

COMSOL - La prototipazione virtuale dà una svolta al servosterzo elettroidraulico

FZB Technology si affida alla simulazione multifisica per migliorare la progettazione dei sistemi di servosterzo elettroidraulico

Chiunque abbia mai guidato un'automobile senza servosterzo sa bene quanta forza sia necessario esercitare sul volante perché le ruote seguano il movimento. Per fortuna, quei giorni sono finiti. I sistemi di servosterzo – che trasformano la guida in un'esperienza molto più confortevole, rendendo più agevole azionare gli ingranaggi dello sterzo – si sono evoluti negli anni e continuano a farlo, grazie a progetti sempre più ottimizzati.

Fino agli anni '90, le versioni idrauliche ed elettriche erano le più comuni. Ma si trattava soltanto dei precursori di un metodo a basso consumo chiamato servosterzo elettroidraulico (ElectroHydraulic Power Steering, EHPS). I sistemi EHPS si basano sul principio di funzionamento dei sistemi idraulici, ma si affidano a un motore elettrico che alimenta una pompa idraulica, invece di ricevere potenza dal motore dell'automobile (ved. Figura 1). Dal momento che l'energia prodotta dal motore elettrico cambia in base alla velocità del veicolo e all'angolazione del volante, viene sprecata molta meno energia.

La pompa spinge un fluido da un serbatoio fino agli ingranaggi dello sterzo, che fornisce più coppia per far ruotare i pneumatici quando il conducente agisce sul volante. Il sistema include anche un'unità di controllo elettronico (ECU), un sensore di coppia, una valvola per il controllo della pressione del fluido e un sistema di tubature.

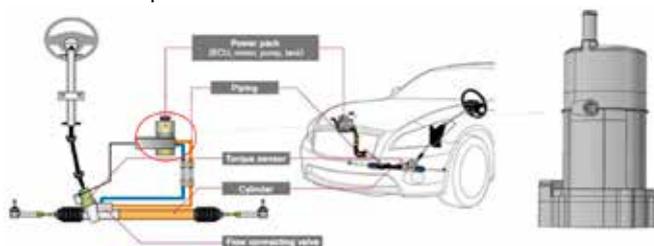


FIGURA 1 - Schema del sistema di servosterzo elettroidraulico (EHPS)

LA COMPLESSITÀ DEI SISTEMI EHPS

Non è facile progettare un sistema che comprende così tanti componenti in relazione tra di loro, perché spesso il comportamento di una parte dipende da quello di un'altra. Cambiamenti apparentemente secondari possono avere un effetto importante su funzionalità, efficienza e affidabilità.

“La simulazione multifisica è uno strumento che velocizza il processo di rifinitura del progetto”, spiega Feng Qi, senior mechanical engineer in FZB Technology a Plymouth, nel Michigan. FZB svolge attività di Ricerca

e Sviluppo per il mercato automobilistico, compreso lo sviluppo di motori, sensori, sistemi di accensione senza chiave RFID e naturalmente sistemi EHPS.

I tecnici di FZB utilizzano spesso sistemi CAD e il software COMSOL Multiphysics per modellare i componenti degli EHPS (ved. Figura 2). In questo modo diventa più facile comprendere il comportamento dei meccanismi interni del sistema e avvicinarsi il più possibile al progetto definitivo prima di passare dalla prototipazione virtuale alle prove sperimentali.

