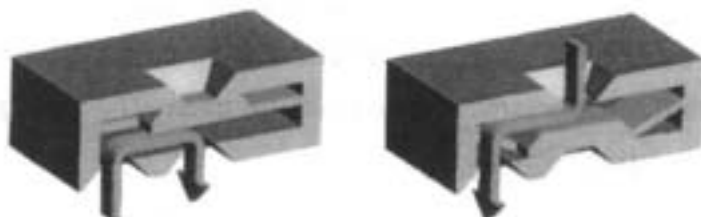


QUALE TECNICA NELLE MICROVALVOLE PNEUMATICHE

I sistemi e i componenti pneumatici miniaturizzati stanno assumendo un'importanza sempre maggiore nel campo dell'automazione industriale per un'ampia varietà di applicazioni che richiedono un'integrazione spinta

La riduzione di massa, volume e consumi energetici ha interessato non solo gli attuatori, dei quali esistono oramai in commercio versioni miniaturizzate con sensori ed elettronica integrati, ma anche le valvole. Esse, infatti, costituiscono un elemento chiave del sistema pneumatico, sia che esplicino funzioni di semplice commutazione on-off, sia che agiscano da elementi di controllo del flusso o da regolatrici di pressione. Con riferimento alle più comuni valvole utilizzate in ambito industriale, ov-



1. Valvola MegaMic: principio di funzionamento.

| ANNO | 1980 | 1997 |
|--------------------------|---------------|--------------|
| Codice della valvola | MCH-4-1/4 | CPV-14-MIH |
| Funzione | 4/2 | 5/2 |
| Taglia nominale [mm] | 6,5 | 6,0 |
| Portata nominale [l/min] | 600 | 850 |
| Consumo energetico [W] | 12 | 0,65 |
| Numero di componenti | 27 | 20 |
| Dimensioni dei raccordi | ?" | 1/8" |
| Dimensioni [mm] | 50 x 50 x 136 | 14 x 58 x 87 |

Tabella 1. Riduzione di ingombri e consumi di valvole pneumatiche tra il 1980 ed il 1997.

vero elettrovalvole a due stadi, con stadio pilota ad azionamento elettromagnetico, la tabella 1 rende l'idea della tendenza evolutiva di questi componenti già tra gli anni '80 e '90. A fronte di una riduzione di volume e consumi nei componenti più recenti pari, rispettivamente, a circa l'80% ed il 95%, le prestazioni in termini di portata risultano migliori [1].

Un'ulteriore apprezzabile riduzione degli ingombri, ovvero il passaggio da componenti miniaturizzati a microcomponenti, richiede la ricerca di principi di azionamento differenti da quello elettromagnetico e l'utilizzo di tecniche costruttive che assicurino una precisione di lavorazione superiore rispetto a quella normalmente accettata nell'industria pneumatica.

Il settore dell'automazione costituisce, quindi, un nuovo potenziale ambito di applicazione delle tecniche di lavorazione tipiche della tecnologia dei microsistemi, quali la microlavorazione tridimensionale o superficiale del silicio, il processo LIGA (Lithographie-Galvanoformung-Abformung, ovvero litografia-elettrodeposizione-stampaggio, con riferimento ai principali passi del processo costruttivo), la deposizione di strati sottili (da poche decine di nm ad alcuni μm) di vapori di metallo, ossidi di metallo, leghe o composti di silicio. Lo sviluppo di microvalvole di tipo MEMS (MicroElectro-Mechanical Systems), sofisticate ed affidabili pur con bassi costi di produzione, è stato fin ora essenzialmente finalizzato al dosaggio controllato di medicinali o ad altre applicazioni in ambito biomedico, nelle quali le pressioni

e le portate in gioco sono ridotte. L'utilizzo di tali microcomponenti in ambito pneumatico richiede, invece, il soddisfacimento di specifiche più critiche, in particolare: pressioni fino a 10 bar; portate superiori a 2 l/min; tempi di risposta dell'ordine di pochi milisecondi: ridotto consumo energetico (dell'ordine dei mW); corretto funzionamento entro un range di temperatura compreso tra -10 e 80 °C; affidabilità nel tempo; alimentazione elettrica standard (24 V); basso costo.

elettrico il sistema si comporta come una capacità. Presenta, tuttavia, dei limiti.

La corsa ottenibile dall'attuatore, infatti, è di qualche mm, per cui non è possibile ottenere portate elevate se non prevedendo uno stadio di amplificazione pneumatico a valle. Inoltre, perché l'attuatore eserciti forze elevate, è necessario applicare tensioni elevate, ma una tensione di scarico eccessiva comprometterebbe l'affidabilità a lungo termine del componente.

