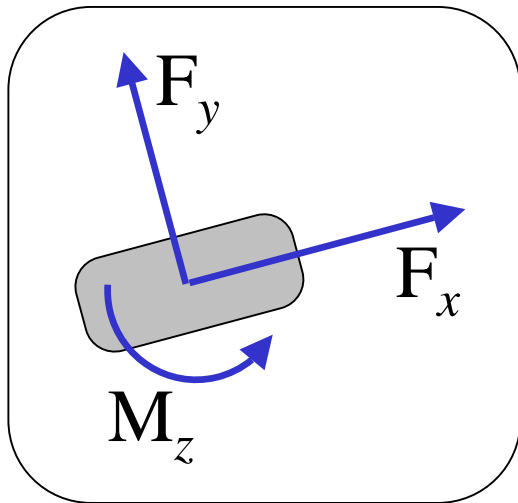


# Breve introduzione ai Modelli del Pneumatico

La dinamica del veicolo dipende strettamente dalle forze e dai momenti sviluppati dal contatto pneumatico-asfalto:

- la forza longitudinale  $F_x$
- la forza laterale  $F_y$
- il momento autoallineante della ruota  $M_z$



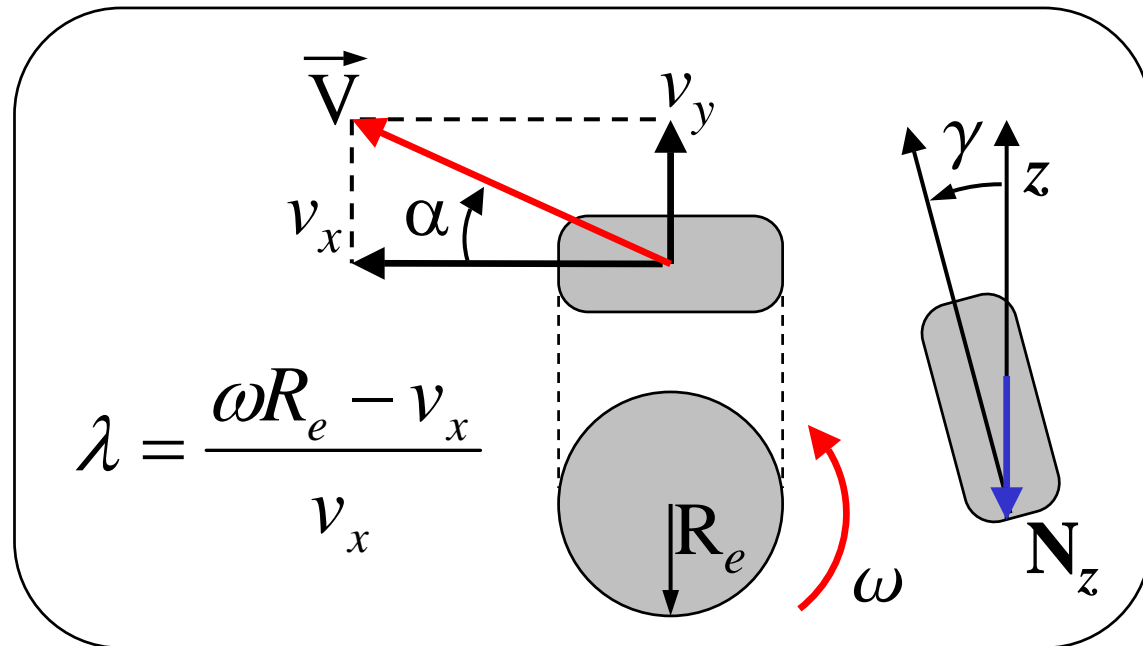
È necessario un modello del pneumatico che permetta il calcolo dinamico delle forze e dei momenti  $F_x$ ,  $F_y$  e  $M_z$ .

Modello di PACEJKA (magic formula):

fornisce le caratteristiche del pneumatico mediante interpolazione matematica delle caratteristiche ricavate da prove sperimentali o da modelli fisici.

Il modello più diffuso del pneumatico calcola le forze  $F_x$ ,  $F_y$  e  $M_z$  per un dato asfalto in funzione di 4 parametri:

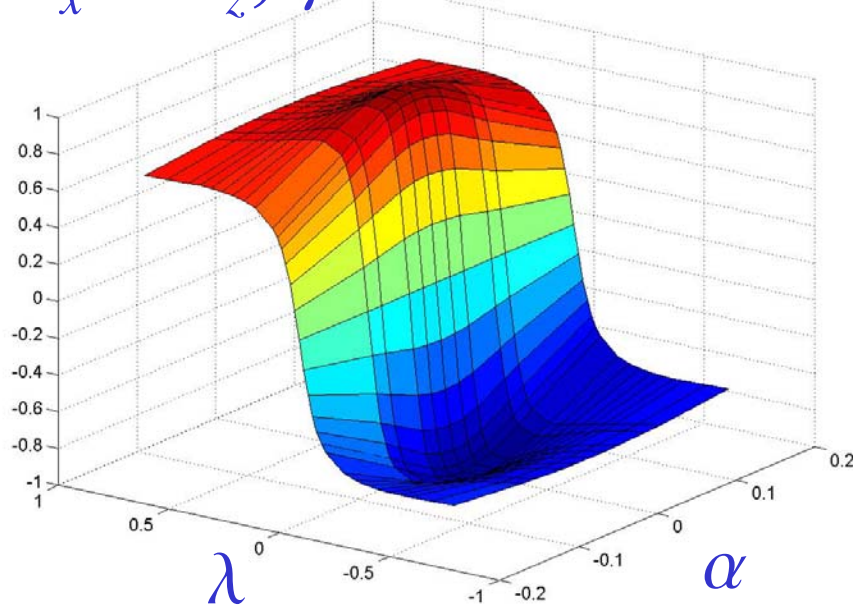
- scorrimento  $\lambda$
- angolo di scorrimento  $\alpha$
- carico verticale  $N_z$
- angolo di camber  $\gamma$



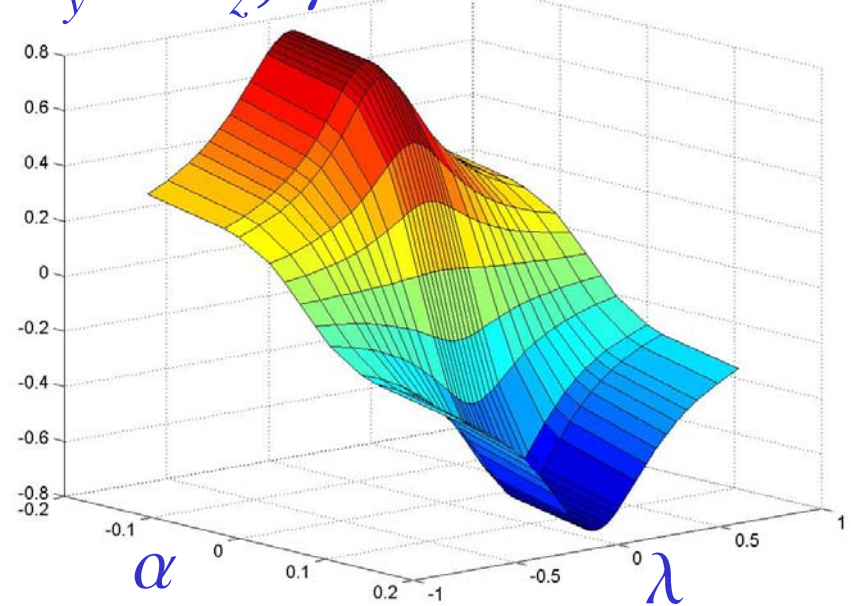
$\vec{V}$  è la velocità del baricentro del veicolo riportata nel punto di contatto tra pneumatico e asfalto.

