

PROTOTIPAZIONE VIRTUALE DI ATTUATORI IDRAULICI

L'ambiente di progettazione virtuale permette di costruire modelli di simulazione di sistemi idraulici altamente rappresentativi della realtà fisica

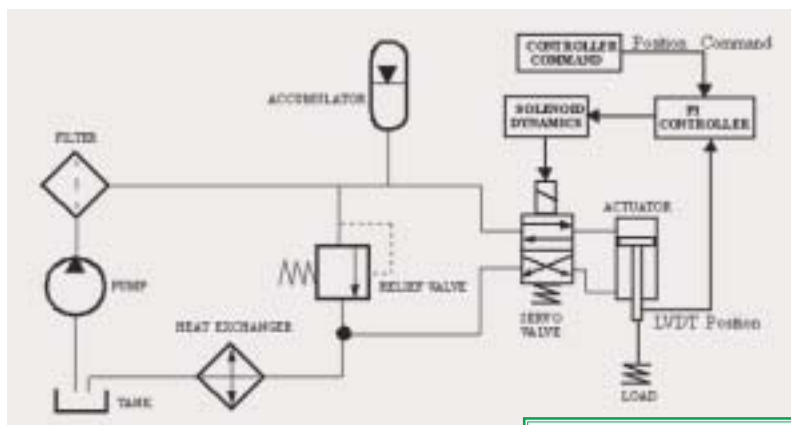
I sistemi idraulici sono costituiti da molti sotto-sistemi complessi e differenti tra loro, caratterizzati da dinamiche estremamente discontinue e non-lineari, difficili da configurare e simulare. Spesso, quindi, ci si affida a modelli di sistemi idraulici estremamente semplificati, basati su equazioni linearizzate del modello, determinando un'eccessiva approssimazione della fisica del sistema. Questo, di conseguenza, porta a costose modifiche nel processo di ingegnerizzazione del prototipo e all'utilizzo di un gran numero di tali prototipi fisici. Tuttavia, l'ambiente di progettazione virtuale fornito da Msc.Easy5, permette di costruire modelli di simulazione di sistemi idraulici altamente rappresentativi della realtà fisica, oltre a sistemi multidisciplinari tra cui: sistemi di controllo analogico e digitale, meccanico, elettrico, termico, pneumatico e di trasmissione.

In questo articolo, sono presentate le modalità di configurazione e simulazione di Msc.Easy5 applicate a un regolatore idraulico a circuito chiuso (figura 1). Questo regolatore è costituito da un alimentatore idraulico, uno scambiatore di calore, un sistema di controllo e un attuttore idraulico. Questo tipo di sistema viene utilizzato dove si richiedano un posizionamento preciso e un'elevata potenza, per esempio nel caso di superfici di controllo di aerei, macchine utensili di precisione, robot assemblatori e apparecchi per costruzioni pesanti.

COSTRUZIONE DEL MODELLO DI SISTEMA IDRAULICO

Per costruire un prototipo virtuale di un sistema idraulico, è possibile utilizzare la *Thermal hydraulic library* di Msc.Easy5. Questa libreria comprende oltre 115 modelli, predefiniti e pronti per l'uso, di sottosistemi idraulici per la simu-

lazione delle dinamiche meccaniche e dei fluidi comprimibili e del trasferimento termico di calore, oltre alle dinamiche di inversione di flusso, transizione di flusso laminare e turbolento, attrito coulombiano con carico di distacco, cavitazione, dinamiche di colpo d'ariete e limiti meccanici gravosi, tutti eventi caratterizzati da un'estrema discontinuità e non-linearità.



1. Regolatore idraulico a circuito chiuso.

I modelli di sottosistema, chiamati componenti, vengono rappresentati graficamente con icone conformi allo standard Iso 1219 (figura 2). Ogni componente contiene i dati parametrici per la definizione delle proprietà di sistema e le equazioni per la definizione della dinamica. Per configurare l'accumulatore oleopneumatico, si seleziona il componente *AB-Adiabatic accumulator gas charged* (figura 2) e lo si aggiunge al modello schematico. Successivamente, si aggiunge il componente tubo accanto all'accumulatore (figura 3).

