



// *kart a scuola*

Un approfondito studio sulla dinamica e sulle sollecitazioni di un kart

di Marco Natoli

Sopra, i protagonisti intorno al kart oggetto di studio. Al centro la preside, prof.ssa Caterina Bigoli, alla sua destra il prof. Rossi, la studentessa pilota, il prof. Paolini, e Ettore Picchianti. Sull'altro versante, il prof. Fantozzi dell'università di Pisa, il prof. Baldini e altri studenti, insieme al tecnico Radi

Ma andrà anche all'università. Non è la prima volta che ci occupiamo di studi sul kart effettuati da team universitari anche in collaborazione con aziende del settore, ma i casi si contano sulle dita di una mano. Ancora più sporadici gli eventi di questo genere registrati in scuole superiori, come nel caso dell'Istituto Sarrocchi di Poggibonisi, in provincia di Siena, dal quale prende vita il progetto che presentiamo in questo articolo, dopo averne preso visione nel numero di gennaio 2007.

Il progetto

L'idea di analizzare il comportamento dinamico e strutturale di un kart nasce dal-

la passione che attanaglia i protagonisti, a tutti i livelli, e la volontà di applicare e migliorare le conoscenze tecniche scolastiche in modo piacevole e gratificante. Insomma l'utile e il dilettevole alla massima potenza (appunto).

Il gruppo di lavoro è ben nutrito, sia in termini qualitativi, con l'interessamento di alcuni docenti dell'Istituto Roncalli-Sarrocchi e di un professore dell'Università di Pisa, che ha messo a disposizione anche un sofisticato software, sia in termini quantitativi dato il coinvolgimento di diversi allievi (anche una rappresentante del gentil sesso nel ruolo di pilota), con il supporto esterno di nostre vecchie conoscenze, i Picchianti padre e figlio nel ruolo di preparatore e di pilota con una notevole esperienza internazionale, per condurre

al limite il kart oggetto di studio.

Lo scopo del progetto è l'analisi, l'osservazione scientifica, del comportamento strutturale e dinamico del kart. In altre parole si vuole cercare ed esplicitare una relazione matematica tra le sollecitazioni e le deformazioni subite dal telaio durante il funzionamento in pista. Una volta creato il modello matematico del comportamento della struttura, si può utilizzare in maniera diffusa con input diversi per le varie piste o le diverse condizioni dell'asfalto o infine per vari tipi di guida. Capire cosa accade nelle fibre dei tubi che compongono il telaio, ma anche nell'assale, nei cerchi e in altri componenti, aiuta a definire e ad interpretare anche il comportamento dinamico del veicolo, in questo caso il kart.

Il telaio è strumentato

Ci dimenticavamo di dire che, nonostante la bellissima struttura dell'Istituto Tecnico Sarrocchi di Poggibonsi, le severe manovre finanziarie hanno svuotato sempre più le casse di tante amministrazioni. Non ci si è certo persi di animo, e con un po' di fortuna si è venuti in possesso di un buon telaio Mari Delta, un po' datato ma in buone condizioni, ideale per essere impiegato come una sorta di laboratorio viaggiante. Anche perché non è certo il giro record il parametro ricercato, bensì l'analisi della struttura, valida indipendentemente dall'età del soggetto.

Sul telaio sono state installate 3 microcamere, indicate con CAM, in zone ritenute critiche ed interessanti per l'analisi. La prima, CAM1, riprende il tracciato ed ha una funzione specifica che va al di là della semplice registrazione e che vedremo più avanti. CAM2 e CAM3, installate rispettivamente sul longherone di sinistra e sul tubo anteriore del telaio, puntano il terreno e lavorano ciascuna in simbiosi con una coppia di raggi laser, anch'essi proiettati sull'asfalto, proprio nell'area

ripresa dalle telecamerine. Ognuno di questi complessi è installato tramite supporti di alluminio ricavati dal pieno realizzati dai ragazzi dell'Istituto impegnati in questo progetto.

La gestione delle videoriprese, sia anteriore che delle 2 verso l'asfalto, è affidata ad un trasmettitore che invia i dati ad una regia ai box, mentre la registrazione è affidata alla centralina di acquisizione globale (colore grigio). È inserito nella pancia sinistra e protetto da una plastica trasparente la cui derivazione è... chiara. Questo per quanto riguarda la struttura. I laser sono alimentati da una coppia di semplici batterie AA da 1,5 V.

