

Metodologia numerico-sperimentale per la modellazione tridimensionale completa di pneumatici in ambito automotive

Thursday 3 September 2026 12:45 (15 minutes)

Obiettivi

Nel contesto dello sviluppo virtuale in ambito automotive, l'accuratezza delle simulazioni NVH (Noise, Vibration, and Harshness) e di dinamica globale del veicolo dipende in larga misura dalla corretta modellazione dell'interazione ruota-strada e quindi dalla corretta modellazione dello pneumatico. Data la complessità del componente, l'industria si affida tipicamente a modelli condensati di tipo "black box" forniti direttamente dai costruttori di pneumatici. Tali formulazioni, tuttavia, includono intrinsecamente anche la rigidità e la massa del cerchio ruota. Questo vincolo costringe i costruttori di veicoli (OEM) a condividere preliminarmente i dati CAD e lo stile dei cerchi con i fornitori, sollevando delicate criticità in termini di confidenzialità industriale e rendendo il modello rigido rispetto a variazioni di design. L'obiettivo di questo lavoro è sviluppare una metodologia FEM completa di pneumatico ("white box") tramite reverse engineering sperimentale. Tale modello mira a disaccoppiare l'analisi dello pneumatico da quella del cerchio, superando le restrizioni di confidenzialità dei modelli commerciali e offrendo, al contempo, uno strumento versatile per condurre analisi e studi di sensibilità al variare dello stile del cerchio e delle condizioni operative.

Metodi

La modellazione è stata supportata da una mirata campagna di caratterizzazione sperimentale sul componente fisico. Sono state condotte prove di trazione su provini estratti in diverse sezioni chiave, per ricavare le rigidità strutturali equivalenti delle zone dello pneumatico. In ambiente FEM, è stata adottata una tecnica di modellazione mista con elementi 2D e 3D che mima il processo produttivo, volta a simulare al meglio la specifica funzione meccanica delle singole strutture interne. Per definire il corretto stato tensionale di base, il modello è stato sottoposto a un'analisi statica non lineare, resa necessaria dalla natura complessa del componente e del caricamento, step propedeutico e fondamentale per la successiva estrazione modale.

Risultati

L'approccio sperimentale, unito alla modellazione mista 2D/3D, ha permesso di riprodurre fedelmente il componente sfruttando le sue caratteristiche ortotropiche ed implementando di conseguenza rigidità direzionali realistiche nel dominio FEM. Ai fini della validazione, i risultati dell'analisi modale sono stati incrociati con quelli estratti dal modello condensato ufficiale del fornitore. Per garantire il massimo rigore metodologico, nel modello FEM completo sono stati imposti esattamente gli stessi vincoli e carichi utilizzati dal costruttore per la linearizzazione del proprio modello. Il confronto numerico ha evidenziato non solo un'eccellente correlazione modale, ma anche una piena corrispondenza in termini di rigidità statiche, confermando la robustezza delle assunzioni fatte durante il reverse engineering e la correttezza del pretensionamento applicato.

Conclusioni

Il lavoro dimostra la validità di un approccio ibrido sperimentale-numerico per la formulazione di un modello di pneumatico configurabile. Svincolandosi dai modelli condensati "black box" che legano in modo inscindibile pneumatico e cerchio, la metodologia proposta risolve le problematiche di confidenzialità intellettuale (IP) tra OEM e fornitori. Questo approccio garantisce agli ingegneri del veicolo una risorsa indipendente per condurre liberamente analisi strutturali su differenti design o materiali dei cerchi ruota, oltre a prestarsi per valutazioni di full vehicle in prima approssimazione. Si precisa che tale modello non intende sostituire i modelli condensati validati né il processo iterativo di co-design tra OEM e fornitore, ma si inserisce come prezioso strumento complementare per condurre analisi esplorative altrimenti precluse dalle restrizioni tipiche delle formulazioni condensate.

Co-authors: GIACOPINI, Matteo (Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari" - Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia); MANGERUGA, Valerio (Università degli studi di Modena e Reggio Emilia)

Presenter: COGLIANI, Francesco (Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia)

Session Classification: Automotive

Track Classification: Automotive