

MOTO DEL FLUIDO NELLE VALVOLE A SFERA

Quali sono gli effetti dinamici indotti dal moto del fluido nelle valvole a sfera? Un approfondito studio rivela particolari interessanti e soluzioni tecniche innovative

Come noto, le valvole a sfera sono organi di intercettazione per fluidi (liquidi od aeriformi) e vengono azionate in modo manuale o automatico, a seconda degli utilizzi. L'organo otturatore sferico, mediante una rotazione di 90°, intercetta il fluido realizzando le condizioni di interruzione off o di completa apertura on.

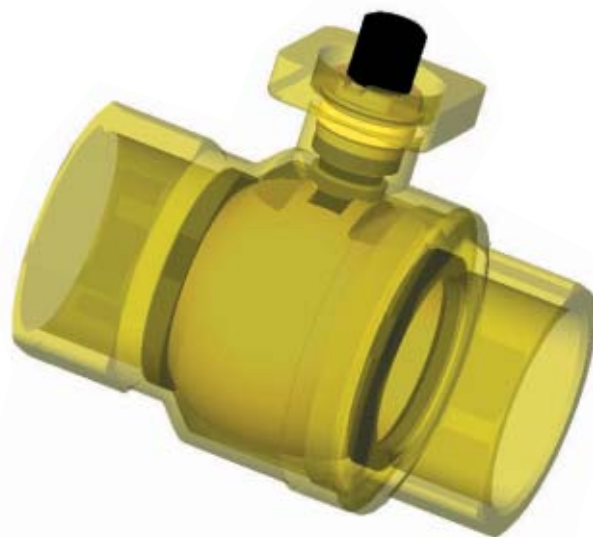
L'otturatore è inserito all'interno della valvola, ed è 'schiacciato' contro due sedi laterali di forma toroidale, collocate lateralmente alla sfera stessa, le quali hanno il compito di garantire la tenuta (ossia la mancanza di trafilemento) allorché la valvola, posta in posizione di chiusura, debba consentire l'interruzione totale (o comunque con valori di perdita residua all'interno dei valori dettati dalle normative tecniche di riferimento) del fluido.

Nel contempo, la tenuta della valvola verso l'esterno è assicurata da opportune guarnizioni appositamente montate sul perno.

Gli attriti che si sviluppano tra i vari organi interni della valvola (perno con tenuta e corpo, sfera e sedi di tenuta laterale) danno il contributo maggiore alla coppia necessaria per la rotazione della sfera (operazione chiamata in gergo manovra). Tale coppia, utilizzando guarnizioni O-ring in elastomero per le tenute del perno, come generalmente accade, può essere assai elevata.

LE CARATTERISTICHE

Di fatto, i parametri funzionali maggiormente significativi per una buona valvola a sfera sono i seguenti: una bassa coppia di manovra nelle diverse condizioni di esercizio; un'elevata vita utile, intesa come il massimo numero di cicli di apertura/chiusura dell'organo otturatore, che la valvola è in grado di sopportare senza perdite o alterazioni sensibili della sua manovrabilità; una buona resistenza agli effetti del colpo d'ariete, a cui le val-



vole a sfera sono particolarmente esposte durante le operazioni di chiusura; un'elevata stabilità strutturale delle guarnizioni, particolarmente quando queste sono sottoposte a fenomeni cavitanti che si sviluppano in alcune condizioni del regime di moto.

Le sopracitate caratteristiche, di per sé importanti per una valvola comandata manualmente, divengono essenziali allorché la valvola sia azionata da un attuatore. In tal caso, infatti, le dimensioni e la tipologia dell'attuatore (quindi la sua complessità e il relativo costo) sono strettamente correlati ai valori della coppia di manovra; il numero di azionamenti di un attuatore raggiunge, nella maggioranza dei casi, valori di gran lunga più elevati (da 5 a 15 volte) rispetto alla vita utile della valvola; gli effetti dinamici sui componenti, concomitanti al fenomeno del colpo d'ariete che si manifesta a causa di una chiusura repentina indotta dall'attuatore, sono di grossa entità.