Per la definizione del comportamento dinamico del veicolo è presente una centralina (nera) dotata di 2 accelerometri, uno longitudinale e uno laterale, e un giroscopio per l'orientamento del kart. Non manca, all'interno della ruota destra, il classico magnetino con sensore per il rilevamento della velocità di traslazione del veicolo. Al volante è installato il sistema di acquisizione dati dell'Alfano. L'alimentazione elettrica delle apparecchiature è garantita da una batteria a

12 V alloggiata sulla "V" che sorregge il piantone di sterzo.

Il grande fratello

I raggi laser nascono ad una certa distanza dal terreno ed "incidono" l'asfalto ciascuno in un punto. La distanza tra i due puntini è registrata dalla telecamera. A causa delle sollecitazioni (guida, asperità, ...) il telaio subisce delle deformazioni elastiche (plastiche, quindi permanenti, sarebbe grave); di conseguenza varia continuamente la distanza tra le tracce sul terreno. Mettendo in relazione la lunghezza del raggio laser (dall'origine al terreno) con la distanza reciproca tra i due, è facile ottenere l'espressione della deformazione, ad esempio l'angolo (anch'esso continuamente variabile) che si forma tra gli estremi del tratto del tubo sul quale sono installati i raggi e la telecamera. Anche lo "zero" delle misurazioni è dato dal sistema a riposo.

Allo stato attuale vengono misurate le flessioni dei punti in cui sono collocate le strumentazioni. Nell'immediato è prevista l'installazione di altre 2 coppie di laser, in posizione simmetrica, con le quali

In quest pagina, da sinistra, La telecamera anteriore ha un ruolo fondamentale per ricreare il modello della pista

Ecco come è realizzato ed installato il complesso raggi laser + telecamera, in questo caso la 3, sul tubo anteriore del telaio



I protagonisti

Dicevamo come questo progetto coinvolga più di una figura, sia della scuola sia esterna, in stretta collaborazione. Proprio come accade presso un costruttore, vengono coinvolti tutti gli aspetti della tecnica, dalla meccanica all'elettronica, con la teoria e con la pratica. I ragazzi hanno l'occasione di lavorare sul kart, costruire pezzi particolari, come i supporti per le telecamere a bordo, ma anche di cominciare a familiarizzare con

programmi di calcolo e non solo che vanno per la maggiore. Ma presentiamoli i protagonisti e le strutture dalle quali provengono.

I.I.S. Roncalli Sarrocchi Poggibonsi (SI)

Prof. Giovanni Rossi
meccanica; coordinatore del progetto

Prof. Marco Paolini
meccanica; coordinatore del progetto

Prof. Giuliano Baldini
elettronica; cura lo studio di una

trasmissione audio tra pilota e box.

Tecnico Roberto Radi
laboratorio meccanica; qualunque supporto, pezzo speciale e aggiustamento per lui non ha segreti.

Università Statale di Pisa
Prof. Claudio Fantozzi
Dipartimento ingegneria meccanica nucleare e di produzione.

Tecnici Flavio Antonelli e Gabriele Moretti
supporto in pista.

Il prof. Fantozzi è una vecchia con-

senza in questo senso, dato che era il responsabile di uno studio analogo effettuato in collaborazione con la Pcr alcuni anni fa, anche quello trattato nelle pagine di Vroom.

Preparatore e pilota Ettore e Yuri Picchianti, padre e figlio, residenti in zona, hanno messo a disposizione la loro notevole esperienza internazionale maturata sulle piste di mezzo mondo durante la partecipazione all'europeo e al mondiale FA. Hanno accettato con entusiasmo di offrire il loro contributo.

si potrà rilevare la torsione (complessiva) del telaio. O, ancora, posizionando diversamente i raggi laser, si potrebbero registrare le torsioni locali (del tubo), anche con l'ausilio di estensimetri, particolari strumenti che sollecitati rilasciano un segnale elettrico infine tradotto in misura. Si tratta insomma di indagare e riprendere ciò che avviene nei punti ritenuti cruciali senza pietà, proprio come in una sorta di grande fratello.

La presentazione

Il prof. Fantozzi dell'Università Statale di Pisa, ci descrive ora la parte più direttamente legata alla gestione software e alla presentazione dei risultati.

