

DALLA TEORIA ALLA PRATICA

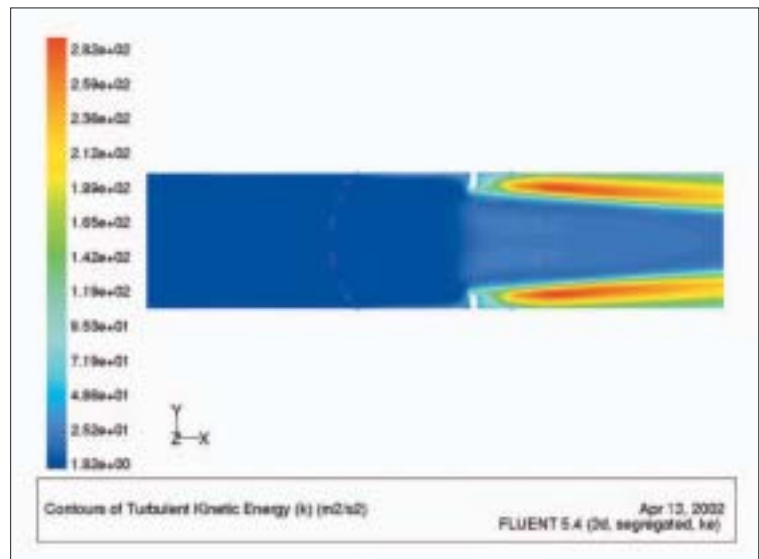
Dopo avere eseguito una simulazione del funzionamento di una valvola a sfera è necessario effettuare le verifiche sperimentali. L'esperienza di Enolgas

Riassumendo in poche battute quanto già trattato nel precedente articolo (pubblicato sul supplemento *Fluidotecnica* del mese di maggio 2003 n. 267), lo studio si basa sull'integrazione di un misuratore di portata a effetto deprimogeno all'interno di una valvola sfera, in quanto tale opportunità consente alla valvola, oltre ad assolvere la tradizionale funzione intercettatrice on-off, di misurare la portata fluida che la attraversa, con un'accuratezza comparabile a quella dei convenzionali misuratori a effetto deprimogeno.

La valvola completa di misuratore offre tutti i vantaggi desumibili da una corretta integrazione in termini di costi e funzionalità.

LA VALVOLA

La valvola Bon O Meter è realizzata in due differenti versioni in ottone ed in acciaio, rispettivamente per gli impieghi richiesti all'uso. Le versioni in acciaio sono state realizzate in esecuzione flangiata e vafer. Il Bon O Meter è stato progettato e costruito in totale accordo alla normativa Iso 5167. In particolare: l'elemento primario è posizionato sempre perpendicolarmente all'asse del flusso, con un'approssimazione inferiore a quanto prescritto dalla norma Iso 5167 (1°); la centratura dell'asse della restrizione calibrata ha un disassamento $\leq (0,0025D)/(0,1+2,3\beta^4)$ rispetto all'asse del condotto; il posizionamento della restrizione calibrata all'interno del Bon o Meter viene mantenuta senza alterazione dopo l'installazione; la morfologia dell'elemento primario consente la libera dilatazione termica e non dà adito a deformazioni o alterazioni permanenti della restrizione stessa; l'alloggiamento delle guarnizioni laterali sono state studiate in modo tale che gli elementi di tenuta non sporgono in nessun punto all'interno del condotto, neppure attraverso le prese di pressione. Proseguiamo nella descrizione.



In posizione "on" il Bon O Meter mantiene le tolleranze richieste di complanarità all'interno dello 0,5% in accordo a quanto previsto dall'Iso 5167. La rugosità della superficie di monte della restrizione è $Ra \leq 10 \cdot 4d$. Gli spessori e tutte le tolleranze dimensionali sono in accordo alla Iso 5167. Le prese di pressione sono poste rispettivamente a D e D/2 con tolleranze in accordo alla norma Iso 5167.

Un pozzetto termometrico posto in prossimità della zona di massima turbolenza consente la lettura istantanea della temperatura; tale lettura è necessaria per la compensazione delle misura di portata e per la derivazione della misura della densità.

Le valvole Bon O Meter sono equipaggiate con trasmettitore di pressione differenziale e con trasmettitore di pressione relativa di una nota marca.

