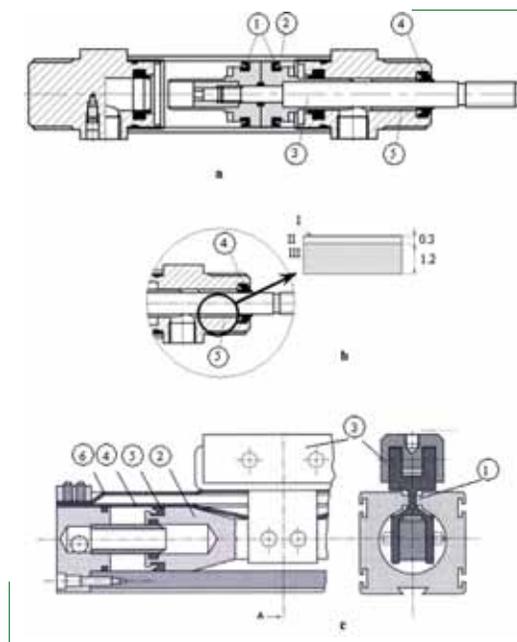


# Le tenute nei cilindri pneumatici

Gli attuatori lineari ad aria compressa, o cilindri pneumatici, hanno diverse tipologie e forme di realizzazione. Ogni tipo di attuatore lineare ha capacità e prestazioni in grado di rispondere a richieste e requisiti che divengono sempre più stringenti ed esigenti. Ciascuna tipologia di cilindro pneumatico è studiata e progettata in modo da rispondere con la massima efficienza ai requisiti richiesti e, per questo, offre spunti specifici alla ricerca, imponendo metodologie di indagine e approcci dedicati.

In questo lavoro si illustrano metodi per lo studio di due tipologie di cilindri sottoposti a condizioni di lavoro gravose, in grado, se non affrontate con specifiche tecniche, di portare precocemente alla messa fuori servizio dell'attuatore. Gli aspetti studiati e descritti in questo lavoro riguarderanno la durata di cilindri pneumatici lineari, sottoposti a carico radiale, e la tenuta e le fughe in cilindri senza stelo con lamina metallica di tenuta.

In cilindri pneumatici comuni la presenza di carichi con una componente radiale sullo stelo e la necessità di applicazione di carico non convenzionale, come nel caso di cilindri senza stelo, rende più gravose le condizioni di lavoro degli attuatori. Nella maggioranza delle realizzazioni commerciali, gli attuatori prevedono dispositivi di guida (generalmente costituiti da pattini e boccole in materiale autolubrificante) che, montati sullo stantuffo e sulla testata an-



**1. I cilindri studiati: cilindro convenzionale (a); particolare della boccola di guida nella testata anteriore di un cilindro convenzionale (b); sezione longitudinale e trasversale di un cilindro senza asta (c).**

teriore, assorbono le spinte radiali riducendone l'effetto sulle guarnizioni di tenuta. La necessità di definire e valutare le prestazioni di cilindri pneumatici, in termini di affidabilità e durata, è testimoniata da diverse norme che riguardano la vita di cilindri pneumatici con indicazioni di metodologie di prova [1, 2, 3]. I

Il ruolo delle tenute, in due tipologie di cilindri pneumatici, sulla durata operativa e la messa fuori servizio del cilindro.

In particolare, si evidenzia il comportamento di cilindri pneumatici convenzionali sottoposti a carichi radiali e di cilindri senza stelo con lamina di tenuta metallo su metallo.

Alcune sorprese

metodi indicati dalle norme non considerano il tipo di applicazione o la severità delle condizioni operative; inoltre, nulla è detto a proposito del cedimento delle guarnizioni e degli elementi striscianti. Per superare le limitazioni delle normative, i maggiori costruttori del comparto pneumatico e diversi centri di ricerca hanno analizzato metodologie e tecniche sperimentali per definire la durata di attuatori. Un metodo generale, proposto in [4-7], consente di valutare la vita operativa di attuatori pneumatici lineari, con particolare attenzione alle guarnizioni di tenuta striscianti e alla boccola guida dello stelo.

