



# Pneumatica ed efficienza energetica

L'EFFICIENZA ENERGETICA È UN OBIETTIVO PRIMARIO IN OGNI INDUSTRIA ED È UN FATTORE ALTAMENTE SIGNIFICATIVO NEGLI IMPIANTI AD ARIA COMPRESSA. NELL'ARTICOLO, PARTENDO DALLO SCHEMA GENERALE DELL'IMPIANTO PNEUMATICO, VENGONO DISCUSSE LE PROBLEMATICHE ENERGETICHE, SEPARATE PER I TRE PRINCIPALI GRUPPI DELL'IMPIANTO: COMPRESSORE, LINEE DI TRASMISSIONE DELL'ARIA COMPRESSA E CIRCUITI ELETTROPNEUMATICI UTILIZZATORI FINALI. SONO QUINDI DATE ALCUNE INDICAZIONI PER IL MIGLIOR UTILIZZO ENERGETICO DEGLI IMPIANTI DI ARIA COMPRESSA.

Il problema energetico occupa sempre un posto di primo piano nell'attenzione dei progettisti e dei gestori di impianti. I motivi sono collegati al costo dell'energia, che costituisce una delle voci più significative nel processo industriale e nei costi di gestione di qualsiasi struttura operativa. Nei processi industriali è, quindi, molto importante controllare i consumi energetici ed assumere tutti i provvedimenti opportuni per ridurli e i costi.

I dispositivi pneumatici e, a maggior ragione, l'intero sistema di produzione, trasporto e utilizzo dell'aria compressa devono essere attentamente analizzati e controllati. Tutto questo processo rientra poi anche nel più ampio tema della competizione tra le tecnologie elettropneumatiche ed elettromeccaniche.

Nel presente articolo saranno analizzate le problematiche energetiche nella generazione dell'aria compressa e, successivamente, nella sua trasmissione lungo le linee di distribuzione e negli impianti di utilizzo finale. In particolare saranno considerate alcune soluzioni utili per la riduzione del consumo e/o per il recupero dell'aria compressa all'uscita dei circuiti pneumatici.

## Il risparmio energetico nella compressione

Il primo punto critico nella filiera della produzione e dell'uso dell'aria compressa, lo si incontra nella centrale di compressione. Su questo punto è bene fare subito alcune precisazioni. Il concetto tradizionale di una centrale di compressione a sé stante, che produce e accumula aria compressa a disposizione di utenti diversi, distribuiti in tutte le aree operative, deve essere ridiscusso e rivisto proprio in funzione della necessità di razionalizzazione degli impianti e di risparmio di energia.

La generazione dell'aria compressa deve avvenire con stretto riferimento alle necessità degli utenti, per i quali la portata prodotta e la pressione di lavoro sono i due parametri fondamentali di riferimento. Mentre sulla portata non ci sono discussioni particolari da fare, in quanto sono gli utenti che richiedono il flusso di aria compressa necessario a soddisfare le esigenze produttive, il punto sempre critico è la corretta scelta della pressione di lavoro del compressore.

Per la portata, infatti, occorre che il flusso generato sia superiore al valor medio di quella richiesta dagli utilizzatori; in questa analisi bisogna ricordare che la funzione dei serbatoi e dei volumi delle linee di trasmissione è quella di garantire un accumulo di aria compressa per regolarizzare l'operatività dell'intero sistema. I volumi tampone consentono, infatti, di compensare le differenze che via via si realizzano tra il flusso prodotto e il flusso assorbito dalle utenze, evitando soprattutto che improvvise richieste di portata provochino eccessive temporanee cadute di pressione nelle linee e nei punti di utilizzo dell'aria compressa.

