

DA UNA COLLABORAZIONE TRA IL MDRG DELL'UNIVERSITÀ DI PADOVA E IL TEAM VALSIR SEEDORF RACING, È SCATURITO UN INTERESSANTE APPROFONDIMENTO DEL PROBLEMA, DI CUI VI RIASSUMIAMO BREVEMENTE I PASSI PRINCIPALI



La squadra corse Valsir Seedorf Racing.

Nel campo delle competizioni motociclistiche, a partire dai primi anni '90, si è assistito alla nascita di un fenomeno molto problematico, indicato con il nome di chattering, in grado di limitare fortemente le prestazioni del pilota. Si tratta di una particolare vibrazione, che può interessare sia il retrotreno che l'avantreno, che si innesca nella fase conclusiva della staccata, quando la moto è già piegata, e si protrae in percorrenza di curva. In queste situazioni, il pilota perde notevolmente feeling con il veicolo e non riesce a seguire la traiettoria desiderata: la moto diventa talmente instabile da doverlo obbligare ad affrontare la curva a velocità più bassa, con conseguente perdita di tempo e di terreno rispetto ai suoi avversari. Il chatter è caratterizzato da una frequenza compresa in

uno spettro molto ristretto, in cui le sospensioni non riescono a lavorare al meglio. Fino a oggi i tecnici hanno provato delle soluzioni guidate dall'intuito, senza avere una chiara comprensione sulla causa del fenomeno: hanno operato cioè sempre a valle del problema, cercando di limitare gli effetti della vibrazione. Invece, per intervenire all'origine del problema, è nata una collaborazione tra il gruppo MDRG dell'Università di Padova e il team Valsir Seedorf Racing.

Lo studio effettuato, qui riassunto, ha richiesto un'analisi approfondita del fenomeno sia dal punto di vista sperimentale che teorico, al fine di individuare da quali parametri della motocicletta dipende. Telemetrie, test in pista e simulazioni numeriche condotte su un modello virtuale molto raffinato hanno

permesso quindi di individuare dei parametri di cruciale importanza per il chattering. Alcune modifiche apportate, infatti, hanno dato il risultato previsto sia nel modello virtuale che nel motociclo reale.

STRUMENTAZIONE DELLE MOTO

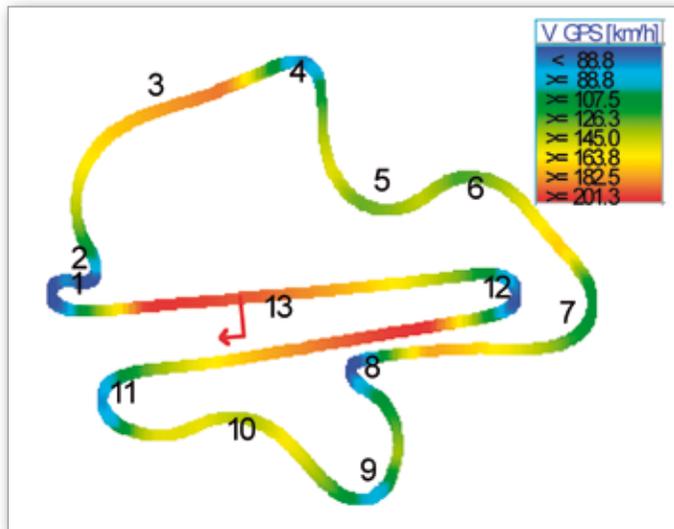
La prima fase dello studio ha previsto la strumentazione delle moto Honda 125 gp, con cui la squadra ha affrontato il campionato del mondo 2006: ai sensori normalmente utilizzati dal team per monitorare la ciclistica e il motore, se ne sono aggiunti altri ad hoc per tenere sotto controllo la dinamica della motocicletta in relazione al fenomeno che volevamo studiare. Questi ultimi, in effetti, si sono rivelati utili sia all'attività di ricerca che al team, per la messa a punto della motocicletta. Grazie alla