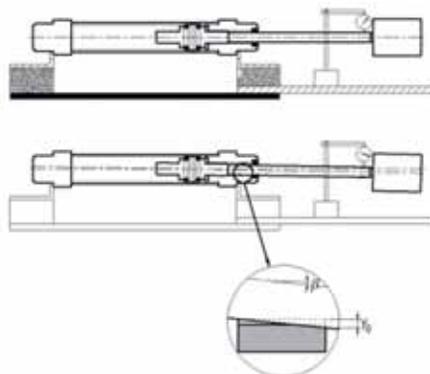
In specifiche applicazioni, sono impiegati i cilindri senza asta [8-10]. Questi sono attuatori pneumatici che muovono carichi collegati a slitte lineari su corse anche lunghe, con significativo vantaggio di ingombro. Tra le varie realizzazioni possibili (cilindro con fune, cilindro con accoppiamento magnetico, cilindro con tubo flessibile, ecc.) la soluzione con canna scanalata e lamina di tenuta ha avuto larghissima diffusione, soprattutto per la sua robustezza. Per contro la tipologia di cilindro senza asta, qui considerata, risulta complessa e costosa, dovendo integrare elementi costruttivi di precisione.

Questo vale sia per quanto si riferisce ai supporti di guida delle slitte, che devono rispondere a esigenze di moto senza gioco e in grado di resistere a momenti flettenti e torcenti nominali, sia per quanto si riferisce agli elementi connessi al movimento del dispositivo pneumatico di azionamento.

Per il primo punto si ricorre a supporti in materiali sintetici che non richiedano lubrificazione e a supporti con elementi a rotolamento. Il secondo punto si riferisce al meccanismo fondamentale di trasmissione del moto dallo stantuffo alla slitta e alla tenuta realizzata con guarnizioni e lamina. Queste ultime problematiche sono poco note e hanno avuto scarsa attenzione nella letteratura tecnica.

### La tenuta: un tema centrale nei cilindri pneumatici

In questo lavoro sono state definite e sviluppate metodologie di prova per individuare condizioni in cui, a causa della tipologia di carico e condizioni di usura, attuatori pneumatici lineari convenzionali e senza stelo raggiungono con-



**2. Il banco prova per la misura dell'usura della boccola di guida nella testata anteriore: fotografia del banco con i cilindri caricati radialmente da un peso (a); schema di prova per la valutazione dell'usura della boccola con la misura dell'abbassamento dello stelo con un comparatore di precisione (b).**

dizioni di perdita di tenuta.

In figura 1 sono rappresentate le due tipologie di cilindri le cui prestazioni sono oggetto di indagine in questo lavoro. In figura 1a si vede una sezione di un cilindro comune. Esso ha alesaggio 50 mm e corsa 250 mm ed è classificato Iso 15552. Nella sezione si individuano le guarnizioni di tenuta (1), montate sullo stantuffo che evitano perdite di aria compressa tra le camere; la controparte strisciante è rappresentata dalla canna del cilindro (2), montata tra le testate an-

