

Banco prova o simulazione?



1. Una vista del laboratorio
di automazione a fluido e
meccatronica.

I banchi prova rappresentano il tipico sistema comunemente adottato per osservare, esaminare e dedurre informazioni sperimentali su un dispositivo o componente progettato ex novo o ridisegnato rispetto a soluzioni costruttive già esistenti. Essi concretizzano il passaggio fra le elaborazioni ed i modelli teorici ed il riscontro concreto delle prestazioni, il metodo per verificare se determinate ipotesi sono effettivamente accettabili. La loro estensione in ambito industriale e nei laboratori di ricerca è ampia e diversificata e la loro funzione è sempre più articolata: da strumento per il riscontro sperimentale su un prototipo essa si è sviluppata verso la verifica delle prestazioni di componenti che hanno già superato la fase di ingegnerizzazione ed oltre, nell'esame del comportamento di dispositivi dopo cicli pro-

grammati di funzionamento, con particolare riferimento alle procedure di manutenzione programmata.

I campi di utilizzazione dei banchi prova sono assai differenti e la loro struttura non può non essere orientata alla tipologia di dispositivi oggetto della sperimentazione. Non è infatti ipotizzabile una concezione di banco prova "universale", in grado di soddisfare esigenze differenziate, ma, al massimo, si possono progettare unità per testing di classi omogenee di componenti. È infatti evidente che un banco prova è concepito e realizzato per evidenziare determinate problematiche su cui si ricercano conferme e validazioni sperimentali rispetto a modelli teorici ed a progetti. Pertanto già nella fase di studio del banco si indirizzano le sue funzioni finalizzandole alle esperienze di interesse. Sul tema del ricorso a banchi prova sperimentali per ottenere riscontri pratici di funzionamento si confrontano due correnti

Quando si progetta un sistema pneumatico è sempre necessario utilizzare un banco prova, oppure è sufficiente acquisire i dati necessari con accurate simulazioni?

Una soluzione integrata sembra mettere d'accordo queste due visioni differenti.

L'esperienza maturata nei laboratori dell'Università di Genova ha prodotto risultati interessanti

di pensiero. Una di esse considera determinante l'utilizzazione di unità sperimentali di questo tipo all'interno di un processo ingegneristico completo, che comprenda anche problematiche di monitoraggio delle effettive condizioni di funzionamento in relazione alle specifiche del progetto ed in condizioni "fuori progetto", di supporto alla diagnostica di guasto ed a approcci di manutenzione preventiva e/o sotto condizione. È peraltro certamente presente una seconda corrente di pensiero

che considera un banco prova non indispensabile per la definizione di un concreto progetto, ritenendo più che sufficiente la possibilità di acquisire tutte le informazioni utili ad un progetto definitivo di componenti direttamente attraverso indagini simulate. Il ricorso a banchi di sperimentazione è visto come un incremento di costi di produzione, le fasi di prova su prototipo come tempi che ritardano l'uscita del prodotto sul mercato, le esperienze a valle di ridisegno di componenti come un'inutile ed onerosa ripetizione di attività. L'evoluzione ed il costante sviluppo di codici di simulazione, in differenti settori dell'ingegneria, sono anche sostenute da queste tesi: si presenta infatti il prodotto software non solo come lo strumento indispensabile alla moderna progettazione, ma anche come il mezzo per valutare varianti di progetto e di "auto-validare" il modello teorico di riferimento. È indubbio che il progetto ingegneristico di dispositivi e componenti non può oggi prescindere da tale tipo di strumenti informatici: le tecniche di simulazione sono integrate e compatibili con procedure di disegno, progetto e costruzione assistita da calcolatore (CAD, CAE, CAM) e con codici di calcolo strutturale (FEM), fornendo al progettista un supporto strumentale impensabile fino a non molti anni fa. La potenza di elaborazione consente di affrontare, in tempi rapidi, studi complessi ed avere riscontri di calcolo ripetibili: il progettista non è più quindi impegnato nello sviluppo delle operazioni computazionali e può rivolgere la propria attenzione al problema ingegneristico in senso stretto ed alla valutazione critica dei risultati. Peraltro in alcuni settori tecnologicamente avanzati, quali quello della pneumatica e della pneumotecnica, si opera a livello teorico su modelli



2. Altra vista parziale del laboratorio.

matematici e di simulazione in genere molto complessi e non tutti i fenomeni fisici reali possono essere simulati completamente senza incorrere in un appesantimento non proponibile del calcolo o in modelli di fatto poco affidabili.