IL CHATTERING, questo conosciuto

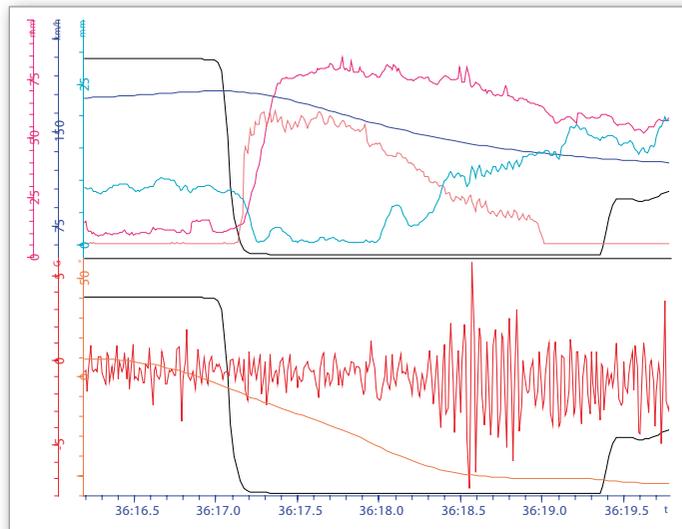


Figura 2, sensori di accelerazione verticale della ruota anteriore e posteriore.





● Figura 3, mappa di velocità del circuito di Sepang.



● Figura 4, telemetria curva 7 (Sepang).

collaborazione con le aziende Danese Spa e 2D Debus & Diebold Meßsysteme GmbH è stato possibile installare una piattaforma inerziale che permette di ottenere le accelerazioni su tre assi e le velocità di rollio, di beccheggio e di imbardata della motocicletta. Integrato c'è anche il GPS che fornisce varie informazioni, come la velocità del mezzo, le accelerazioni longitudinale e laterale, l'angolo di rollio (banking); inoltre il sistema registra le traiettorie effettivamente percorse dai piloti. Infine, sono stati installati due accelerometri in prossimità dei perni ruota, che ne registrano le accelerazioni verticali. (fig.2)

ANALISI SPERIMENTALE DELLA VIBRAZIONE

Con la strumentazione a disposizione sono stati raccolti i dati relativi alla stagione agonistica 2006 del team. L'analisi della telemetria ci ha permesso di individuare molti casi in cui si è manifestato il chattering, ad esempio consideriamo la curva 7 del circuito di Sepang. (fig.3-4)

Le azioni che il pilota compie nell'affrontare una curva si possono suddividere in tre fasi:

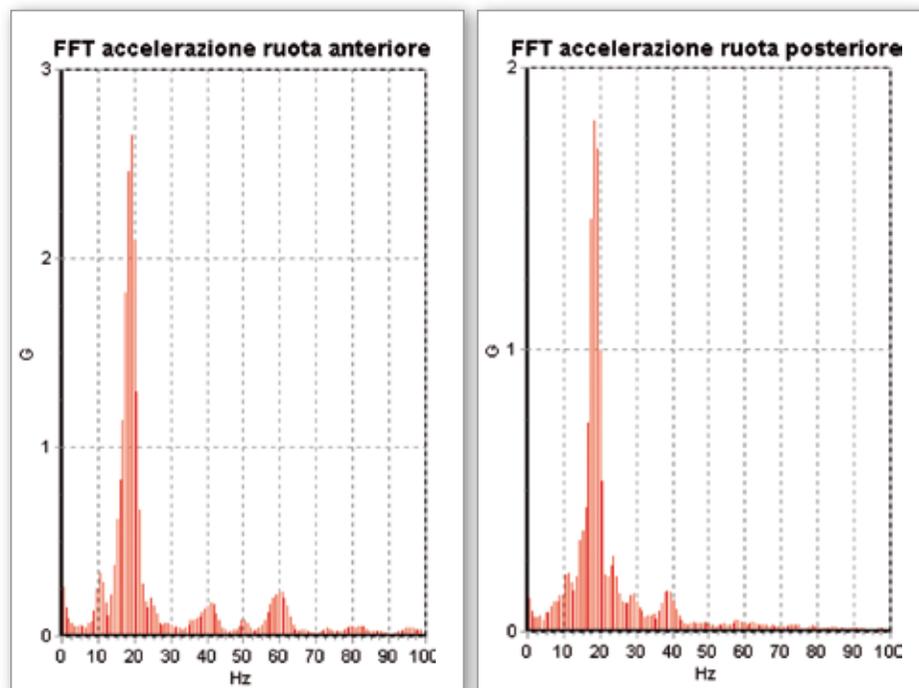
- **INGRESSO**
- **PERCORRENZA**
- **USCITA**