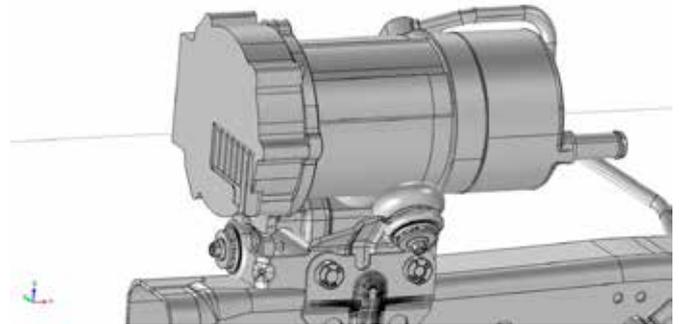


FIGURA 2 - Geometria usata per l'analisi multifisica del progetto EHPS. Il progetto include alette per agevolare la dissipazione del calore nell'aria circostante, componenti del telaio e aperture per il fluido

“La simulazione ci aiuta a comprendere i problemi in modo chiaro, tanto da poter rispondere alle esigenze del settore automotive ancor prima di costruire un modello fisico”, osserva Qi. “Abbiamo bisogno di sapere come funziona il sistema da molti punti di vista diversi: meccanico, termico, fluidodinamico, acustico ed elettromagnetico”.

Qi spiega che la validazione e le prove sperimentali sono costose e possono richiedere molto tempo, fino a sei mesi – ma anche dopo i test, qualsiasi prototipo di successo avrà comunque bisogno di ulteriori ottimizzazioni. “Tutto questo rallenterebbe troppo il ciclo di progettazione, quindi utilizziamo la simulazione per accelerare il processo. Siamo in continuo contatto con i tecnici di Chrysler, per esempio, per migliorare il nostro progetto con il software COMSOL prima di qualsiasi validazione fisica. Altrimenti non saremmo in grado di rispondere alle loro esigenze”. Grazie alla comprensione di quel che accade sotto il cofano dell'automobile, il team di Qi in FZB ha modellato i componenti più importanti del più recente progetto di EHPS: l'ECU, le staffe di isolamento, il motore alimentato da un magnete permanente, il serbatoio del fluido e la pompa

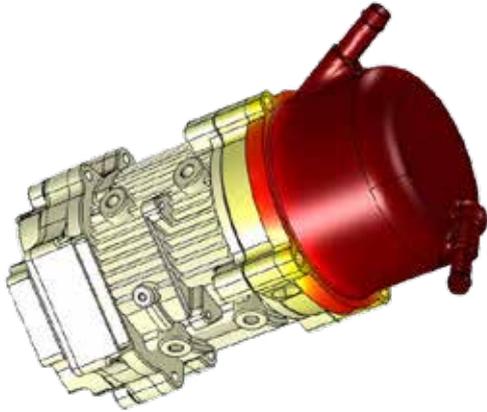


FIGURA 3 - Sono state eseguite simulazioni statiche e dinamiche per scoprire la distribuzione della temperatura in diversi componenti quando la pompa è testata sotto diversi carichi del veicolo. I risultati della simulazione suggeriscono dei range ottimali per la geometria locale, i parametri di progetto del motore, le dimensioni e il numero di vie nell'ECU e altri aspetti rilevanti per il trasporto termico

a ingranaggi elicoidali. Il team ha eseguito le simulazioni di ciascuna parte separatamente, ma sono state condotte anche analisi multifisiche dell'intero complesso, che prevede un diverso progetto per ciascun modello di veicolo.

Queste analisi dei fenomeni termici, meccanici, fluidodinamici ed elettromagnetici hanno aiutato il team a risolvere i problemi che riguardano le prestazioni termiche, il controllo del movimento dinamico, l'erogazione del fluido nella pompa e la NVH (Noise, Vibration and Harshness) (ved. Figura 3).

IL CALORE SOTTO IL COFANO

La capacità di operare in un range di temperature sicuro è un fattore primario per valutare le performance di un sistema. Qi ha creato un modello che rende conto del trasferimento di calore nella pompa e della generazione di calore nel fluido che lubrifica gli ingranaggi dello sterzo. Utilizzando la temperatura del fluido come una condizione al contorno variabile, il team è stato in grado di prevedere la distribuzione della temperatura nel sistema per diverse condizioni operative.