**3. Fotografie di boccole di guida alloggiate nella testata anteriore: boccola integra (a); boccole usurate (b, c).**



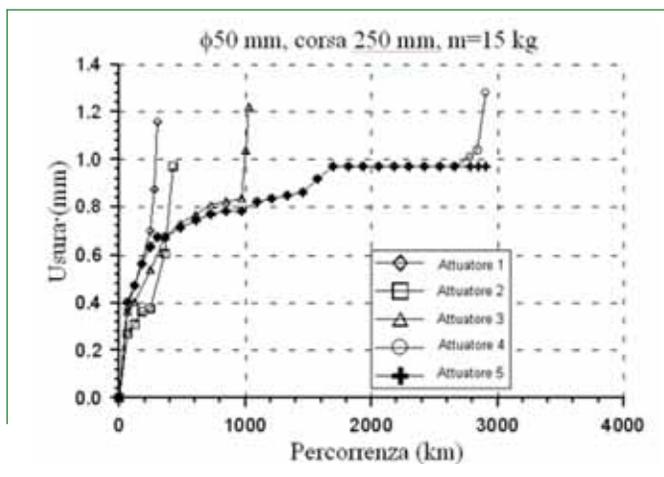
teriore e posteriore. La guarnizione di tenuta (4), che agisce sullo stelo (3), evita perdite di aria compressa dalla camera anteriore verso l'ambiente esterno. La boccola (5) permette di guidare il moto lineare del gruppo mobile (stelo-stantuffo) e di sostenere i carichi applicati dall'esterno sullo stelo. In questo cilindro sono utilizzate tenute a labbro con ingrassaggio a vita. In figura 1b è rappresentato un dettaglio della testata anteriore del cilindro ed una sezione schematica della boccola di guida dello stelo; sono visibili la guarnizione di tenuta (4) e la boccola di guida (5). A destra è indicato un dettaglio schematico relativo agli strati di materiale costituenti la boccola stessa: lo strato I, direttamente a contatto con lo stelo, è un sottile riporto in teflon dello spessore di circa 10 mm; lo strato II è costituito da bronzo poroso impregnato di teflon e piombo (spessore 0,3 mm circa); lo strato III è costituito da acciaio (spessore 1,2 mm circa). In figura 1c è riportata una sezione longitudinale e trasversale di un cilindro senza asta; come si può notare la canna del cilindro ha una scanalatura longitudinale (1) che permette il collegamento tra lo stantuffo (2) e il carrello esterno (3) a cui sarà ancorato il carico. Per evitare perdite di aria compressa la scanalatura è chiusa da una lamina metallica interna (4), nella zona non impegnata dallo stantuffo. Per permettere la trasmissione all'esterno della forza prodotta dall'aria compressa sullo stantuffo, la lamina attraversa lo stantuffo con un percorso interno che permette il collegamento tra stantuffo e slitta. La tenuta sullo stantuffo è realizzata con guarnizioni a labbro (5) che si appoggiano anche sulla superficie interna della lamina. Un'altra lamina esterna (6) ricopre la scanalatura evitando l'ingresso di impurità e corpi estranei preservando il buon funzionamento dell'attuatore.

Le condizioni critiche analizzate sperimentalmente in questo lavoro hanno riguardato il comportamento dei cilindri con-

venzionali, sottoposti a moto continuo di fuoriuscita e rientro e all'azione di un carico anche radiale applicato allo stelo, e i cilindri senza asta per quanto riguarda l'efficienza della tenuta in condizioni statiche.

Le prove sono state realizzate su cilindri convenzionali caricati radialmente, secondo lo schema di prova indicato nelle normative [1, 2, 3], ma con carichi di maggiore intensità; questo al fine di realizzare prove di vita accelerate. La procedura di prova definisce la pressione di alimentazione, le condizioni di filtraggio, la velocità e l'entità del carico dello stelo. In figura 2 è rappresentata l'attrezzatura sperimentale utilizzata. In figura 2a è rappresentato lo schema di prova e in figura 2b si vede una fotografia del banco. Il cilindro è ancorato rigidamente a un telaio, mantenendo l'asse in posizione orizzontale; il carico radiale (massa  $m$ ) è applicato all'estremità dello stelo. Le prove consistono nell'esecuzione di corse complete di andata e ritorno dello stelo, registrando la distanza percorsa, finché le tenute non sono più in grado di prevenire le perdite. Il movimento del cilindro è controllato da un circuito elettropneumatico. Le condizioni di prova sono: aria secca, filtrazione di 40 mm, pressione di alimentazione di 6,0 bar, velocità media dello stelo di circa 0,3 m/s. Ogni gruppo di cilindri conta da cinque a sette elementi. I carichi radiali utilizzati sono di 10 kg e 15 kg; la corsa utilizzata e i carichi adottati si riferiscono a condizioni più gravose rispetto a quelle definite dalle normative.