- Il pneumatico presenta un comportamento nonlineare.
- Quasi tutti gli pneumatici hanno caratteristiche simili.
- Le strategie di controllo come traction control, ABS, ESP, si basano sul comportamento del pneumatico in funzione delle variabili  $\lambda$ ,  $\alpha$ ,  $N_z$  e  $\gamma$ .

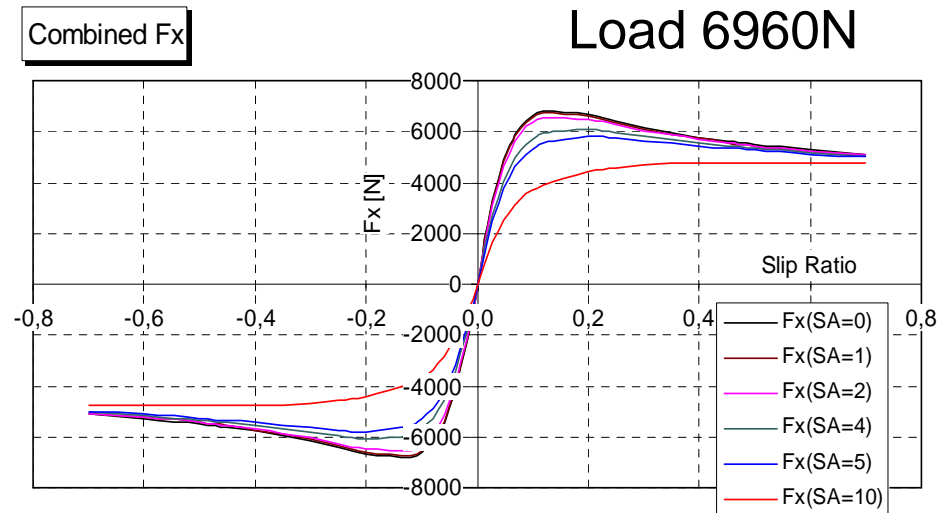
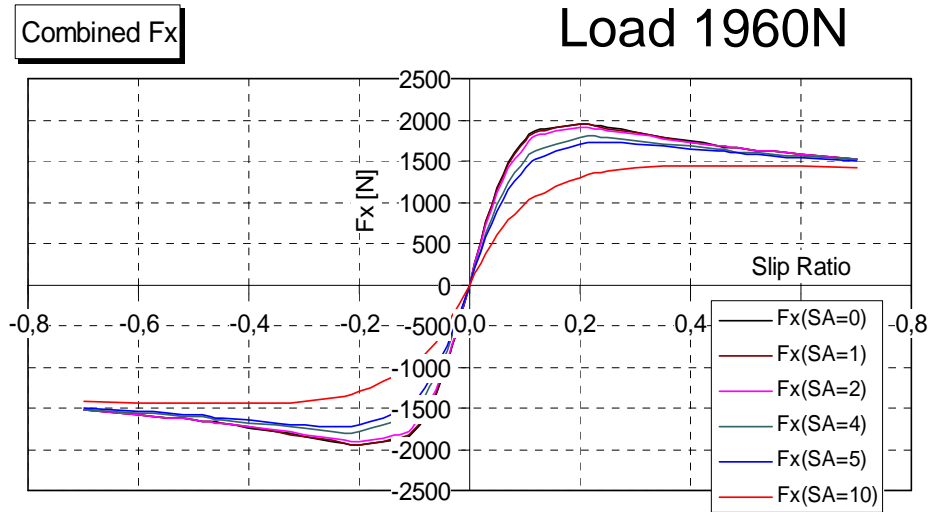
$F_x @ N_z, \gamma \text{ costanti}$



$F_y @ N_z, \gamma \text{ costanti}$



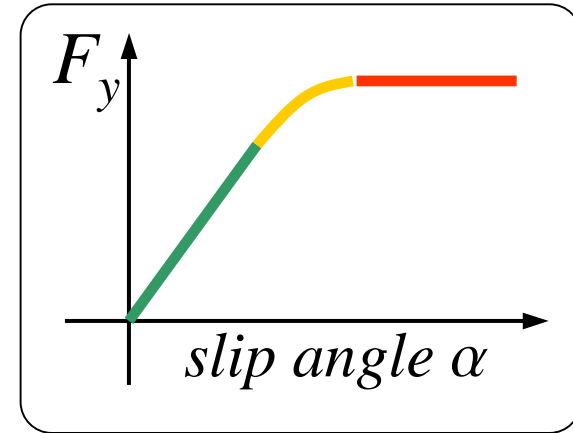
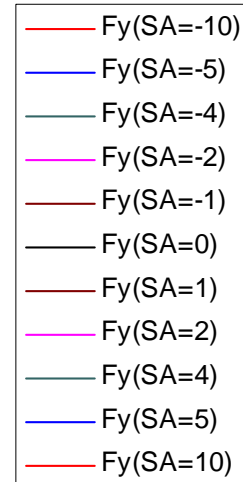
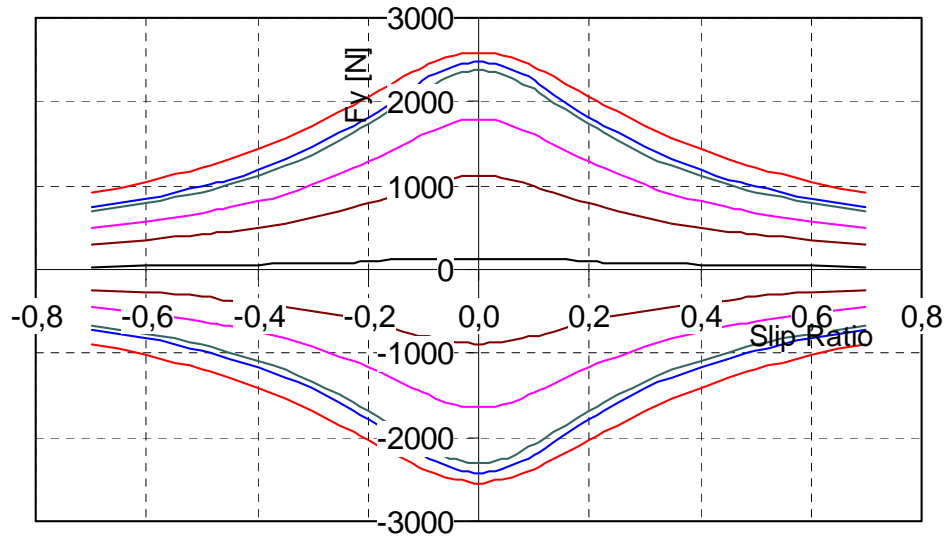
# Forze Longitudinali Pneumatico-Asfalto



