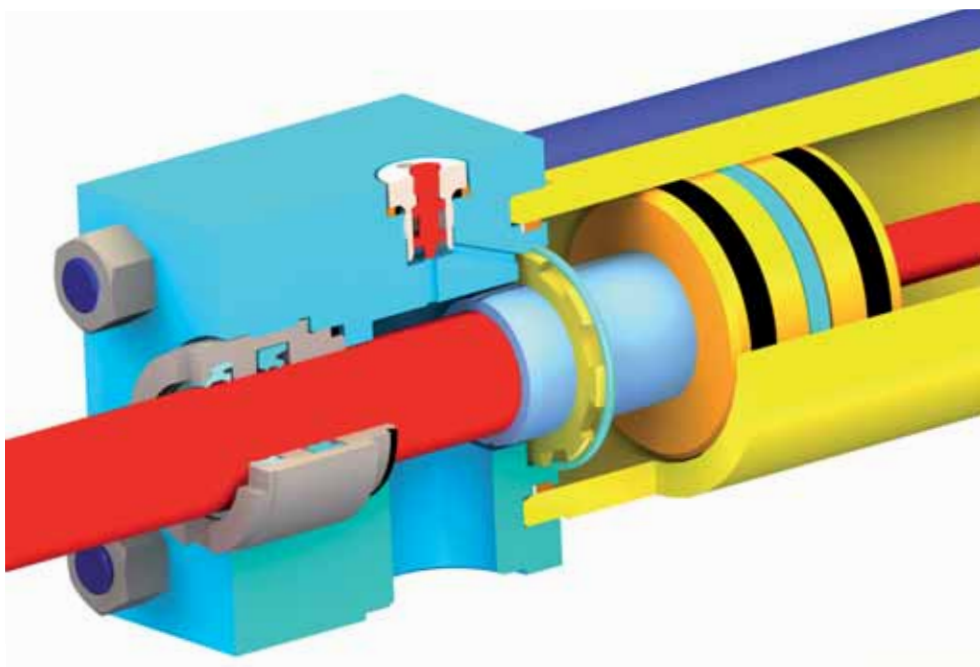


# Frenare bene per andare veloci

GIUSEPPE GUALA

Gli attuatori sono sempre più potenti e rapidi, per questo motivo è indispensabile, per evitare eccessive vibrazioni e danneggiamenti, disporre di sistemi di frenatura del cilindro che forniscano adeguate garanzie di corretto funzionamento



Gli attuatori oleodinamici hanno un ruolo determinante nella movimentazione di attrezzature e particolari meccanici; i costruttori progettano attuatori in grado di gestire potenze sempre maggiori e garantire forze e velocità di azionamento più consistenti.

Velocità operative elevate riducono i tempi necessari alla movimentazione, ma costringono il pistone a urtare contro le testate di fondocorsa con velocità di crociera sostenute. Gli impatti producono sollecitazioni che, protratte nel tempo, pos-

sono provocare notevoli inconvenienti. Al fine di limitare la velocità di arresto si sono introdotti sistemi di frenatura autoindotta nel cilindro: una opportuna conformazione geometrica del pistone mobile e delle sue testate riducono la portata a scarico in prossimità dei fondocorsa, producendo una contropressione di frenatura che si oppone al moto di avanzamento dello stelo.

La camera del cilindro soggetta a un repentino incremento della pressione è denominata camera di frenatura.

## Definire un modello

La frenatura ha una dinamica complessa e coinvolge un numero elevato di fattori. Per tale ragione uno studio finalizzato alla sua comprensione deve analizzare il problema sotto diversi aspetti. Un corretto punto di partenza è la definizione di un modello capace di descrivere con sufficiente precisione la variazione dei parametri dinamici e idraulici coinvolti direttamente nella frenatura.

Tale modello è realizzato in ambiente AMESim, suite di simulazione che

fornisce, con l'uso di librerie dedicate, strumenti per la ricostruzione virtuale del sistema elettroidraulico analogo al banco prova destinato a testare le capacità frenanti di un cilindro scelto come campione di studio. Il modello tratta in dettaglio le principali problematiche di funzionamento. L'attenzione è sulla definizione delle proprietà fisiche dell'olio, in particolare è implementato un sotto-modello che tiene conto dei

di attrito in tutte le zone del diagramma di Stribeck, in particolare nella porzione di campo in cui coesistono le condizioni di strisciamento e di aderenza. Infine si è optato per implementare modelli di trafileamento basati sulla teoria della lubrificazione elastoidrodinamica (EHD): infatti gli elementi di tenuta sono attivati dalla pressione e localmente le deformazioni rispetto alle dimensioni del meato sono sensibili. L'efficacia del modello sta nella sua flessibilità: è possibile variare un'ampia gamma di parametri per simulare varie condizioni di funzionamento e ottenere diverse potenze frenanti; la sua validità è stata confermata da riscontri sperimentali.