La pressione a cui far lavorare il compressore è una scelta che dipende, naturalmente, dalle esigenze degli utenti, ma che incide moltissimo sul consumo di energia. La potenza assorbita nella compressione cresce, quasi esponenzialmente, con il rapporto di compressione. A titolo di esempio, con un rapporto di compressione pari a 10 (pressione relativa finale di 9 bar, partendo da pressione ambiente) invece di 8 (pressione relativa finale 7 bar, partendo sempre da pressione ambiente), l'aumento della potenza richiesta, secondo i diversi tipi di compressione considerati (dall'isentropica all'isoterma), è del 12-15%. Data l'elevata incidenza del costo dell'energia, non è sempre utile regolare la pressione di lavoro del compressore sulla base della pressione più elevata prevista per le utenze. Se ci sono poche utenze o, addirittura, una sola utenza a pressione più elevata rispetto a tutto il resto delle applicazioni, che utilizzano quantità limitate di aria compressa, è preferibile utilizzare una generazione separata per questa o queste utenze, usando un compressore a pressione alta solo dove è strettamente necessario o ricorrendo a moltiplicatori di pressione.

Tutto questo è giustificato dal fatto che, normalmente, tutta l'energia spesa nella compressione tra il livello raggiunto nel compressore e il livello di effettiva utilizzazione viene dissipata durante il trafilamento dell'aria compressa nei riduttori di pressione e nelle varie valvole di regolazione degli impianti. Limitare il livello di produzione dell'aria compressa è un modo semplice ed efficace per ridurre senza ulteriori spese di impianto il costo assorbito.

Dal punto di vista energetico l'intero impianto pneumatico può essere schematizzato come è indicato in figura 1. I tre blocchi principali dell'impianto sono: il compressore, la linea di trasmissione dell'aria, gli utilizzatori, ossia i circuiti elettropneumatici che svolgono le attività richieste. L'aria viene aspirata dal compressore e viene restituita all'ambiente a valle degli utilizzatori. Queste due portate possono essere diverse per la presenza di fughe nelle linee di trasmissione. L'a-

# CONTAMINAZIONE 80% NEI FLUIDI CAUSA DI GUASTI IDRAULICI



## UN FLUIDO PULITO RICHIEDE PRODOTTI GIUSTI



**MPFILTRI**  
Quality & experience

[www.mpfiltri.com](http://www.mpfiltri.com)

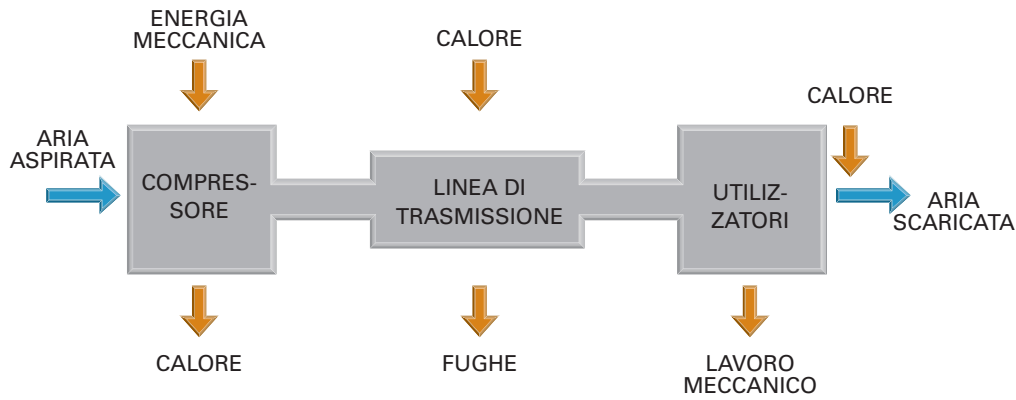


Fig. 1 – Schema generale del sistema dell'aria compressa.

Fig. 2 – Compressori oil-free.



re elettrico viene in parte assorbita e dissipata per attriti vari e resistenze meccaniche, e in parte finisce all'esterno attraverso il calore ceduto dall'aria compressa calda all'ambiente. L'energia che finisce in lavoro meccanico utile nei circuiti elettropneumatici può essere valutata intorno a un 30-40% dell'energia fornita dal motore elettrico.

Una migliore efficienza energetica si ottiene con tecniche di recupero del calore a bassa temperatura prodotto nella compressione. A questo proposito si possono usare diverse metodologie, che vanno dalla produzione di acqua calda con scambiatori di calore, a tecniche di riscaldamento degli ambienti con termoconvettori, all'uso di pompe di calore, al riscaldamento di combustibili e così via. Naturalmente l'utilizzo di tali metodi è tanto più conveniente, quanto maggiore è la potenza in gioco.