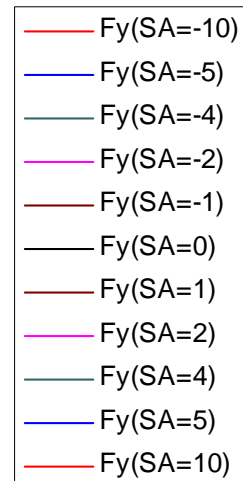
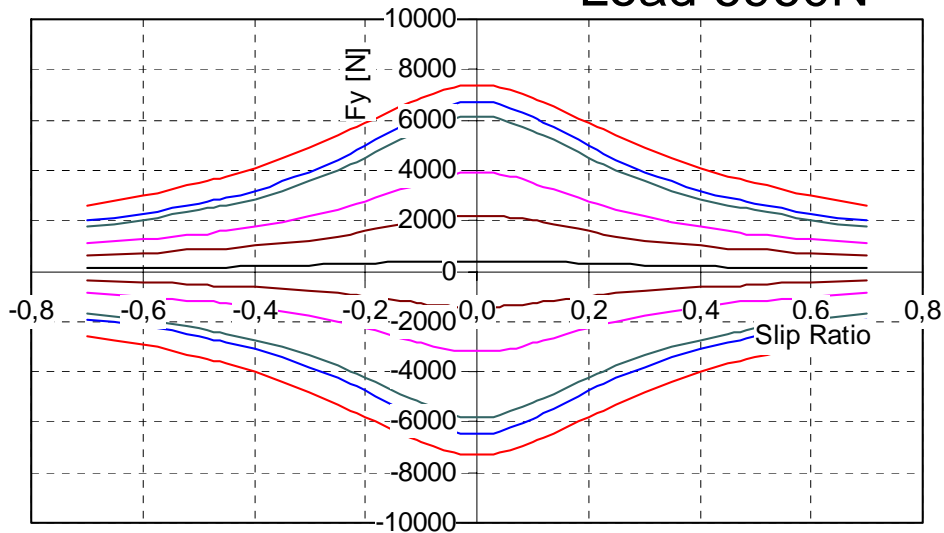
# Forze Lateral Pneumatico-Asfalto

Combined  $F_y$

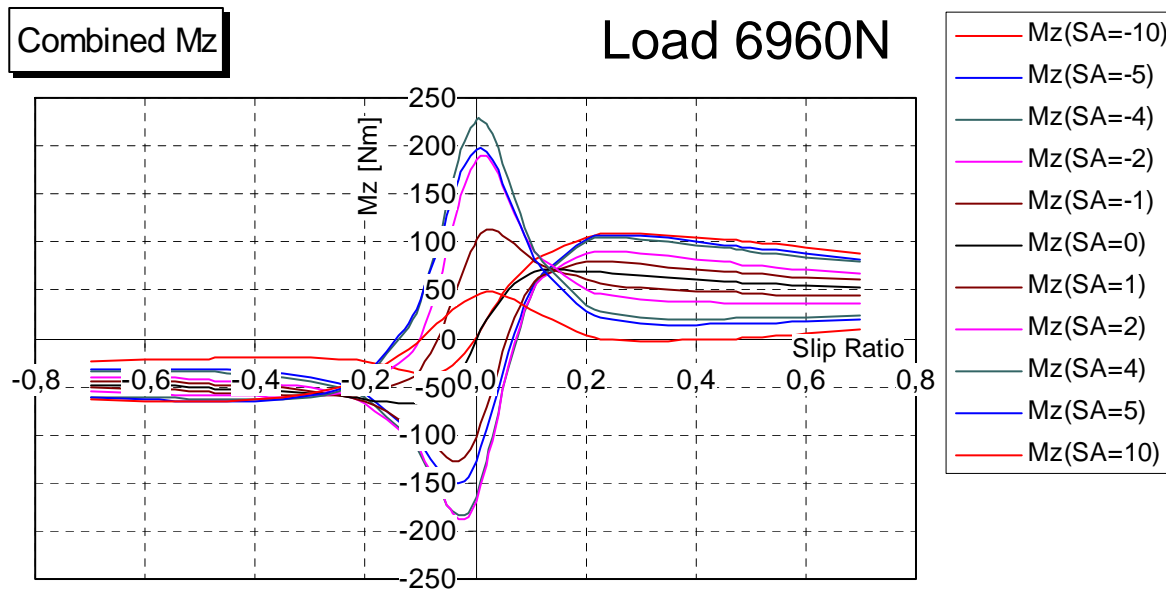
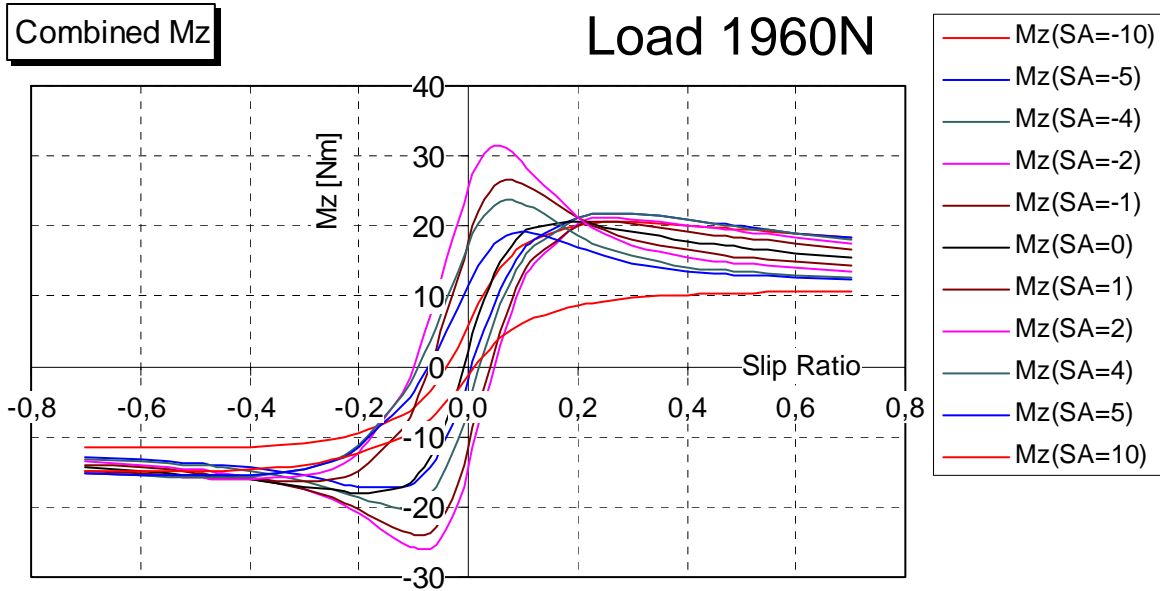
## Load 1960N



