



Meccanica, potenza fluida, elettronica, integrazione tra i sistemi, gestione della conoscenza in ambiti multidisciplinari, prestazioni dell'applicazione specifica, sostenibilità economica e ambientale. Sono queste le sfide della moderna componentistica oleoidraulica. Qui di seguito qualche esempio significativo

# L'innovazione è qui

ROBERTO PAOLUZZI

Lo sviluppo delle competenze nel settore oleodinamico ha smesso da tempo di essere esclusivo appannaggio della sola componente meccanica o fluida, ma è sempre più diventato un complesso insieme di diverse componenti, a partire dall'ovvia elettronica, per giungere alla meno compresa problematica della integrazione funzionale e di sistema o della gestione della conoscenza su

ambiti multidisciplinari, per giungere a una sempre maggiore integrazione di sistema mirata all'ottimizzazione della prestazione globale sull'applicazione specifica. La sempre più consolidata tendenza a sviluppare progetti declinati sul comune denominatore della sostenibilità economica ed ambientale, della efficienza energetica e della migliorata ergonomia e sicurezza delle attuazioni,

generano spinte verso lo sviluppo di soluzioni che, benché apparentemente focalizzate su aspetti specifici, sono in realtà elementi di un più complesso scenario, di cui divengono elementi costitutivi, o tecnologie abilitanti, come più pomposamente si potrebbe riferirvisi. Imamoter, Istituto per le macchine agricole e movimento terra del Consiglio Nazionale delle Ricerche, fin dalla

sua costituzione inserisce fra le proprie attività una significativa componente dedicata all'analisi della trasmissione di potenza per via fluida, e non solo ne è stato interprete, ma per alcuni versi precursore, a partire dalle iniziative didattiche e di ricerca in comune con università (Politecnico di Torino, Università di Modena e Reggio Emilia e Università di Ferrara) e con le maggiori aziende produttrici di componenti e sistemi oleodinamici nazionali e con i maggiori produttori di macchine mobili per il movimento terra e l'agricoltura.

Sarebbe probabilmente dispersivo e presuntuoso elencare le numerose iniziative che, con diverso grado di successo, sono riferibili a questo scenario generale, ma alcuni esempi specifici possono aiutare a contestualizzare un modo di vedere l'approccio che, benché non ancora completamente sfruttato nelle sue potenzialità può essere una delle chiavi per mantenere quel vantaggio competitivo che ha comunque fatto dell'Italia, per lunghi anni, il terzo o quarto produttore mondiale di componentistica oleodinamica.

### Stadi elettropilotati di valvole

L'uso di sistemi elettropilotati per valvole proporzionali è ormai consolidato sia nelle applicazioni mobili sia in quelle industriali, tuttavia il potenziale in termini

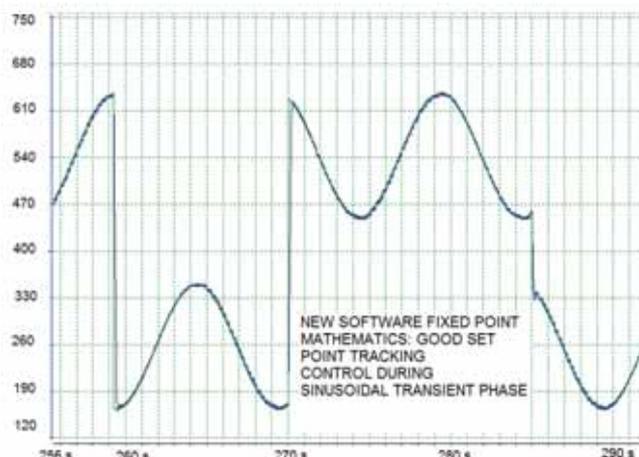
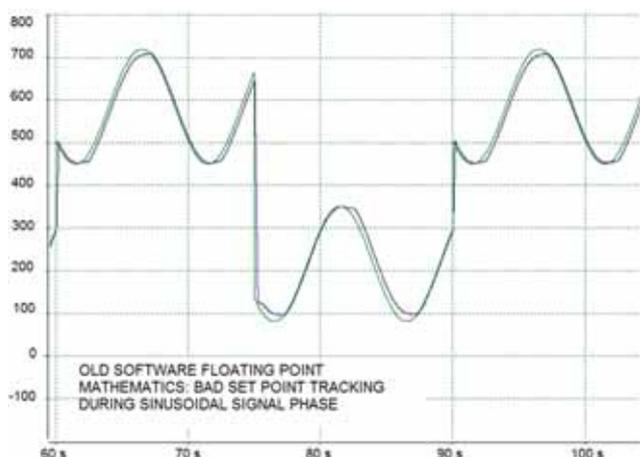


Sistema Multidrom di Tecnord su banco prova Imamoter (per gentile concessione di Tecnord).