La messa fuori servizio dei cilindri pneumatici è causata principalmente dal cedimento della boccia di guida, conseguentemente al contatto strisciante sullo stelo, e dalla diminuzione di efficienza delle guarnizioni di tenuta. In alcuni casi, smontando la boccia di guida dalla testata, si è osservata la completa asportazione di materiale nella zona di maggior sollecitazione, come si vede in figura 3. In figura 4 si vede il grafico che riporta l'avanzamento dell'usura sulla boccia anteriore al procedere della vita del cilindro sotto l'azione di un carico radiale di 15 kg. I possibili rimedi per evitare questa tipologia di danneggiamento possono essere una riduzione del carico radiale, l'uso di migliori condizioni di ingrassaggio, la modifica del progetto del cilindro con l'uso di bocce in materiali più idonei o di trattamenti superficiali su parte e controparte



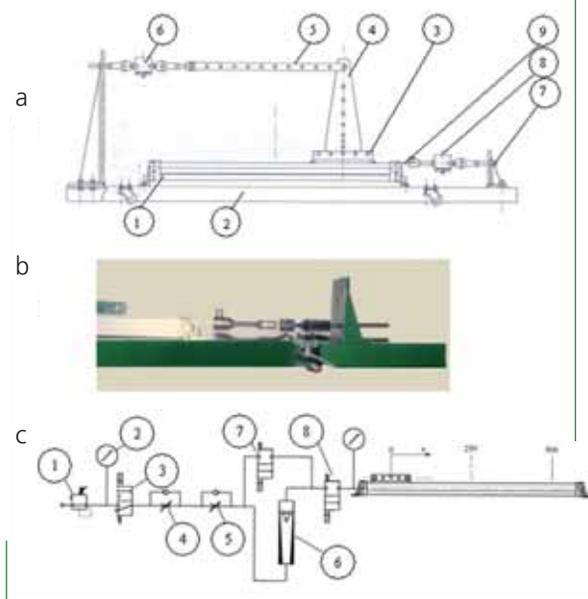
**4. Grafico dell'andamento rilevato per l'usura della boccia di guida anteriore al procedere della vita del cilindro.**

**5. Il banco prova realizzato: schema del banco (a); fotografia della zona di pretensionamento della lamina (b); circuito pneumatico per il rilievo delle fughe (c).**

(boccia e stelo) atti a migliorare la resistenza all'usura (ricoprimenti o testurizzazioni).

Da un'analisi generale del funzionamento dei cilindri senza asta, un primo punto critico nel comportamento della lamina è risultato relativo alla capacità di tenuta dell'aria compressa e alla limitazione delle fughe di aria all'esterno. Un secondo importante aspetto è relativo alle azioni resistenti dovute agli attriti nel contatto tra guarnizioni e lamina. Per analizzare il comportamento della lamina e valutare l'influenza dei parametri operativi più importanti, è stata condotta una indagine sperimentale con un banco prova appositamente progettato. Il banco prova consente di caratterizzare il comportamento di cilindri senza asta di diverse taglie, con alesaggio da 25 mm a 63 mm, e corsa fino a 500 mm.

Il banco prova realizzato è rappresentato in figura 5. In figura 5a si ha uno schema del banco: il cilindro in prova (1) è ancorato al basamento (2); il carrello (3) viene posizionato mediante il sistema di bloccaggio rappresentato dalla staffa (4) e dall'asta (5) il cui carico è rilevato dal trasduttore di forza (6). La staffa (4) e l'asta (5) possono essere collegate in modo tale da variare il momento di beccheggio sul carrello variando il solo braccio del carico. L'accoppiamento vite-madrevite (7) permette di imporre un carico di tensionamento, rilevato dal trasduttore (8), sul-



la lamina di tenuta (9). In figura 5b si vede una fotografia del dispositivo per il tensionamento della lamina di tenuta del cilindro. In figura 5c si ha il circuito pneumatico utilizzato per rilevare le perdite. L'aria compressa è regolata tramite il riduttore di pressione (1), il manometro (2) rileva la pressione di monte dell'intero circuito che può essere sezionato dalla valvola (3). I due regolatori di flusso unidirezionali (4) e (5) permettono rispettivamente di regolare lo scarico del circuito e di pressurizzare gradualmente il circuito stesso.