ALCUNE PROPOSTE DEL MERCATO

Per quanto attiene alle sedi laterali di tenuta, le soluzioni normalmente reperibili sul mercato prevedono l'utilizzo di:

- sedi laterali in Ptfе, che per garantire un'adeguata tenuta nel tempo devono essere schiacciate con forza sulla superficie della sfera dando luogo a copiose forze di attrito, con conseguenti generosi dimensionamenti delle motorizzazioni degli attuatori. La vita utile della valvola, inoltre, a causa dell'inevitabile degrado della guarnizione dovuto agli ingenti carichi di schiacciamento, difficilmente supera i 15.000 cicli in esercizio (in effetti i valori cambiano a seconda delle dimensioni, delle pressioni, delle temperature e delle caratteristiche del fluido e del moto);
- sedi in gomma, che non sono idonee a garantire adeguate pressioni nominali in esercizio, sufficiente resistenza e durata agli effetti del colpo d'ariete, oltre che un'opportuna resistenza all'estrazione per cavitazione. Infatti, in presenza di particolari condizioni di esercizio, i campi di moto, nel dominio fluido delimitato allorché la sfera è prossima alla chiusura (70-82° circa) e i meati di passaggio sono sufficientemente piccoli, possono raggiungere valori della velocità particolarmente elevati. In tali condizioni la pressione raggiunge valori negativi localizzati in porzioni di spazio ridotte. Tali azioni depressive sono in molti casi in grado di estrarre le guarnizioni dagli alloggiamenti, allorché esse non siano stabilmente vincolate. Le guarnizioni in gomma non sono vincolabili stabilmente con interferenza negli alloggiamenti, a causa della stessa natura della gomma;
- sedi in Ptfе dotate di una guarnizione in elastomero, generalmente conformata tipo O-ring, introdotta meccanicamente nella parte posteriore della sede stessa.

Anche in questo caso, le problematiche sono riconducibili a quelle tipiche del punto precedente. In queste soluzioni, inoltre, la cavitazione è presente e insidiosa, sovente produce effetti che compromettono irrimediabilmente la funzionalità della valvola.

UNA SOLUZIONE

La società Enolgas Bonomi ha sviluppato e brevettato una soluzione, denominata Swift O Matic che risolve le problematiche sopra esposte offrendo una valvola a sfera a bassa coppia di manovra, dalla vita sorprendentemente lunga, esente dalle problematiche dovute agli effetti cavitanti in presenza di regimi di moto gravosi.

Si tratta di una valvola a sfera in ottone, dotata di flangia Iso idonea per la connessione alle motorizzazioni elettriche e pneumatiche, e destinata ad utilizzi con acqua, aria e fluidi in generale inerti (non aggressivi chimicamente).

La valvola Swift O Matic ha offerto lo spunto per eseguire un interessante studio mirato alla determinazione delle azioni indotte dal fluido sulla sfera in termini di coppia di rotazione, e azioni destabilizzanti indotte dal fluido sulle guarnizioni laterali, essenzialmente dovuti alla cavitazione.

Lo studio è stato condotto per via teorica mediante un codice di calcolo agli elementi finiti (CF Design 6.0), in collaborazione con il Dipartimento di ingegneria meccanica dell'Università di Padova, e per via sperimentale mediante un opportuno impianto di prova di cui l'azienda è dotata, prendendo in considerazione fluido acqua alla temperatura di 20 °C. Impurità o altri agenti estranei al fluido non sono stati considerati. Le misure sono state condotte su una valvola da 2".

In funzione dell'angolo di rotazione dell'organo otturatore sono stati misurati i valori della portata volumetrica passante attraverso la valvola, i quali sono riportati nella tabella a fianco.

Da notare che la pressione di ingresso alla valvola è stata mantenuta, ove possibile, costante e pari a 4 bar.

Per gli angoli di rotazione più elevati, ossia alle portate minori, la pressione di ingresso era via via crescente in ragione della curva caratteristica della turbo-pompa azionante il circuito di prova e dell'impossibilità di regolare oltre un certo limite la valvola a saracinesca posta a monte della sezione di prova.

LA COPPIA DI ROTAZIONE

I valori delle coppie di rotazione indotte sulla sfera/perno sono state calcolate partendo dalle condizioni

GRADI DI ROTAZIONE DEL PERNO	PORTATA M ³ /H	PRESSIONE DI INGRESSO BAR
0°	25.8	4
9°	25.4	4
18°	25	4
27°	24.5	4
36°	23.7	4
45°	21.5	4
54°	19.4	4.2
63°	16.9	4.6
72°	8	5
81°	2	5.2

di prova (portata e pressione) riportate nella tabella precedente, ricavate in funzione dell'angolo di rotazione del perno.

