



ATTRAVERSO UN UN ESEMPIO APPLICATIVO RELATIVO AL MONITORAGGIO DI UN TEST ENDURANCE DI UN ASSALE PER AUTO IBRIDE, PEI VM PRESENTA I VANTAGGI DI VMGEARS DM

Emiliano Raccagni

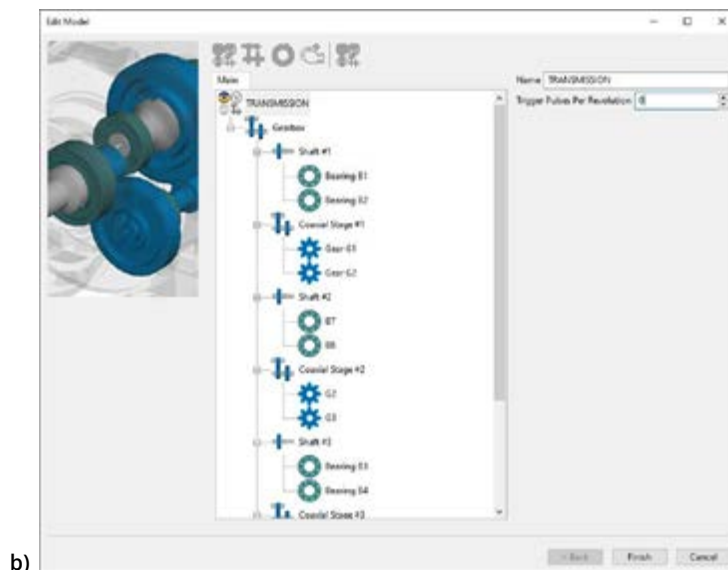
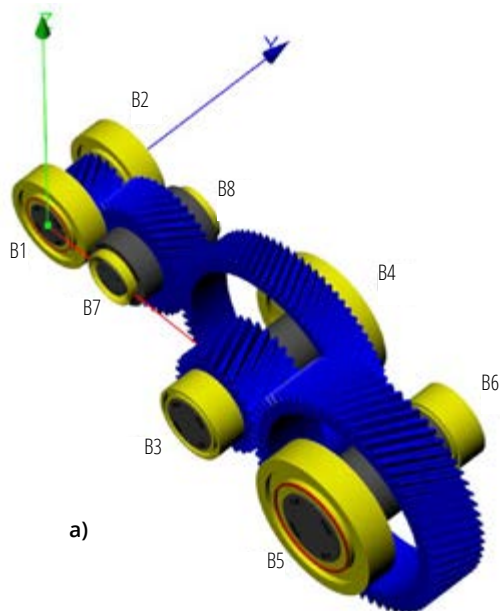
## Prove di endurance di un assale per auto ibride

In quasi tutti i tipi di macchinari industriali sono presenti parti rotanti soggette a urti, strisciamenti, contatti e sbilanciamenti, che si traducono in forze di eccitazione. A loro volta, queste forze si propagano a tutta la struttura della macchina, generando vibrazioni superficiali e di conseguenza onde sonore, sempre presenti e quasi sempre rilevabili, connaturate al funzionamento stesso della macchina. Questi segnali, se opportunamente processati, sono in grado di rivelare importanti informazioni sullo stato di salute o di usura delle componenti interne della macchina. PEI VM Srl, specializzata in consulenza e strumentazione nel campo NVH (Noise Vibrations Harshness) conduce da anni un'intensa attività sperimentale con il

supporto di diverse aziende del territorio, dando vita a moduli di analisi specifici per ciascuna tipologia di macchine (riduttori, assali, cambi, motori elettrici, motori a combustione, pompe, etc..). Questi moduli sono ad oggi disponibili come licenze software all'interno di un sistema di diagnostica denominato VMGears.

### Diagnostica di macchine rotanti

VMGears indica un sistema di misura e analisi commercializzato a partire dal 2006, completo di hardware e software, progettato per effettuare la diagnostica di macchine rotanti tramite la misura delle vibrazioni superficiali. Sulla



**Figura 1.** Schema della trasmissione (a) e modellazione all'interno di VMGears (b)

base di algoritmi sviluppati ad-hoc, VMGears identifica i difetti delle componenti interne, che si manifestano come rumorosità o vibrazioni “anomale”. Le difettosità di ciascun componente vengono mostrate all'operatore tramite un'interfaccia semplice e comprensibile, sotto forma di indicatori numerici facilmente comparabili, rendendo immediata la lettura dello stato di salute della macchina. La complessità dell'analisi rimane in background ed è completamente nascosta agli occhi dell'utente.