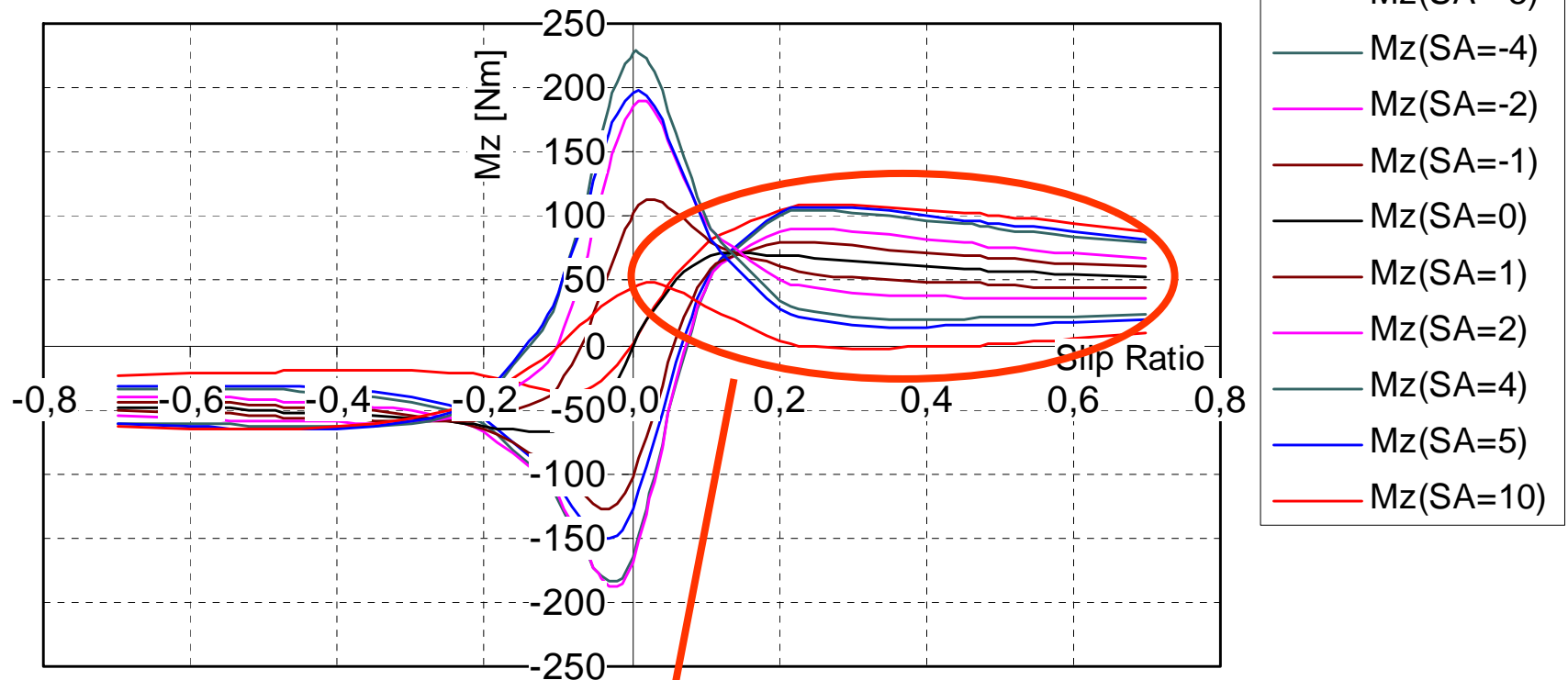
## Load 6960N



# Momento Autoallineante Pneumatico-Asfalto



## Combined Mz



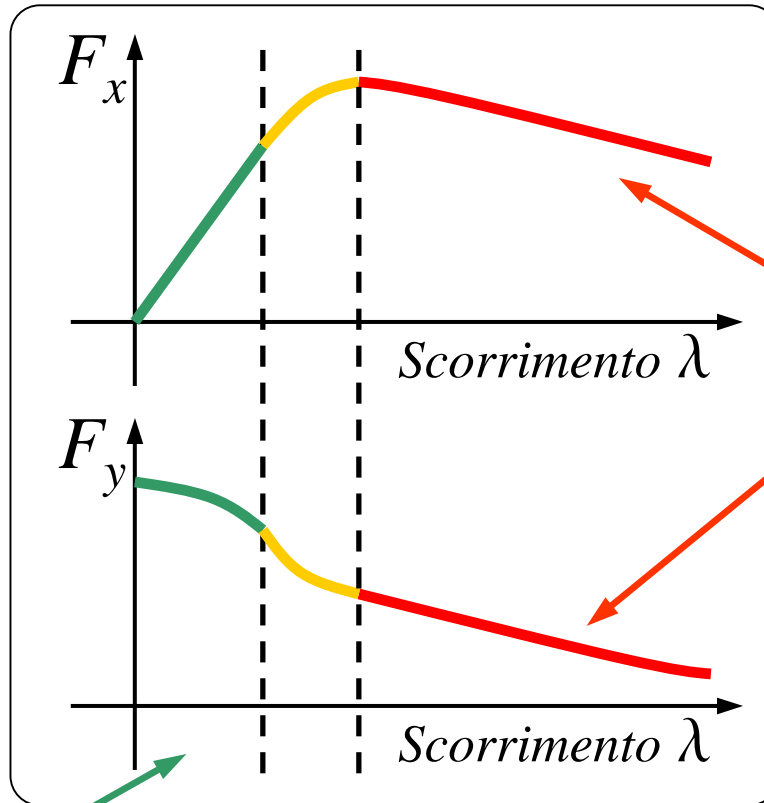
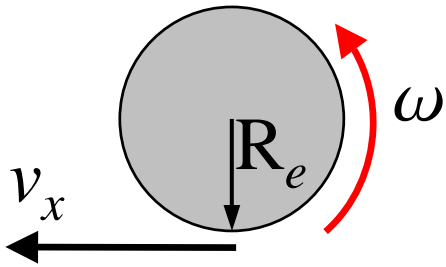
Osservazione: in condizioni di aderenza limite (elevati  $\lambda$  e  $\alpha$ ) il momento autoallineante diminuisce, provocando un alleggerimento dello sterzo.



# Comportamento in funzione dello scorrimento

*Scorrimento:*

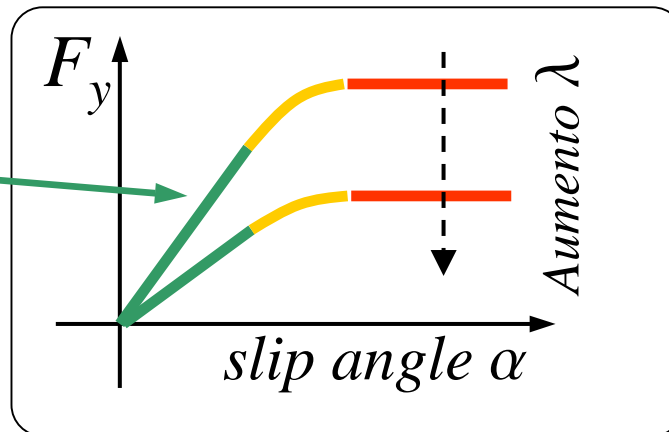
$$\lambda = \frac{\omega R_e - v_x}{v_x}$$