Altro fattore importante, che ha riflessi sulla manutenzione e sugli aspetti energetici è la qualità dell'aria prodotta. Aria compressa con vapori o tracce di olio richiede una filtrazione più o meno elevata, e quindi perdite di pressione nei filtri e costi di manutenzione per sorveglianza e gestione dei filtri necessari. Vi sono applicazioni, quali quelle che si riferiscono all'alimentazione di supporti pneumatici e/o all'alimenta-

ria riceve energia meccanica attraverso il compressore azionato da un motore elettrico e cede calore all'ambiente nel raffreddamento che subisce nella centrale di compressione. Cede poi energia meccanica utile agli utenti finali per eseguire il lavoro richiesto e riceve calore dall'ambiente quando viene scaricata all'esterno, ossia quando si espande e si raffredda. Piccoli scambi termici possono avvenire nelle linee di trasmissione in concomitanza di variazioni di pressione. Data questa configurazione l'energia fornita dal moto-

Fig. 3 – Compressore oil-free in laboratorio.



zione di apparecchiature medicali, in cui l'aria deve essere assolutamente pulita. Questa esigenza è ancora più importante se si opera in camere bianche, come avviene nell'industria elettronica della lavorazione del silicio. In tutti questi casi si devono usare compressori del tipo oil-free, ossia compressori totalmente privi di olio sulle parti meccaniche in moto.

Nella foto di figura 2 vi sono alcuni modelli di compressori *oil-free* (Atlas Copco) con rotori a spirali (compressori tipo scroll), utili per applicazioni impegnative o critiche. Questi modelli si prestano bene ad essere usati come generatori locali di aria compressa per applicazioni ben localizzate, come può avvenire nel caso delle apparecchiature biomedicali. In figura 3 è visibile un compressore *oil-free* in un laboratorio.

### Il trasporto dell'aria compressa

Anche nel trasporto dell'aria compressa tra la centrale di compressione e le utenze, bisogna evitare perdite di energia inutili. Le linee devono essere ben dimensionate, con adeguate sezioni di passaggio, costruite con materiali adatti e superfici interne lisce e non aggredibili da umidità o altro.

Oggi i materiali di gran lunga preferiti sono le leghe leggere a base di alluminio e materiali plastici. La costruzione per trafilatura delle tubature garantisce una superficie interna adeguatamente liscia, con ridotte perdite di attrito. Nessuna corrosione è possibile e ciò garantisce anche la garanzia di una buona pulizia per l'aria compressa che transita all'interno dei tubi.

Infine, l'uso di tecniche di assemblaggio efficienti, con collegamenti predisposti con tecniche modulari e di montaggio rapido, l'uso di O-Ring o di altri elementi di tenuta molto efficaci, garantiscono una ottima tenuta ed evitano quelle noiosissime e gravi perdite di aria compressa e di energia ad esse associate, dovute a collegamenti imperfetti. Questi ultimi sono tipici dei collegamenti filettati, usati nel passato, specie se realizzati su tubi di medio/grande diametro. In figura 4 è visibile l'elemento "gomito" di una tubazione per aria compressa in lega leggera (Teseo) con tubazioni collegate trasparenti, che permettono di vedere gli O-Ring interni che effettuano una perfetta tenuta. Nella parte interna del gomito vi è l'elemento angolare che viene fissato ai tubi per garantirne la stabilità strutturale. In figura 5 è riportato un esempio di tubazione modulare, con diversi tipi di componenti collegati in modo dimostrativo (Teseo).

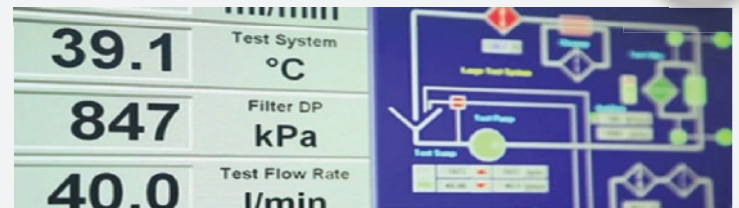
### Risparmiare l'aria recuperandola

Sul tema della gestione dell'energia e del risparmio nei circuiti pneumatici è importante controllare i consumi degli utilizzatori finali (tipicamente i cilindri) e predisporre, ove possibile, dispositivi e tecniche circuitali adatte allo scopo.