Qi spiega che la pompa è sottoposta alla deformazione maggiore quando le ruote dell'automobile sono bloccate contro un cordolo e il conducente cerca di sterzare. Quando questo succede nel mondo reale, la batteria dell'automobile trasmette energia alla pompa anche se le ruote sono bloccate, generando calore nell'ECU e nel magnete del motore.

A partire dalle condizioni operative indicate dal produttore dell'automobile, il team è stato in grado di modellare il comportamento del fluido del servosterzo in questa situazione. È stato studiato anche come reagirebbero i componenti dell'ECU, quali i MOSFET e il cablaggio, ai livelli di temperatura generati dal calore che si sprigiona quando le ruote della macchina sono bloccate. Il team ha usato un metodo di modellazione multiscala, cominciando con simulazioni di componenti individuali che sono state poi integrate a livello del sistema, e ha correlato i risultati ai dati delle prove sperimentali. Grazie a questa analisi, è stato possibile mettere a punto le

condizioni al contorno e le proprietà dei materiali per approfondire le diverse configurazioni.

La distribuzione della temperatura ha un effetto anche sui componenti strutturali come l'alloggiamento, lo statore, il rotore e le bielle all'interno del motore (ved. Figura 4). L'espansione termica del metallo influenza l'efficienza del motore e richiede quindi maggiore coppia e RPM per fornire l'energia necessaria alla pompa. Anche le proprietà del fluido, come la viscosità dinamica e la densità, cambiano con la temperatura e richiedono che gli ingranaggi vengano modificati per garantire un movimento fluido e costante.

"Questa è la situazione più impegnativa, quando il veicolo non si muove e la pompa deve fare uno sforzo molto maggiore", racconta Qi. "È necessario che il sistema rimanga sempre in un range di temperature in cui i vari componenti restino affidabili. Quindi, abbiamo modellato le impostazioni per le situazioni più estreme, per assicurarci che il sistema regga e le sue performance non scendano di livello".

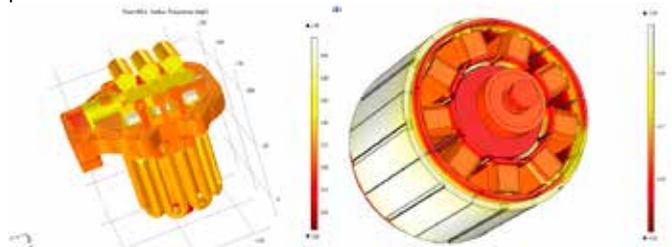
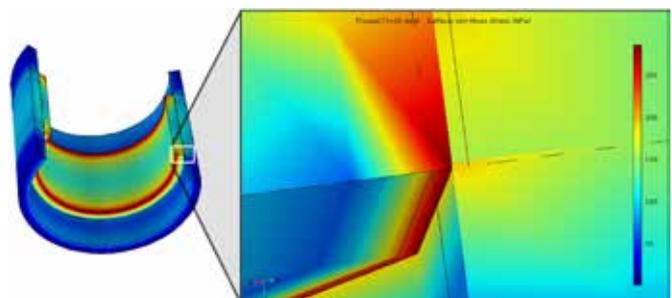


FIGURA 4 - La temperatura all'interno dell'ECU e dell'assieme del rotore (a sinistra) e all'interno dell'assieme di rotore e statore (a destra). Il modello prevede le prestazioni del sistema termico quando il prodotto è installato sul veicolo

Qi ha modellato le variazioni nello spessore dell'involucro del motore, dello statore e della pompa, causate dall'espansione termica, per verificare se il livello di sforzo potesse superare il limite di snervamento di qualche componente (ved. Figura 5). Lo statore del motore in particolare ha rappresentato una grande sfida, perché l'espansione termica ne causava il cedimento. Il problema è emerso molto presto dai risultati di simulazione di COMSOL e il team ha potuto aggiungere un groove, che permette allo statore di cambiare forma senza causare alcun problema.