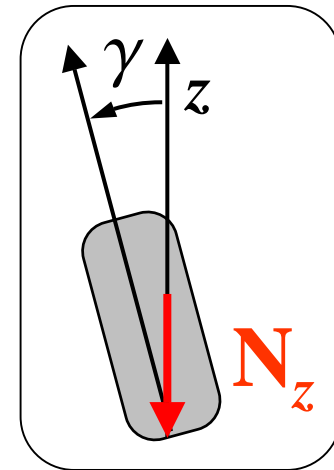
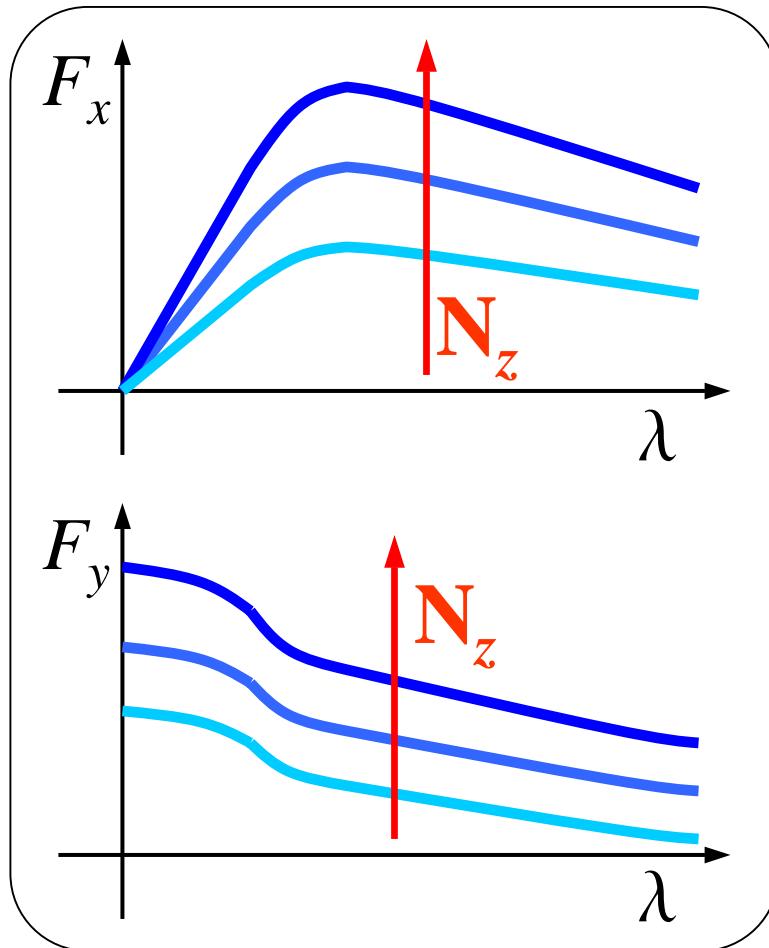
Regione di lavoro **instabile**: lo scorrimento aumenta fino allo slittamento della ruota

Regione quasi lineare:

- $F_x$  rispetto a  $\lambda$
- $F_y$  rispetto ad  $\alpha$

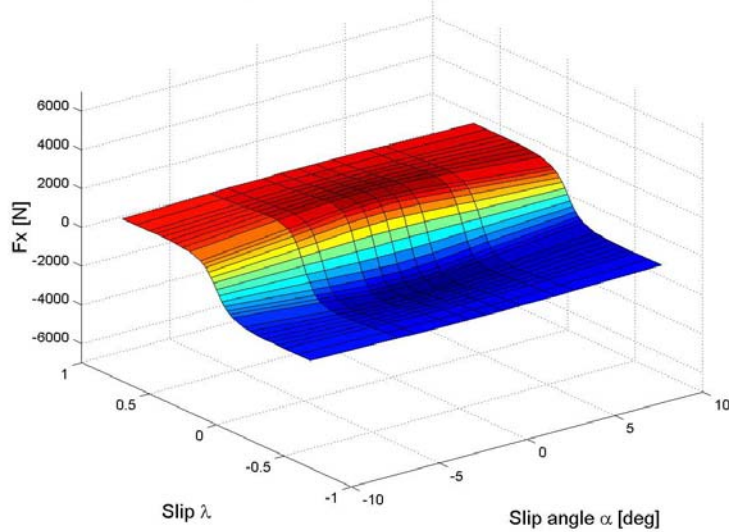


Le forze esercitate dal pneumatico aumentano in modo quasi proporzionale con il **carico verticale  $N_z$** .