Fra queste due visioni differenti, anche se non necessariamente contrapposte, si ritiene proponibile un nuovo approccio al problema che determini un sistema integrato ad alta flessibilità ed efficienza operativa. Nel seguito è discusso un caso concreto, nell'ambito dell'attività svolta in questo settore nel laboratorio di automazione a fluido e mecatronica del Dipartimento. Le figure 1 e 2 illustrano visioni parziali del laboratorio.

Banco prova convenzionale

Nel settore pneumatico sono proponibili banchi prova per classi di componenti specifici: i riferimenti convenzionali fanno riferimento a: componenti di attuazione (cilindri di vario genere, assi pneumatici, motori rotativi ed oscillanti); componenti di comando (valvole on-off e proporzionali, regolatori di flusso, ...); componenti di trattamento e condizionamento dell'aria (filtri, regolatori di pressione, lubrificatori, ...); componenti di circuito (tubazioni, raccordi, ...).

Le soluzioni proposte e proponibili si basano su una strumentazione standard (trasduttori di posizione, di forza, di pressione, di portata, ...), normalmente interfacciata a pannelli terminali di visualizzazione, con la possibilità di mappatura di risultati anche in forma cartacea. Anche la tipologia di esperienze è a priori piuttosto definita per tipo-

logie di componenti, ancora in relazione alla funzione che il singolo dispositivo ha all'interno di un circuito pneumatico convenzionale. I parametri di ingresso per prove di caratterizzazione sono quelli nominali di progetto.

L'estensione delle applicazioni si orienta su prove di durata e su prove di vita, evidenziando, spesso ancora con riscontri visivi, stati di anomalie di funzionamento o di blocco operativo.

Le procedure simulate

I codici di simulazione attualmente reperibili sul mercato offrono potenzialità di grande interesse. La logica di programmazione

è fortemente orientata all'utente non specializzato, con pre e post-processor che consentono, da un lato, di organizzare lo schema di simulazione con blocchi operazionali collegabili fra loro in modo semplice e, dall'altro lato, di gestire i risultati con rappresentazione di variabili fisiche in forme e modalità tali da mettere in evidenza numerosi aspetti meccanici di interesse. Nel settore della modellazione e simulazione di sistemi a fluido occorre interagire con moduli di calcolo relativi al comportamento dinamico dell'olio o dell'aria compressa; nel caso specifico della pneumatica, la presenza di un fluido ad alta compressibilità tende a rendere più complicato il modello costitutivo, con schematizzazione a variabili distribuite piuttosto che a variabili concentrate. I corrispondenti modelli matematici di analisi dinamica sono quindi spesso associati ad equazioni differenziali alle derivate parziali. Ciò richiede solutori matematici specifici, peraltro presenti all'interno di librerie di moderni codici di calcolo. Per contro sono difficilmente simulabili fenomeni specifici in pneumatica: è il caso di fenomeni di variazione di pressione associati a deformabilità dei volumi contenenti aria compressa, a situazioni in cui l'aria non sia assimilabile ad un gas perfetto o ancora a casi dove l'ipotesi di trasformazione isoterma non sia accettabile. Quest'ultima condizione, spesso accettata nella simulazione di componenti pneumatici convenzionali, non può essere considerata in presenza di fenomeni di brusca espansione (ad es. in scarichi di valvole distributrici, con alta velocità di scarico) o di variazioni termiche legate alla deformabilità (attuatori peristaltici, muscoli pneumatici, ecc.).

Tali condizioni tendono a non costituire più un'ec-

cezione nell'ambito di circuiti e componenti pneumatici: le specifiche sempre più stringenti richieste ai dispositivi di automazione ed i cicli operativi con frequenze elevate determinano effetti dinamici che non sono sempre simulabili in modo soddisfacente e quindi con garanzie sull'affidabilità dei conseguenti risultati. Ciò è correlato anche alla conoscenza ed alla definizione dei parametri di simulazione, che spesso non sono noti a priori e che potrebbero essere conosciuti, o almeno stimati, tramite indagini sperimentali. Inoltre altri fenomeni di dettaglio sono di difficile analisi teorica: le fughe d'aria in corrispondenza di raccordi, le reali perdite di carico in attacchi rapidi, le deformazioni distribuite di tubazioni in materiale plastico, non sono che alcuni esempi di problemi che spesso, per semplicità di modellazione, sono trascurati ma che in molti casi pratici sono invece determinanti per l'ottimizzazione delle prestazioni di un componente o di un sotto-sistema pneumatico. Non sempre quindi procedure di simulazione, anche se strutturate con modelli di calcolo sofisticati, sono idonee a fornire tutte le informazioni operative e, soprattutto, a predire l'effettivo comportamento in qualsiasi situazione operativa.