#### Un sistema di equazioni

Il passo successivo è quello di investigare, con un'indagine CFD, il deflusso del fluido di lavoro dalla camera di frenatura. Si è scelto come suite di calcolo Ansys CFX, un software per l'analisi numerica di problemi fluidodinamici. Lo studio si riconduce alla soluzione di un sistema di equazioni differenziali che descrivono il comportamento reale del fluido. Alle consuete equazioni di Navier-Stokes che ne governano la dinamica di moto, si affianca un sistema di equazioni necessarie a chiudere matematicamente il problema. Tali equazioni ausiliarie si riassumono in:

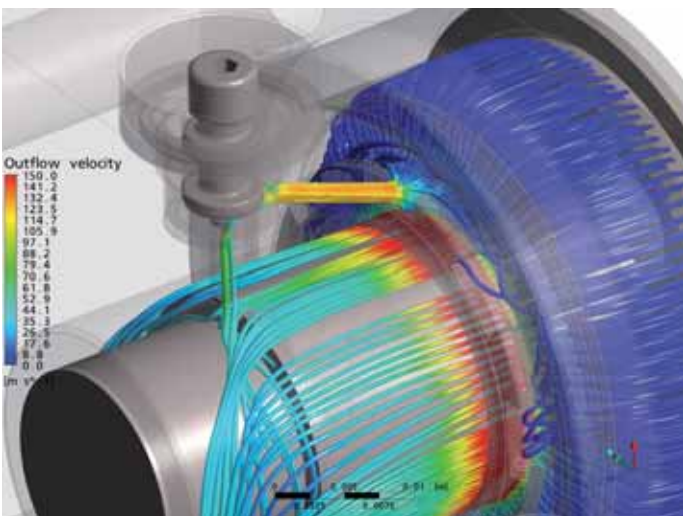
un'equazione definente la continuità del fluido, un'equazione di stato che descrive le condizioni fisiche di un liquido correlandone grandezze quali pressione, volume e temperatura, un'equazione che esprime

Linee di corrente durante il deflusso dalla camera di frenatura.



Post-processing grafico della camera di frenatura.

cambiamenti di viscosità al variare della sua pressione e temperatura. La modellizzazione delle masse traslanti e delle guarnizioni semi-mobili è condotta con modelli di attrito dinamico (Reset-Integrator e LuGre) che valutano il valore del coefficiente



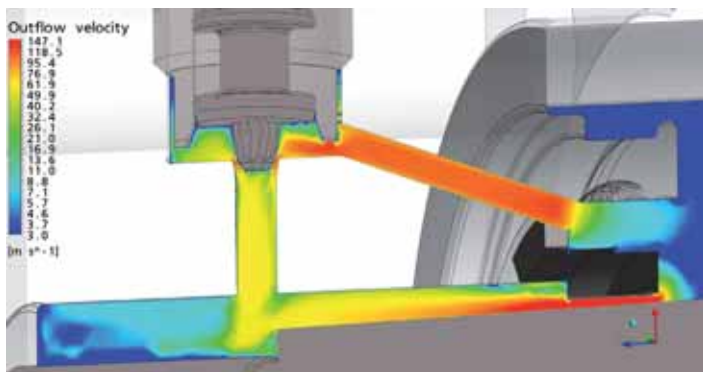
## Tesi premiata da Assofluid

L'articolo pubblicato in queste pagine è una sintesi della tesi di laurea 'Caratterizzazione del comportamento di un attuatore lineare in fase di frenatura', nata per soddisfare le richieste di Atos Divisione Cilindri, e realizzata dall'ingegner Giuseppe Guala (Politecnico di Torino), member of PD-TBU Engineering at SKF-Railways Business Unit.

