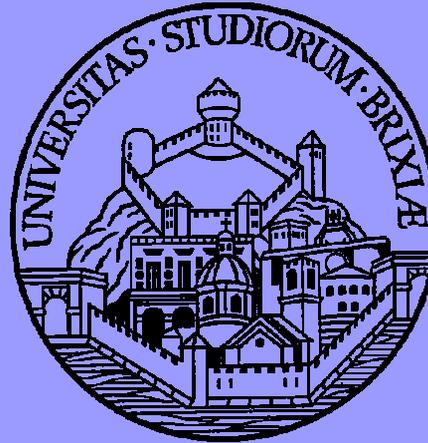


Dottorato di Ricerca in Meccanica Applicata  
XXI Ciclo

Relazione sull'attività svolta nel primo anno - A.A. 2005/2006



## ***Attività di simulazione per lo studio della dinamica di autovetture e veicoli speciali***

Dottorando: Devid Gandini

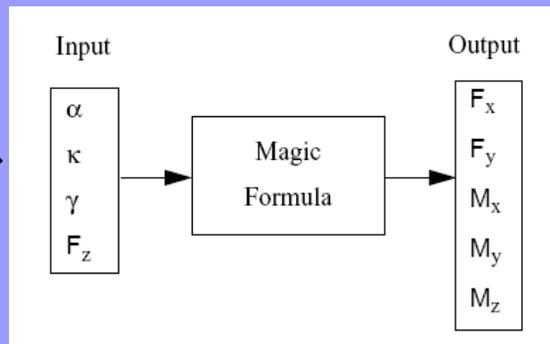
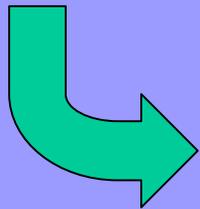
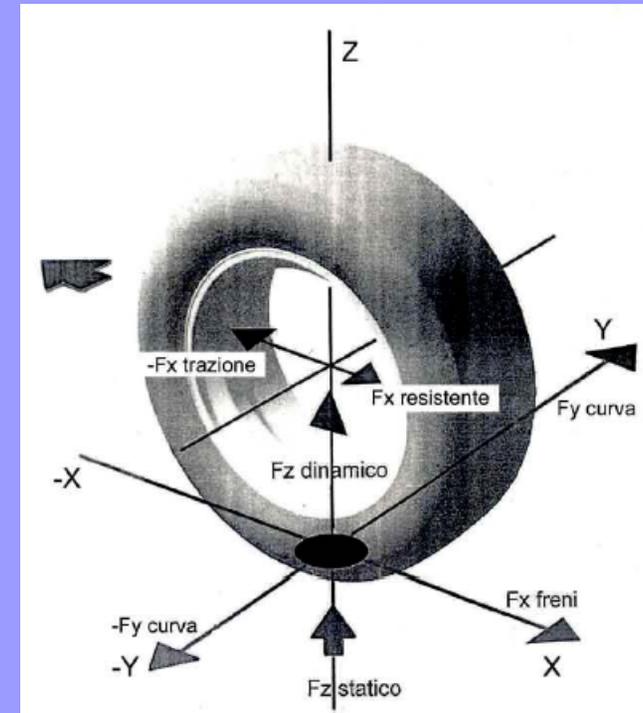
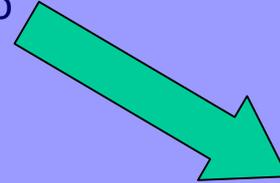
Tutor: Marco Gadola

# Attività di Ricerca

## 1) Simulazione per il comportamento dinamico di un veicolo speciale dedicato alla sperimentazione di pneumatici per veicoli industriali: applicazioni del codice TruckSim (Progetto di ricerca Moog/Bridgestone)

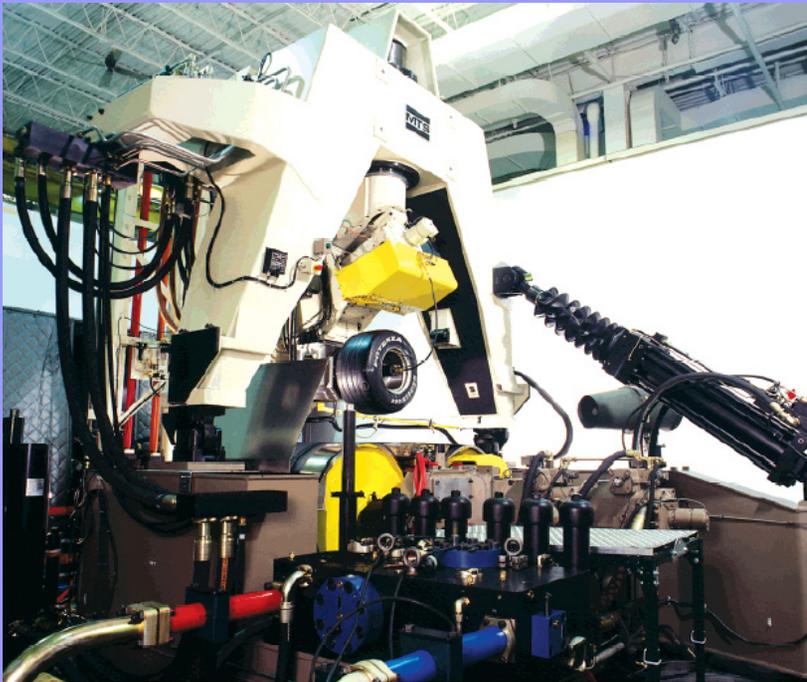
### Introduzione: La caratterizzazione dello pneumatico

- 1) Misurazione delle performance dello pneumatico in condizioni statiche e dinamiche
- 2) "Elaborare" ed "estrapolare" i dati sperimentali misurati al fine di ottenere i coefficienti della Magic Formula di Pacejka. (modello matematico dello pneumatico)
- 3) Utilizzo della Magic Formula nei vari software di simulazione.



## Test in laboratorio

- Elevata ripetibilità
- Elevata accuratezza
- Difficoltà nello stimare e riprodurre le caratteristiche di aderenza del manto stradale

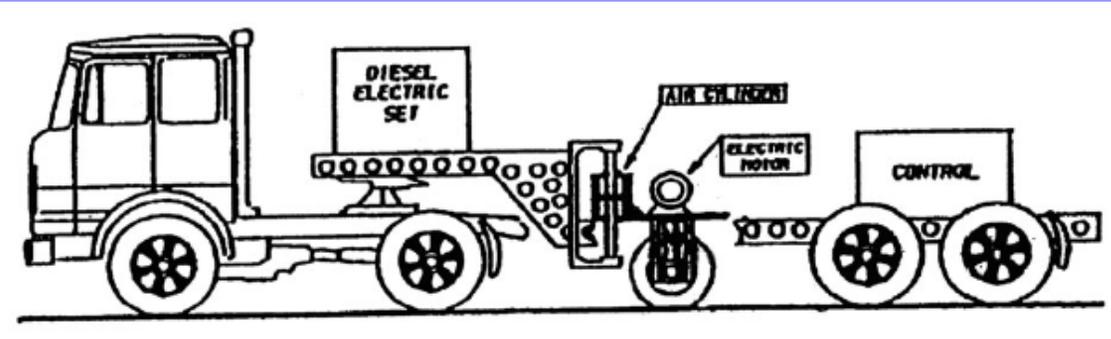


## Test su strada

- Bassa ripetibilità
- Bassa accuratezza
- Riproduzione corretta delle condizioni di funzionamento reali