Facendo riferimento alla telemetria (fig.4), l'inizio della fase di inserimento coincide con il momento in cui il pilota chiude il gas,

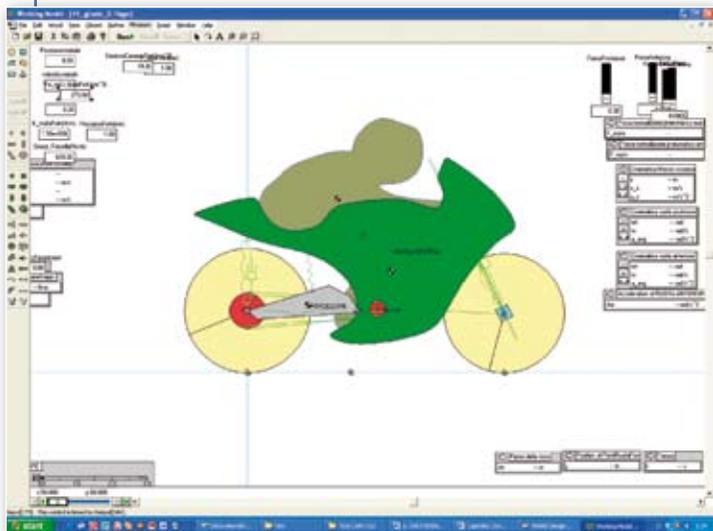
a circa 180 km/h, e comincia a frenare (la pressione del freno anteriore aumenta bruscamente) e termina poco prima del punto di corda della traiettoria impostata. A causa del trasferimento di carico, la forcella si comprime e la sospensione posteriore si estende. Il pilota affronta l'ingresso in curva con il freno anteriore pinzato, riducendo la pressione sulla leva man mano che aumenta l'angolo di rollio e diminuisce la velocità del mezzo.

La presenza di chattering è evidenziata dal-

l'andamento dell'accelerazione verticale a cui è soggetta la ruota posteriore, i cui picchi in questo caso hanno superato abbondantemente i 5 g in valore assoluto. È interessante notare che la vibrazione si innesca nella parte finale dell'inserimento in curva (quando l'angolo di rollio della moto ha raggiunto il valore massimo) e permane nella fase di percorrenza, in cui il rollio si mantiene all'incirca costante. Quando viene riaperto il gas la vibrazione generalmente cala. Dal momento che il saltellamento delle



● Figura 5, FFT dell'accelerazione verticale delle ruote anteriore e posteriore, riferita alla curva 7 di Sepang.



● Figura 6, modello virtuale della motocicletta in Working Model 2D.



● I meccanici del Team Seedorf al lavoro sulle moto di Lai e Conti nei box di Jerez.

ruote non denota necessariamente la presenza di chattering (ma può essere dovuto anche a cause diverse, come il passaggio momentaneo su un cordolo), è necessario prestare molta attenzione. Può essere di aiuto, allora, eseguire una FFT (Fast Fourier Transform) dei vari segnali per capire quali siano le frequenze che li caratterizzano: in particolare, la FFT dell'accelerazione verticale a cui sono soggette le ruote fornisce uno spettro che, nelle fasi di chattering, ha un picco netto compreso tra 17 e 22 Hz. Nel caso in esame, le massime fluttuazioni dell'accelerazione verticale sono caratterizzate da una frequenza di 19 Hz (foto 5).

MODELLI VIRTUALI DELLA MOTOCICLETTA

Abbiamo visto che la vibrazione di chatter consiste in un'oscillazione delle masse non sospese anteriore e posteriore, a una frequenza compresa tra 17 e 22 Hz. Dopo aver analizzato i numerosi dati sperimentali raccolti, abbiamo realizzato due modelli virtuali della motocicletta, al fine di simularne il comportamento dinamico in fase di staccata e percorrenza di curva. Il primo è stato elaborato con il software Working Model 2D; il secondo invece è stato implementato con il codice multibody FastBike, interamente ideato e sviluppato dal Motorcycle Dynamics Research Group dell'Università di Padova e specifico per l'analisi dinamica delle motociclette.