Tali valori rappresentano le più comuni ed usuali condizioni di utilizzo dal momento che, molto raramente, velocità superiori ai 3-5 m/s vengono utilizzate negli impianti con acqua.



Domini fluidi in funzione della rotazione della sfera.

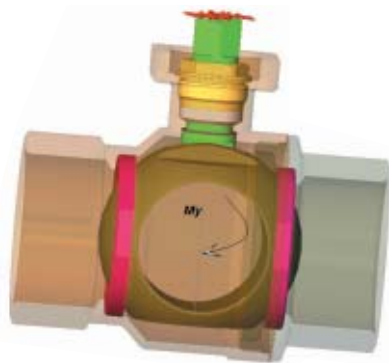
Al crescere delle velocità, infatti, aumentano le perdite di carico lungo le tubazioni, e si fanno più intensi gli effetti derivanti da possibili colpi d'ariete nell'impianto premente, gli effetti erosivi sulle superfici lambite dal fluido, nonché il rumore indotto dalla turbolenza e dall'eventuale cavitazione.

Lo studio teorico è stato condotto analizzando il campo di moto che ha luogo nel dominio fluido delimitato dalle pareti della valvola, dalla se-

zione di monte e dalla sezione di valvole, al variare dell'angolo di rotazione.

La sfera della valvola (avente le dimensioni di 2 pollici), rappresentata in figura, è stata ruotata progressivamente dallo stato di on a quello di off per frazioni uguali di angolo retto (vedere tabella dati della pagina precedente).

Il campo di moto è stato risolto in 3D con riferimento a tutte le posizioni della sfera. Per effetto delle azioni dinamiche che si creano al passaggio dell'acqua all'interno della valvola, concomitanti a complessi fenomeni di distacco dello strato limite (soprattutto con sfera prossima alla posizione off), vengono indotte sulla sfera tre coppie. La coppia che inte-



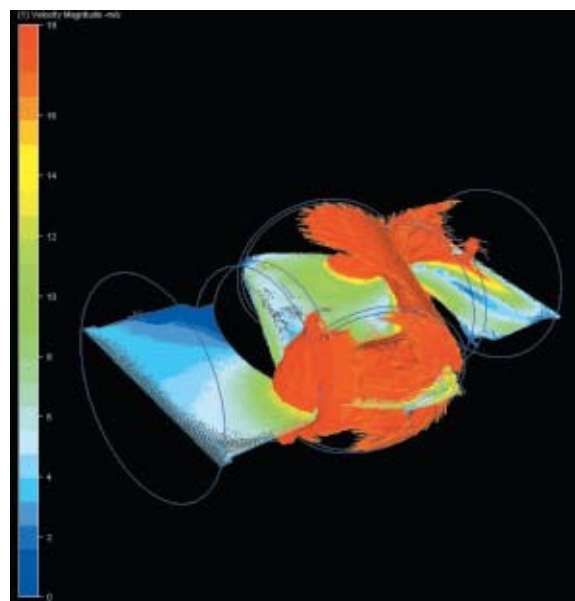
Coppia sulla sfera.

ressa maggiormente il nostro studio è evidenziata nel disegno seguente; essa è indicata con My. Tale coppia è opponente o concorrente a quella imposta dall'attuatore a seconda del senso di rotazione.

LA TURBOLENZA

Gli effetti di turbolenza sono evidenziati a titolo di esempio nelle figure di seguito riportate. Tali effetti sono maggiormente evidenti allorché la sfera si trova in una posizione prossima all'apertura o alla chiusura. Nel grafico in alto a destra è riportato l'andamento della coppia resistente totale, rilevato numericamente, il quale condiziona la scelta della motorizzazione più adeguata. Poiché l'assieme valvola più attuatore Swift O Matic è stato dimensionato sulla base dei valori della coppia allo spunto delle valvole, e poiché tale coppia è più alta del valore addizionale imputabile agli effetti

fluidodinamici, si deduce che l'accoppiamento scelto per le applicazioni standard è soddisfatto con margine di sicurezza pari a 45% nel caso di attuatore elettrico heavy duty, e di 60% nel caso di attuatore pneumatico alimentato con aria a 6 bar. Tuttavia possono verificarsi casi eccezionali, nei quali le velocità imposte al fluido risultino maggiori di



Moto vario/turbolento. La velocità determina un campo vettoriale vario, caratterizzato da gorgi e riflussi.

quelle riportate nell'esempio precedente. In tali casi, tutti gli effetti indesiderati dovuti all'incremento di velocità aumentano di intensità, con conseguente e più rapido deterioramento della valvola e della motorizzazione.