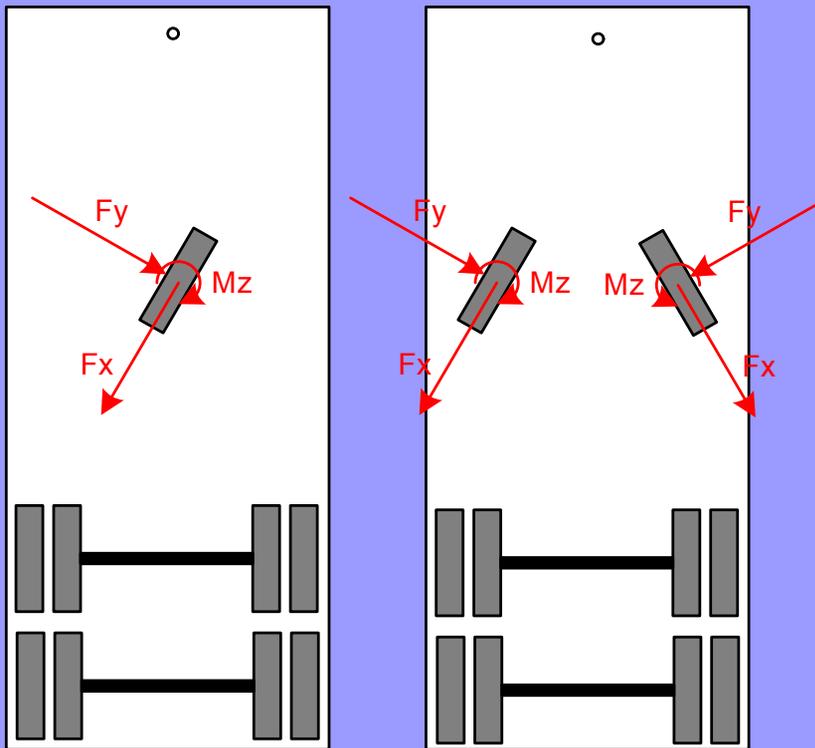


# Introduzione: I veicoli per i test su strada



Necessità di applicare e misurare:

- Angolo di deriva
- Scorrimento
- Camber
- Forze, Momenti (sensore Kistler)



## • Singola ruota sterzante

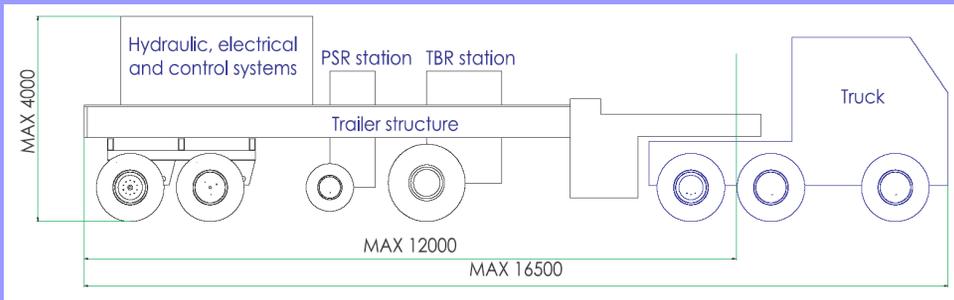
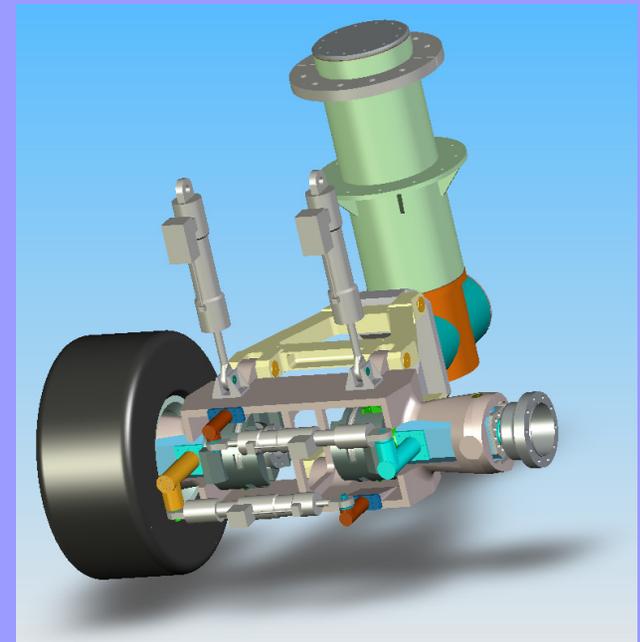
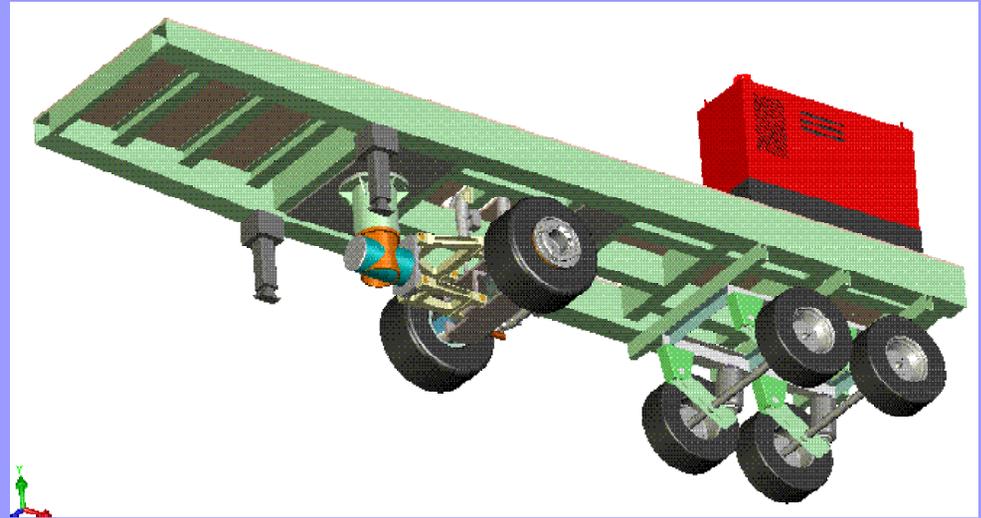
- Più economico
- Ok per pneumatici da auto
- No per pneumatici industriali

## • Doppia ruota controsterzante

- Meno economico
- No effetti imbardanti sul trailer

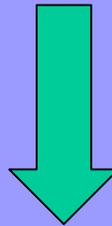
# Le specifiche del veicolo di prova

- TBR station
  - 65 kN dynamic 100 kN static
  - Slip angle  $\pm 15^\circ$
  - Max test speed 100 km/h
- PSR station
  - 19.5 kN dynamic 30 kN static
  - Slip angle  $\pm 15^\circ$
  - Camber angle  $\pm 5^\circ$
  - Max test speed 100 km/h
- The same trailer for both stations (not simultaneous testing)
- Road legal



## L'attività di simulazione

- 1) Modellizzazione dell'intero veicolo (motrice+semirimorchio), costante aggiornamento del modello e simulazioni di supporto alla progettazione del semirimorchio.
- 2) Sviluppo di un modello Simulink per simulare in TruckSim la movimentazione delle ruote di misura.
- 4) Simulazioni per valutare il comportamento del veicolo durante situazioni accidentali (scoppio di un pneumatico, rottura di un tirante sterzo, errato funzionamento attuatori, ...).
- 5) Simulazioni per valutare le caratteristiche dinamiche dell'intero veicolo in termini di **Handling**(comportamento direzionale) e di **Ride** (dinamica verticale).
- 6) Modellizzazione della pista di prova di Aprilia (APG) e simulazione di alcune procedure di prova pneumatici.