Il primo provvedimento da adottare è quello relativo a una scelta corretta del cilindro necessario allo scopo. Un dimensionamento con un cilindro di alesaggio troppo abbondante obbliga a riempire di aria compressa alla pressione di rete volumi inutilmente grandi della camera motrice durante la corsa di lavoro, per poi buttare via all'esterno l'aria accumulata, quando inizia la corsa di ritorno.

Le situazioni peggiori si manifestano nella corsa di rientro quando per movimentare lo stantuffo sono, normalmente, sufficienti pressioni ridotte. Una buona scelta del cilindro, in termini di tipologia e dimensione dell'alesaggio, ed, eventualmente, tradizionali tecniche di limitazione della pressione durante la corsa di rientro sono il primo passo importante.

# R I C E R C A T E S T C O N T R O L L O Q U A L I T À



## IL SEGRETO DEL PRODOTTO IDEALE



### PROGETTAZIONE



### ANALISI



### TEST

### LINEA COMPLETA DI ELEMENTI

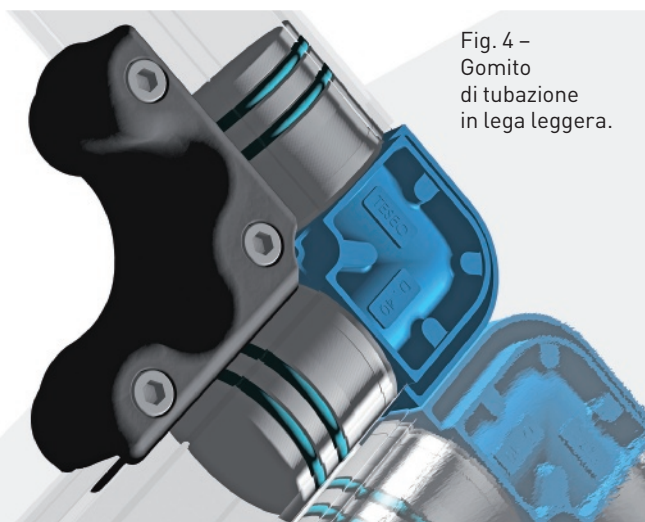


Fig. 4 - Gomito di tubazione in lega leggera.

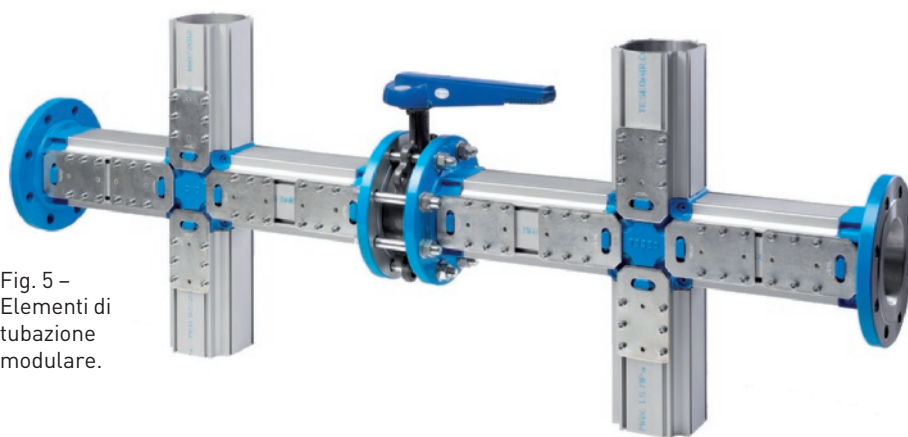


Fig. 5 - Elementi di tubazione modulare.