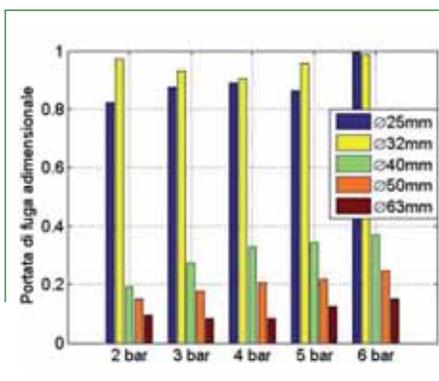
La misura della portata avviene tramite il misuratore di portata a galleggiante (6). La valvola (7) permette la messa in pressione del cilindro in prova evitando che l'aria compressa, durante

questa operazione, attraverso il misuratore di portata di precisione; la valvola (8) permette di isolare il cilindro per effettuare il rilevamento della portata di fuga anche mediante la metodologia di svuotamento di una capacità di volume noto.

Durante le prove sono stati fatti variare i seguenti parametri: pressione di alimentazione; alesaggio degli attuatori; posizione del carrello lungo la corsa; momento di beccheggio applicato al carrello; tensionamento della lamina; tipo di lamina; tipologie di guarnizioni di tenuta montate sullo stantuffo.

Un effetto rilevante sulla portata di fuga è dovuto alla taglia degli attuatori; per valutare tale effetto sono stati provati attuatori di diverso alesaggio, alimentati a diverse pressioni di alimentazione.

I risultati delle prove sono riportati nell'istogramma di figura 6, per diverse pressioni di alimentazione e per diversi alesaggi. La portata di fuga riportata è stata adimensionaliz-

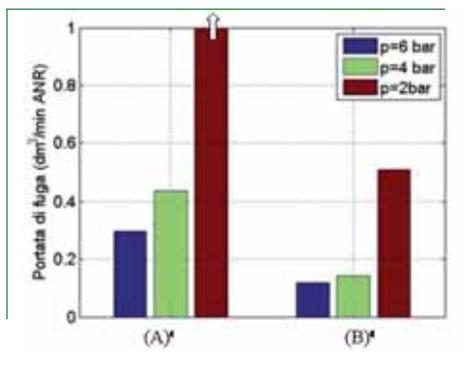


**6. Portata di fuga adimensionalizzata rispetto alla massima rilevata, in funzione della pressione di alimentazione per cilindri senza asta di alesaggi diversi.**

zata rispetto al valore massimo rilevato. Si vede dal grafo come, sulla portata di fuga, la pressione di alimentazione sia praticamente ininfluente, mentre l'alesaggio ha un effetto evidente.

Elemento essenziale per l'efficacia della tenuta in questi cilindri è la natura della lamina di tenuta e, in particolare, la sua geometria a contatto con la superficie interna della canna.

In figura 7 si riportano le portate di fuga rilevate in cilindri senza asta con alesaggio da 50 mm e corsa 500 mm; il momento appli-



**7. Portata di fuga per due diverse lamine: lamina spessa e bordo squadrato (A), lamina sottile e bordo arrotondato (B), cilindri senza asta di alesaggio 50 mm.**

cato alla slitta è di 122 Nm. La portata riferita nell'istogramma è un valore medio delle portate misurate nelle diverse posizioni del carrello lungo la corsa. La guarnizione utilizzata è in NBR.

Nel grafico si confronta l'effetto sulle perdite dell'attuatore di due tipologie di lamina: una spessa con bordo squadrato (A) e una sottile con bordo arrotondato (B); la seconda è in grado di provocare perdite di gran lunga minori. Nell'istogramma, la portata di fuga con pressione relativa di alimentazione di 2 bar, con lamina spessa, supera il valore di 1 dm<sup>3</sup>/min Anr.

## Conclusioni

Le tipologie di cilindri considerate, seppur diverse, hanno evidenziato come le tenute siano fondamentali per il corretto funzionamento del cilindro. Inoltre, le prove realizzate mettono in luce come la vita dei cilindri e l'efficienza delle tenute dipendano in modo importante dalla modalità di applicazione del carico e dalle contromisure messe in atto al fine di evitare che le gravose condizioni di funzionamento portino ad una rapida messa fuori servizio dell'attuatore.

La bibliografia è disponibile presso gli autori.

*A. Manuello Bertetto, dipartimento di Ingegneria meccanica Università degli Studi di Cagliari – L. Mazza, dipartimento di Meccanica Politecnico di Torino.*