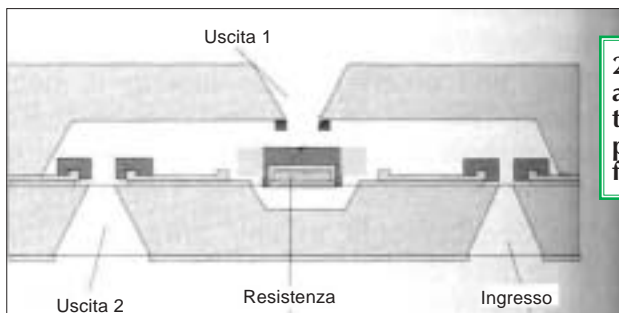
e, quindi, la pressione sull'uscita 2. Il principale vantaggio correlato all'utilizzo di attuatori termici consiste nella possibilità di ottenere corse relativamente elevate (40 mm) e, quindi, gestire portate che rientrano nel campo delle applicazioni pneumatiche standard.

AZIONAMENTO MAGNETICO

Contrariamente a quel che accade con gli azionamenti elettrostatici, gli azionamenti magnetici consentono di ottenere forze degli attuatori ragionevoli pur con basse tensioni di alimentazione.

Gli inconvenienti, in questo caso, sono di natura tecnologica e sono legati all'ingombro difficilmente limitabile delle bobine ed alla necessità di utilizzare ed ottimizzare materiali diversi dal silicio.

In figura 3 è visibile un esempio di mi-



2. Microvalvola ad azionamento termico: principio di funzionamento.

Si esaminano di seguito una serie di prototipi di microvalvole pneumatiche di tipo MEMS, ideati con finalità di utilizzo industriale.

Il principio di funzionamento, basato sulla chiusura od apertura di orifici mediante un attuatore, a ponte o a membrana, è il medesimo; diversi sono, invece, i principi di azionamento adottati.

Vista l'oggettiva difficoltà di rispondere contemporaneamente a tutti i requisiti precedentemente specificati, solo alcuni di tali prototipi hanno effettivamente raggiunto uno stadio di maturità tale da poterli ritenere dei prototipi preindustriali.

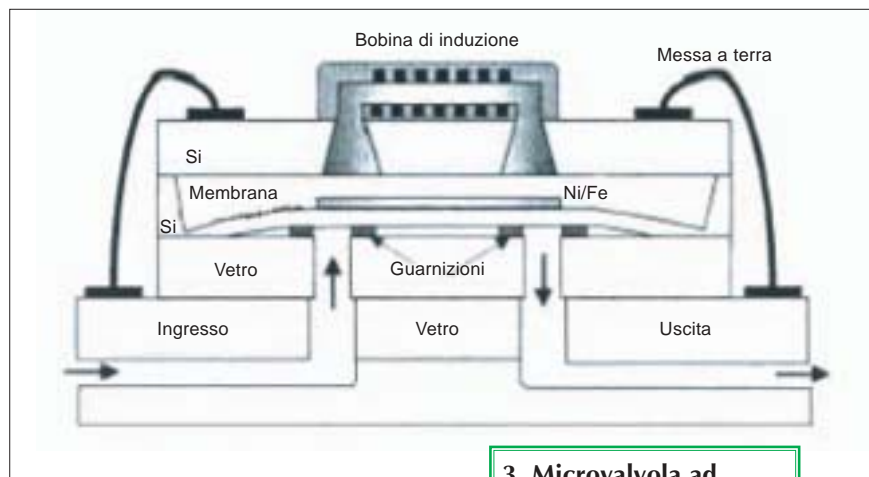
MICROVALVOLE AD AZIONAMENTO ELETTROSTATICO

La microstruttura visibile in figura 1 è relativa ad un prototipo di valvola 3/2, denominato MegaMic, ottenuto mediante tecniche di lavorazione del silicio [2].

L'applicazione di tensione genera un campo elettrostatico tale da inflettere un attuatore di silicio posto all'interno della valvola.

È così possibile modificare le connessioni tra i condotti interni.

Tale principio di attuazione risulta ottimale in termini di riduzione dei consumi energetici, poiché da un punto



3. Microvalvola ad azionamento magnetico.

Non trascurabile è la sensibilità di tali elementi alla contaminazione: un accumulo di cariche nelle parti isolanti impedisce del tutto il funzionamento del dispositivo.

AZIONAMENTO TERMICO

È ad azionamento termico la microvalvola proporzionale in pressione visibile in figura 2.