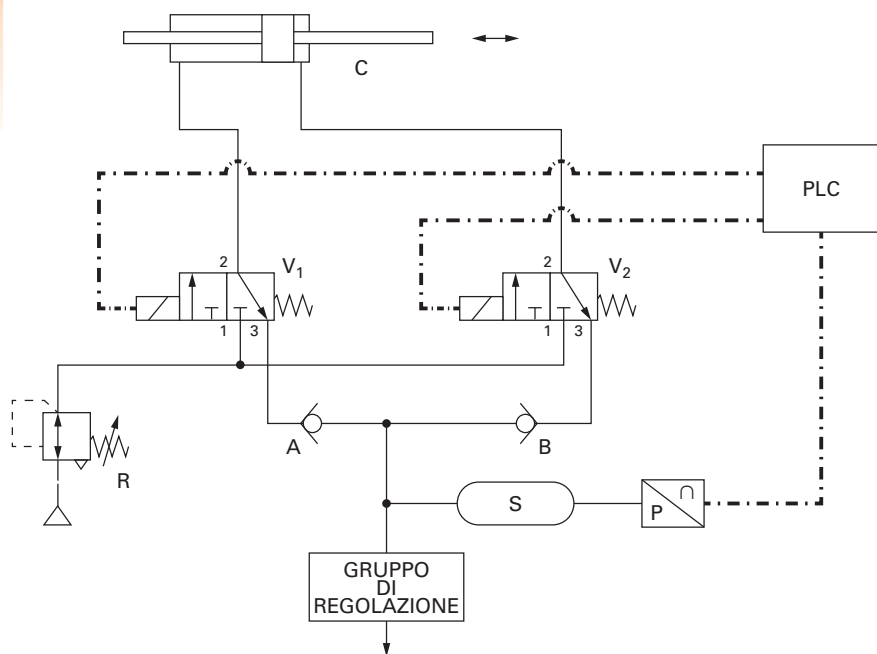


Fig. 6 - Schema di circuito con recupero della pressione di scarico.

A parte queste condizioni, ben note ai progettisti di circuiti pneumatici, le tecniche che è possibile mettere in campo per una riduzione del consumo energetico nei circuiti elettropneumatici finali, sono riconducibili alle seguenti quattro soluzioni:

- Recupero dell'aria compressa in scarico dai cilindri, che viene inviata in appositi serbatoi in pressione, da cui nasceranno nuove utilizzazioni;
- Recupero dell'aria compressa in scarico dai cilindri, inviandola in apposite camere degli stessi cilindri per effettuare corse di ritorno senza spesa di aria compressa;
- Recupero dell'energia cinetica durante le frenate dei cilindri, trasformandola in compressione di aria;
- Riduzione dell'aria inviata nelle camere dei cilindri, utilizzando appositi pneumotrasformatori, che utilizzano aria aspirata esterna, quando la pressione nelle camere dei cilindri è bassa.

La prima soluzione parte dalla considerazione che nel normale esercizio dei circuiti pneumatici l'aria compressa venga scaricata nell'ambiente dopo aver compiuto il movimento richiesto ai cilindri. Si prevede di recuperare parte della pressione inviando l'aria che viene svuotata in un serbatoio in pressione, invece che direttamente allo scarico [1], [2], [3]. Questa soluzione è possibile se la pressione di recupero dell'aria compressa è adeguatamente ridotta rispetto al-

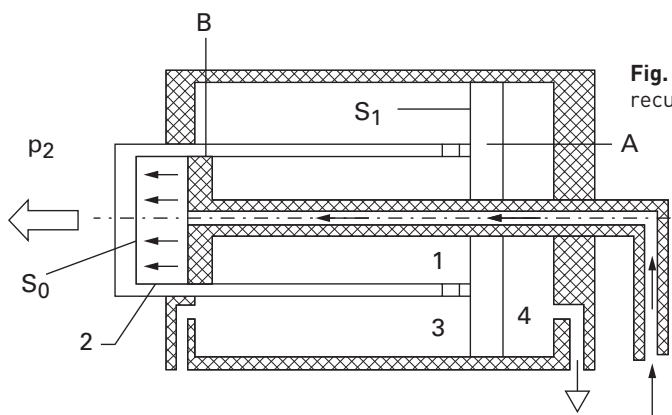
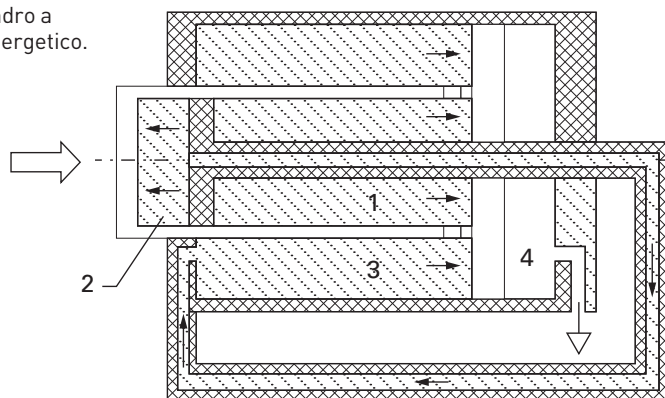