LE PROVE

Queste le caratteristiche generali per prove di misura di portata di fluidi per mezzo di dispositivi a pressione differenziale.

Condizioni di flusso: si applica esclusivamente ai dispositivi di pressione differenziale in cui il flusso rimanga stazionario o comunque costante nel



tempo nella sezione di misura e subsonico; inoltre il fluido deve essere monofasico.

La norma prevede limiti di utilizzo sia riguardo al numero di Reynolds, che esprime il rapporto fra forze d'inerzia e forze viscosive, generalmente riferito alle condizioni a monte dell'elemento primario ($Re < 3150$), sia nelle dimensioni dei condotti utilizzati, i quali devono essere con diametro compreso fra 50 e 1200 mm.

La norma inoltre distingue tra elementi primari ed elementi secondari del circuito con la seguente distinzione.

Elementi primari: dispositivi introdotti nel condotto, comprendenti orifici, gole, strozzature, diaframmi, boccalgi Iso 1932 e venturimetri classici e le relative prese di pressione.

Elementi secondari: altri strumenti o dispositivi necessari alla misurazione. Il calcolo della portata di massa verrà eseguito con la seguente formulazione riferita alla misura delle condizioni di densità a valle del primario:

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon_2 \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_2}$$

dove Δp è la pressione differenziale, ρ_2 , ε_2 sono densità e coefficiente di comprimibilità a valle del primario, β e C rispettivamente rapporto dei diametri e coefficiente di efflusso nel primario.

La progettazione dell'elemento secondario per la trasduzione del segnale meccanico in segnale elettrico necessita la determinazione delle specifiche che sono state ricavate da una attenta analisi delle condizioni di impiego previste per la valvola.

Il corpo valvola, con diametro nominale di 50 mm, è dotato di diaframma per la misura della portata in impianti in cui possono scorrere acqua, metano, aria oltre ad altri fluidi compatibili con il trovato comunemente utilizzati nell'industria di processo. Le condizioni in cui opera sono sinteticamente riportate di seguito per i fluidi aria/acqua cui tabella 1:

PROGETTAZIONE DELL'ELEMENTO SECONDARIO

La parte di trasduzione relativa all'elemento secondario è essenzialmente costituita da un misuratore di pressione differenziale, un misuratore di pressione relativa ed un misuratore di temperatura. Tale architettura ha va-

tificati; b) implementazione di trasduttori differenziali di pressione certificati, di un trasduttore di pressione relativa e di uno di temperatura.

Questa fase ha consentito di verificare con trasduttori certificati sia le prestazioni del misuratore di portata (valvola strumentata), sia la architettura necessaria per l'implementazione di un prototipo ingegneristico della valvola strumentata stessa.

Passo 2: implementazione di trasduttori differenziali di pressione non certificati e integrabili eventualmente su schede PCB, da tarare con sensori certificati (passo1). In questa fase la decisione di implementare trasduttori di pressione relativa e termometri è subordinata ai risultati che si ottengono sulla prima.

Nel presente articolo si fa riferimento al passo uno, che è indispensabile ai fini della determinazione della curva caratteristica della valvola.

Il sensore di pressione differenziale è collegato alle prese di pressione a monte e a valle del diaframma, posizionate rispettivamente ad una distanza di $1 \cdot D$ e $0,5 \cdot D$, dove D è il diametro del corpo valvola, sulla base di quanto riportato dalla Uni EN 5167 -1:1997.