Il primo modello è composto da 8 corpi rigidi:

- una massa sospesa, che include il telaio, il motore, il serbatoio e ogni altra parte che è rigidamente attaccata al telaio;
- il pilota, rigidamente unito alla massa sospesa;
- le ruote;
- il forcellone, che collega la ruota posteriore alla massa sospesa;
- una massa che simula la massa non sospesa anteriore;
- la corona e il pignone.

Le interazioni tra i vari corpi rigidi sono descritte da accurate formulazioni matematiche, in modo da riprodurre il corretto funzionamento dell'intero veicolo.

Le principali caratteristiche funzionali sono le seguenti:

- la sospensione anteriore tiene conto della rigidità e del precarico delle molle, di uno smorzamento medio e

dell'effetto pneumatico dell'aria contenuta all'interno della forcella;

- la sospensione posteriore è ridotta alla ruota: tiene conto cioè delle caratteristiche del monoammortizzatore (rigidità, precarico e smorzamento) e della progressività dovuta al leveraggio;
- la catena è stata modellata in modo da risultare tangente alla corona e al pignone in ogni istante; la forza trasmessa da questo elemento tiene conto del contributo del motore;
- tra la ruota e la corona è presente un elemento molla-smorzatore torsionale, al fine di tener conto della presenza del parastrappi.

L'interazione tra i pneumatici e il fondo stradale è descritta attraverso le forze e i momenti che essi si scambiano, applicati nel punto di contatto. È stato possibile calcolare le forze longitudinali a partire dai carichi verticali agenti sulle ruote e dallo slip, attra-



● Fabrizio Lai, impegnato con la Honda del Team Valsir Seedorf.

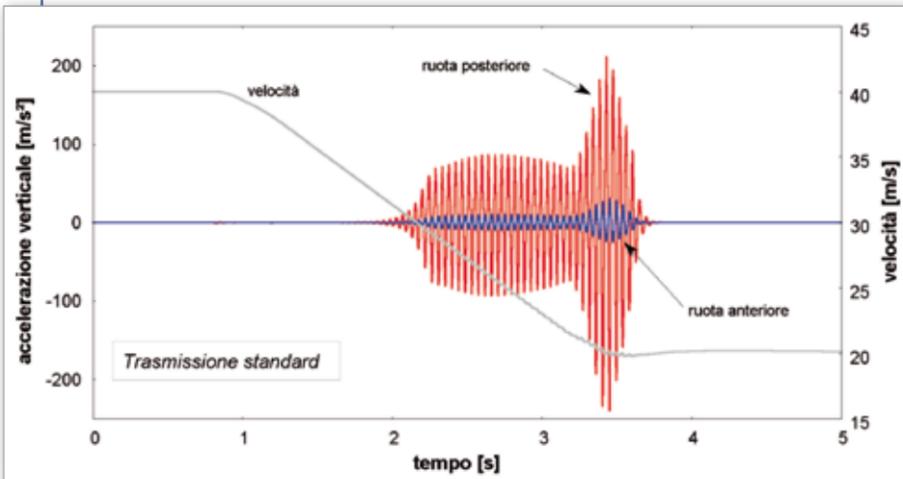


Figura 7, simulazione di frenata con trasmissione standard.

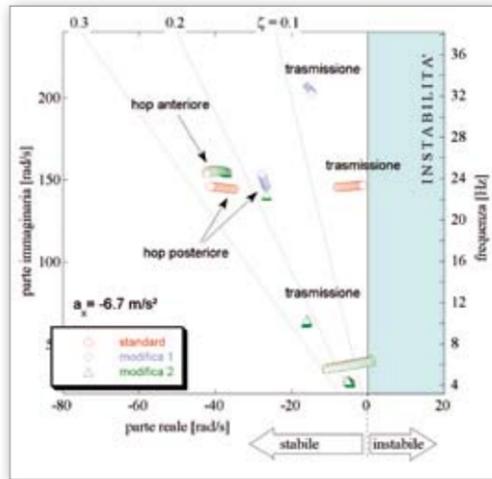


Figura 8, autovalori della moto standard e modificata.

verso il modello della "magic formula" di Pacejka. Questo modello di pneumatico, tuttavia, non tiene conto del ritardo tra la variazione dello slip longitudinale e la forza longitudinale, ossia dell'andamento della forza durante i transitori. Il modello realizzato in FastBike, invece, presenta una descrizione molto più rigorosa e raffinata del veicolo che ora presenta 11 gradi di libertà, e permette di realizzare svariate simulazioni nel dominio del tempo, nonché l'analisi nel dominio della frequenza dei modi di vibrare che interessano il veicolo. L'interazione tra il pneumatico e il terreno, secondo il modello di Pacejka, risulta molto più dettagliata e, ora, tiene conto anche dell'andamento delle forze durante i transitori. Le forze agenti sul pneumatico, inoltre, tengono conto dello slip longitudinale, laterale (deriva) e del rollo; la loro interazione è calcolata con il metodo dell'ellisse di trazione, attualmente il più attendibile.