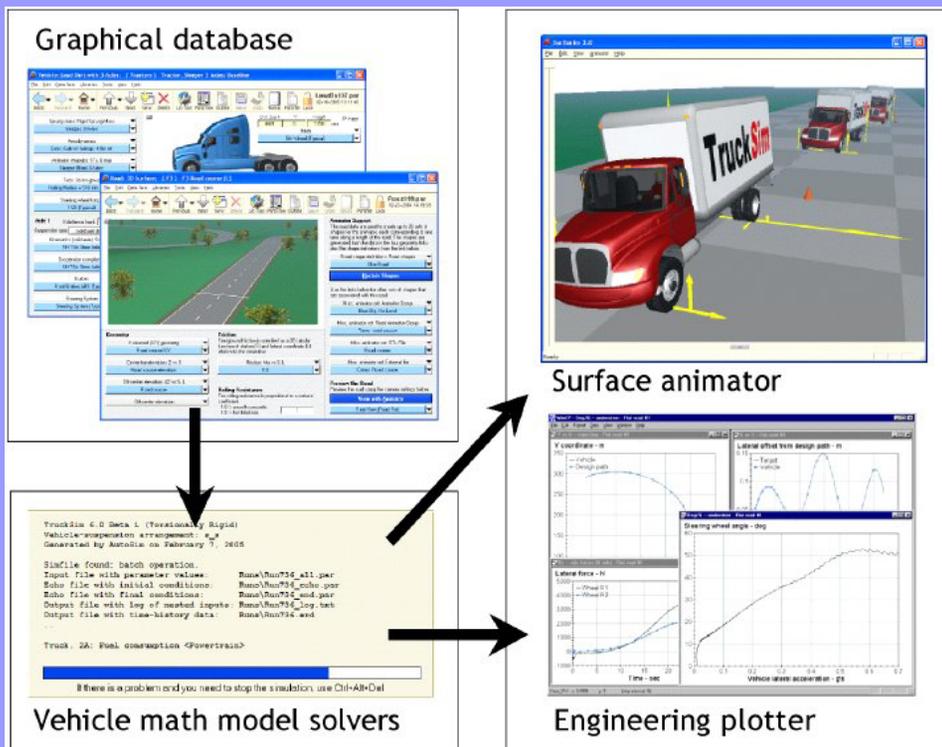


Tutti i risultati delle simulazioni sono stati utilizzati per fare delle **valutazioni comparative** tra le differenti configurazioni provate.

# I Software utilizzati:

Per l'attività di simulazione si sono utilizzati i seguenti software:

- 1) **TruckSim 6.0 (MSC)**, software specifico per la simulazione della dinamica di veicoli industriali
- 2) **Simulink**, software di simulazione impiegato in co-simulazione con TruckSim per effettuare la movimentazione dell'assale di misura (controsterzata+attuazione verticale)



## TruckSim

- Database per la modellazione del veicolo, dell'ambiente e dei controlli del guidatore
- Risolutore matematico (software a parametri concentrati)
- Interfaccia di presentazione risultati sottoforma di grafici e animazioni

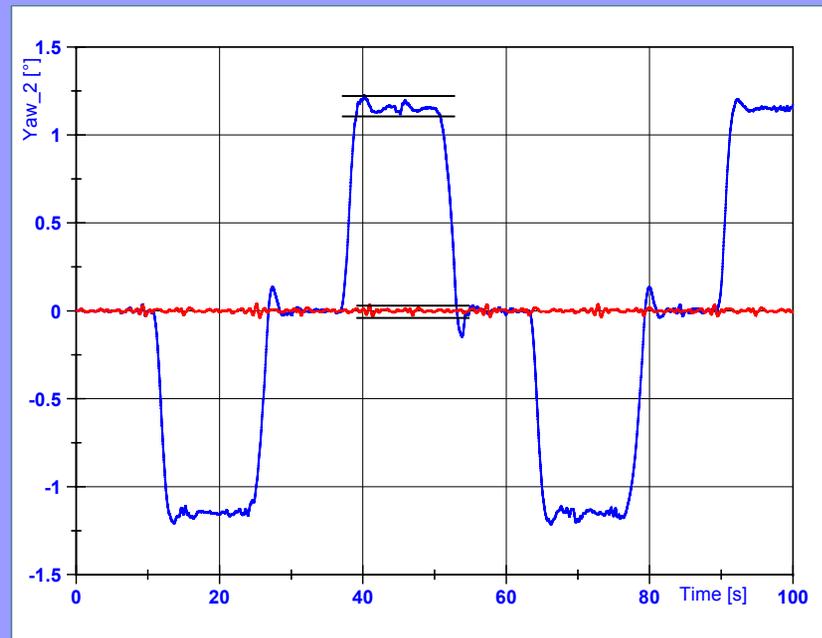
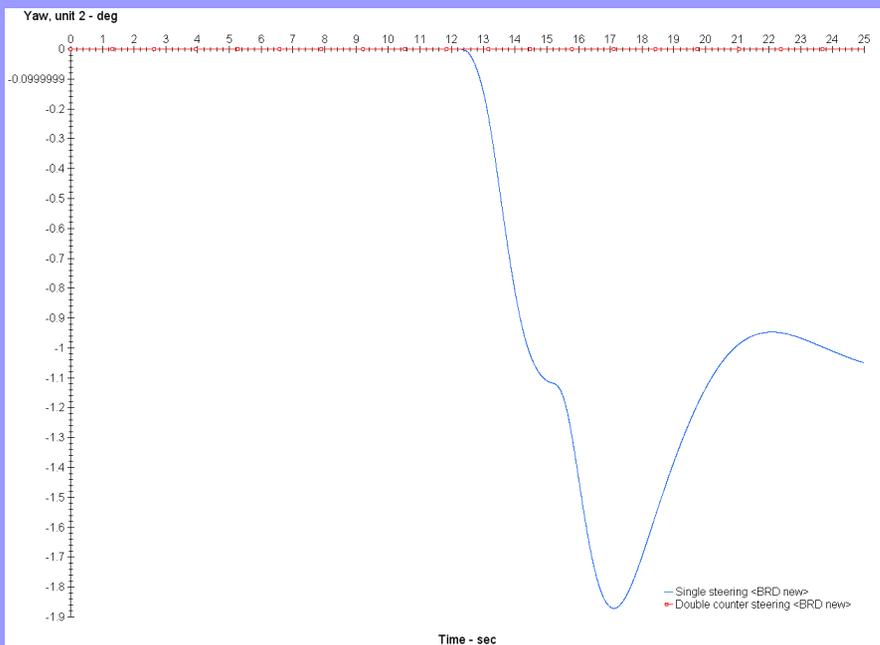
# Vantaggi della soluzione a doppia ruota "controsterzante"

- Migliore stabilità del semirimorchio
- Minore angolo d'imbardata del semirimorchio



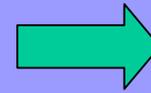
- Maggiore sicurezza di marcia
- Minore influenza dei disturbi sui risultati delle misure

- Con singola ruota sterzante si ha elevato angolo di imbardata e **maggiore sensibilità** ai disturbi esterni (errori del controllo di forza generano rumore di yaw)
- Con doppia ruota controsterzante angolo di imbardata quasi nullo e **minore sensibilità** ai disturbi esterni (incoerenza profilo stradale)