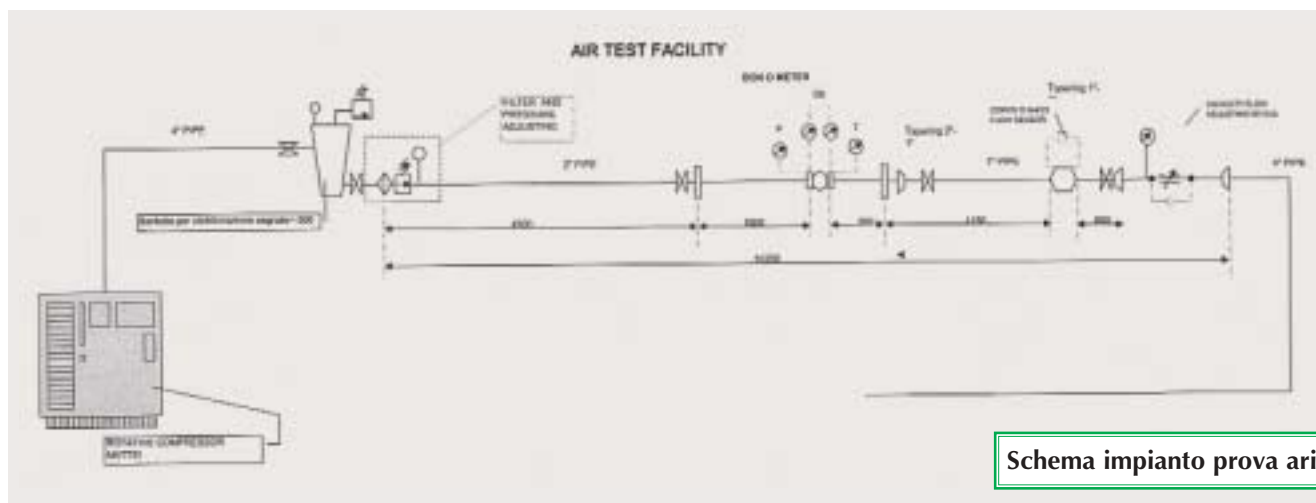
Tabella 1: Tipologie di valvole analizzate numericamente.

VALVOLA	METANO			ACQUA	
Diametro corpo valvola [mm]	50	50	50	50	50
Portata max [m³/h]	300	440	710	25	10
Portata min [m³/h]	190	280	450	15.80	6.00
Pressione relativa alim. [Bar]	3	3	3	6	6
Delta p [kPa]	3.7	7	18.6	8.2	7
Temperatura [°C]	25	25	25	25	25

lità generale e può essere ottimizzata per le varie applicazioni a valle del processo di taratura, con lo scopo di garantire una accuratezza sulla stima della misura della portata non superiore all' 1%, ed una sensibilità tale da apprezzare una pressione minima compresa tra 0.0625-0.125 Kpa. La progettazione dell'elemento secondario si è articolata nei seguenti due passi.

Passo 1: a) implementazione di trasduttori differenziali di pressione cer-

La presa di pressione relativa dovrà essere posta sullo stesso piano della sezione intercettante la presa di pressione differenziale a monte del diaframma. Mentre la misura della temperatura viene misurata a valle del diaframma in prossimità della zona di massima turbolenza in corrispondenza delle prese di pressione. Ciò è stato possibile grazie alla morfologia del Bon O Meter. Al contrario la norma prevede che la lettura di temperatura sia ad una distanza di almeno $5 \cdot D$



Schema impianto prova aria.

GLI IMPIANTI DI PROVA

Le valvole vengono testate in due impianti di prova: uno per liquidi (utilizzante acqua) e l'altro per aeriformi (utilizzante aria).

Per entrambi gli impianti, i criteri costruttivi e progettuali sono conformi a quanto prescritto dalla norma Iso 5167 per quanto concerne il posizionamento della valvola Bon O Meter rispetto a sorgenti di disturbo.

I misuratori di portata utilizzati negli impianti per la comparazione dei risultati, (uno per acqua: ed uno per Aria) prodotti da una primaria casa basano il loro funzionamento sulla forza di Coriolis.

L'impianto acqua di seguito raffigurato è ad anello chiuso ed è costituito da: serbatoio di raccolta capienza 0,8 m³; impianto premente costituito da un'elettropompa centrifuga, sistema di regolazione della portata (a spillamento) di monte e di valle, tronchetto di misura flangiato all'interno del quale è posta la valvola Bon O Meter, soggetta a verifica, misuratore di portata massico sensore di Coriolis. L'impianto aria di seguito raffigurato è ad anello aperto, ed è costituito da: compressore a vite, serbatoio di stabilizzazione segnale con batterie di filtraggio; riduttore di pressione; tronchetto di misura flangiato all'interno del quale è posta la valvola Bon O Meter, soggetta a verifica, misuratore di portata massico sensore di Coriolis con trasmettitore, riduttore di portata.

REQUISITI DI INSTALLAZIONE

Il primario deve essere inserito in tratti rettilinei con sezione circolare costante con distanze minime da elementi a monte e a valle in grado di perturbare il flusso come curve, riduzioni o valvole descritte dalla 5167-1. I valori utilizzati nella realizzazione dell'impianto sono relativi a un'installazione con "incertezza supplementare nulla", che permette di trascurare nel calcolo dell'incertezza della misura il contributo supplementare dovuto all'installazione di accessori nel circuito.