SIMULAZIONI NUMERICHE

Dopo una prima analisi delle telemetrie, rivolta all'individuazione delle condizioni tipiche in cui si manifesta il chatter, siamo andati ad analizzare la stabilità dei modi di vibrare che più sono legati al fenomeno: quelli cioè della trasmissione e delle masse non sospese. In base ai risultati ottenuti abbiamo notato che il modo di saltellamento delle masse non sospese (hop) è sempre stabile, mentre quello della trasmissione, in certe condizioni, diventa instabile: ciò significa che l'ampiezza della sua vibrazione aumenta nel tempo anziché ridursi. In particolare, si è visto che il chattering si innescava nei casi in cui si verificano contemporaneamente due condizioni: il modo della trasmissione è instabile e la sua frequenza naturale è molto simile a quella del modo di hop della ruota posteriore (accoppiamento modale). In tal caso, infatti, il modo della trasmissione trasferisce

energia a quello della massa non sospesa posteriore; successivamente la vibrazione di chatter si trasmette all'avantreno attraverso il moto di beccheggio del veicolo. Abbiamo, perciò, condotto numerose simulazioni numeriche su modelli modificati di volta in volta in un solo parametro. Gli interventi hanno riguardato la geometria del veicolo, le caratteristiche dei pneumatici, la trasmissione e i dati inerziali della ruota posteriore. Nella pratica, però, non tutte sono realizzabili: certe prevederebbero, infatti, un totale stravolgimento del mezzo, mentre altre andrebbero indirettamente ad alterare altri parametri che invece restano fissi nel modello virtuale. Si intuisce dunque che, per eliminare il chatter, bisogna prima di tutto allontanare la frequenza di vibrazione della trasmissione da quella della massa non sospesa posteriore: di tutte le soluzioni provate, la più semplice da realizzare consiste nel variare

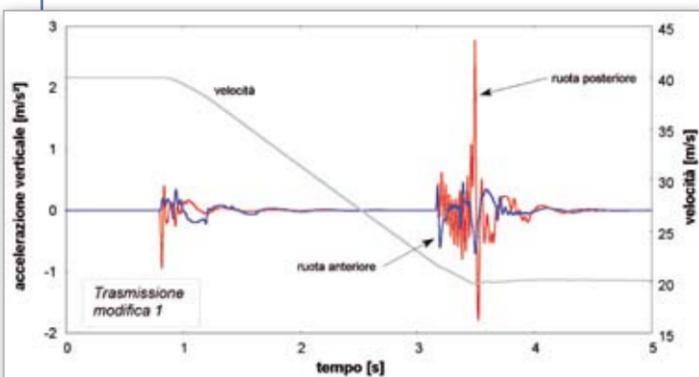


Figura 9, simulazione di frenata con trasmissione modificata.

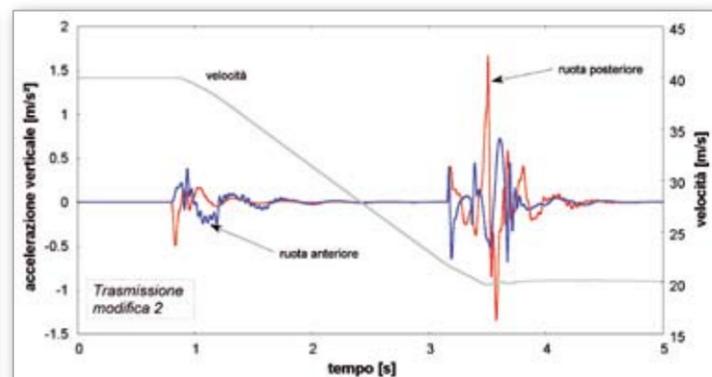


Figura 10, simulazione di frenata con trasmissione modificata.

