

Sviluppo di una metodologia numerica per l'analisi cinematica ed elastoidrodinamica di un sistema di distribuzione a camma e bilanciere a dito per motori ad alte prestazioni

Wednesday 2 September 2026 11:45 (15 minutes)

Nei moderni motori a combustione interna a quattro tempi, il sistema di distribuzione è uno dei sottosistemi chiave che regolano il processo di ricambio della carica all'interno del cilindro e, conseguentemente, le prestazioni, l'efficienza e le emissioni del motore. Ad alti regimi di rotazione, il comportamento dinamico della distribuzione diventa sempre più complesso, poiché i carichi inerziali, la pressione di contatto e il regime di lubrificazione possono influenzare in modo critico le leggi di moto, le perdite meccaniche e l'usura dei componenti. Per far fronte a queste sfide, sono state proposte diverse architetture di azionamento delle valvole, con l'obiettivo di superare le limitazioni intrinseche dei tradizionali schemi ad aste e bilancieri e delle soluzioni ad azionamenti diretto. In particolare nei motori ad alte prestazioni in cui dimensioni compatte, elevata capacità di alzata delle valvole e un funzionamento affidabile ad alta velocità sono essenziali. Una delle soluzioni più usate è l'architettura a camma e bilanciere a dito (cam-finger follower), la quale è stata presa in esame in questo lavoro in virtù della sua minore massa traslante equivalente e della sua capacità di fornire alzate valvola superiori mantenendo geometrie della camma più compatte. Inoltre, l'interfaccia camma-bilanciere costituisce un caratteristico contatto elastoidrodinamico non conforme, nel quale il mantenimento di un meato lubrificante continuo sull'intero ciclo operativo è fondamentale per evitare il contatto diretto e l'usura prematura delle superfici.

L'obiettivo del presente studio è sviluppare una metodologia numerica in grado di valutare il comportamento cinematico del sistema al variare dei suoi principali parametri di progetto, nonché di stimare le forze di contatto e la velocità di trascinamento (entrainment velocity), parametro essenziale ai fini della lubrificazione. Successivamente, è stata condotta un'analisi elastoidrodinamica del contatto camma-bilanciere avvalendosi di un codice numerico agli Elementi Finiti.

A seguito di un'estesa revisione della letteratura, è stato sviluppato un modello cinematico su foglio di calcolo per valutare il profilo geometrico della camma, l'alzata della valvola, la velocità di trascinamento e per fornire una stima preliminare delle forze di contatto. Per validare tale metodologia, è stato sviluppato un modello multibody della distribuzione a camma e bilanciere a partire da un'architettura esistente utilizzando il software Excite Power Unit. I componenti sono stati discretizzati e ridotti mediante il metodo di Craig-Bampton, per poi essere assemblati come corpi flessibili interconnessi da giunti non lineari. Il modello è stato validato confrontandolo con misurazioni sperimentali acquisite a diversi regimi di rotazione del motore. In seguito, i valori ricavati precedentemente sono stati impiegati come dati di input per un codice agli Elementi Finiti dedicato all'analisi elastoidrodinamica dei contatti non conformi, al fine di stimare la distribuzione della pressione e l'evoluzione dello spessore minimo del meato lungo l'intero ciclo. Questo approccio integrato combina l'analisi cinematica e i calcoli EHL, consentendo la valutazione delle condizioni di lubrificazione locale in qualunque punto del ciclo di funzionamento del motore.

I risultati mostrano che il comportamento tribologico del contatto è fortemente dipendente dalla cinematica locale del meccanismo, la quale a sua volta determina la velocità di trascinamento istantanea. Sono stati individuati specifici intervalli angolari critici nei quali la concomitanza di carichi elevati e di una ridotta velocità di trascinamento determina una diminuzione dello spessore del film lubrificante, portando il sistema a operare in condizioni di lubrificazione peggiori. In tali regioni, la riduzione della portanza idrodinamica favorisce un maggiore contributo del contatto diretto, con conseguente incremento dell'attrito e dei fenomeni di usura. In particolare, è opportuno evitare l'inversione di segno della velocità di trascinamento, poiché in tale condizione viene ampliata la porzione di ciclo in cui il contatto lavora in regime di lubrificazione misto o limite. L'identificazione preventiva delle condizioni operative più critiche costituisce quindi un passaggio essenziale nella fase di progettazione preliminare, in quanto consente di escludere configurazioni geometriche e cinematiche potenzialmente penalizzanti sotto il profilo tribologico.

Primary author: DE BATTISTI, Davide (Università di Modena e Reggio Emilia)

Co-authors: Dr RENSO, Fabio (Università di Modena e Reggio Emilia); SPAGNUOLI, Marco (Automobili Lamborghini SpA); 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: DE BATTISTI, Davide (Università di Modena e Reggio Emilia)

Session Classification: Automotive

Track Classification: Automotive