All'aumentare della velocità, aumentano infatti l'erosione delle superfici lambite del fluido e gli effet-

ti deprimogeni, questi ultimi essendo in grado, in alcuni casi limite, di estrarre le guarnizioni di tenuta laterali dagli alloggiamenti ricavati nel corpo e nel manicotto della valvola. Di seguito sono riportati i risultati della simulazione numerica effettuata nel caso di velocità del fluido doppie rispetto al caso precedente. I parametri percentuali di riduzione

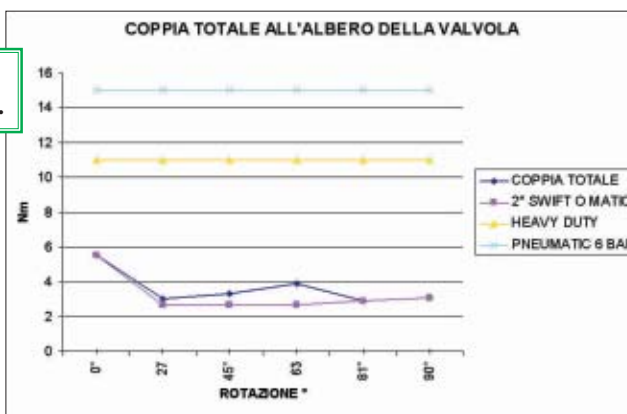
della portata in funzione dell'angolo di rotazione della sfera sono stati considerati inalterati.

In tal caso, dal grafico successivo si può verificare come la coppia resistente totale aumenti per valori dell'angolo di rotazione del perno prossimi a 60°. In questa circostanza, il margine di sicurezza dell'accoppiamento scende dal 45% al 25% per accoppiamento con motore elettrico heavy duty e dal 60% al 45% nel caso di attuatore pneumatico (6 bar). Tali margini, di fatto, possono ulteriormente

ridursi in presenza di impurità e sporcizia nell'acqua.

Inoltre nelle porzioni angolari comprese tra 30° e 65°, dove l'influenza del moto del fluido è più intensa, l'azione frenante della valvola non è in grado di assorbire l'effetto esterno di rotazione, in virtù del fatto che la valvola possiede una bassa coppia di manovra. Pertanto, buona parte del-

Grafico delle coppie indotte.



la coppia esterna viene trasmessa all'albero dell'attuatore.

Aumentando ulteriormente la velocità del fluido, e quindi la portata per

GRADI DI ROTAZIONE DEL PERNO	PORTATA M ³ /H	PRESSIONE DI INGRESSO BAR
0°	51.6	6
9°	50.8	6
18°	50	6
27°	49	6
36°	47.4	6
45°	43	6
54°	38.8	6.3
63°	33.8	6.9
72°	16	7.5
81°	4	7.8

una valvola di assegnate dimensioni, gli effetti sopra descritti diventano via via più marcati.

In realtà, il momento M_y non è l'unico a svilupparsi a causa del moto del fluido. Si generano infatti altri due momenti M_x e M_z che, tuttavia, si scaricano sul perno sollecitandolo per lo più a flessione. I dati desunti per via teorica sono stati confermati dalle misure sperimentali effettuate negli impianti di prova dell'Enogas Bonomi.

Le coppie sono state misurate con opportuni torsimetri tarati.

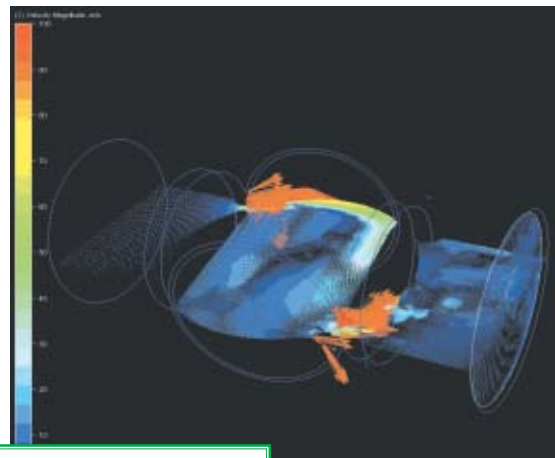
GUARNIZIONI E CAVITAZIONE

Relativamente al fenomeno della cavitazione, nella figura seguente è riportata un'immagine tratta dallo studio teorico effettuato con asse della valvola posizionato a 63° e 33.8 m³/h di portata.