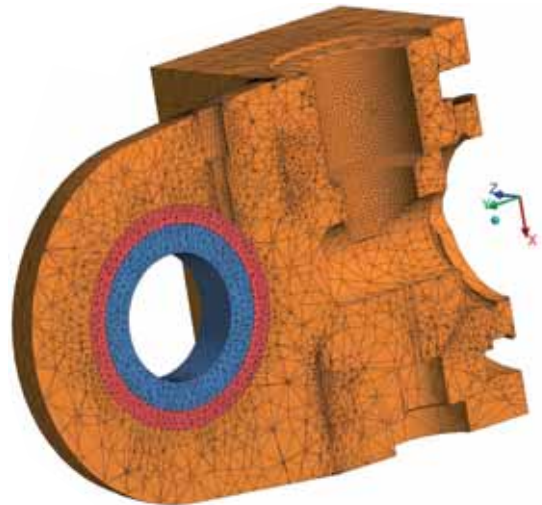


La tesi è stata premiata durante l'assemblea ordinaria Assofluid, svoltasi lo scorso 11 giugno presso la sede associativa a Cinisello Balsamo (MI), con la seguente motivazione: "Ottimo esempio di sperimentazione e simulazione orientata a caratterizzare, comprendere e migliorare fenomeni importanti della parte attuativa delle applicazioni oleoidrauliche". Nella foto Giuseppe Guala (a destra), riceve il premio da Giorgio Beretta presidente Assofluid.

Il lavoro di Guala è stato strutturato prevedendo una fase iniziale di ricerca bibliografica per estrapolare le maggiori problematiche: Internet e le biblioteche di Facoltà sono state fondamentali per condurre un'accurata indagine.



Gradiente di velocità.



Distribuzione delle griglie di calcolo all'interno della testata posteriore dell'attuatore.

me la variabilità della viscosità al variare della pressione e della temperatura e infine un'equazione specifica relativa a un modello di turbolenza.

Per rendere consistente la loro integrazione è necessario inoltre fornire appropriate condizioni al contorno che garantiscano una integrazione numerica univoca delle variabili del problema.

Ansys CFX risolve il suddetto sistema di equazioni differenziali con il metodo agli elementi finiti (FEM) che ne permette la trasformazione in un sistema di equazioni algebriche approssimando il dominio continuo di partenza in un dominio discreto mediante l'uso di primitive geometriche di forma elementare, quali sono i tetraedri, gli esaedri e i prismi. Nella suite di calcolo, la discretizzazione, ovvero la generazione delle griglie di calcolo, avviene esclusivamente sul dominio liquido complementare a quello solido. È dunque necessario dapprima estrapolare il volume liquido inscritto nella camera di frenatura e nella testata dell'attuatore; poi, come già accennato, per determinare una soluzione particolare del problema, è indispensabile fornire univoche condizioni al contorno da imporre sulle superfici delimitanti lo stesso volume. A tal fine, si sono estrapolati dal modello AMESim le informazioni di

portata defluente e i differenti valori di pressione presenti nella camera di frenatura imponendoli come condizioni in ingresso e in uscita dal dominio fluido.

Completato il processo di soluzione, si sono esportati i risultati in un ambiente di post-processing grafico che può rappresentarli con tecniche di visualizzazione avanzate basate sul tracciamento di campi vettoriali, iso-superfici e animazioni tridimensionali dei flussi.

### Dinamica di impatto

L'ultima fase di studio riguarda la dinamica di impatto tra il pistone e le testate dell'attuatore: l'azione frenante produce un suo rallentamento, ma l'arresto avviene con un urto e con la nascita di forze impulsive. La determinazione di tali forze è realizzata in ambiente MSC-Adams: si è costruito un modello 3D del cilindro unendo i suoi componenti rispettando la dualità statico-cinematica dei loro vincoli. La movimentazione del pistone avviene imponendo il complesso di forze attive e reattive dedotte dal modello AMESim. La forza impulsiva che nasce nel contatto diretto tra pistone e i fondocorsa risulta la somma di due componenti: una, elastica e conservativa, è funzione della deformazione e della rigidità del contatto, l'altra, smorzante e dissipativa, è funzione

della velocità di deformazione tra le superfici. I risultati mostrano che la forza di impatto ha un andamento molto simile a quello di un canonico sistema del secondo ordine massa-molla-smorzatore sollecitato da un segnale impulsivo: a un picco iniziale, a cui corrisponde la condizione di primo impatto, seguono oscillazioni successive smorzate dalla componente dissipativa della forza di impatto.

Dedotti gli andamenti delle forze di impatto, si sono valutati quali effetti esse abbiano sulla resistenza strutturale e a fatica del cilindro, concentrando lo sforzo sulla testata che lo àncora a una ipotetica struttura portante (snodo sferico). L'indagine è stata condotta in ambiente Ansys Mechanical secondo un'analisi dinamico-flessibile agli elementi finiti. Essendo note le proprietà meccaniche dei materiali, si è costruita una griglia di calcolo per definire i vincoli e le forze attive agenti sul cilindro in frenatura. Finita la simulazione il codice di calcolo ha fornito gli andamenti della sollecitazione e deformazione equivalenti di von Mises e della deformata totale della testata di sostegno. Lo stato del contatto nell'interfaccia tra lo snodo e la struttura portante è invece valutato con la valutazione dello stato e della distribuzione della pressione nell'area di contatto.