Un microponte in nichel, doppiamente incastrato e con resistenze integrate, è scaldato fin quando la tensione di compressione entro la struttura diviene tale da provocarne la flessione [3].

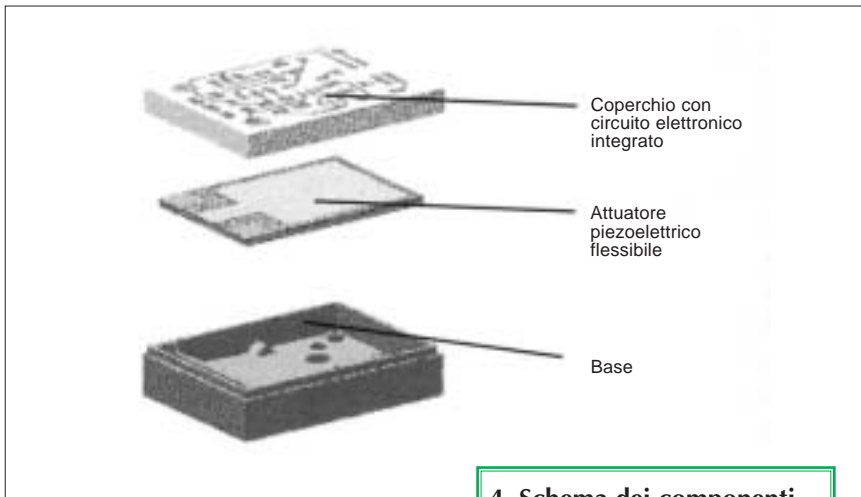
Ne consegue la possibilità di regolare il flusso scaricato attraverso l'uscita 1

crovalvola 2/2 che utilizza tale tipo di azionamento: alimentando la bobina di induzione, montata su una piastra di silicio, si genera un campo magnetico che attrae un disco di Ni/Fe collegato ad una membrana.

Si abilita, pertanto, la connessione tra i condotti di ingresso ed uscita, provvisti di guarnizioni di tenuta [4].

AZIONAMENTO SMA (SHAPE MEMORY ALLOY)

L'utilizzo di materiali a memoria di forma, nei quali ad un riscaldamento per effetto Joule segue l'assunzione di una diversa configurazione, consente di



4. Schema dei componenti di una valvola 3/2 ad azionamento piezoelettrico.

ottenere spostamenti e forze relativamente elevate. Tuttavia, benché esistano numerosi esempi di microvalvole azionate con materiali a memoria di forma utilizzate in campo medico, l'impiego di tali componenti in ambito industriale è ostacolato dall'elevato tempo di risposta.

AZIONAMENTO PIEZOELETTRICO

Per le buone prestazioni dinamiche, gli spostamenti relativamente ampi degli attuatori e le elevate forze sviluppabili, questo tipo di attuazione risulta particolarmente interessante nell'ottica di un'applicazione in ambito pneu-

matico. Sono stati, quindi, effettuati numerosi studi finalizzati a realizzare microvalvole azionate da attuatori piezoelettrici flessibili.

Ancora una volta, lo spostamento dell'attuatore modifica le connessioni tra i condotti interni.

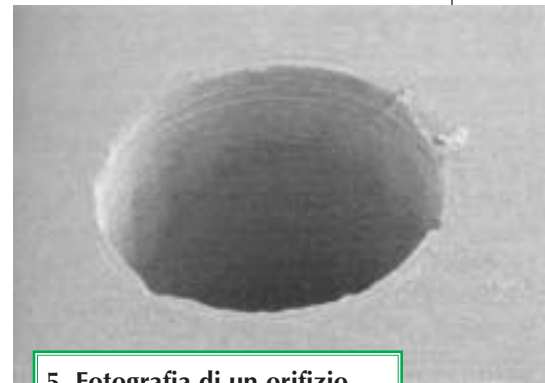
La microvalvola 3/2 [5] schematizzata in figura 4 risulta innovativa per la tecnica costruttiva utilizzata.

A differenza che in altri prototipi, ottenuti mediante microlavorazione tridimensionale del silicio, gli orifizi (e la sede) di questa valvola sono stati ri-

cavati mediante stampaggio di materiale polimerico.

La fotografia di un orifizio, riportata in figura 5, evidenzia l'elevata qualità della lavorazione.

La valvola presenta inoltre una lamina piezoelettrica di attuazione multistrato, dello spessore di circa 10 mm, costituita da più strati di materiale PZT, allo scopo di incrementare spostamenti e forze a fronte di basse tensioni di alimentazione.