## Movimentazione delle ruote di misura

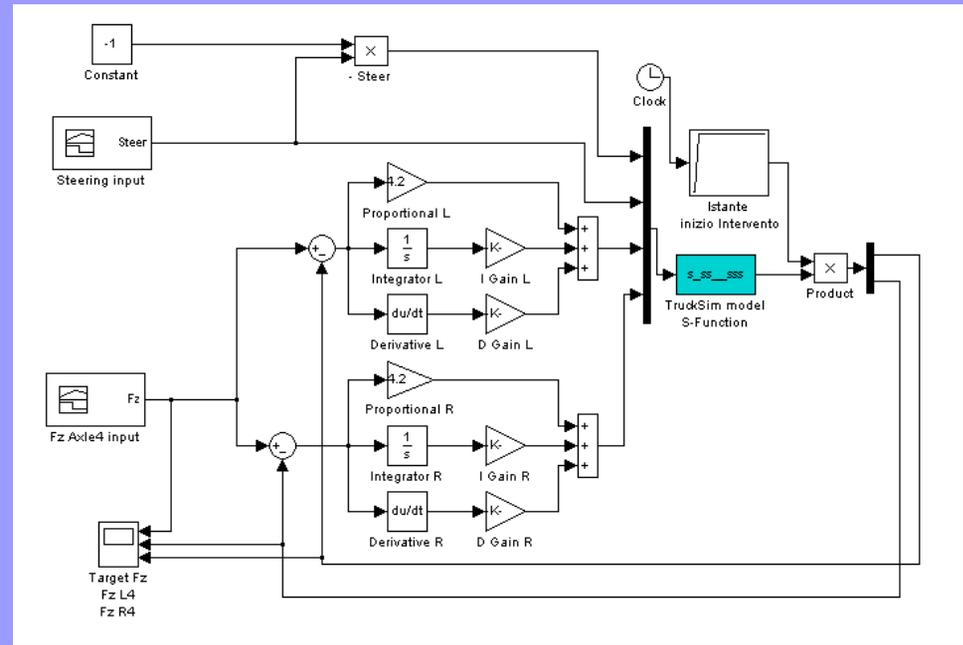
- Attuatori idraulici (controllati in spostamento) con retroazione in forza.
- In TruckSim possiamo controllare solo le forze, lo spostamento non può essere imposto.
- Il modello di attuatore in Simulink dovrà essere controllato e retroazionato in forza.



Impossibile implementazione del controllo degli attuatori fornito dalla Moog.

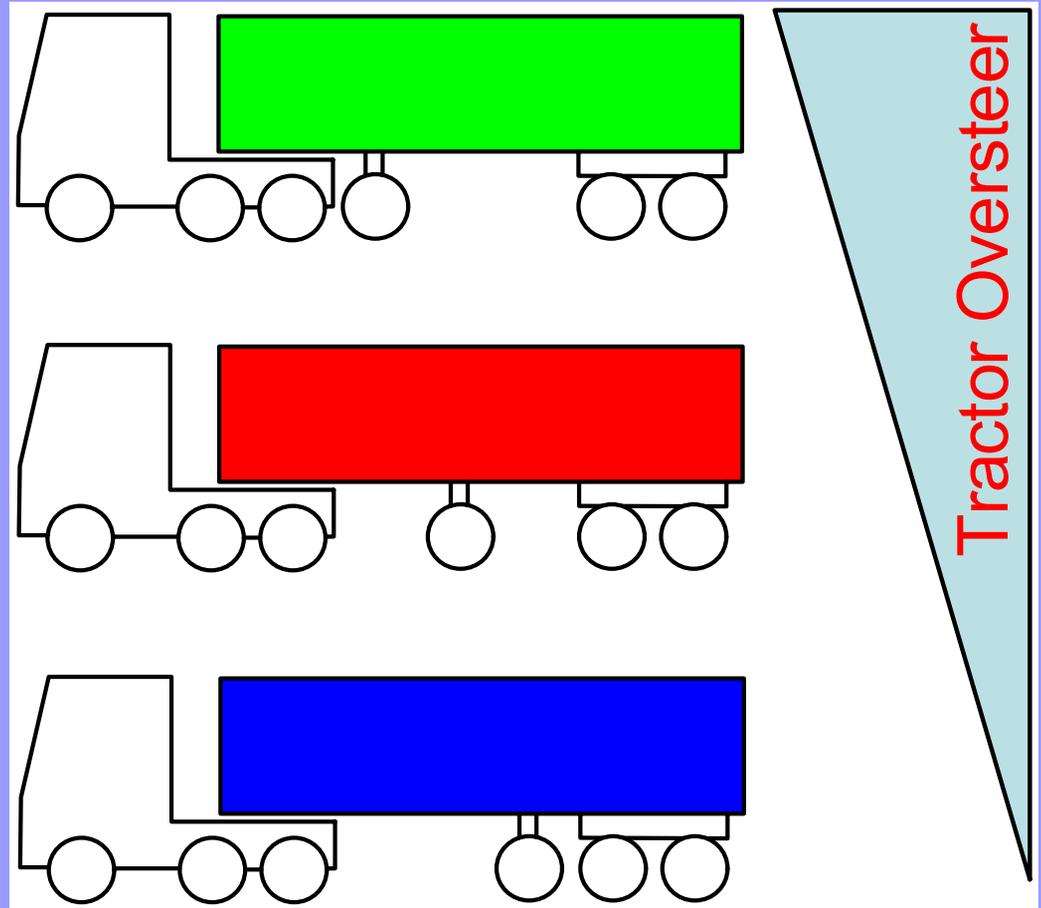
## La strategia di controllo adottata

- Da TruckSim si esporta la  $F_z$  e la si confronta con la  $F_z$  desiderata (set-point)
- Il segnale errore trattato dal PID diventa il nuovo  $F_s$  che viene "forzato" in TruckSim
- Mm/mr sospensione assale imposto unitario in modo che  $F_z = F_s$