Per il circuito sono state considerate per entrambi i casi (acqua e gas) tubazioni da 2" schedule 40. I circuiti sono provvisti di unità di trattamento dell'aria/acqua con filtraggio e regolazione di pressione e di uno scam-

Confronto dati teorici e dati sperimentali su acqua.

CASO H2O P1, P2, P3, P4= ALIMENTAZIONE, PRESA DI MONTE, PRESA DI VALLE, USCITA Q NOM 15,8 M3/H

Q (M3/H)	V1 (M/S)	P1 (PA)	P2 (PA)	P3 (PA)	P4 (PA)	DP_MIS (MMH2O)	DP_SPERIMENTALE (MMH2O)	DP_PERM (MMH2O)	E	A	C
15,8	2,23524	600175	600017	591794	59500	840	975	528,70	1,000	0,8713	0,6752
18	2,54648	601825	601639	590856	595000	1102	1260	697,25	1,000	0,8668	0,6717
20	2,82942	603515	603304	589935	59500	1366	1560	869,87	1,000	0,8650	0,6703
23	3,25383	606181	605932	588174	594999	1814	2080	1142,29	1,000	0,8631	0,6689
25	3,53678	608126	607852	586832	594999	2147	2476	1340,96	1,000	0,8623	0,6682

CASO H2O P1, P2, P3, P4= ALIMENTAZIONE, PRESA DI MONTE, PRESA DI VALLE, USCITA Q NOM 6 M3/H

Q (M3/H)	V1 (M/S)	P1 (PA)	P2 (PA)	P3 (PA)	P4 (PA)	DP_MIS (MMH2O)	DP_SPERIMENTALE (MMH2O)	DP_PERM (MMH2O)	E	A	C
6	0,84883	600538	600495	593491	594591	716	810	607,52	1	0,69887	0,66112
7	0,9903	602714	602660	593097	594590	977	1100	829,93	1	0,69777	0,66008
8	1,13177	605236	605171	592632	594589	1281	1442	1087,69	1	0,69643	0,65881
9	1,27324	608059	607983	592095	594588	1623	1825	1376,14	1	0,69604	0,65844
10	1,41471	611251	611164	591505	594586	2008	2265	1702,48	1	0,69525	0,6577

biatore posto a valle della mandata del compressore/ pompa. Il regolatore di flusso è posizionato a valle degli elementi primari di misura della portata come suggerito dalla norma stessa. In particolare, il secondo misuratore di portata per la taratura del corpo valvola è posizionato a valle del regolatore di portata e a una distanza pari ad almeno 20 D per garantire la misura del flusso in condizioni indisturbate.

tando perdite di carico particolarmente basse, nelle condizioni di prova previste.

La necessità di una buona sensibilità di misura impone l'installazione dell'elemento primario del sensore di riferimento, in un condotto da 1" di diametro e quindi si rende necessaria una brusca riduzione simmetrica della condotta da 2" a 1" a monte del sensore con una distanza minima regolata dalla norma 5167.

COSA DIRE

I risultati appaiono molto soddisfacenti per entrambi i fluidi. Quanto detto per le prove con acqua trovano piena conferma anche per quelle condotte con aria.

Nei grafici di seguito riportati si sintetizza il confronto tra prove numeriche e prove sperimentali. Considerato che il modello teorico presenta un'incertezza globale compresa tra il ± 10 e $\pm 15\%$ relativa alla lettura, mentre l'incertezza estesa attribuita allo strumento per la misura della portata è del $\pm 1.5\%$ relativo alla lettura, avendo considerato un fattore di copertura pari a 3 sull'errore massimo, si può concludere che c'è piena compatibilità tra quanto previsto dal modello teorico e quanto effettivamente verificato durante il collaudo. In particolare, i valori di Dp calcolati teoricamente, trovano pieno riscontro nei risultati della sperimentazione. Inoltre l'andamento delle curve al variare della portata è pienamente compatibile per entrambe le prove effet-