5. Fotografia di un orifizio ricavato nella sede della valvola mediante stampaggio.

Il componente, in grado di operare ad elevate pressioni e portate, dotato di buona dinamica ed azionato a 24 V, risponde ai principali requisiti dei sistemi pneumatici standard.

Il costo di produzione risulta, tuttavia, ancora elevato. La tabella 2 consente un confronto immediato dei vantaggi e degli svantaggi connessi alla scelta di ciascun tipo di attuazione [6].

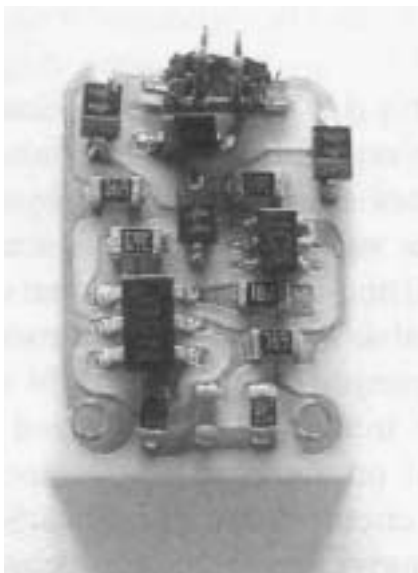
CIRCUITO ELETTRONICO DI PILOTAGGIO

Ai fini di un'applicazione in ambito pneumatico, lo sviluppo di una valvola pilota miniaturizzata sarebbe di scarsa utilità in assenza di un pilota elettronico di dimensioni adeguate.

Nel caso della valvola di figura 4, poiché la tensione di alimentazione standard di 24 V non è sufficiente per un azionamento diretto dell'attuatore, il circuito elettronico integrato nel coperchio (figura 6) realizza una

| PRINCIPIO DI AZIONAMENTO | VANTAGGI | SVANTAGGI |
|--------------------------|---|--|
| Elettrostatico | <ul style="list-style-type: none"> - ridotto consumo energetico - semplice costruzione dell'attuatore - bassi tempi di risposta - stabilità termica | <ul style="list-style-type: none"> - necessità di un'elevata precisione di lavorazione, wafer ad elevata planarità - forze basse - piccoli spostamenti - sensibilità alla sporcizia - necessità di isolamento - alte tensioni - effetti di incollamento, soprattutto in presenza di umidità |
| Termico | <ul style="list-style-type: none"> - semplice costruzione dell'attuatore - forze elevate - basse tensioni | <ul style="list-style-type: none"> - elevato consumo energetico - tempi di risposta elevati - instabilità termica |
| Magnetico | <ul style="list-style-type: none"> - forze elevate - bassi tempi di risposta - tensioni basse | <ul style="list-style-type: none"> - elevato consumo energetico - necessità di un campo magnetico statico - ingombri elevati |
| SMA | <ul style="list-style-type: none"> - forze elevate | <ul style="list-style-type: none"> - elevato consumo energetico (dissipazione termica) - tempi di risposta elevati |
| Piezoelettrico | <ul style="list-style-type: none"> - forze elevate - bassi tempi di risposta - tensioni medie | <ul style="list-style-type: none"> - costo di costruzione |

Tabella 2. Confronto tra diversi principi di attuazione per microvalvole MEMS.



6. Circuito elettronico costruito mediante goffratura a caldo.

rapida conversione in salita della tensione, regolabile fino a 200 V.

I tempi di carico e scarico dell'attuatore sono dell'ordine di pochi millisecondi.

La figura 7 rende l'idea delle dimensioni del componente.

COSA DIRE

Le tecniche di lavorazione mutuata dalla tecnologia dei microsistemi e l'utilizzo di principi di azionamento in-

novativi offrono al settore dell'automazione pneumatica nuove potenzialità. Resta critico il problema della sensibilità delle microvalvole pneumatiche ai fattori ambientali. Variazioni di temperatura, urti, vibrazioni, sporcizia ed umidità dell'aria di alimentazione e dell'ambiente, tipici di un ambito industriale, rischiano di compromettere il corretto funzionamento dei componenti. Diventa, pertanto, fondamentale l'individuazione di una tecnica di assem-



7. Microvalvola piezoelettrica (10x14x5 mm) con circuito elettronico integrato.

blaggio delle microvalvole che sia efficace in termini di protezione dall'ambiente e risulti al tempo stesso economicamente vantaggiosa.

Fino a quando i costi di produzione resteranno elevati, infatti, un'applicazione in ambito industriale non sarà proponibile.

Per la bibliografia rivolgersi all'autore.

C. Visconte, dottoranda in meccanica applicata al Politecnico di Torino.