## Posizionamento assale di misura

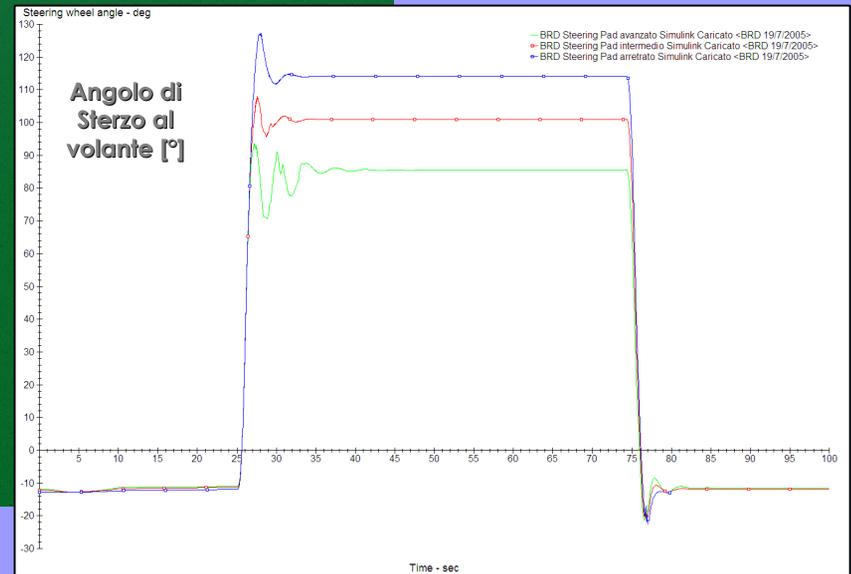
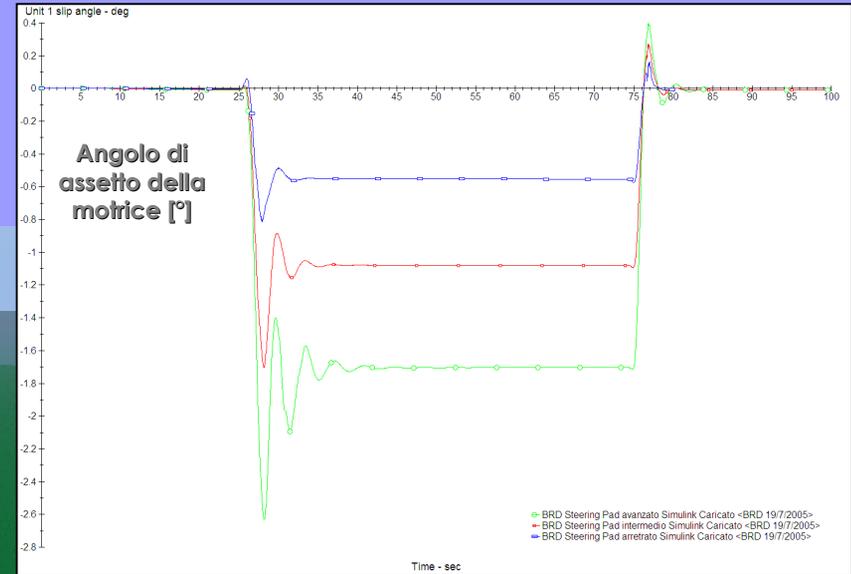
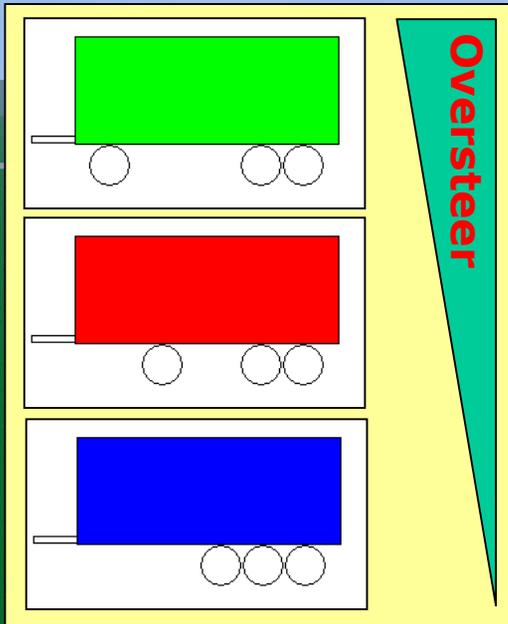
- Presenta vincoli legati agli ingombri di massima
- Presenta elevati effetti sulla dinamica dell'intero veicolo
- L'obiettivo principale consiste nel minimizzare rollio, yaw ed i transitori del semirimorchio e della motrice
- Sono state provate 3 differenti configurazioni: avanzata, intermedie ed arretrata
- In base ai risultati qualitativi ottenuti il progettista ha posizionato l'assale



# Posizionamento assale di misura : prove comparative (1/3)

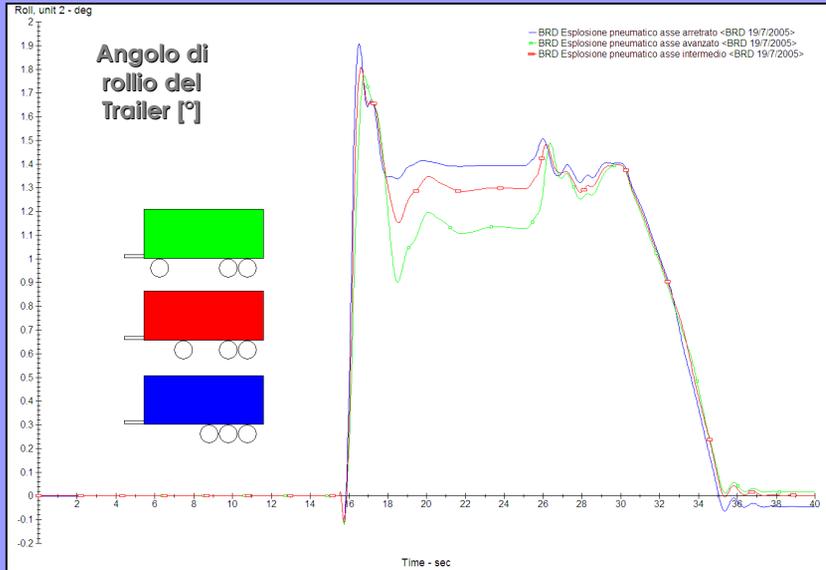
Steering Pad R = 500ft = 152m

- La motrice è meno stabile in curva con l'assale avanzato
- Il test non deve essere condotto in curva





## Esplosione pneumatico



### Analisi di sensibilità al rollio

Assale avanzato



Minore rollio del trailer

### Analisi di sensibilità all'imbardata

Assale arretrato



Minore disturbo sulla motrice



Maggiore stabilità del veicolo

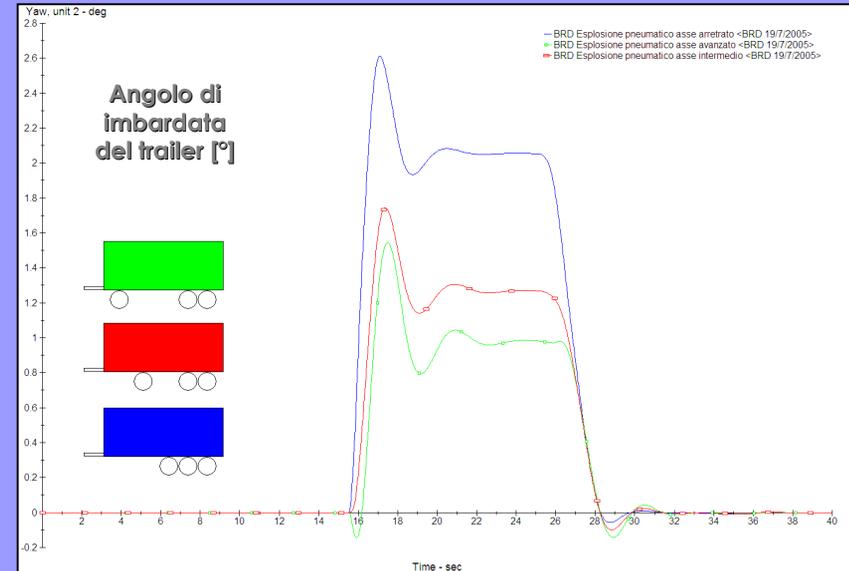
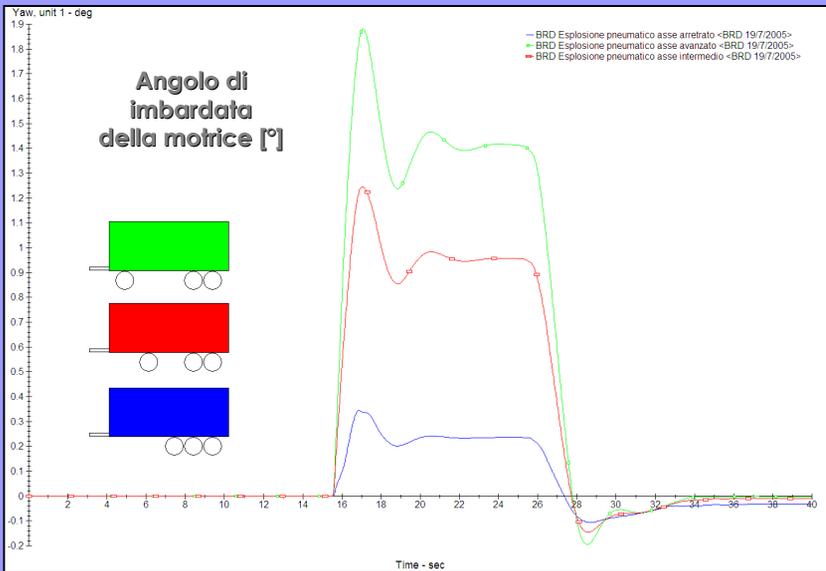
Assale avanzato