Nella sezione perpendicolare all'asse del fluido, il valore medio della

pressione assoluta indica una depressione pari a -533000 Pa.

Ovviamente, un valore negativo della pressione assoluta non è fisicamente ammissibile, essendo, di fatto, il valore minimo di tale grandezza definito dal limite di cavitazione, ossia dalla tensione di vapore dell'acqua alla temperatura alla quale sono state condotte le prove.



Spettro di cavitazione.

Perciò tale risultato va preso, in forma quantitativa, con assoluta cautela: le condizioni di pressione rilevate per via teorica sono tuttavia tali da indurre fortissime depressioni relative e, in ogni caso, l'innesco della cavitazione. In valvole tradizionali tale depressione è normalmente in grado di estrarre la guarnizione dalla propria sede.

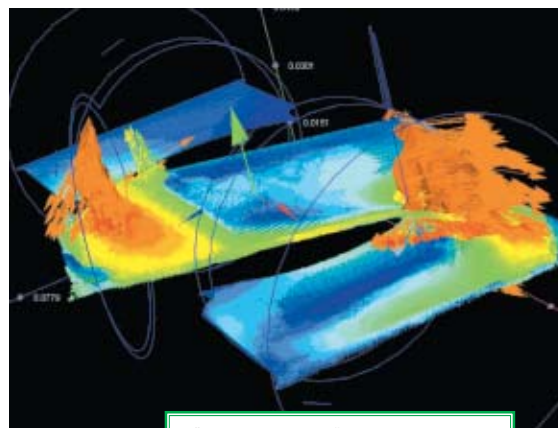
Nello Swift O Matic gli alloggiamenti delle guarnizioni di tenuta latera-

le sono stati dimensionati in modo tale da garantire una interferenza sufficiente ad evitare tali inconvenienti.

I campi di velocità rilevati con il modello numerico evidenziano volumi relativamente estesi, in prossimità dei meati, in cui la velocità assume, in modulo, un valore molto elevato e pari a circa 35 m/s.

COSA DIRE

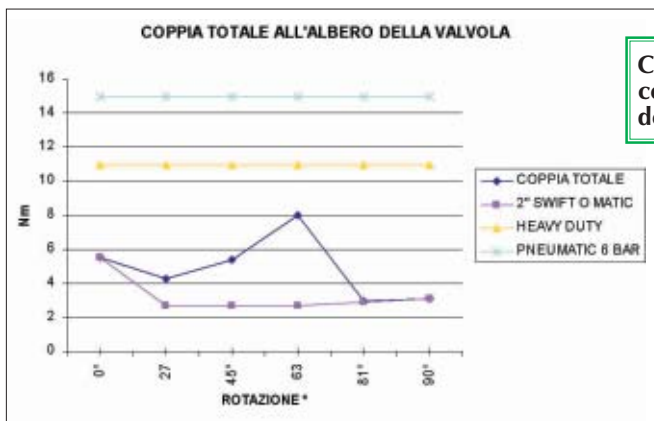
In funzione delle caratteristiche del fluido, del campo delle velocità, dell'angolo di rotazione dell'organo otturatore e del diametro di passaggio della sfera, le azioni dinamiche indotte dal fluido possono avere rilevanza nella scelta degli accoppiamenti valvola attuatore, soprattutto in presenza di velocità elevate del fluido.



Altro spettro di cavitazione.

Gli effetti estrattivi dovuti alle depressioni che si creano in prossimità delle sedi di tenuta laterale possono essere particolarmente elevati in presenza di campi di moto ad alta velocità. In questi casi è fondamentale assicurare il bloccaggio delle sedi di tenuta all'interno degli opportuni alloggiamenti.

G. Cipolla, direttore tecnico Enogas Bonomi - E. Benini, Dipartimento di ingegneria meccanica dell'Università di Padova.



Coppie indotte con velocità doppie.