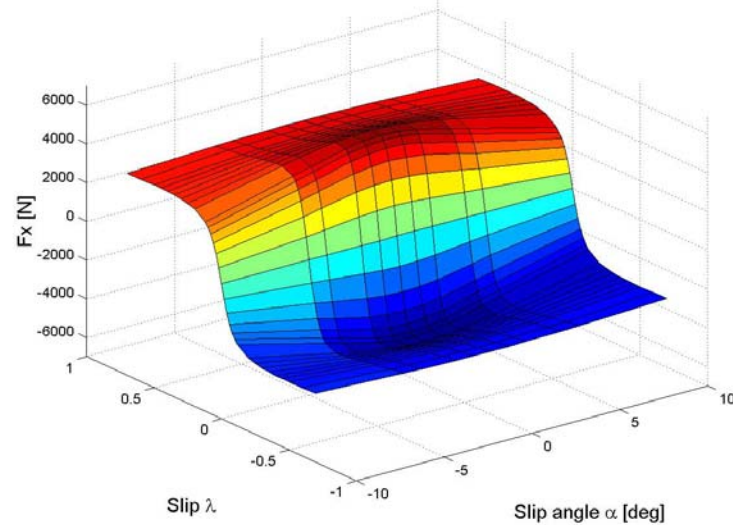


# Effetti del carico verticale sulle forze longitudinali

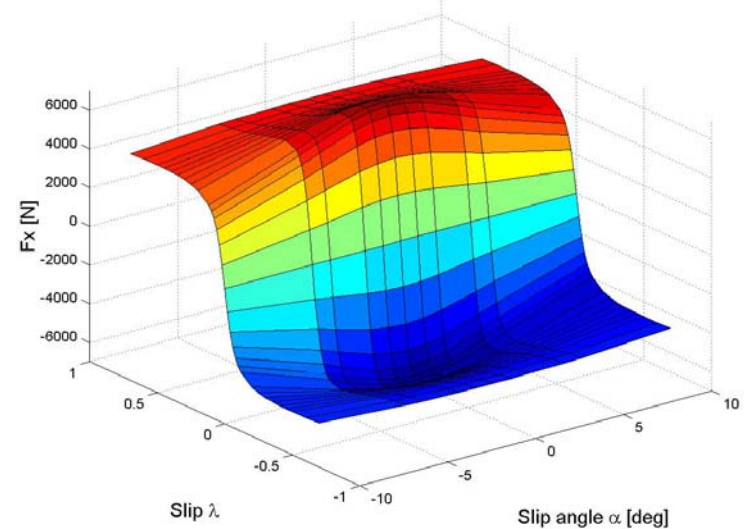
Longitudinal Force Fx @ Nz=1960N



Longitudinal Force Fx @ Nz=4900N



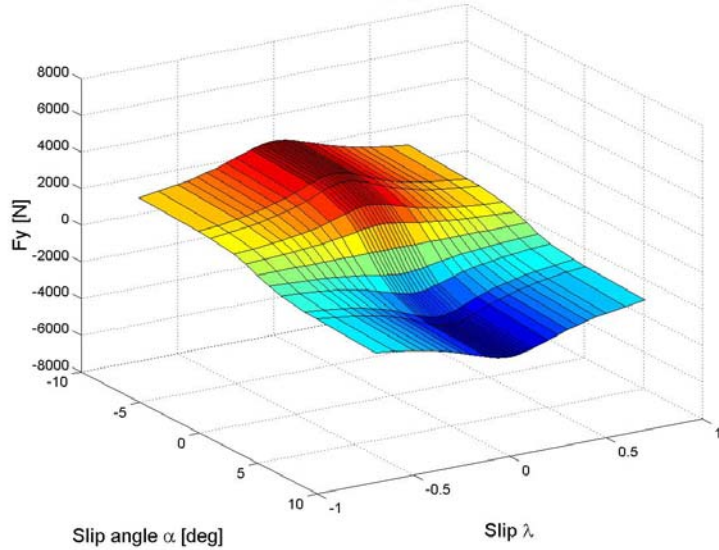
Longitudinal Force Fx @ Nz=6860N



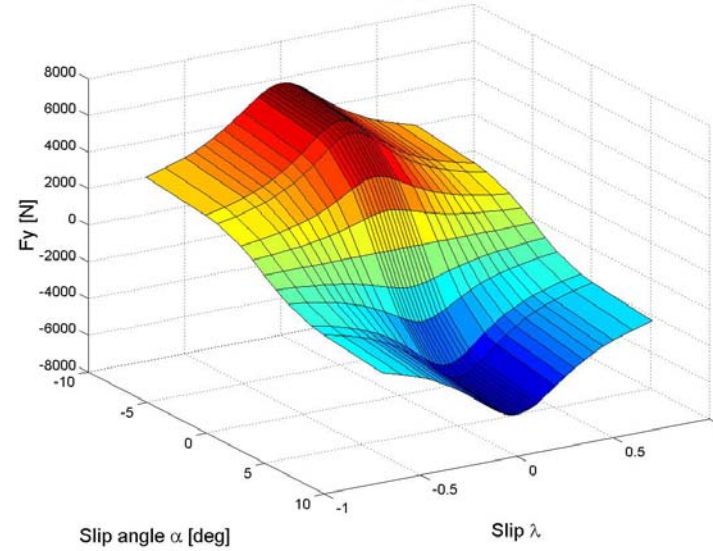
La forza longitudinale aumenta in modo quasi proporzionale con il **carico verticale  $N_z$** . Aumentando il carico del 10% la forza longitudinale aumenta meno del 10%

# Effetti del carico verticale sulle forze laterali

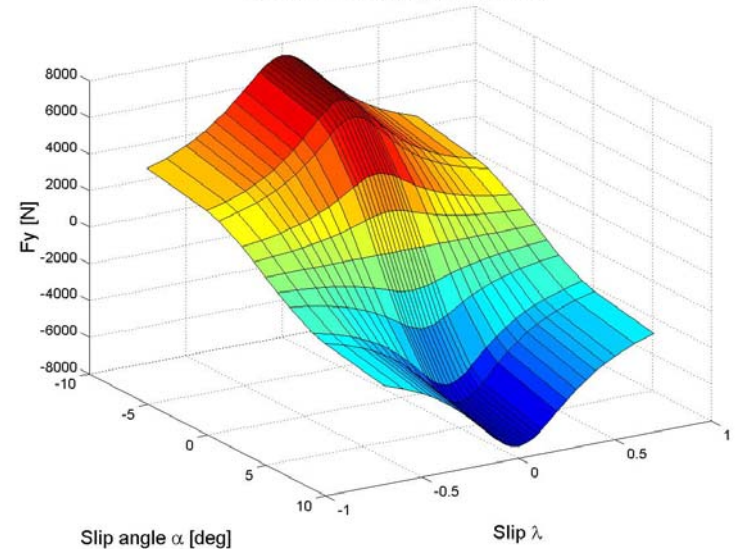
Lateral Force  $F_y$  @  $N_z=1960\text{N}$



Lateral Force  $F_y$  @  $N_z=4900\text{N}$



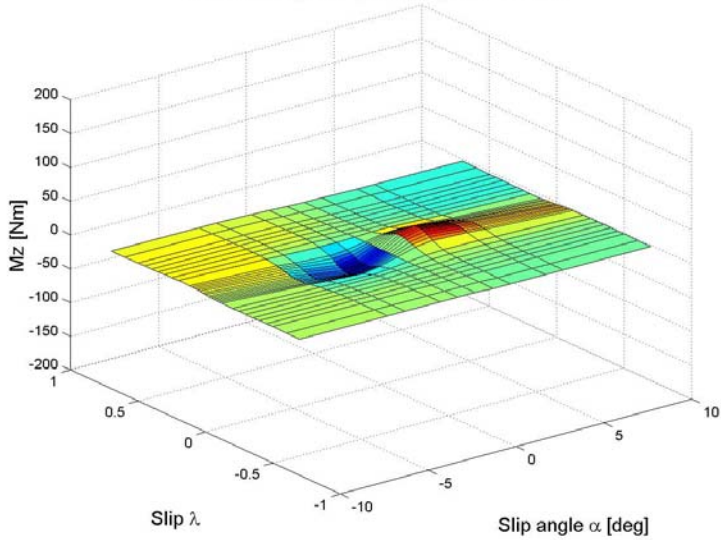
Lateral Force  $F_y$  @  $N_z=6860\text{N}$



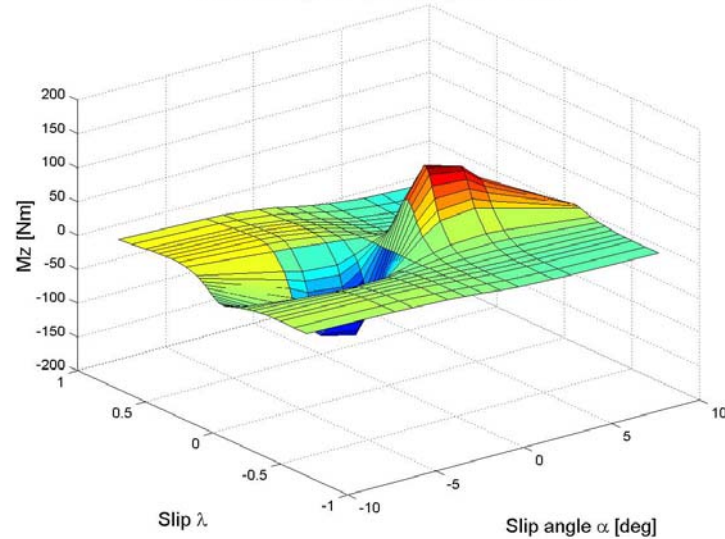
La forza laterale aumenta in modo quasi proporzionale con il **carico verticale  $N_z$** . Aumentando il carico del 10% la forza laterale aumenta meno del 10%