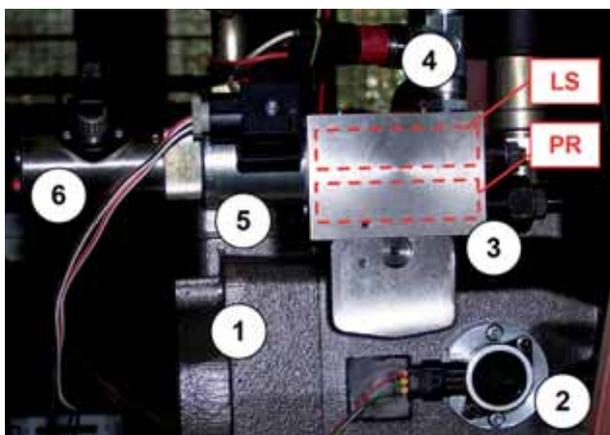
di controllabilità, robustezza, sicurezza e flessibilità del sistema di controllo che le supervisiona non è ancora completamente sfruttato. Il gruppo di progettazione elettronica embedded di Imamoter è impegnato da anni nello studio e nello sviluppo di sistemi, algoritmi e strategie di controllo evolute applicate all'oleodinamica proporzionale, ed in questo ambito diversi sono stati i risultati raggiunti, fra i quali è appena il caso di segnalare quanto sia possibile, mediante ottimizzazione di strategie di comando (per esempio peak-and-hold ottimizzato) o una accurata strategia di impiego del calcolo intero piuttosto che in virgola mobile, ottenere miglioramenti anche di un ordine di grandezza nei tempi di risposta e una migliorata precisione del controllo di posizione, praticamente

esente da isteresi. La figura 1 mostra a questo proposito il sistema Multidrom di Tecnord, sottoposto a prova di qualificazione nell'ambito di un progetto di ricerca congiunto, in base al quale, attraverso un accurato intervento di progettazione e affinamento del software di controllo, sono stati ottenuti risultati significativi, sia in termini di precisione e robustezza del controllo, sia in termini di tempi di risposta (figura 2).

Il passaggio dal calcolo in virgola mobile a virgola fissa non ha solo effetti sulla prestazione del componente, ma contribuisce anche in modo significativo nel forzare una scrittura del codice molto più controllata e guidata, raggiungendo in modo implicito quegli obiettivi di strutturazione del processo di scrittura, gestione e manutenzione del software



Confronto di risposta a stimoli sinusoidali con software di controllo in virgola mobile (sinistra) e ottimizzato in logica intera (destra).



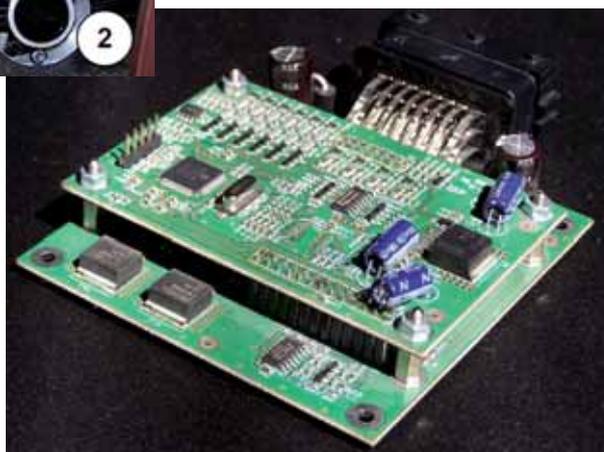
Layout sperimentale per la pompa in prova (sinistra) e scheda elettronica di controllo realizzata da Imamoter.

### Controllo elettronico di pompe

Anche il controllo elettronico della cilindrata in pompe volumetriche per circuiti di varia configurazione non è un concetto nuovo, anzi, in diverse applicazioni

Negative Control, Positive Control hanno aspetti positivi e negativi che non è il caso di approfondire in questa sede. Sempre nell'ambito delle collaborazioni di ricerca industriale che caratterizzano Imamoter-CNR il concetto di controllo elettronico della cilindrata di pompe a stantuffi assiali è stato sviluppato partendo dalle limitazioni insite in un