VMGears è utilizzato con successo da aziende leader nei settori power transmission, automotive, motorcycle, off-highway e industrial e dispone ad oggi di tre versioni distinte per altrettante applicazioni, una delle quali è quella della versione VMGears DM (Durability Monitoring), dedicata al monitoraggio continuo di test endurance.

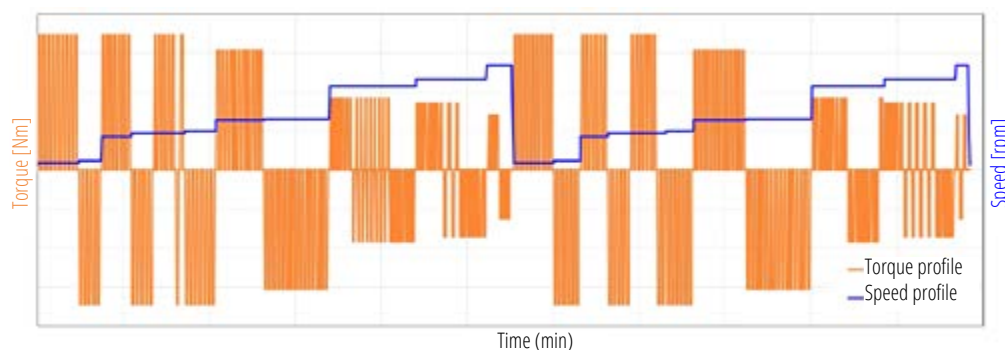
L'analisi qui presentata verte sul monitoraggio delle vibrazioni di una trasmissione per veicoli ibridi, durante un ciclo endurance che simula l'utilizzo della trasmissione nel suo intero ciclo di vita. Tramite VMGears DM è stato possibile eseguire in maniera automatizzata diverse operazioni. Come prima cosa, acquisire in maniera sincrona le condizioni operative della trasmissione con i segnali dinamici provenienti dagli accelerometri, per correlare le vibrazioni alle velocità di rotazione del motore elettrico e alla coppia motrice. È quindi possibile Interpretare i dati vibrazionali utilizzando gli indici dedicati disponibili all'interno di VMGears, legando la

vibrazione ad una specifica causa meccanica in maniera diretta, come nel caso di indici dedicati alle vibrazioni generate dall'ingranamento dei singoli stadi di riduzione, dallo sbilanciamento degli alberi o dalle piste del singolo cuscinetto. Infine, il software permette visualizzare in tempo reale l'andamento degli indici vibrazionali, per permettere di interrompere il test in caso di superamento di certe soglie di accettabilità o di improprie derive.

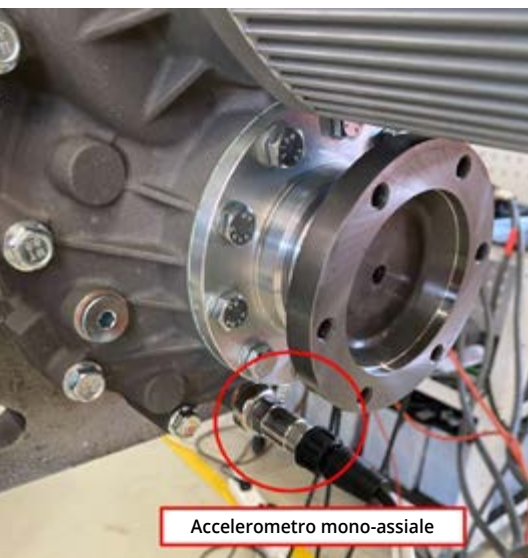
## La trasmissione

La trasmissione oggetto di test, sviluppata da una prestigiosa azienda del settore automotive e presente a bordo di alcuni modelli a propulsione ibrida, è a tre stadi di riduzione ad assi paralleli, schematizzabile come in figura 1. La trasmissione presenta 5 ingranaggi a denti elicoidali, indicati con le sigle da G1 a G5, montati su 4 alberi, ciascuno sostenuto da una coppia di cuscinetti volventi