Minore disturbo sul trailer



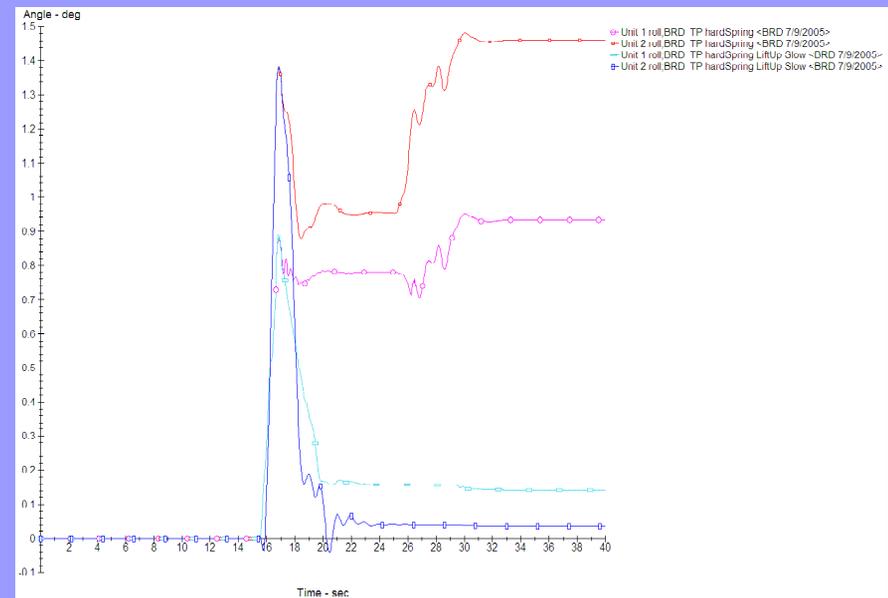
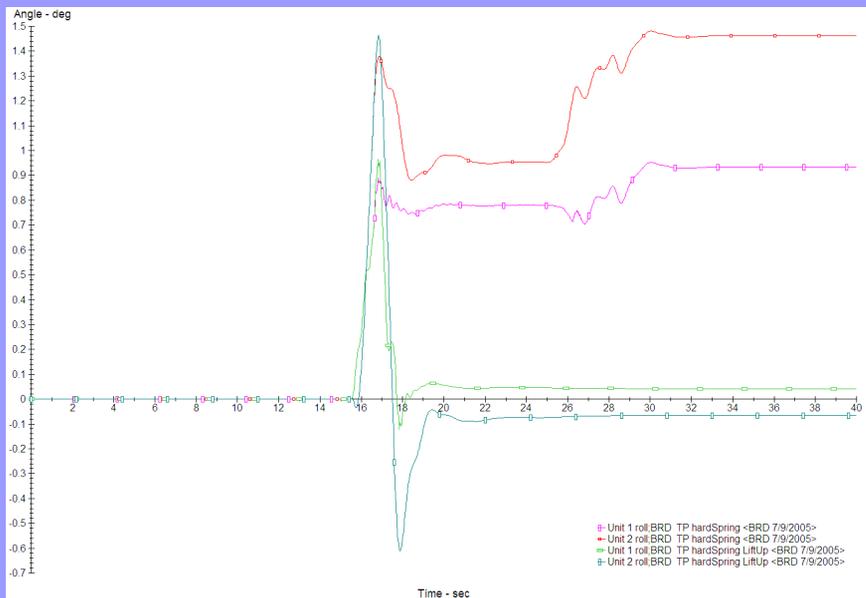
Minore influenza sulla prova





# Strategie di Recovering

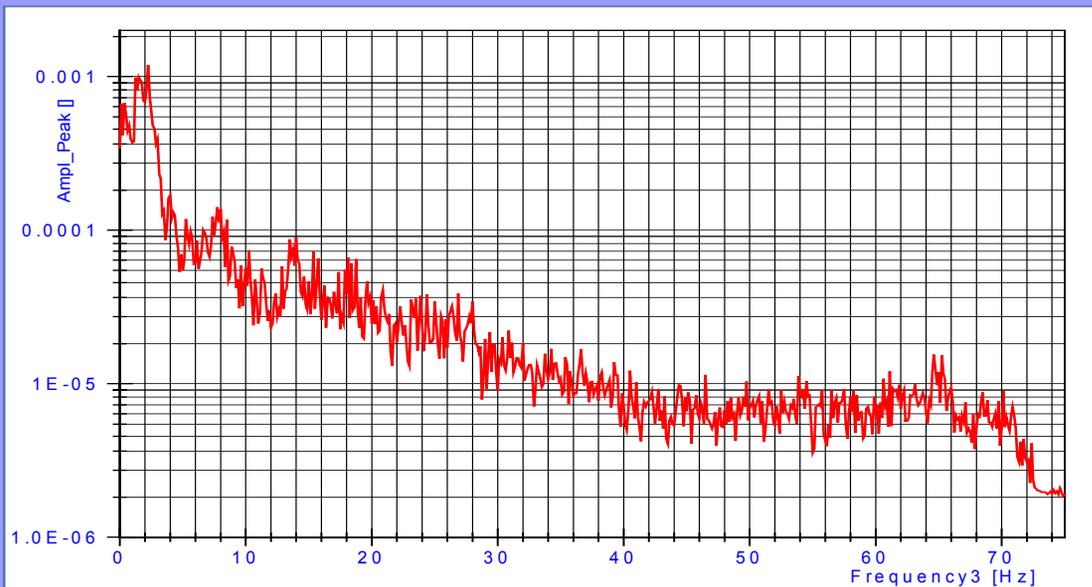
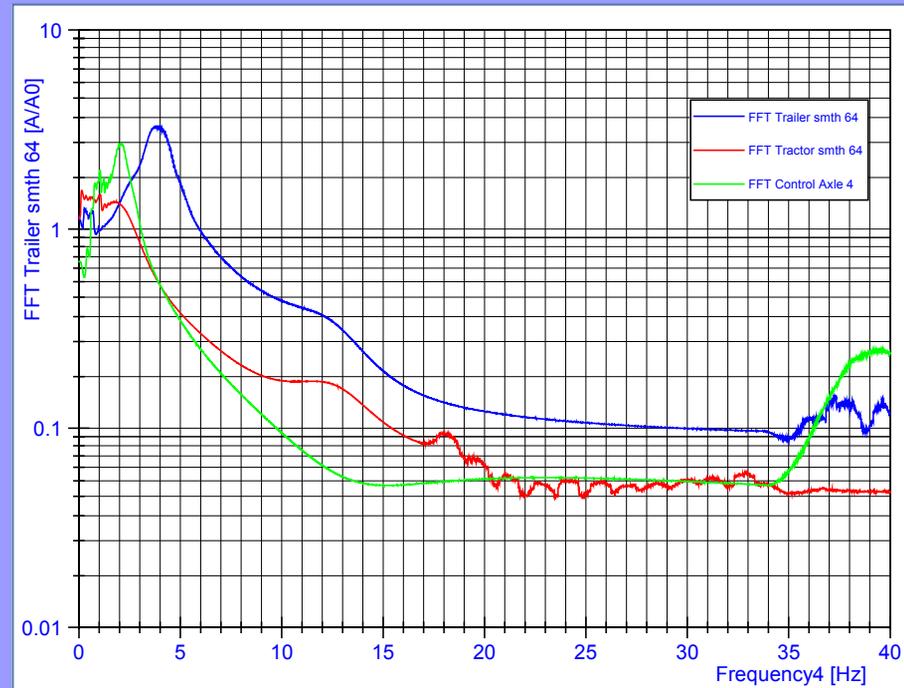
- Durante un test di pneumatici per veicoli industriali il pneumatico è soggetto ad elevate forze ed è probabile una rottura o uno scoppio
- In queste situazioni si deve evitare di danneggiare la strumentazione di misura
- Si deve garantire al veicolo di procedere in sicurezza
- Sono state analizzate differenti strategie di recovering con l'obiettivo di minimizzare il rollio, yaw e velocità di imbardata.
- I risultati ottenuti sono poi stati utilizzati dai controllisti Moog per effettuare la corretta movimentazione dell'assale nelle situazioni di emergenza