# Effetti del carico verticale sul momento autoallineante

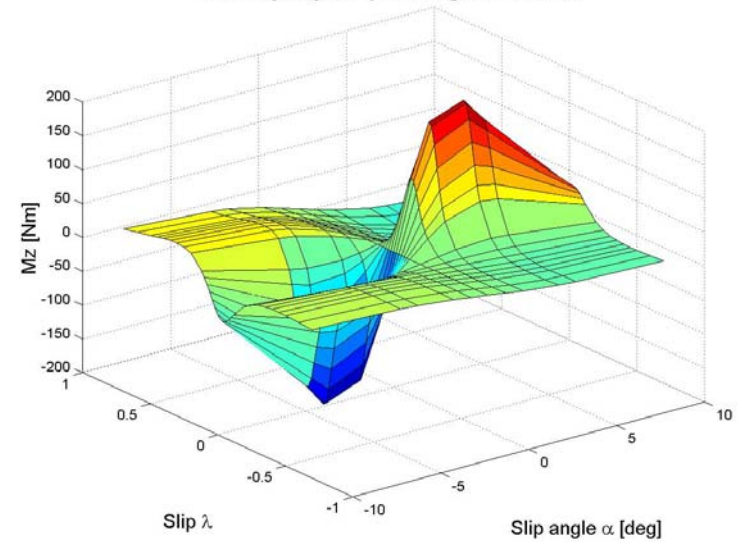
Self Aligning Torque  $M_z$  @  $N_z=1960\text{N}$



Self Aligning Torque  $M_z$  @  $N_z=4900\text{N}$



Self Aligning Torque  $M_z$  @  $N_z=6860\text{N}$

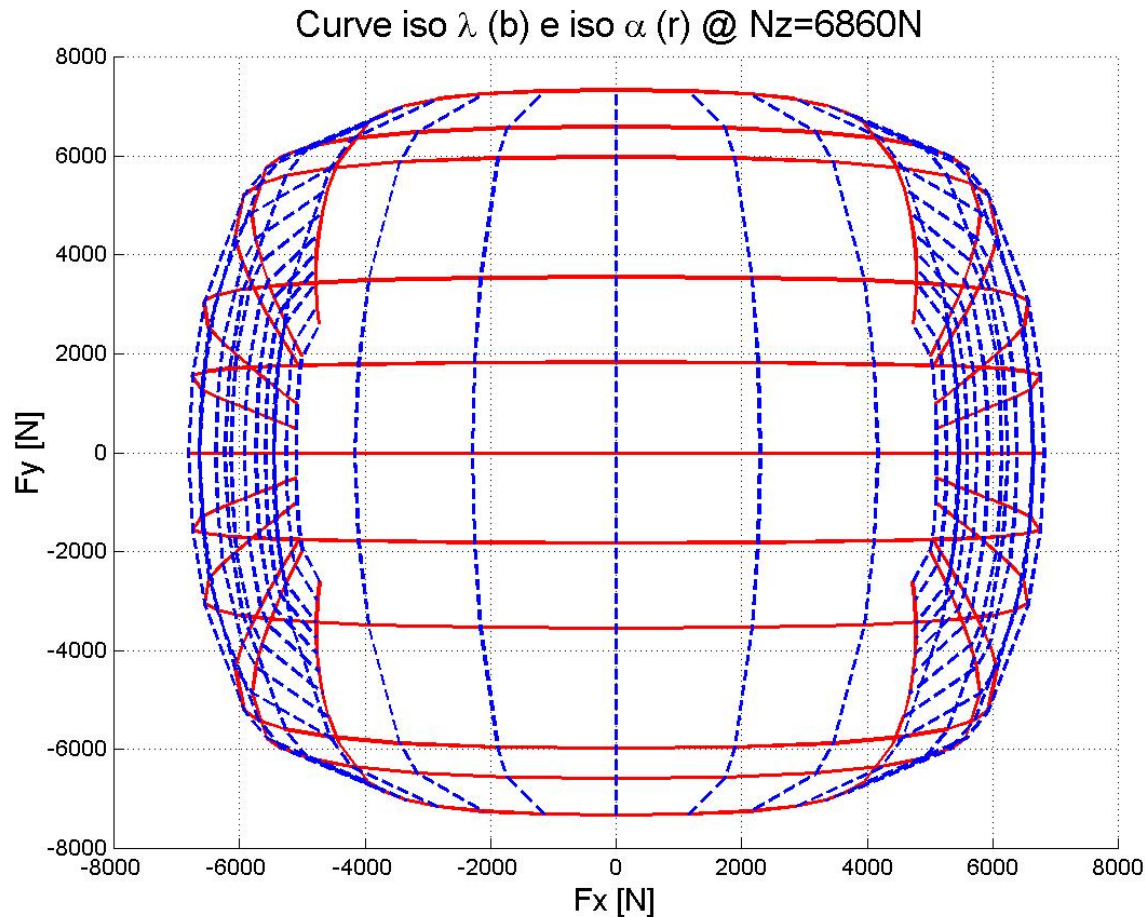


IL momento autoallineante  
aumenta  
con il carico verticale  $N_z$ .