Per l'elaborazione dei numerosi dati in entrata viene impiegato un programma

molto evoluto ed utilizzato nell'ingegneria meccanica, sia pure in questo caso limitato al modulo "cars" (autoveicoli), l'Adams. E' un prodotto molto sofisticato largamente sfruttato nelle università e nei laboratori di ricerca, in grado di creare un modello (di calcolo) molto vicino alla situazione reale. Creare un modello significa ad esempio suddividere la struttura in tanti piccoli elementi e affidare delle equazioni che ne descrivano il moto o le forze che li sollecitano e altro ancora. Inserendo i dati acquisiti dalla centralina attraverso i vari sensori appena descritti, Adams produce i risultati, nel nostro caso le deformazioni del telaio e il comportamento sul giro di pista. Si è stabilita una comunicazione diretta tra dati in ingresso e risultati in uscita con le elabo-

razioni del programma come tramite. Una volta stabilito questo "linguaggio", il più è fatto. Basta infatti cambiare i dati in ingresso (lo fanno da soli i sensori) o le condizioni al contorno, come il peso del pilota, il coefficiente di aderenza al contatto ruota/terreno o il diametro dei tubi, per ottenere i nuovi risultati.

È stato dapprima disegnato un modello del kart misurando un telaio vero, è stato poi suddiviso in vari elementi e misurate e inserite in Adams le deformazioni. Il programma risponde fornendo le sollecitazioni che hanno portato a quelle deformazioni. Ma a questo punto è facile e fondamentale il percorso opposto, cioè inserire sollecitazioni differenti e sapere come si deforma. E all'atto pratico molto utile per correggere gli assetti



Il caro amico Adams

Per multi-body si intende un modello realizzato dall'unione di più parti rigide (o flessibili) mediante coppie cinematiche, per la simulazione cinematica e dinamica di strutture più o meno complesse. Particolare cura inoltre viene data alla definizione del modello di pneumatico utilizzato, da sempre tallone d'Achille di qualsiasi modello di veicolo. L'Adams Car è un'applicazione multi-body Adams, espressamente concepito per lo studio del comportamento dinamico degli autoveicoli. Per avere un'idea della potenza di questo software basti pensare che esso viene largamente utilizzato nel mondo della Formula 1, sia direttamente per eseguire simulazioni dinamiche di veicoli da competizione, sia indirettamente per la validazione di modelli realizzati con codici di calcolo più semplici. La struttura del modello di veicolo è di

tipo modulare, questo facilita le modifiche dei singoli componenti ed alleggerisce il lavoro del solutore del programma. I moduli vengono chiamati subsystems, ed è dalla loro unione che si ottiene l'assemblato del veicolo completo (assembly).

I sottosistemi da inserire nel modello sono 8: telaio; motore; sistema di sterzo; sospensione anteriore; sospensione posteriore; freni; pneumatici anteriori; pneumatici posteriori.

La definizione del modello di pneumatico rappresenta una fase molto delicata, in quanto si tratta di creare un modello matematico in grado di simulare i complessi fenomeni che si generano nell'interazione tra pneumatico e asfalto e che andranno ad influenzare poi il comportamento di tutto il veicolo. E' per questo motivo che i pneumatici sono stati oggetto di studi approfonditi nel corso degli anni, studi che hanno portato alla

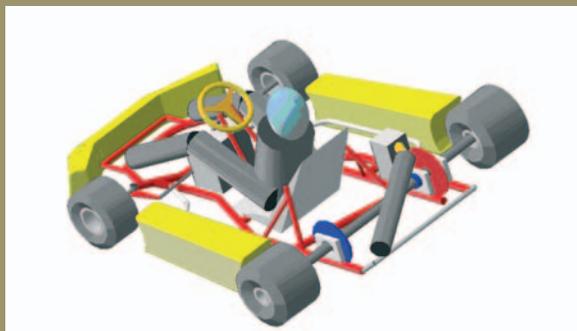


Figura 1. Modello di kart preparato dal prof. Fantozzi dell'università di Pisa da gestire con il programma Adams

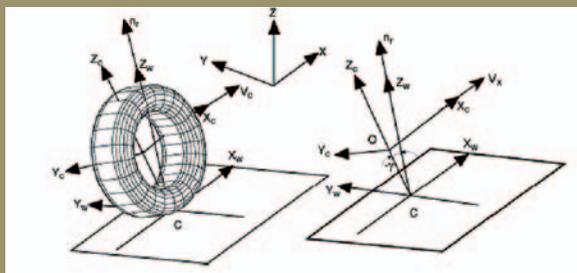


Figura 2. TYDEX C- e W-Axis System usato nel MF-Tyre

ad esempio. Sono possibilità eccezionali per l'indagine scientifica.