**Figura 2.** Ciclo endurance, profili di velocità di rotazione e coppia motrice imposte alla trasmissione



per un totale di 8, indicati con le sigle da B1 a B8. Tramite l'apposito tool di costruzione dei modelli cinematici, l'intera trasmissione è stata modellata all'interno di VMGears tramite uno schema ad albero di costruzione estremamente semplice, che comprende una successione a cascata di alberi, cuscinetti e stadi di riduzione. Lo schema e il tool per la sua creazione all'interno del software sono visibili in figura 1. Il ciclo di test, inteso come il profilo temporale delle condizioni operative della trasmissione (velocità di rotazione e coppia motrice), è schematizzato in figura 2. Il ciclo si compone dalla ripetizione di condizioni stazionarie, a simulare carichi di “tiro” e di “rilascio” del veicolo. All'interno di VMGears DM è possibile mappare queste o altre condizioni, per le quali il software svolge in automatico acquisizione e analisi dei dati, oltre alla visualizzazione delle tendenze degli indici vibrazionali.



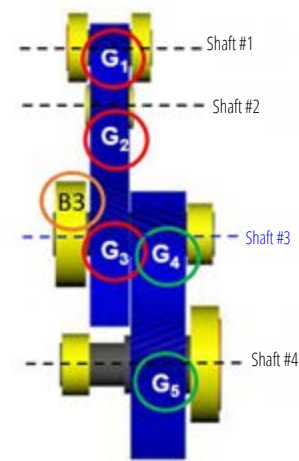
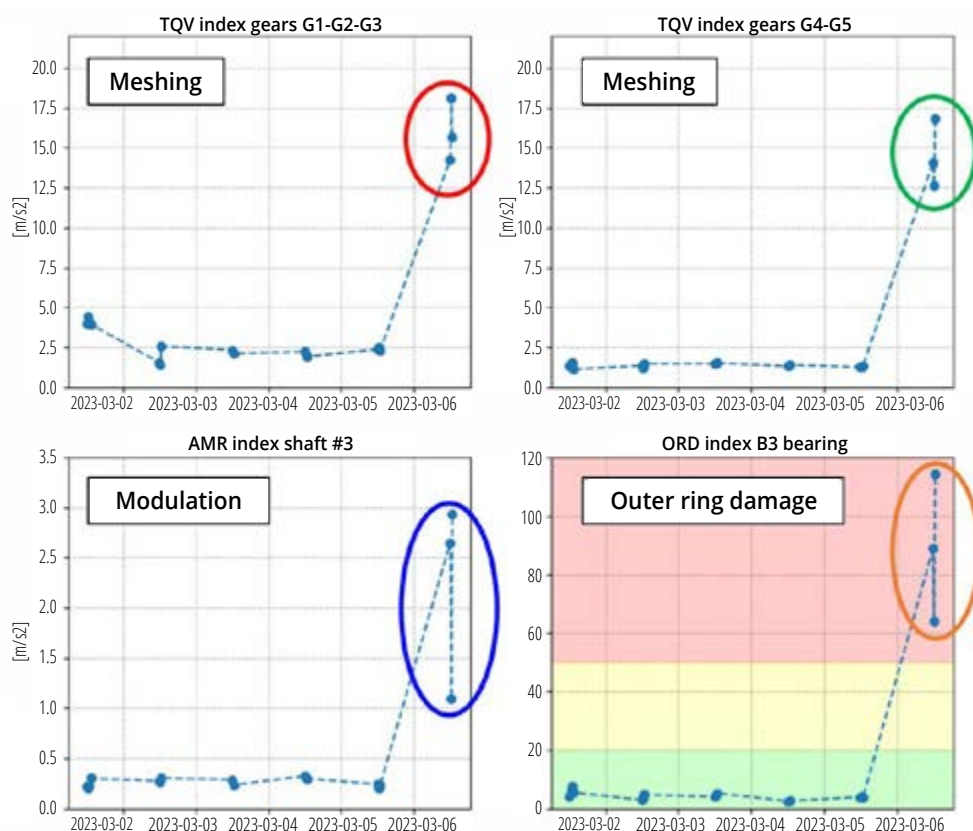
**Figura 3.** Posizionamento dell'accelerometro sulla trasmissione