Con questo software il collegamento dei componenti è semplice e automatico. Basta un semplice click del mouse, prima su una porta resistiva (rossa), quindi su una porta

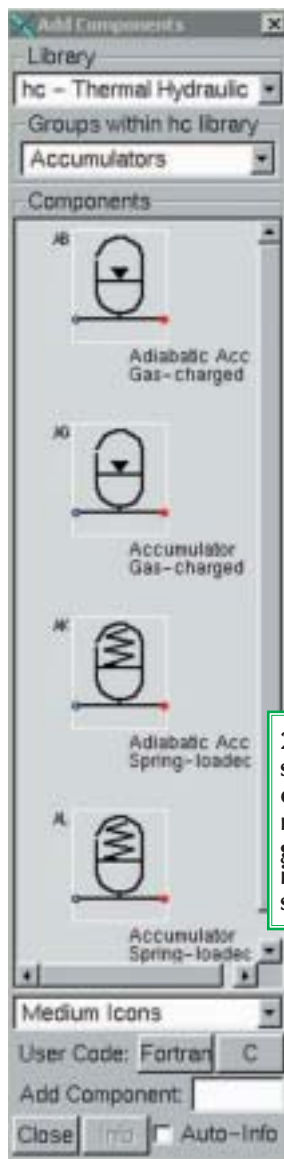
d'immagazzinaggio (blu) per collegare correttamente il flusso di dati. Anche se rappresentata come unidirezionale, la connessione è bidirezionale come riportato nella figura 3.

La costruzione del modello termina con l'aggiunta ed il collegamento dei restanti componenti. Si può notare la correlazione tra lo schema del circuito idraulico nella figura 1 con il modello Msc.Easy5 completo nella figura 4.

Il componente *Global fluid properties* contiene un database di 19 tipi di fluidi, con la possibilità di aggiungere altri fluidi personalizzati. Questo componente definisce la tipologia di fluido, il sistema, la temperatura ambiente, le bolle d'aria interne, eventuali proprietà di fluidi multiviscosi ed i fattori di invecchiamento dei fluidi. Le proprietà dei fluidi sono definite in questo componente, ma vengono poi ereditate da tutto il modello.

CREAZIONE DEL CODICE ESECUTIVO

Prima di eseguire un'analisi o una simulazione, è necessario creare il codice eseguibile. L'operazione si esegue una sola volta: il codice per ogni componente viene selezionato, e il codice sorgente per l'intero modello viene generato e compilato. I diversi file oggetto e librerie sono infine assemblati per ottenere una versione eseguibile del modello. Questo metodo ha molti vantaggi rispetto al metodo standard basato sul codice interpretato. Per esempio: l'esecuzione delle operazioni è molto più veloce, perché si tratta di un codice ottimizzato compilato; l'utente può editare direttamente i codici Fortran e C che rappresentano il modello; gli errori del codice sorgente possono essere facilmente ricercati ed eliminati; il codice oggetto creato dal-



2. I modelli di sottosistema, chiamati componenti, vengono rappresentati graficamente con icone conformi allo standard Iso 1219.

l'utente può essere collegato direttamente a Msc.Easy5; in questo modo, non si perde quanto sviluppato in precedenza. Nella fasi precedenti, sono stati creati il modello esecutivo e la struttura del sistema idraulico. A questo punto, è necessario definire ulteriormente il modello con dati parametrici relativi alle proprietà di sistema, ad esempio la tipologia del fluido e le dimensioni, e condizioni di servizio quali pressione e temperatura. Ogni componente ha una tabella di dati contenente i dati di sistema e accessibile con un

doppio click sul componente. La tabella contiene i parametri d'ingresso, le variabili e lo stato di uscita e i dati di collegamento. Per esempio, la lunghezza ($LEN_{PI}=600$ cm) e il diametro del tubo ($DH_{PI}=1$ cm) vengono definiti nel componente tubo, e il componente scambiatore di calore contiene una tabella che definisce il trasferimento di calore come funzione del numero di Reynolds.