Approccio integrato: studio di un caso

Le potenzialità offerte dalla strumentazione e le prestazioni proprie di moderni codici di simulazione suggeriscono di proporre un approccio integrato al problema. Anziché escludere approcci sperimentali con banco prova rispetto a procedure simulate e viceversa, è possibile ipotizzare e realizzare soluzioni in cui parte sperimentale e modello di calcolo si integrino, con l'obiettivo del raggiungimento del massimo grado di conoscenza sulle prestazioni effettive di un componente e sulla predizione di comportamento al variare delle condizioni operative.

La logica che guida questo approccio innovativo può essere sintetizzata come nel seguito descritto. Il banco prova evolve da una struttura convenzionale, con interventi che utilizzino le più recenti potenzialità offerte dal mercato. Si citano: la modularità di costruzione, al fine di accogliere differenti taglie dello stesso componente o di famiglie omogenee di componenti; l'inserimento di una molteplicità di sensori e trasduttori miniaturizzati, in grado di trasferire dati a distanza anche senza connessione via cavo e possibilmente di tipo non intrusivo; l'interfacciamento con un sistema di ac-



3. Banco prova per muscoli fluidici (Festo).



4. Unità di acquisizione e controllo.

quisizione ed elaborazione dati e di controllo attivo. Ciò consente non solo lo svolgimento delle funzioni di monitoraggio ma anche quelle di comando verso componenti di potenza; la connessione ad unità di elaborazione (se non già integrata nel sistema di acquisizione) su cui gestire, in parallelo, codici di simulazione; l'interazione fra le due procedure, con modifica on-line dei parametri di simulazione.

Un caso concreto di studio riguarda uno specifico banco prova ideato e realizzato, in collaborazione con Festo, per lo studio del comportamento di muscoli fluidici. La figura 3 riporta una vista d'insieme del banco, in cui un cilindro pneumatico antagonista, con controllo on-off o proporzionale, determina azioni statiche e/o dinamiche programmabili sul muscolo. Il controllo in pressione del dispositivo può essere anch'esso on-off o proporzionale. Questa unità può operare come banco prova

convenzionale, acquisendo informazioni sulla contrazione del muscolo, sulle temperature sulle pressioni interne al muscolo stesso e all'attuatore antagonista, sulle forze presenti sul muscolo stesso. L'acquisizione dei segnali e la gestione attiva del controllo è demandata alla stazione modulare riportata in figura 4.

È stata studiata un'estensione integrata di tale banco con un codice di simulazione, operante sullo stesso PC che gestisce l'unità di acquisizione e controllo. La procedura operativa segue la seguente logica: il ciclo di prova evolve parallelamente al programma di simulazione; periodicamente sono confrontati in automatico i risultati simulati rispetto a quelli realmente ottenuti. Ciò è applicabile a differenti variabili: nel caso specifico, ad esempio, alla posizione dell'estremità mobile del muscolo (e quindi alla variabile di contrazione); in funzione dell'errore sono modificati parametri

di simulazione, con nuova esecuzione del calcolo; tale procedura itera indefinitamente ed è controllata dall'utente; quando i risultati sono ritenuti soddisfacenti il ciclo è interrotto e si ha a disposizione un modello ottimizzato sperimentalmente.

di simulazione, con nuova esecuzione del calcolo; tale procedura itera indefinitamente ed è controllata dall'utente; quando i risultati sono ritenuti soddisfacenti il ciclo è interrotto e si ha a disposizione un modello ottimizzato sperimentalmente.

Cosa dire

L'approccio sinteticamente presentato ha validità generale ma la sua implementazione non è immediata. Peraltro l'evoluzione in questa direzione per un banco prova convenzionale appare interessante e potenzialmente valida. L'esperienza condotta ha prodotto risultati confortanti: essa è peraltro ancora in fase di sviluppo e su risultati di dettaglio si riferirà in un prossimo articolo.

E. Ravina - Dipartimento di Meccanica e costruzione delle macchine, Facoltà di ingegneria, Università degli Studi di Genova.