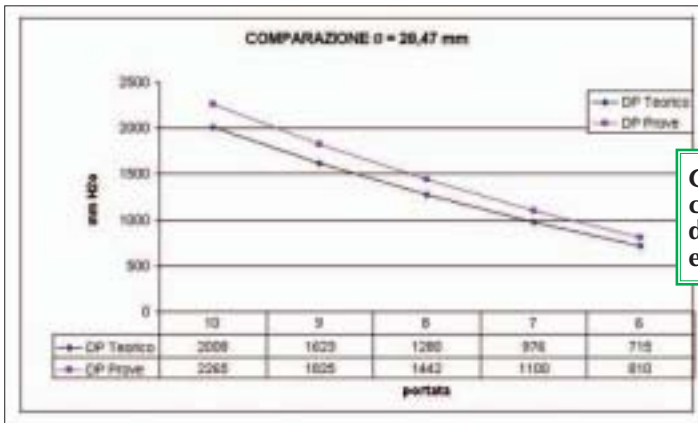


Grafico del confronto dei dati teorici e sperimentali.

In seguito è rappresentato lo schemariportante gli elementi principali di un impianto per le due soluzioni considerate nel caso di misura di portata di flusso d'aria con riportate le distanze minime degli elementi precedentemente descritti.

DIMENSIONAMENTO E UTILIZZO DEL TRASDUTTORE DI PORTATA

Per la taratura della valvola strumentata, con riferimento all'impianto, si necessita l'utilizzo di un dispositivo in grado di garantire le seguenti prestazioni metrologiche.

Per misure di portata di acqua: portata massima di 27 m³/h (kg/h) e portata nominale di 13,6 m³/h (kg/h), incertezza massima pari a +/- 0,1% della portata.

Per la misura di portata dei gas: portata massima di 630 m³/h (815 kg/h) e portata nominale di 355 m³/h (435 kg/h), incertezza massima pari a +/- 0,35% della portata.

La scelta è ricaduta su di un trasduttore il cui principio di funzionamento si basa sull'effetto di Coriolis. Un tale misuratore è da preferire ad altre soluzioni, per l'elevata precisione con qualsiasi fluido di processo, presen-

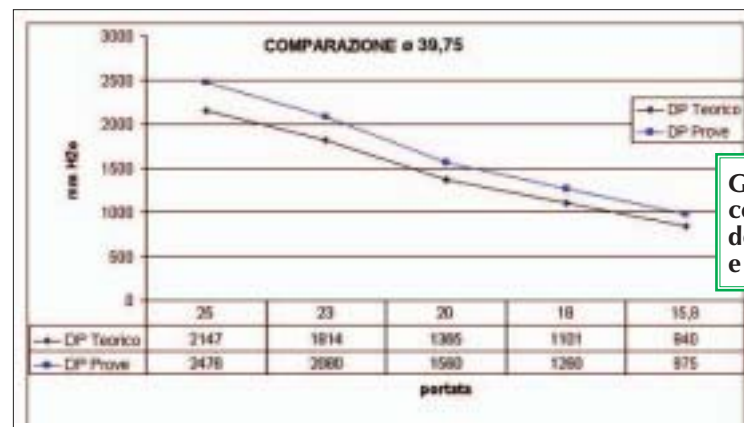


Grafico del confronto dei dati teorici e sperimentali.

ESECUZIONE DI PROVE PRELIMINARI PER LA TARATURA

Le prove sono state condotte utilizzando acqua ed aria con lo scopo di verificare il valore della differenza di pressione preventivamente calcolato per via numerica al variare delle portate in gioco.

Riportiamo di seguito i risultati ottenuti dalle prove effettuate con acqua. I valori di pressione e portata sono stati ottenuti mediante le opportune regolazioni di monte e di valle predisposte sull'impianto. Due le valvole testate per due diversi intervalli di portata, rispettivamente 15,8-25 m³/h e 6-10 m³/h.

Ne consegue in definitiva che la misura di portata eseguita mediante strozzatura del flusso è perfettamente compatibile con la morfologia della valvola a sfera stessa e che le lavorazioni meccaniche, del tutto simili nella sostanza a quelle standard, sono in grado di far raggiungere alla valvola performance parimenti degne ed affidabili nel campo della misura di portata.

ing. G. Cipolla, direttore tecnico – R&D Enolgas Bonomi;
ing. E. Benini e ing. S. Debei
Università di Padova – Dipartimento di ingegneria meccanica.