Non che Adams riesca a fare tutto da solo. L'intervento della mente umana per fortuna è sempre necessario ed è fondamentale nell'impostazione iniziale ad esempio. Normalmente non gestisce direttamente le immagini delle telecamere, ma l'equipe di lavoro UniPisa/Sarrocchi ha dato il meglio di sé, riuscendo ad interfacciare i dati della telecamera (anteriore) con quelli degli accelerometri (centralina nera) riproducendo il tracciato e le modalità con il quale è percorso. Ad esempio la pista di Parma è stata suddivisa in oltre 44500 "frame", piccolissimi tratti individuati dai fotogrammi della ripresa TV. Considerando che il tempo sul giro è 45" circa, abbiamo un

frame ad ogni millesimo di secondo! In corrispondenza di ognuno è possibile conoscere la traiettoria effettiva, velocità e accelerazioni longitudinali e laterali (curva), tempo trascorso dall'inizio del giro e altro ancora.

Interessante la possibilità di sovrapporre e confrontare 2 kart, 2 prove con la riproduzione animata. A parità di tempo occupano posizioni differenti e viceversa. Con l'introduzione degli estensimetri si potrà capire cosa succede nelle varie parti del telaio in corrispondenza di ogni centimetro della pista. E' la connessione comportamento dinamico/comportamento strutturale. Si pensa inoltre di inserire un estensimetro anche sull'assale, ma sorge il problema della connessione con la centralina (i cavi si avvolgerebbero), comun-

que superabile o con un contatto strisciante o con una trasmissione ad onde o ancora una volta con un raggio laser. Per ora le gomme sono un elemento rigido, in quanto non si dispone di dati precisi sulle caratteristiche di elasticità della struttura. Detto così sembra facile, ma ci sono voluti mesi di lavoro solo per creare i riferimenti giusti tra l'immagine della telecamera puntata in avanti (CAM1) e il tracciato.

Lo studio della "C"

Tra le varie applicazioni, ci hanno presentato un'interessante analisi della geometria delle "C" dei fuselli in relazione all'utilizzo delle boccole eccentriche per la regolazione degli angoli di caster e camber.

In basso, la CAM2, fissata sul longherone di sinistra

Il complesso delle telecamere può dialogare con una regia ai box tramite questo trasmettitore alloggiato nella pancia sinistra

La velocità è rilevata con il classico magnete all'interno del cerchio

Le centraline sono collocate dietro il sedile e portano il marchio del Dipartimento di ingegneria meccanica, nucleare e di produzione dell'università Statale di Pisa

La batteria serve all'alimentazione dei dispositivi installati, a parete i laser serviti da una coppia di batterie AA da 1,5 V



formulazione di diversi modelli di pneumatici, molti dei quali utilizzabili anche in ambiente Adams Car.

Nel caso in esame si è scelto di fare uso del modello di pneumatico più recente (MF-Tyre 5.2 o Pacejka '96) fornito nel programma e gestito da un modulo a sé stante denominato Adams Tire, che utilizza come base matematica la Magic Formula di Pacejka.

Il sistema di riferimento usato dal programma è quello riportato in fig. 2 con due terne di assi cartesiani, uno solidale alla strada con l'origine coincidente con il centro dell'impronta del pneumatico (W-Axis), ed uno solidale alla ruota con l'origine nel centro ruota (C-Axis).

Il modello di pneumatico riceve in ingresso l'angolo di deriva, lo scorrimento longitudinale, l'angolo di camber e il carico verticale; queste grandezze vengono elaborate attraverso relazioni matematiche basate sulla Magic Formula,

messa a punto da Volvo ed Università di Delft, che restituisce in uscita la forza longitudinale e laterale e i momenti di autoallineamento, di ribaltamento e di resistenza al rotolamento.

Tra i dati che possono essere analizzati riguardo ad esempio alle sollecitazioni sull'assale posteriore, ci sono la deriva e lo scorrimento longitudinale, perché è motore e frenante nello stesso tempo. Nelle figure 3 e 4 sono riportati i risultati in condizione di combined slip, dove si vede la diminuzione della forza longitudinale o laterale al crescere rispettivamente dell'angolo di deriva o dello scorrimento longitudinale.

Il modello così creato possiede 14 gradi di libertà, sei per il corpo rigido, uno per il sistema di sterzo, due per la rotazione delle ruote anteriori, uno per quelle posteriori, tre per lo snodo sferico centrale ed uno per lo snodo dell'assale posteriore.