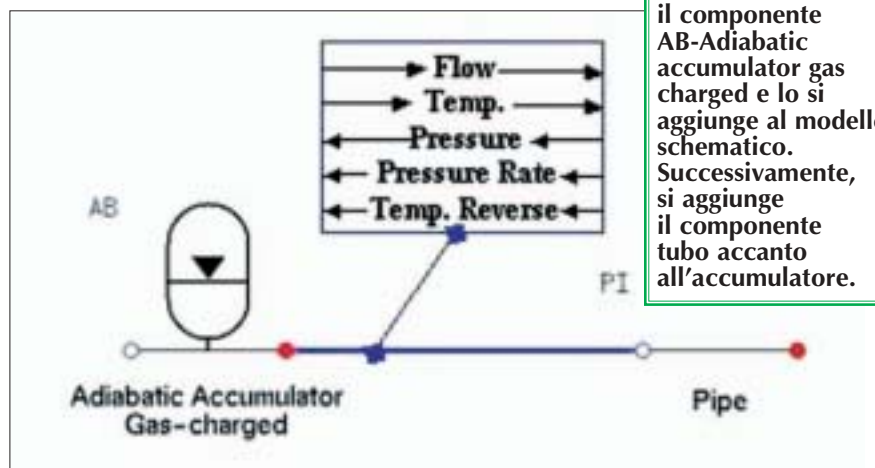
CALIBRAZIONE DEL SISTEMA TERMICO

Prima di eseguire una simulazione, è necessario calcolare le condizioni operative a regime. Utilizzare una simulazione completa per determinare il punto di regime è tipicamente un'operazione lunga e non efficace. Per esempio, la frequenza più bassa del sistema in esame è di circa 0,001 Hz, questo comporta un tempo di simulazione di migliaia di secondi. Grazie allo *Steady-State Toolkit*, è possibile determinare le condizioni operative iniziali a regime in maniera rapida ed efficace.

Anche il flusso dell'aria di raffreddamento dello scambiatore di calore deve essere calibrato perché il fluido idraulico non superi la temperatura di servizio massima consigliata (55°C). Di solito, vengono eseguite centinaia di simulazioni per calibrare il soffiante di raffreddamento. Lo *Steady-state toolkit*, invece, è dotato di uno strumento di scansione che permette di variare un parametro del modello in modo da calcolare la condizione di regime associata ad ogni valore. Si apre la finestra *Steady-state analysis*, il parametro di scansione viene definito come flusso di aria dello scambiatore di calore, e la scansione avviene per valori compresi tra 5 e 40 kg/min.

Al termine dell'analisi, il solutore determina venti soluzioni di regime. I risultati mostrano che se il flusso di aria di raffreddamento è inferiore a 20 kg/min, la temperatura di servizio del fluido idraulico supera il limite di 55°C.

3. Per configurare l'accumulatore oleopneumatico, si seleziona il componente AB-Adiabatic accumulator gas charged e lo si aggiunge al modello schematico. Successivamente, si aggiunge il componente tubo accanto all'accumulatore.



Di conseguenza, occorre ricalibrare il soffiante per mantenere un flusso di aria nello scambiatore di calore pari ad almeno 20 kg/min.

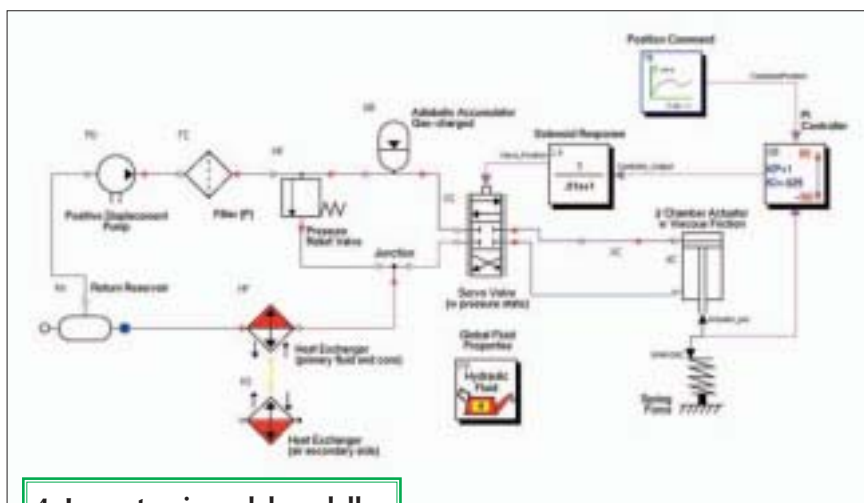
Prima di eseguire una simulazione, il sistema dovrebbe essere stabile. La stabilità del sistema viene determinata dal programma *Linear model generator*, che calcola gli autovalori di sistema (modalità dinamiche del sistema). Msc.Easy5 calcola 25 autovalori per que-

lazione centinaia di volte, fino a quando non vengano raggiunti dei risultati di rendimento soddisfacenti. Tuttavia, grazie agli strumenti di ottimizzazione di Msc.Easy5 si può ottenere un guadagno ottimizzato in un tempo notevolmente inferiore. La soluzione ottimizzata è rappresentata nella figura 5. Inoltre, vengono creati i grafici relativi alla temperatura e alla pressione dei fluidi su entrambi i lati del pistone