## Strumentazione

VMGears DM è commercializzato come soluzione completa hardware e software. La fornitura include i moduli di acquisizione e la sensoristica IEPE (Integrated Electronic Piezoelectric Excitation), tra cui accelerometri mono o tri assiali ed eventualmente microfoni, dove le condizioni ambientali ne permettano l'utilizzo. Per questo test sono state utilizzate n.2 schede 4 canali ad alta frequenza (51.2 kHz) e accelerometri con alta sensibilità (100 mV/g) posizionati in vari punti della della trasmissione, in corrispondenza dei supporti cuscinetti e quindi dei punti di maggior sensibilità allo scambio di forze tra gli ingranaggi. In figura 3 è mostrato il posizionamento di uno degli accelerometri utilizzati sulla carcassa esterna della trasmissione.

## Risultati

Il ciclo endurance "base" (figura 2) è stato eseguito per 6 ripetizioni consecutive fino al



**Figura 4.** Trend indici vibrazionali (TQV, AMR, ORD): le zone colorate nei plot evidenziano le derive dei rispettivi indici (correlati ai componenti con lo stesso colore nello schema a destra) all'insorgere del problema (in questo caso, un cedimento del cuscinetto B3)

completamento del test, avvenuto al sopraggiungere di criticità nel funzionamento della trasmissione. Come dimostrato dai grafici, è stato possibile intercettare in maniera preventiva una serie di danneggiamenti tramite gli indicatori vibrazionali VMGears dedicati a ruote dentate e cuscinetti. Nella condizione operativa di massima velocità di rotazione, durante la 6° e ultima ripetizione del ciclo endurance, è stato possibi-

le osservare importanti trend di crescita su vari indicatori vibrazionali, come:

- Aumento del +250% dell'indice di RM-Soverall [m/s<sup>2</sup>] questo indice globale mostra un importante aumento vibrazionale tra l'ultima ripetizione e le precedenti 5, tuttavia non sufficiente per permettere di identificare quali siano i componenti danneggiati o malfunzionanti, descritti invece in dettaglio da altri indici.
- Aumento del +600% dell'indice di vibrazione di ingranamento TQV [m/s<sup>2</sup>] per tutte le ruote, a indicare come l'azione di ingranamento avvenga in maniera estremamente più impulsiva su tutti gli stadi di riduzione. Questo comportamento permette di comprendere che il problema non è legato a una sola ruota, ma il suo effetto si estende a tutta la trasmissione.
- Aumento del +500% dell'indice di modulazione AMR [m/s<sup>2</sup>] per lo shaft #3, che

sostiene le ruote G3 e G4 ad indicare come la frequenza di rotazione di questo asse condizioni tutto lo spettro vibrazionale. La causa tipica di questa situazione è un cuscinetto che, cedendo, porta l'asse a ruotare in maniera sbilanciata.

- Aumento del +900% dell'indice di danneggiamento della pista esterna ORD [] del cuscinetto B3. Questo indice conferma quanto visto ai punti precedenti: il cuscinetto B3, cedendo, porta l'asse shaft #3 a ruotare fuori centro, con conseguenza anche sull'ingranamento di tutta la catena cinematica.

## Conclusioni

Tramite il monitoraggio effettuato con VMGears DM è stato possibile interrompere il test di durata prima di incorrere in danneggiamenti di maggiore severità all'interno della trasmissione. Questa informazione è di importanza strategica, per poter preve-

dere uno stop ispettivo ed evitare una rottura di tipo catastrofico, dalla quale sarebbe impossibile risalire alla relativa causa scatenante. Si tratta di un tool fondamentale per lo sviluppo del prodotto, che permette di identificare le zone progettualmente più critiche. A completare la gamma VMGears, vengono proposti anche il sistema RD (Research & Development) per caratterizzare lo sviluppo del prototipo e confrontarlo tra più soluzioni costruttive, e il sistema QC (Quality Control) per effettuare il controllo della qualità del prodotto a nuovo, garantendo un collaudo del 100% della produzione. L'utilizzo di algoritmi di analisi dedicati è essenziale per intercettare in

maniera mirata la componente (o le componenti) soggette ad usure e danneggiamenti, specialmente in caso di catene cinematiche complesse. •



**Figura 5.** Il sistema VMGears nella configurazione di valigetta portatile anti-urto portatile, contenente laptop, schede di acquisizione e sensori