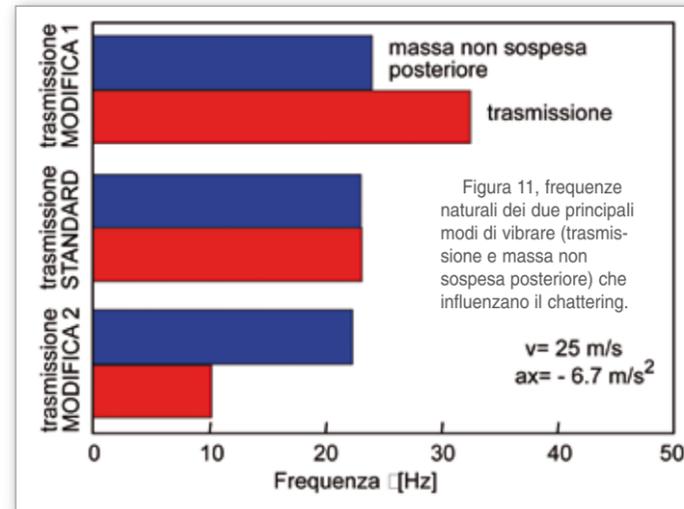


Figura 11, frequenze naturali dei due principali modi di vibrare (trasmissione e massa non sospesa posteriore) che influenzano il chattering.

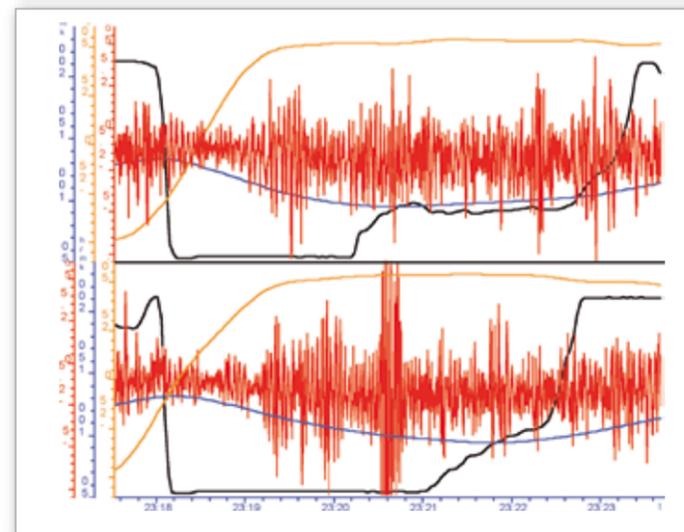


Figura 12, in basso, la telemetria fa riferimento alla moto standard, mentre il grafico in alto fa riferimento alla moto modificata.

la rigidità del sistema di trasmissione. Tale modifica, infatti, ha comportato una notevole riduzione del chatter sia nelle simulazioni numeriche che nella motocicletta reale. Abbiamo, infatti, riprodotto virtualmente una staccata in cui la moto è soggetta a chattering: la simulazione numerica riferita al modello standard (figura 7), mostra chiaramente che la ruota posteriore risente di un'accelerazione verticale che arriva a punte di oltre 20 g in valore assoluto. Successivamente abbiamo apportato due modifiche alla trasmissione, nel modello virtuale,

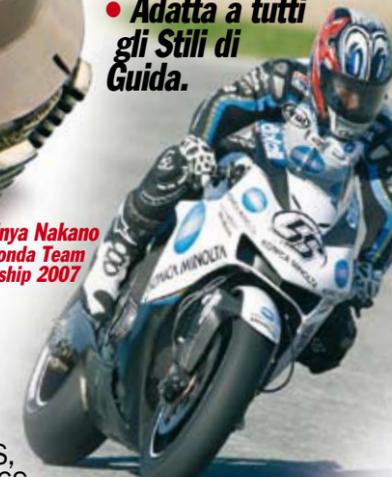
che hanno permesso di eliminare il problema. L'analisi di stabilità (figura 8) evidenzia che, rispetto al modello standard, le modifiche allontanano le frequenze naturali e stabilizzano il modo della trasmissione. Le simulazioni di frenata indicano, infatti, che le ruote non risentono di oscillazioni di chatter, visto che l'accelerazione è ora di due ordini di grandezza inferiori (figure 9 e 10). Nel caso iniziale, con la trasmissione standard, la frequenza naturale del modo di vibrare della trasmissione è praticamente uguale a quella di scuotimento della massa non sospesa posteriore. Negli

APTC
Adler Power Torque Clutch

...molto più di una normale antisaltellamento!