## Dinamica Verticale (Ride)

Le prove di dinamica verticale sono state richieste per:

- Stimare la risposta degli attuatori modellizzati
- Confrontarla con la risposta degli attuatori Moog
- Valutare l'incidenza della risposta degli attuatori sui risultati delle misure

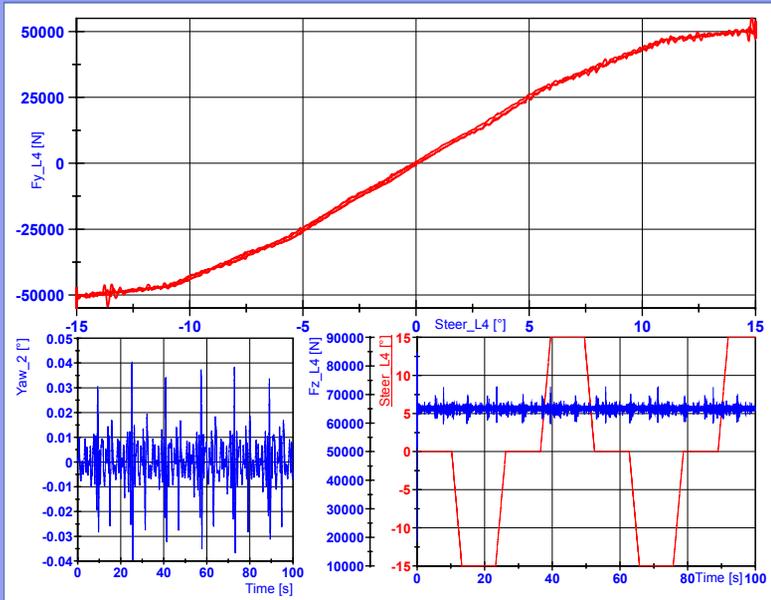


## Il fondo stradale

- Fondo stradale ricavato su 4poster (autostrada)

# Simulazione di misura effettuata su fondo stradale "reale"

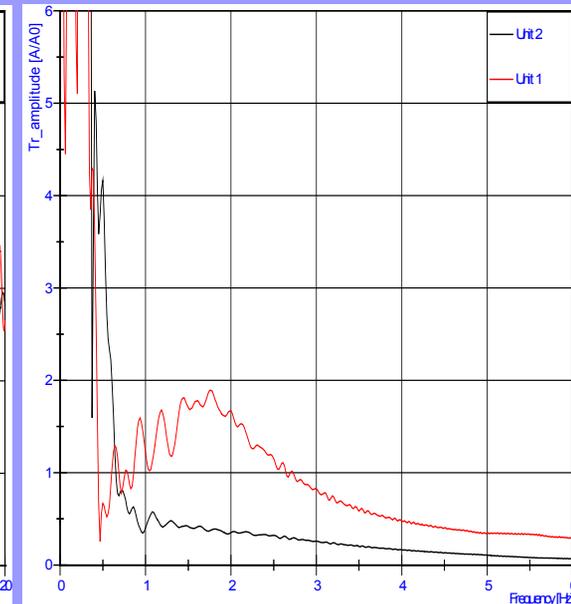
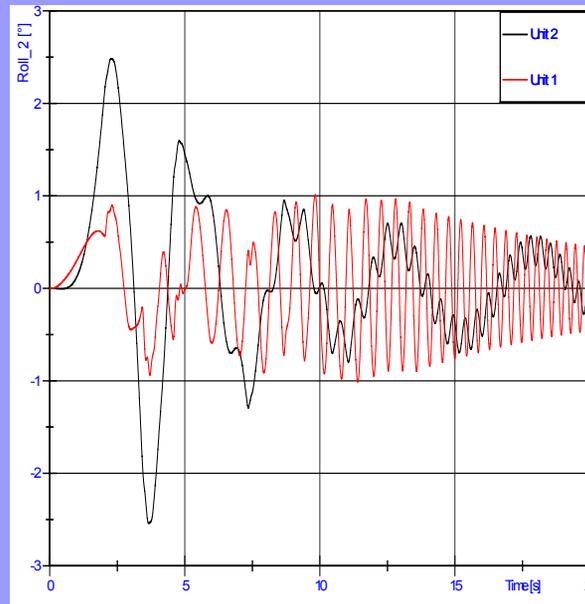
- Simulazione di una misura reale
- Caratteristica e  $F_y$  vs. slip a massima forza verticale e slip imposto di  $15^\circ$
- Legge di attuazione a "trapezio"



## Stimolazione a rollio

Valutazione dell'influenza della risposta degli attuatori sulle misure e sulla stabilità del veicolo

Sweep in contro fase destra sinistra e in fase su tutte le ruote di un lato del trailer, ampiezza costante 0.01m, freq a rollio 0.5Hz