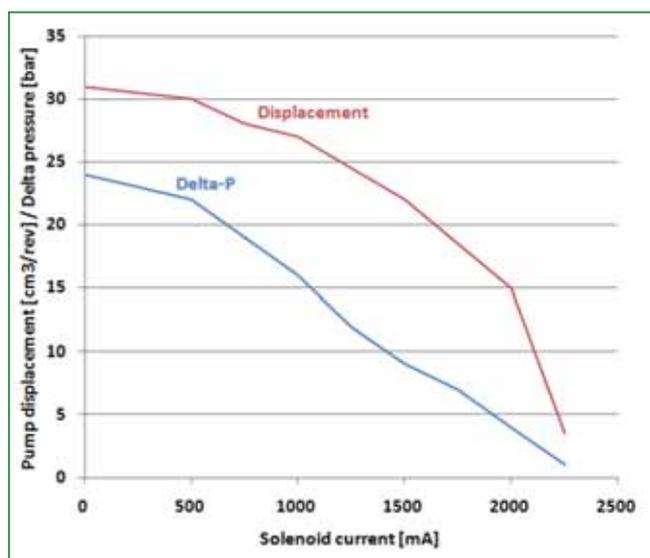
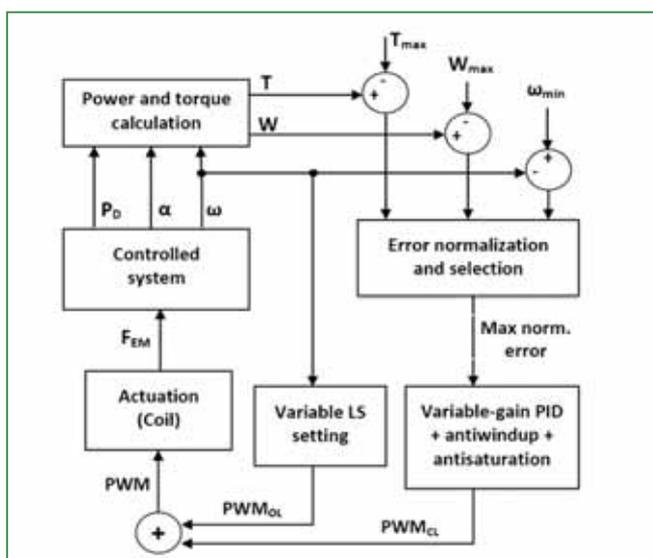
sistema basato sulla generazione di una pressione controllata da una valvola proporzionale a tre bocche, agendo su di un concetto di attuatore elettroproporzionale in grado di effettuare una azione di override sui sistemi di controllo tradizionale presenti su di una pompa volumetrica a cilindrata variabile, LS e PC in primis, sfruttando i segnali intrinsecamente



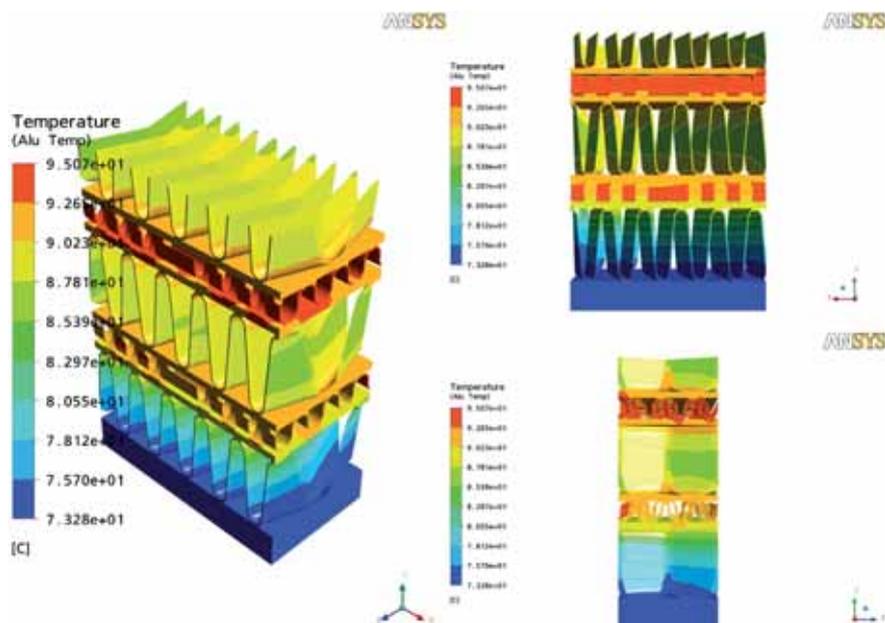
che le recenti disposizioni in materia di sicurezza funzionale (l'applicazione della norma ISO 13849 ne è solo un esempio) impongono. Non si tratta dunque di una innaturale resistenza al sempre maggiore sviluppo delle architetture di microcontrollori a disposizione del progettista, come una superficiale analisi potrebbe suggerire, ma una efficace e consapevole opera per consentire di generare sistemi sempre più efficienti, robusti, sicuri ed economici sfruttando al meglio quanto la tecnologia mette a disposizione.

sia mobili che industriali, tale concetto è considerabile come acquisito dal mercato, tuttavia le diverse soluzioni presenti mutuano fra loro la caratteristica di adattabilità ad applicazioni o macchine specifiche, per le quali soluzioni come EFM (Electro-hydraulic Flow Matching),

mente disponibili in sistemi dotati di motorizzazioni moderne in cui la rete SAE J1939 rende disponibili informazioni sullo stato del motore endotermico. La figura 3 mostra la realizzazione sperimentale testata presso il laboratorio di Imamoter, in cui si possono riconoscere



Struttura del controllo elettronico del segnale PWM (sinistra) e caratteristica di azzeramento portata in funzione della corrente (destra).



