

Prove di flessione a fondo dente di ingranaggi per applicazioni elicotteristiche

Wednesday 2 September 2026 15:30 (15 minutes)

A causa delle elevate prestazioni in termini di densità di potenza e di coppia, nonché dei requisiti di sicurezza dei riduttori principali degli elicotteri, gli ingranaggi devono essere progettati sulla base di metodologie validate e dati affidabili. Sebbene, in termini generali, la fatica a flessione non rappresenti solitamente il modo di danneggiamento più critico per gli ingranaggi aeronautici, la conoscenza accurata dei margini di sicurezza è fondamentale, a causa delle conseguenze catastrofiche associate al suo verificarsi. In particolare, i dati di resistenza a fatica del materiale devono essere pienamente rappresentativi dell'esperienza specifica e delle pratiche del costruttore, includendo gli effetti di diversi parametri legati alla geometria, alla produzione, ai trattamenti termici e meccanici e ai processi di finitura.

Il presente lavoro sintetizza numerose campagne di prove condotte su ingranaggi destinati a trasmissioni elicotteristiche. Obiettivo di queste prove è caratterizzare la resistenza a fatica flessionale al piede del dente e di costruire una base dati sperimentale rappresentativa dei materiali, dei trattamenti termici e meccanici, dei processi di finitura e delle soluzioni produttive adottate per componenti aeronautici.

La campagna sperimentale è stata svolta mediante prove di flessione a singolo dente (altresì chiamate prove pulsatore), impiegando provini dentati rappresentativi dell'effettivo ciclo produttivo. Sono stati considerati ingranaggi cementati, nitrurati e realizzati con altri acciai ad alta resistenza, includendo varianti legate a rettifica del piede, shot peening, superfinishing isotropico, cleanliness e differenti trattamenti termici. Per ciascuna famiglia sono state eseguite prove di fatica distribuite lungo la curva S-N, con run-out fissato a 10 milioni di cicli, integrate da prove statiche per la valutazione del carico ultimo.

Nel complesso sono state eseguite più di 650 prove di fatica, per un totale superiore a 3 miliardi di cicli. I risultati mostrano differenze significative tra le famiglie di materiali e tra le varianti di processo. Tra gli ingranaggi cementati, gli acciai ad elevata cleanliness hanno fornito i livelli di resistenza più elevati, con un ulteriori incrementi associati alla combinazione di shot peening e superfinishing isotropico. Per gli ingranaggi nitrurati, il materiale 32CDV13 ha mostrato prestazioni particolarmente favorevoli, mentre lo shot peening ha confermato la propria efficacia anche su dentature nitrurate. La rettifica del piede del dente ha prodotto un effetto positivo sia per la riduzione della tensione nominale sia per il miglioramento delle condizioni superficiali. I valori sperimentali ottenuti risultano ben superiori a quelli generalmente proposti dagli standard, confermando il ruolo determinante della qualità del materiale e del controllo del processo produttivo.

La campagna sperimentale ha permesso di costruire un database esteso e coerente di curve S-N per ingranaggi elicotteristici, utile per la qualificazione di materiali, processi e configurazioni progettuali. Alcuni risultati della campagna sono stati presentati in conferenze dedicate agli ingranaggi o al settore elicotteristico; tuttavia una sintesi completa dell'intera campagna sperimentale non è stata ancora presentata alla comunità scientifica italiana. L'obiettivo del presente contributo è quindi riassumere i risultati dell'intera campagna, confrontarli e discuterli, includendo gli approcci utilizzati per definire i diagrammi S-N impiegati nella progettazione di ingranaggi per riduttori elicotteristici.

Primary author: BONAITI, Luca (Dipartimento di Meccanica - Politecnico di Milano)

Co-authors: Prof. GORLA, Carlo (Dipartimento di Meccanica - Politecnico di Milano); Mr SARTORI, Sergio (Helicopter Division, Leonardo S.p.A)

Presenter: BONAITI, Luca (Dipartimento di Meccanica - Politecnico di Milano)

Session Classification: Progettazione Meccanica

Track Classification: Progettazione Meccanica