Fig. 7 - Cilindro a recupero energetico.



la pressione di lavoro dei cilindri, per non interferire con la legge di movimento e non cambiare i tempi dei cicli di lavoro. Secondo [1] tale pressione può variare nel campo di pressione relativa 2-5 bar, in funzione delle condizioni operative. Secondo [3] può essere al massimo pari a circa il 50% della pressione di lavoro. In figura 6 a titolo indicativo è riportato un possibile schema di circuito pneumatico con recupero della pressione allo scarico. Il cilindro C è comandato dalle elettrovalvole V1 e V2 alimentate da un riduttore di pressione R. L'azionamento di V1 e il non azionamento di V2 provoca il movimento verso destra dello stantuffo. La condizione complementare delle elettrovalvole produce il moto verso sinistra. L'aria dello scarico dalle camere del cilindro viene accumulata nel serbatoio S attraverso le valvole di non ritorno A e B, che evitano eventuali interferenze tra le elettrovalvole. Un PLC sovrintende alla gestione e monitorizza la pressione nel serbatoio di recupero. Infine, un gruppo di regolazione gestisce l'utilizzo dell'aria recuperata. L'aria recuperata può essere usata per utenze che richiedono pressioni di lavoro più basse rispetto a quella dalla quale si fa il recupero, quali ulteriori circuiti pneumatici o ugelli soffiatori. La seconda soluzione indicata prevede cilindri speciali con apposite camere per il recupero e l'utilizzo della pressione di scarico. Nascono così veri e propri cilindri a recupero energetico [4], [5]. In figura 7 è riportato lo schema di un cilindro di questo tipo. Esso contiene un primo stantuffo A che scorre in una camera di grosso alesaggio ed è solidale anteriormente a un cilindro sporgente esternamente da tutto il gruppo. Tale cilindro ha una superficie interna di spinta  $S_0$ . Entro questo secondo cilindro vi è un secondo stantuffo fisso B, collegato al telaio del gruppo. Questa struttura a due cilindri concentrici determina quattro camere: le camere 1 e 2 sono relative al cilindro più piccolo, le camere 3 e 4 fanno riferimento al cilindro più grande. La camera 4 è lasciata aperta in permanenza con l'atmosfera; la camera 2 è usata per la corsa di fuoriuscita (corsa di lavoro), mentre le camere 1 e 3 sono usate nella corsa di rientro. La corsa di lavoro avviene quando la camera 2 è alimentata a pressione alta attraverso l'asta cava (fig.7a). Nel rientro le camere 1, 2 e 3 sono collegate insieme ed è l'aria accumulata nella corsa di lavoro a provocare il rientro, basandosi su una differenza di superfici di spinta, anche se la pressione è ridotta per la presenza di volumi grandi (fig. 7b). Con un adeguato dimensionamento si possono ottenere forze significative anche nel rientro del cilindro.

In figura 8 vi è lo schema di un circuito pneumatico in grado di recuperare l'energia cinetica posseduta da un cilindro in movimento prima dell'arresto al fine corsa [6]. Lo schema utilizza quattro elettrovalvole a due bocche, delle quali le due esterne (VAS e VBS) servono ad alimentare le camere del cilindro alternativamente dall'alimentazione o da due serbatoi  $R_A$  e  $R_B$ .

