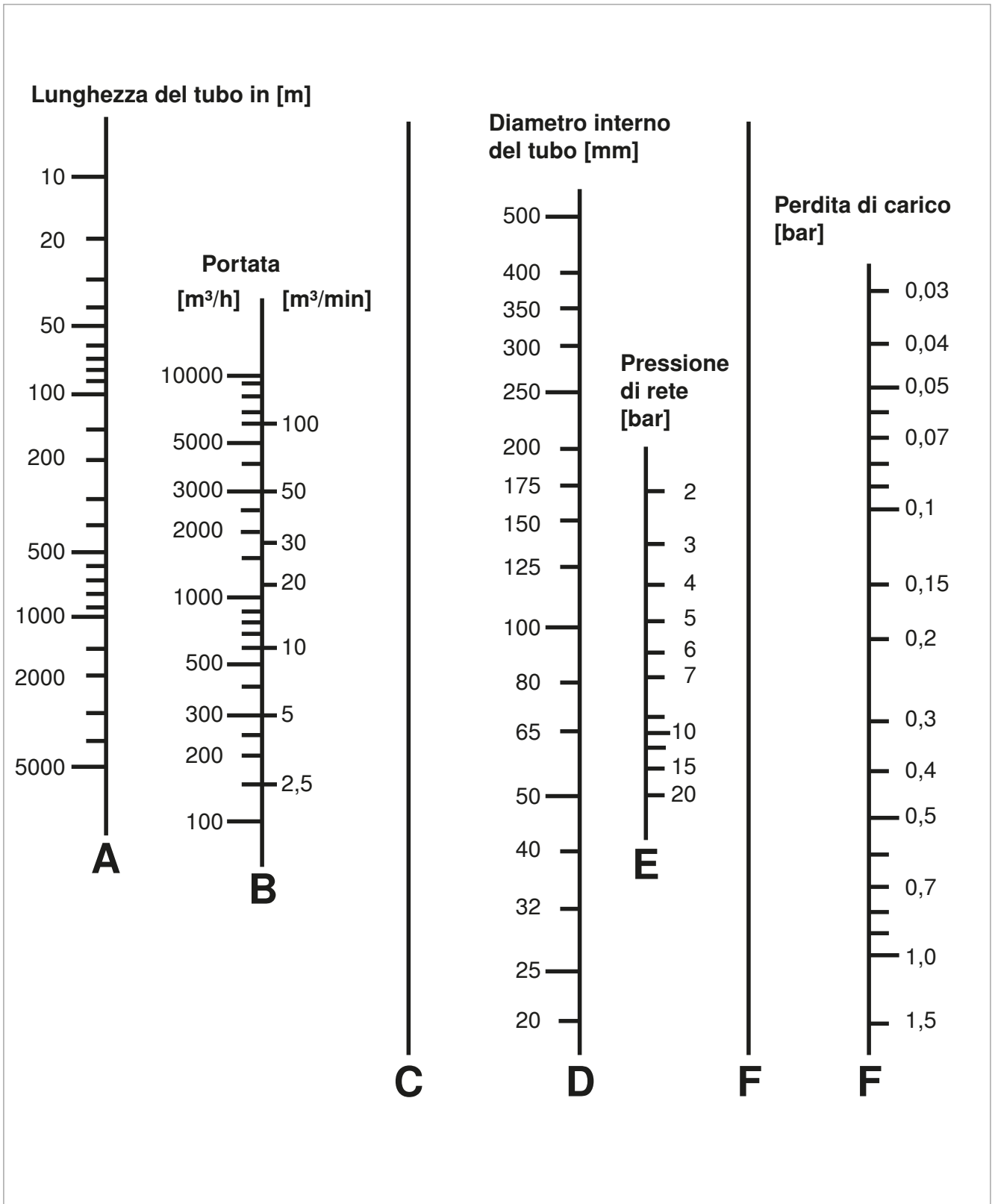
Allegato 1

Nomogramma per determinare il diametro interno delle tubazioni



Questo nomogramma consente di determinare il diametro interno delle tubazioni d'aria compressa: Evidenziare innanzitutto sugli assi A e B la lunghezza del tubo e la portata. Unire i due punti con una retta fino a intersecare l'asse C. Quindi segnare la

pressione minima di rete e la perdita di carico massima sugli assi E e G. La retta che unisce questi due punti interseca l'asse F. La retta passante per le intersezioni degli assi C e F interseca l'asse D nel punto corrispondente alla sezione del tubo desiderata.



Esempi di questionari sul Sistema di Risparmio Energetico

Sistema di risparmio energetico



1. 1. Quale dovrebbe essere la portata dei compressori?

1.1 Consumo di aria compressa degli utensili e delle macchine collegate

Utensili, macchine	Consumo di aria per utensile, macchina m ³ /min	Numero di utensili, macchine	Carico / ciclo di lavoro %	Fattore di contemporaneità %	Consumo effettivo di aria calcolato m ³ /min
	x	x	x	=	
	x	x	x	=	
	x	x	x	=	
	x	x	x	=	
	x	x	x	=	
	x	x	x	=	

Consumo d'aria di tutti gli utensili = V_{utensili} m³/min

1.2 Altre utenze V_{altri} m³/min

1.3 Perdite nella rete di aria compressa V_{perdite} m³/min

1.4 Riserva V_{riserva} m³/min

Portata d'aria libera minima richiesta dai compressori = V_{totale} m³/min

Sistema di risparmio energetico



2. I compressori sono già in uso?

No

Sì

Denominazione dell'operatore	Fabbricante	Modello	Pressione bar(g)	Portata m³/min	È previsto un uso continuativo?	
					Sì	No
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Portata totale dei compressori esistenti che continueranno ad essere utilizzati.

= $V_{Existing}$ m³/min

Componenti esistenti per il trattamento dell'aria compressa:

Tipo/modello (essiccatore, filtro, scaricatore, ecc.)	Costruttore	Dimensionato per m³/min	bar(g)	Note, ad esempio, dimensioni errate



CSD 105

SIGMA 





Sentirsi a casa dovunque nel mondo

In qualità di uno dei maggiori costruttori e fornitori di soffianti e sistemi d'aria compressa, KAESER KOMPRESSOREN vanta una presenza a livello mondiale:

filiali e partner commerciali, distribuiti in più di 140 Paesi, operano affinché gli utenti possano utilizzare soffianti e impianti d'aria compressa sempre all'avanguardia per affidabilità ed efficienza.

Tecnici esperti e valenti ingegneri sono al vostro servizio con il loro ampio bagaglio di consulenza e soluzioni efficienti per tutti i campi d'impiego delle soffianti e dell'aria compressa. La rete informatica globale del gruppo KAESER consente, dovunque nel mondo, l'accesso per tutti i clienti al know-how KAESER.

Grazie all'ottima rete commerciale e di assistenza a livello internazionale è sempre assicurata nel mondo l'assoluta disponibilità di tutti i prodotti e i servizi KAESER.



KAESER COMPRESSORI s.r.l.

Via del Fresatore, 5 (z. i. Roveri) – 40138 BOLOGNA – Tel. 051-600 90 11

E-mail: info.italy@kaeser.com – www.kaeser.com