sistemi idraulici hanno un carattere estremamente non-lineare e discontinuo; di conseguenza, le integrazioni a tempo variabile tendono a presentare delle anomalie, e questo richiede l'impiego di una metodologia di integrazione a tempo fisso. Tuttavia, le metodologie di integrazione a tempo fisso sono inefficaci per i sistemi idraulici classificati rigidi e caratterizzati da frequenze estremamente ampie. La soluzione al problema consiste nell'impiego di speciali tecniche d'integrazione che consentano una metodologia di integrazione variabile, indipendentemente da eventi non-lineari e discontinui. In questo caso, è consigliato il metodo proprietario d'integrazione Bcs Gear, ottimizzato per attuatori idraulici.

COSA DIRE

Questo articolo offre una breve presentazione delle possibilità di configurazione e simulazione con Msc.Easy5 di sistemi idraulici complessi e dalle caratteristiche estremamente non-lineari e discontinue. Sarebbe inoltre stato



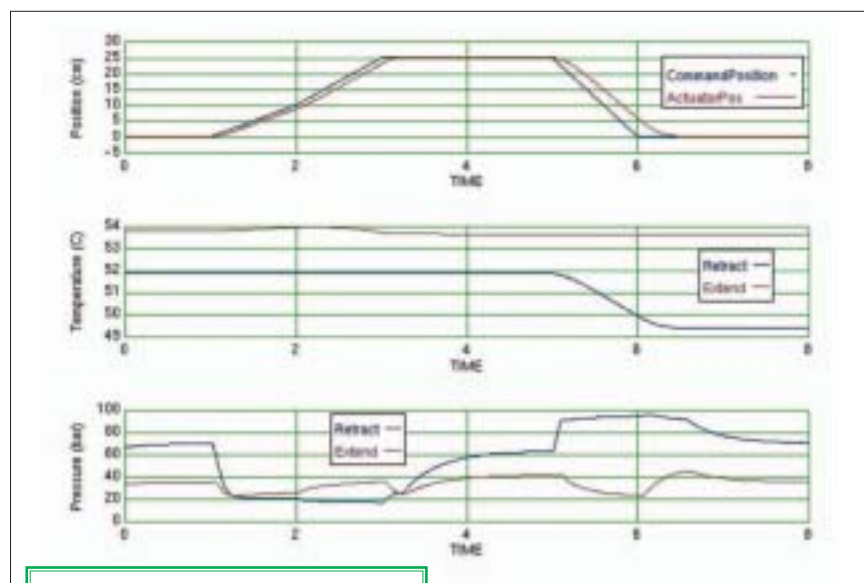
4. La costruzione del modello termina con l'aggiunta e il collegamento dei restanti componenti.

sto modello e indica che il sistema è stabile (nessun valore reale positivo), alla frequenza più elevata (232,231 giri/s), e questo rende il sistema molto rigido. I sistemi idraulici sono spesso caratterizzati da frequenze ampie, e sono il risultato delle dinamiche dei fluidi comprimibili in volumi ridotti, ad esempio in una valvola

SIMULAZIONE DEL SISTEMA IDRAULICO

Una volta eseguita la calibrazione, impostata una condizione di servizio iniziale e verificata la stabilità del sistema, è possibile procedere alla simulazione del sistema, inserendo i tempi di avvio/arresto della simulazione e le metodologie di integrazione. La simulazione rimane attiva sullo sfondo. Al termine, il plotter di Msc.Easy5 traccia automaticamente i dati.

I risultati di rendimento iniziali sono scarsi. Per migliorare la risposta del regolatore, è necessario aumentare il guadagno proporzionale del regolatore PI. È possibile aumentare il guadagno del regolatore e ripetere la simu-



5. Grafici relativi alla pressione, temperatura e posizionamento dell'attuatore.

dell'attuatore, evidenziando così la capacità di visualizzare i dati interni di ogni componente, e ricavare dei dati relativi all'intero modello di sistema estremamente affidabili.

Il rendimento e la precisione della simulazione variano notevolmente in base al tipo di integratore utilizzato e al valore del tempo di integrazione. È

possibile sviluppare dei modelli più complessi utilizzando i regolatori digitali e i motori elettrici per l'attivazione della pompa idraulica. Msc.Easy5 è dotato di numerose librerie multidisciplinari per la configurazione di motori e trasmissioni elettriche, sistemi di trasmissione (ingranaggi, frizioni, alberi), sistemi di controllo e pneumatici.

J. Tollefson, product manager, Msc Software Corporation.