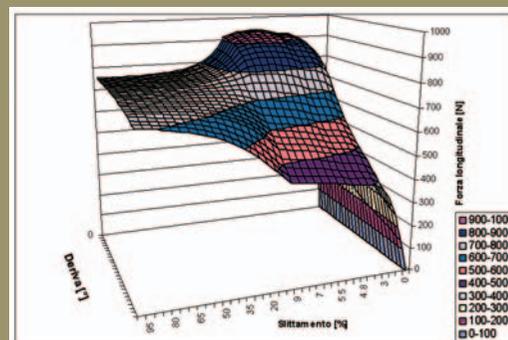


Figura 3. Forza longitudinale posteriore combinata (Fz = 400 N)

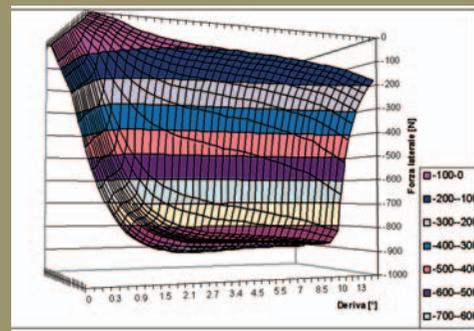


Figura 4. Forza di deriva posteriore combinata (Fz = 400 N)

Il gruppo di studenti, guidato dai prof. Rossi e Paolini, ha riscontrato, mentre si cercava di tabellare la posizione delle boccole con gli angoli effettivi (misurati), la mancata ripetitività della regolazione tramite gli eccentrici normalmente in uso e in commercio, perché è un sistema meccanicamente non corretto, specie quando non sono presenti neanche gli uni-ball che possono accompagnare un po' la variazione di inclinazione del perno del fusello. L'imprecisione può dipendere anche da quanto si serra il dado.

Allora si è pensato di realizzare (ecco ancora una volta l'intervento del laboratorio di lavorazioni meccaniche) delle boccole eccentriche, una sopra e una sotto la "C", il cui foro rappresenti una sede sferica nella quale si inserisce una speciale rondella, con profilo sferico che si combina con la sede e con foro interno cilindrico

che ospita perfettamente il perno. Lo spessore è piano. Sono inoltre presenti altre due rondelle sferiche interne alla "C". Quelle esterne permettono alla testa del perno e al dado di poggiare "in piano", su una superficie (la loro) e non su una linea, mentre quelle interne consentono agli spessori di regolazione di lavorare in piano rispetto alla boccola stessa e alla ralla del cuscinetto del fusello.

Sono previste 5 eccentricità distinte da step di 0,5°, con le si riescono a coprire intervalli, sia per il camber che per il caster, da 0,5° a 3,5° in entrambe le direzioni e, fondamentale, in modo veramente indipendente uno dall'altro. E' importante però che il grano di riferimento e di bloccaggio degli eccentrici e il perno del fusello siano contenuti in un piano parallelo a quello longitudinale del kart. Altro accorgimento riguarda il diametro

del foro delle rondelle sferiche interne alla "C" che deve essere leggermente superiore al diametro interno dell'eccentrico.

La squadra corse

Quello che abbiamo presentato è solo una piccola parte di un programma ambizioso che prevede il coinvolgimento di diversi gruppi di lavoro formati da docenti e studenti. Si va dall'omologazione di un telaio per il 2008 all'installazione di una sala prova motori, dalla partecipazione alle gare regionali con la squadra corse Sarrocchi (SCS), con l'idea di formare dei mini-team con pilota e meccanici, allo sviluppo della telemetria, con un vero lavoro di squadra.

Una bella realtà con molte iniziative, grazie alla lungimiranza e alla volontà di chi dirige e coordina questo Istituto.

La parola ai prof

Lo scopo del nostro lavoro è di arrivare, attraverso vari step evolutivi, alla progettazione di un telaio da kart innovativo con la possibilità di regolarne in maniera continua la rigidità torsionale, parametro determinante per il comportamento di questo tipo di veicolo e indispensabile per disporre di un mezzo che si adatti

a tutte le condizioni di pista ed aderenza che si possono incontrare nelle competizioni di karting.

Attualmente abbiamo a disposizione un telaio del quale abbiamo analizzato la rigidità con l'ausilio di un programma agli elementi finiti (Ansys).

Sono state analizzate le tensioni significative ai fini della resistenza strutturale dei tubi e degli altri elementi costituenti il telaio,

mediante la visualizzazione delle mappe delle tensioni massime.

Le verifiche strutturali del telaio sono stati riferite alle seguenti condizioni di carico:

- Carichi statici;
- Sollecitazioni in frenatura al limite;
- Sollecitazioni in curva al limite dello scorrimento;
- Sollecitazioni a fatica.

Attualmente stiamo studiando un nuovo telaio che presenti una

cedevolezza della parte posteriore maggiore rispetto ai telai attuali. Per questo è stato creato un modello multy-body a rigidità concentrate in ambiente Adams Car e vengono eseguite simulazioni di confronto sia in condizione di moto a regime, con la costruzione dei diagrammi da maneggevolezza, sia in condizioni di gara, con l'esecuzione di prove su singoli tratti di pista o sul giro completo.