- Effetto Antisaltellamento.
- Più Trazione in Accelerazione.
- Leva Frizione Morbidissima.
- Nessuna Pulsazione sulla Leva Frizione.
- Adatta a tutti gli Stili di Guida.



Shinya Nakano
Konica Minolta Honda Team
MotoGP World Championship 2007

APTC™ migliora le prestazioni delle seguenti moto

- Ducati:** 748, 748R, 748S, 748SPS, 749, 749R, 749S, 916 Biposto, 916SP, 916SPS, 996, 996 Biposto, 996R, 996S, 996SPS, 998, 998R, 998S, 999, 999R, 999S, 1098, GT, Monster M900, Monster 900i.e., Monster 1000i.e., Monster 1000S i.e., Monster Multistrada 1000, Paul Smart, Sport, SS 1000 i.e., SS 1000HF i.e., Supersport 900, ST2, ST4, ST4S.
Suzuki: GSX-R 1000. **Harley Davidson:** V-Rod, Street Rod.

ACCESSORI RACING

CAVALLETTO POSTERIORE MONOBRACCIO

Ducati: 998, 1098
MV Agusta: F4, F4 Brutale.

CAVALLETTO POSTERIORE RACING

Ducati: 999, SBK.

PASTIGLIE SINTERIZZATE

- Alto Coefficiente di Attrito.
- Frenata Potente e Progressiva.
- Basso livello di Usura.
- Basso Livello di rumorosità.

Numero Verde
800 306 287

adige
RACING PARTS ITALY

aptc@adler.it
adigestore.com



• Ancora una bella immagine di Lai durante la stagione 2006, che concluderà all'undicesimo posto finale.

altri due, invece, la differenza di frequenza evidenzia proprio il disaccoppiamento dei modi di vibrare in esame (figura 11). Altrimenti si può intervenire per aumentare la stabilità del modo della trasmissione: questo è possibile modificando il rapporto del tiro catena, anche se in realtà si tratta di un'operazione molto laboriosa che richiederebbe di mettere mano al telaio e alla posizione del motore.

MODIFICHE APPORTATE ALLE MOTOCICLETTE DEL TEAM VALSIR SEEDORF RACING

Durante il Gran Premio di Brno (Repubblica Ceca) sono state provate le modifiche alla trasmissione simulate nel modello virtuale senza, però, informare il pilota, in modo da ottenere commenti sul comportamento della motocicletta non influenzati da precon-

cetti. Con la motocicletta in configurazione standard, il pilota percepiva maggiori vibrazioni delle masse non sospese, rispetto alla moto con la trasmissione modificata. La conferma di tali impressioni soggettive è data dall'andamento di queste grandezze, registrato attraverso gli accelerometri posizionati in corrispondenza dei perni ruota: il confronto tra i due casi è rappresentato nella figura 12.

Le due telemetrie, riferite alla stessa curva, mostrano come la modifica apportata permetta di ridurre le oscillazioni d'accelerazione verticale cui era soggetto il retrotreno.

CONCLUSIONI

Abbiamo ottenuto una notevole diminuzione della vibrazione di chatter, apportando una modifica suggerita dalle simulazioni. Interessante sarà testare le altre variazioni parame-

triche simulate con i modelli virtuali, anche se nella realtà spesso bisogna accontentarsi di soluzioni di compromesso: ad esempio, alcune modifiche che permettono una riduzione della vibrazione in ingresso curva, causano un peggior comportamento in uscita. Lo studio qui parzialmente esposto è stato trattato da due tesi di laurea dell'università di Padova, volte ad indagare il fenomeno del chattering, sia dal punto di vista teorico che sperimentale in modo da portare a una conoscenza più completa del fenomeno. In questo studio, l'utilizzo delle simulazioni e l'analisi dei dati sperimentali ha portato a risultati molto interessanti. Questo metodo di lavoro scientifico dovrebbe essere seguito per risolvere altri tipologie di problemi riguardanti la dinamica del motociclo, in questo modo si ha la piena comprensione dei fenomeni che si stanno studiando. ■