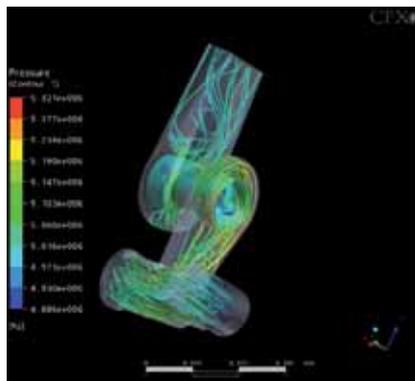
Simulazione multifisica dello scambio termico in scambiatore a flusso incrociato.

il corpo pompa (1), il sensore angolare integrato (2), il compensatore idraulico integrato (3) per logica load sensing (LS) e compensazione di pressione (PR), il sensore di pressione integrato (4), il solenoide elettroproporzionale (5) che realizza il controllo e il sensore Lvdt (6). L'elemento spintore del solenoide agisce direttamente sul cassetto della valvola LS, realizzando le logiche di controllo desiderate, in particolare LS a margine variabile in funzione delle condizioni operative, limitazione di velocità, anti-stallo ed eventualmente logiche di tipo diverso. La realizzazione, oltre ad essere mini-invasiva nei confronti di progetti esistenti ha anche la non trascurabile caratteristica di poter essere classificata come fail operational ai sensi della norma ISO 13849. Il controllo realizzato ha la struttura mostrata in figura 4 a sinistra, in cui il segnale Pwmcl è responsabile della realizzazione dei controlli aggiuntivi (per esempio coppia, potenza e anti-stallo o velocità). La prestazione in termini di capacità di riduzione della pressione differenziale di controllo e di riduzione della cilindrata della pompa è mostrata nella figura 4

a destra in funzione della corrente di alimentazione. Il sistema è stato testato conformemente ai requisiti di caratterizzazione della norma SAE J745.

#### Strumenti di simulazione virtuale

La progettazione di componenti evoluti in oleodinamica non è però solo elettronica, e l'integrazione di sistema comporta anche e soprattutto lo sviluppo di strumenti in grado di gestire il complesso dei fenomeni che condizionano la prestazione. Un approccio integrato deve, per essere economico, utilizzare in modo intensivo gli strumenti messi



Simulazione del flusso in una sezione di valvola oleodinamica per determinazione delle forze assiali sul cursore mobile.

a disposizione dall'analisi multifisica. L'approccio tipico dovrebbe riuscire a integrare elementi di analisi strutturale, termofluidodinamica e funzionale in un unico ambiente simulativo in grado di cogliere gli effetti fortemente non lineari a livello sistemistico mantenendo il livello di dettaglio necessario a riprodurre anche le interazioni fra fenomeni appartenenti a domini fisici diversi (termico, strutturale, dinamico, elettronico) e la conoscenza degli effetti dei complessi fenomeni anche su scala microscopica che determinano il comportamento del componente.

Il prototipo virtuale è alla portata ormai di chi voglia affrontare la sfida, purché si abbia una solida conoscenza degli obiettivi che ci si pone, per evitare inutili ed eccessive complicazioni o, peggio, irrealistiche semplificazioni.

La simulazione multifisica è un esempio dell'approccio verso il prototipo virtuale, e la figura 5 mostra un esempio di simulazione dello scambio termico in un blocco radiante a flusso incrociato che tenga conto delle interazioni termo-fluido-strutturali che, se combinato opportunamente con tecniche di parametrizzazione adeguate, consente una ricostruzione quasi arbitraria di geometrie di scambiatore di data aleattatura per fini predittivi.

Le possibilità di impiego della simulazione numerica per caratterizzare un fenomeno su scala microscopica, di misura sperimentale molto complessa e formulazione teorica eccessivamente approssimata, è mostrato in figura 6.

In questo caso la soluzione completa del campo di moto mediante fluidodinamica computazionale (CFD), rende possibile la mappatura in funzione del punto di funzionamento (posizione, pressione e portata) delle forze fluide assiali che agiscono sull'elemento mobile.

*R. Paoluzzi – Direttore dell'Istituto per le macchine agricole e movimento terra (Ima-moter) CNR.*