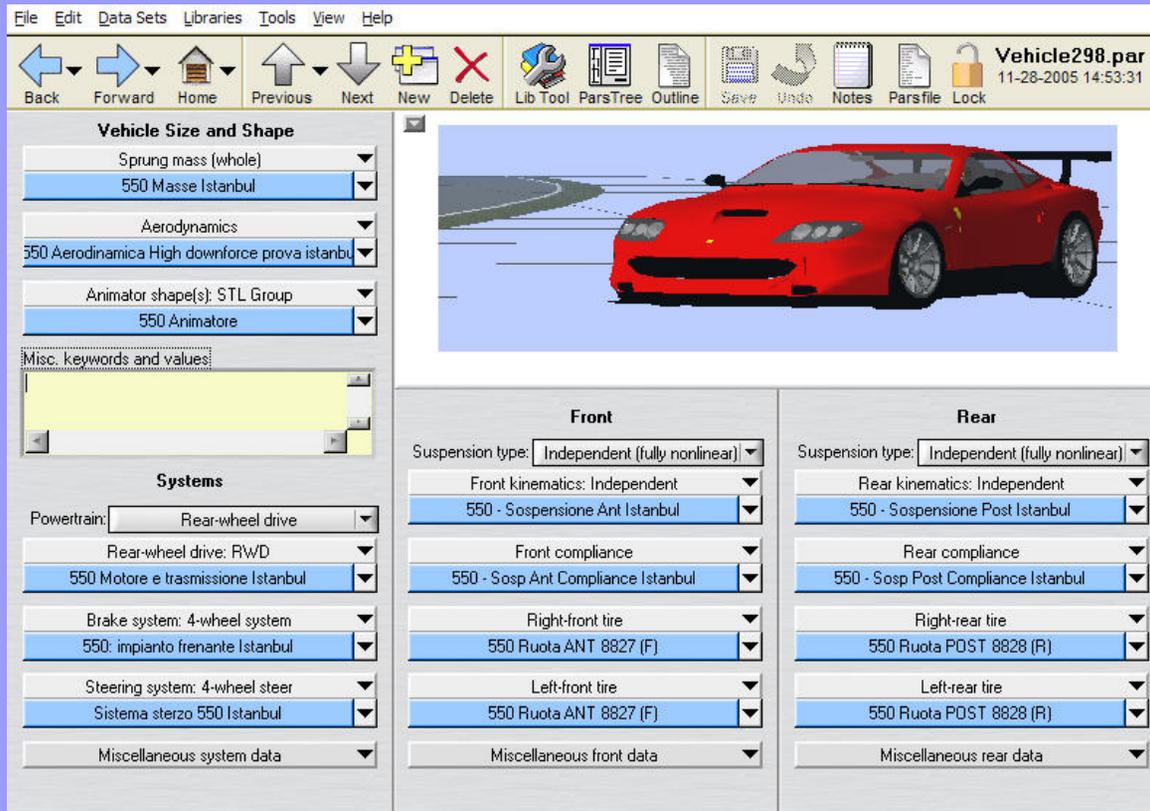


## Conclusioni

- Con questo lavoro sono entrato in contatto con la realtà delle simulazioni di dinamica del veicolo ed ho imparato ad utilizzare un software professionale dedicato allo studio di veicoli terrestri.
- L'attività di ricerca mi ha permesso di approfondire alcune tematiche di dinamica del veicolo.
- La strategia della validazione per confronto si è resa necessaria dato che il modello di veicolo era in costante aggiornamento durante l'attività di simulazione. Inoltre tutt'ora non siamo a conoscenza di alcuni dati pertanto il modello resta non completamente definito.
- Nell'ottica del confronto tuttavia è stato ugualmente possibile ottenere dei risultati di tipo qualitativo e quindi in grado di fornire delle linee di tendenza.



## 2) Applicazione del codice di calcolo CarSim per lo studio del comportamento dinamico della vettura da competizione Ferrari 550 categoria FIA GT1 (Tesi di laurea di Matti Andrea e Treccani Matteo A.A 2004/2005)



La struttura del lavoro:

- Modellizzazione completa della vettura e dei circuiti
- Imposizione traiettoria seguita dal pilota e controlli attraverso dati telemetrici
- Validazione del modello attraverso il confronto con la telemetria

Dati per la modellazione e validazione del modello forniti da:

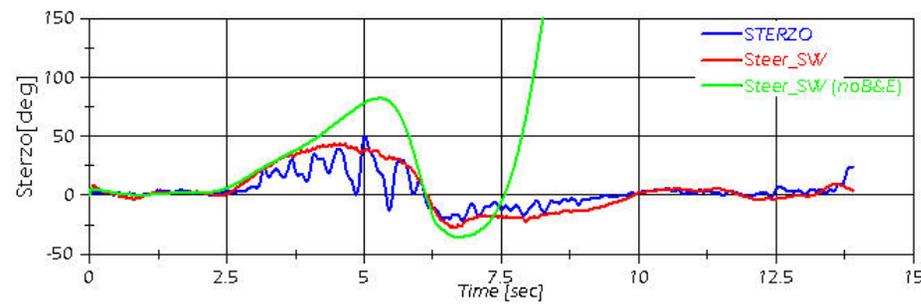
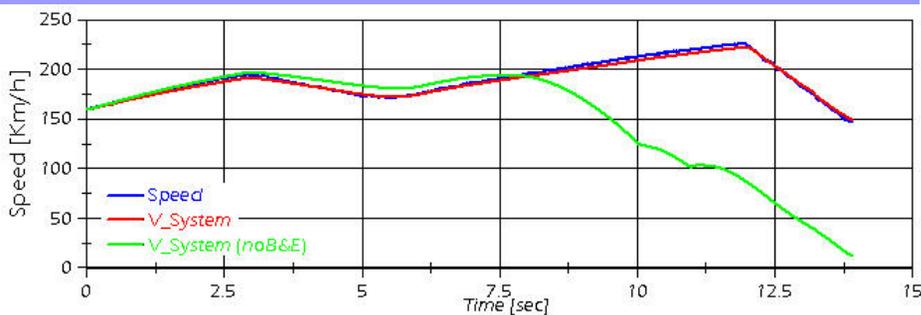
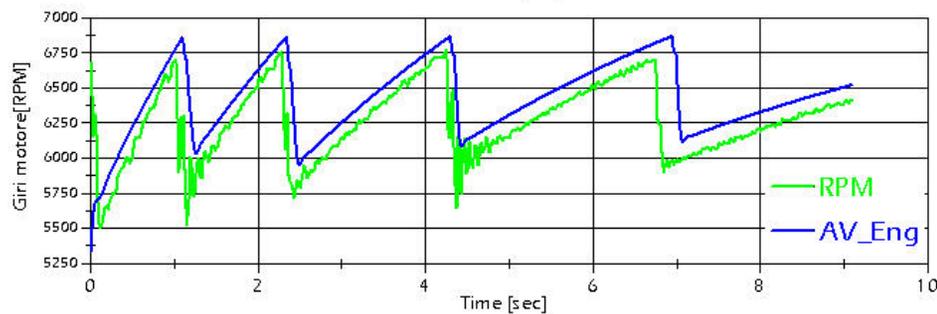
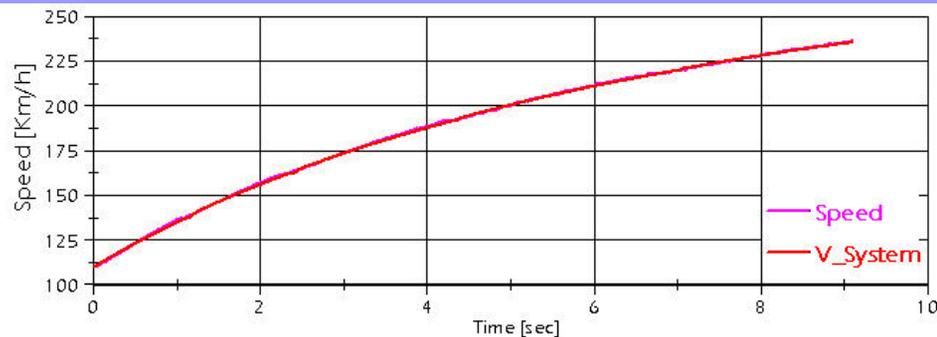


*Danco K&C*



## Fase di **analisi dei risultati** e **comparazione** con i dati della telemetria

- Prova di accelerazione a Ghedi
- Primo grafico: profilo di velocità
- Secondo grafico: regime del motore
- Dalla prova di valida motore, aerodinamica e cambiata



- Tratto "Audi-S Kurve"
- Mette in evidenza l'importanza di altimetria e banking