Questo aspetto geometrico si è rivelato critico per stimare l'interferenza di accoppiamento tra alloggiamento e statore. Poiché l'alloggiamento

FIGURA 5 - I livelli di sforzo in una simulazione durante l'analisi dell'interferenza nell'alloggiamento e nello statore



e lo statore hanno differenti coefficienti di dilatazione termica (CTE), è necessario quantificare correttamente l'interferenza e lo spessore geometrico necessari perché nessun componente rischi di cedere nel range di temperatura previsto.

FLUIDO, RUMORE E COMPONENTI ELETTRONICI: TUTTI GIOCANO UN RUOLO

Il team di Qi ha costruito anche un modello elettromagnetico per analizzare le prestazioni del magnete e della pompa a ingranaggi elicoidali in diversi istanti temporali durante il processo di pompaggio (ved. Figura 6). In questo modo è stato possibile comprendere le performance del motore nel tempo e compiere una stima accurata della dispersione di calore nelle bobine e nel ferro. Così si è giunti a modificare la geometria in modo da consentire una distribuzione della temperatura più uniforme tra i componenti e le varie parti. Il team ha poi accoppiato la simulazione elettromagnetica a un'analisi fluidodinamica per comprendere come questo avrebbe influenzato il movimento del fluido e l'efficienza della pompa. A questo scopo i tecnici hanno utilizzato il software PumpLinx, un programma studiato appositamente per la modellazione delle pompe, così da ottenere l'efficienza del fluido, la portata e l'ondulazione di pressione.

FIGURA 6 - La simulazione mostra la densità del flusso magnetico e il potenziale magnetico vettore in uno studio tempo-dipendente del comportamento del motore EHPS

Qi ha trasferito i dati del fluido nel suo modello in COMSOL Multiphysics, ha aggiornato la geometria attraverso il software SOLIDWORKS e ha quindi creato una simulazione acustica per studiare le vibrazioni (ved. Figure 7 e 8). Un'ulteriore simulazione di rotodinamica lo ha aiutato a identificare le velocità critiche in cui le vibrazioni sarebbero aumentate drasticamente, provocando il cedimento degli ingranaggi. Questo avrebbe causato un rumore anomalo e una minore efficienza.

“Non avevamo bisogno di capire solamente quanto rumore avrebbe generato il sistema: dovevamo sapere anche come questo avrebbe influenzato il comportamento elettromagnetico e fluidodinamico”, spiega Qi. “Tutto è interconnesso. Abbiamo modellato l'ondulazione di pressione nel fluido e abbiamo analizzato con COMSOL l'influenza dell'ondulazione sul rumore in aria. Grazie ai risultati, siamo stati in grado di ottimizzare i cuscinetti, l'albero, la forma degli ingranaggi elicoidali e i groove nella valvola di decompressione del fluido nella boccola della pompa a ingranaggio elicoidale”.

“Abbiamo scelto COMSOL perché avevamo bisogno di analizzare il comportamento sotto tutti gli aspetti fisici”, conclude Qi. “Accompagnare con successo un veicolo dall'ideazione al lancio sul mercato è un processo influenzato da molti fattori e i tempi a disposizione per il ciclo di progettazione possono essere molto stretti. Avevamo bisogno di uno strumento davvero multifisico, in funzione di un lavoro di gruppo multidisciplinare. La potenza di COMSOL nel connettere diverse aree della fisica con condizioni al contorno differenti ci ha permesso di ottenere un quadro accurato del nostro EHPS e delle sue future performance”.