La funzione dei serbatoi è la seguente. Quando il cilindro si sposta, ad esempio verso destra, inizialmente la camera A è alimentata e la camera B è in scarico con la valvola  $V_{BR}$ . In prossimità del fine corsa questa elettrovalvola viene chiusa e si attiva la valvola  $V_{BS}$ , che accumula l'aria ancora presente nella camera B nel serbatoio  $R_B$ . La pressione nel serbatoio sale grazie al recupero dell'energia cinetica acquistata dal gruppo mobile del cilindro. Tale pressione può diventare più alta di quella di alimentazione e consente nella prima fase di inversione del moto di muovere lo stantuffo senza bisogno di aria di alimentazione. L'ultima tecnica di recupero energetico indicata prevede l'uso di dispositivi pneumotrasformatori che aspirano l'aria esterna, quando la pressione nelle camere dei cilindri è bas-

# PRESTAZIONI MASSIMA TOP PRODUTTIVITA'



## ASSISTENZA 5 DIVISON COMPLETA AFFIDABILITA'



SERVIZIO CLIENTI IN TUTTO IL MONDO



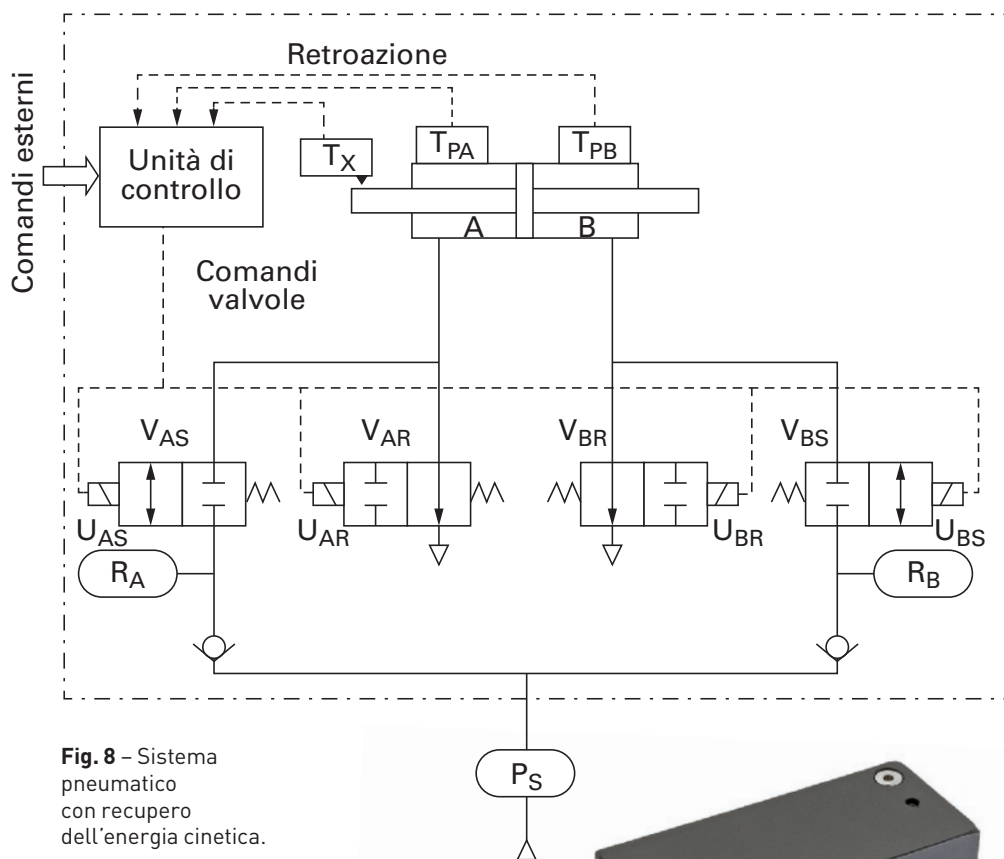
50 ANNI DI ESPERIENZA



SOLUZIONI COMPLETE

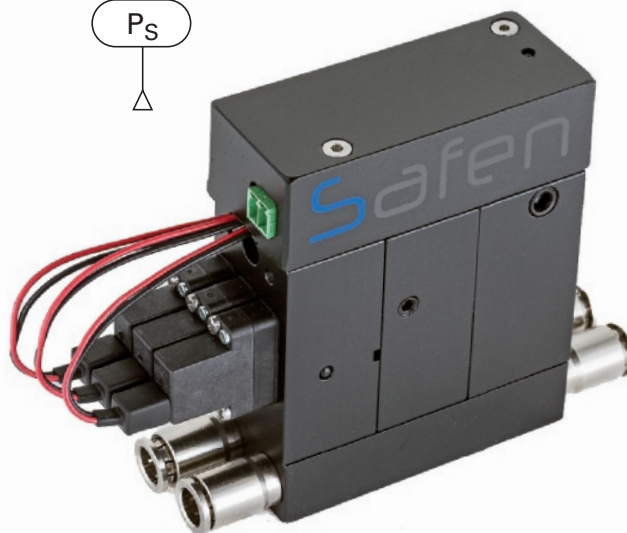
CERTIFICATA





**Fig. 8** – Sistema pneumatico con recupero dell'energia cinetica.

**Fig. 9** – Pneumotrasformatore per il risparmio energetico sui cilindri.



sa. In figura 9 vi è la fotografia di un componente che sfrutta questo principio (modello "Crov" della ditta SAFEN). Si tratta di un dispositivo fluidomeccatronico che si installa fra valvola e cilindro. Necessita solo di una alimentazione elettrica a 24 V e di nessun altro cablaggio elettrico. All'interno vi sono due pneumotrasformatori che gestiscono il riempimento delle due camere del cilindro miscelando l'aria di rete con l'aria della camera opposta a quella di lavoro. Il "Crov" è dotato di sensori e di un emettitore Wi-Fi; in questo modo permette di controllare in real time, su un'interfaccia remota, consumi e salute del cilindro e della valvola asservita. I risparmi, in termini di aria compressa utilizzata nel cilindro, possono arrivare fino all'80%.

## Dispositivi attesi e conclusioni

La concorrenza tra sistemi elettrici e sistemi elettropneumatici sta spingendo l'industria alla ricerca di soluzioni competitive con elevate prestazioni e costi di esercizio conte-

nuti. Su questo punto il consumo di aria compressa, attraverso il suo costo di produzione, è un fattore molto importante per ogni scelta. Oggi i dispositivi e i sistemi pneumatici hanno raggiunto standard qualitativi assolutamente confrontabili con quelli di altre tecnologie e con livelli di affidabilità elevati. L'energia può essere un fattore critico da tenere ben presente. Su questo punto sono già disponibili prodotti e metodologie di intervento ormai consolidate: le soluzioni di risparmio energetico nelle centrali di compressione sono ben note e aspettano solo di essere adottate. C'è ancora una certa aspettativa e spazio per nuove proposte nell'ambito dei circuiti pneumatici. In questo campo è da auspicare uno sviluppo delle soluzioni precedentemente indicate, che hanno trovato buoni risultati dal punto di vista tecnico e che cominciano ad avere, in alcuni casi, adeguati riscontri anche a livello industriale. Il miglioramento dell'efficienza energetica dei circuiti pneumatici ne potrà favorire l'ulteriore sviluppo applicativo.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Mutoh H., Kawakami Y., Hriata Y., Kawai S., *An approach to Energy Conservation in Pneumatic Systems with Meter Out Circuit*, 7th JFPS International Symposium on Fluid Power, Toyama, Settembre 2008, pp. 765-770.
- [2] Blagojevic V., Stojiljkovic M., *Increasing Energy Efficiency of the Execution Part of Pneumatic System in Restoring Energy*, Facta Universitatis, Mechanical Engineering, vol. 6 n.1, 2008, pp. 37-44.
- [3] Cajetinac S., Seslija D., Aleksandrov S., Todorovic M., *PWM Control and Identification of Frequency Characteristics of a Pneumatic Actuator using PLC Controller*, Electronics and Electrical Engineering – Automation, Robotics, Settembre 2012, vol. 7 (123), pp. 21-26.
- [4] Quaglia G., *Nonconventional Energy-Saving Pneumatic Actuator*, 11 Aachener Fluidtechnishes Kolloquium, 8-11 Marzo 1994, Aachen, pp. 75-87.
- [5] Belforte G., *Manuale di Pneumatica*, II edizione, tecniche Nuove, 2005.
- [6] Ferraresi C., Franco W., Quaglia G., Scopesi M., *A Comparison between Traditional and Energy Saving Pneumatic Drives*, The 11th Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP'09, Linköping, 2-4 Giugno 2009.

## Ringraziamenti

Si ringraziano le società Atlas Copco, Teseo e Safen per la fornitura di materiale fotografico.