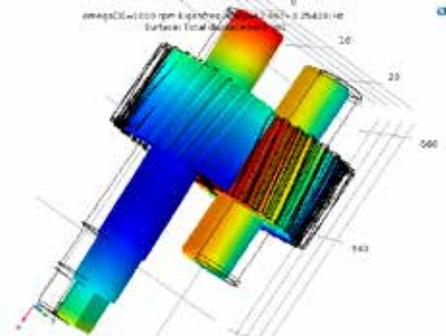


FIGURA 7 - I risultati di COMSOL mostrano lo spostamento degli ingranaggi elicoidali per un RMP di 1000 e una frequenza propria di 2718.2 Hz, a seguito dell'importazione dei risultati di un'analisi fluidodinamica effettuata con il software PumpLinx

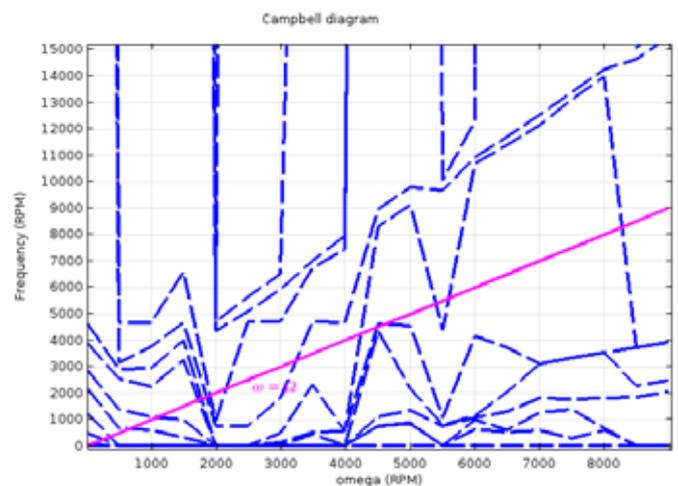
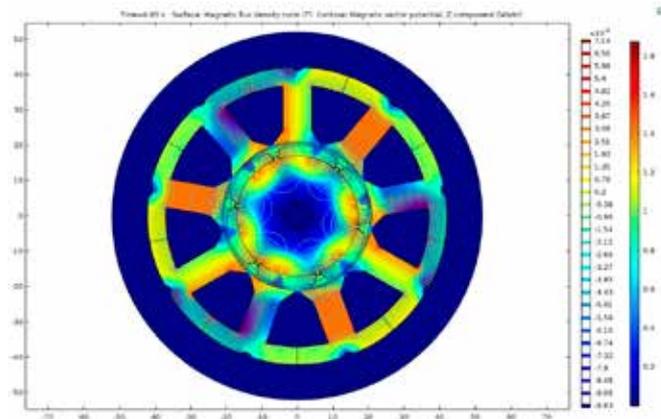


FIGURA 8 - Il diagramma di Campbell, generato in COMSOL, mostra la variazione delle frequenze proprie con la velocità angolare per gli ingranaggi elicoidali

APRIRE LA STRADA A PROGETTI SEMPRE MIGLIORI

In conclusione, il team di FZB ha apportato notevoli miglioramenti alla progettazione della geometria della pompa, grazie ai risultati offerti da COMSOL. Dalle simulazioni è stato tratto anche un report sui limiti del consumo di energia per aiutare i progettisti a rispettare le esigenze del mercato automotive. I tecnici hanno studiato come le diverse condizioni al contorno influenzassero il consumo di energia e la produzione di potenza della pompa, e hanno controllato i risultati della simulazione per diversi scenari, insieme ai dati dei test di guida reali.

“Abbiamo scelto COMSOL perché avevamo bisogno di analizzare il comportamento sotto tutti gli aspetti fisici”, conclude Qi. “Accompagnare con successo un veicolo dall'ideazione al lancio sul mercato è un processo influenzato da molti fattori e i tempi a disposizione per il ciclo di progettazione possono essere molto stretti. Avevamo bisogno di uno strumento davvero multifisico, in funzione di un lavoro di gruppo multidisciplinare. La potenza di COMSOL nel connettere diverse aree della fisica con condizioni al contorno differenti ci ha permesso di ottenere un quadro accurato del nostro EHPS e delle sue future performance”.