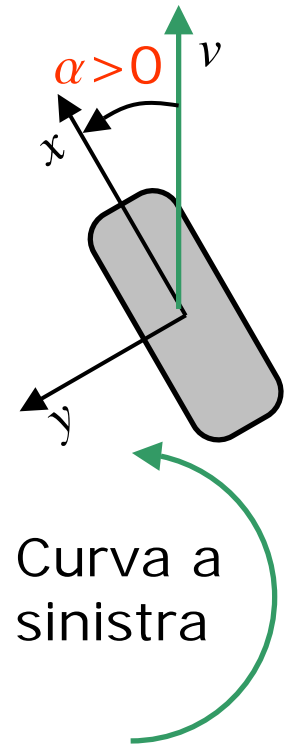
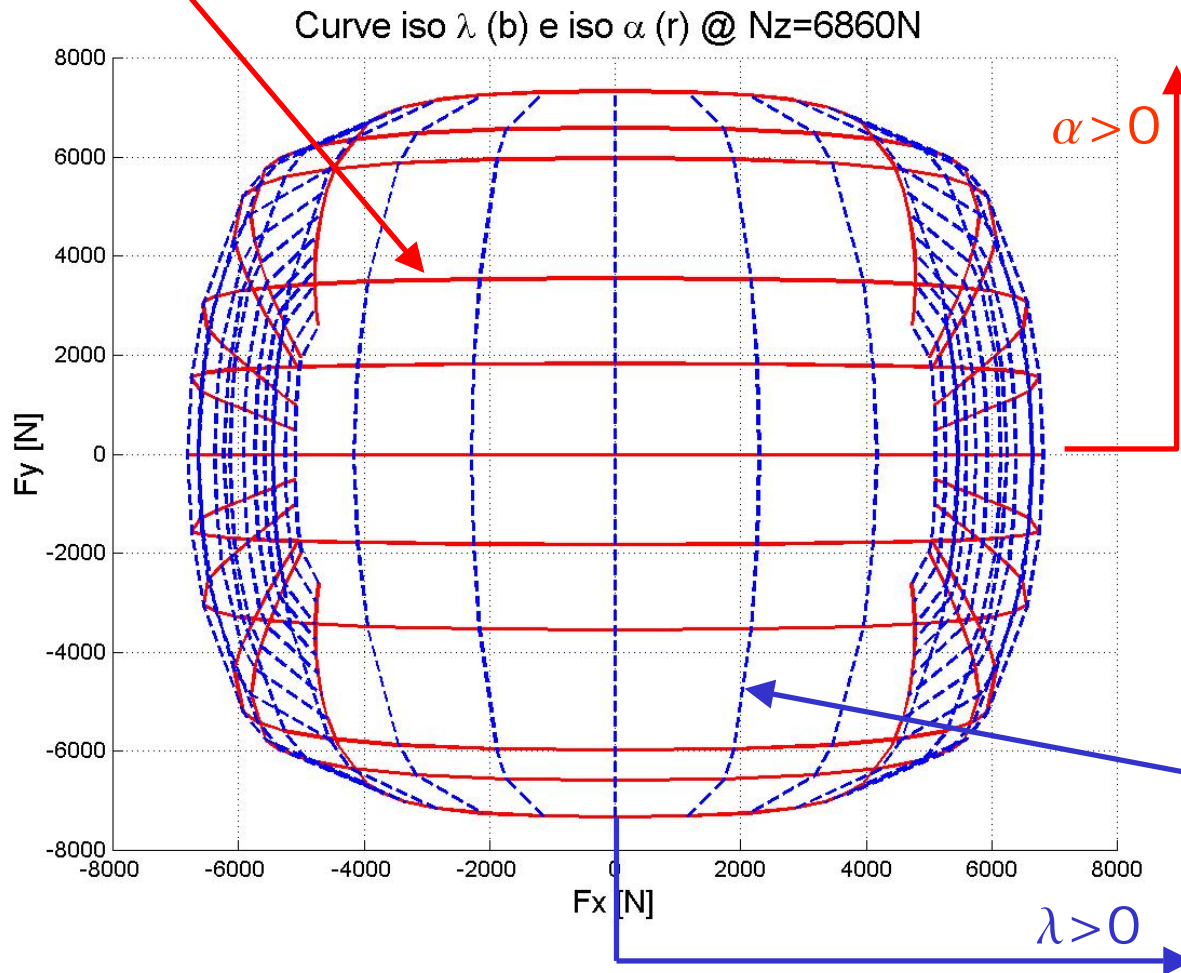


# Ellissi di aderenza

Rappresentando le forze longitudinali e laterali per tutti i possibili punti di lavoro (scorrimento e angolo di scorrimento) si ottiene l'ellissi di aderenza che rappresenta su un unico grafico le forze che un pneumatico riesce a trasmettere a terra per un dato carico.



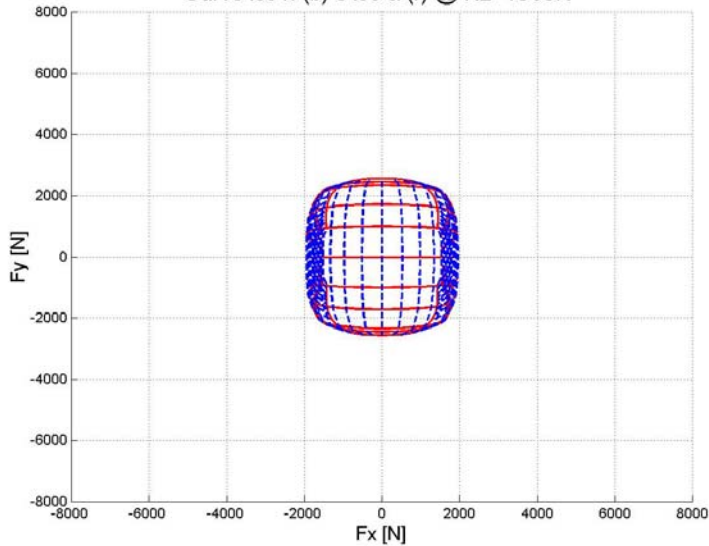
Curve con angolo di scorrimento costante



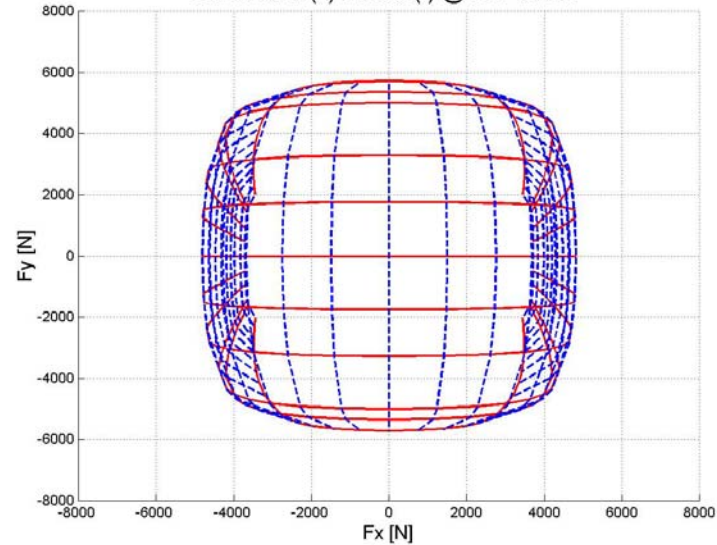
Curve con scorrimento costante

# Ellissi di aderenza e carico verticale

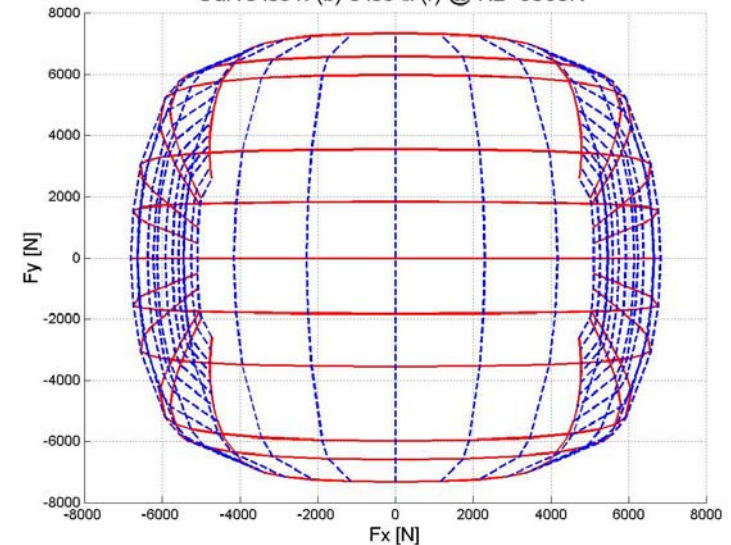
Curve iso  $\lambda$  (b) e iso  $\alpha$  (r) @  $N_z=1960N$



Curve iso  $\lambda$  (b) e iso  $\alpha$  (r) @  $N_z=4900N$



Curve iso  $\lambda$  (b) e iso  $\alpha$  (r) @  $N_z=6860N$



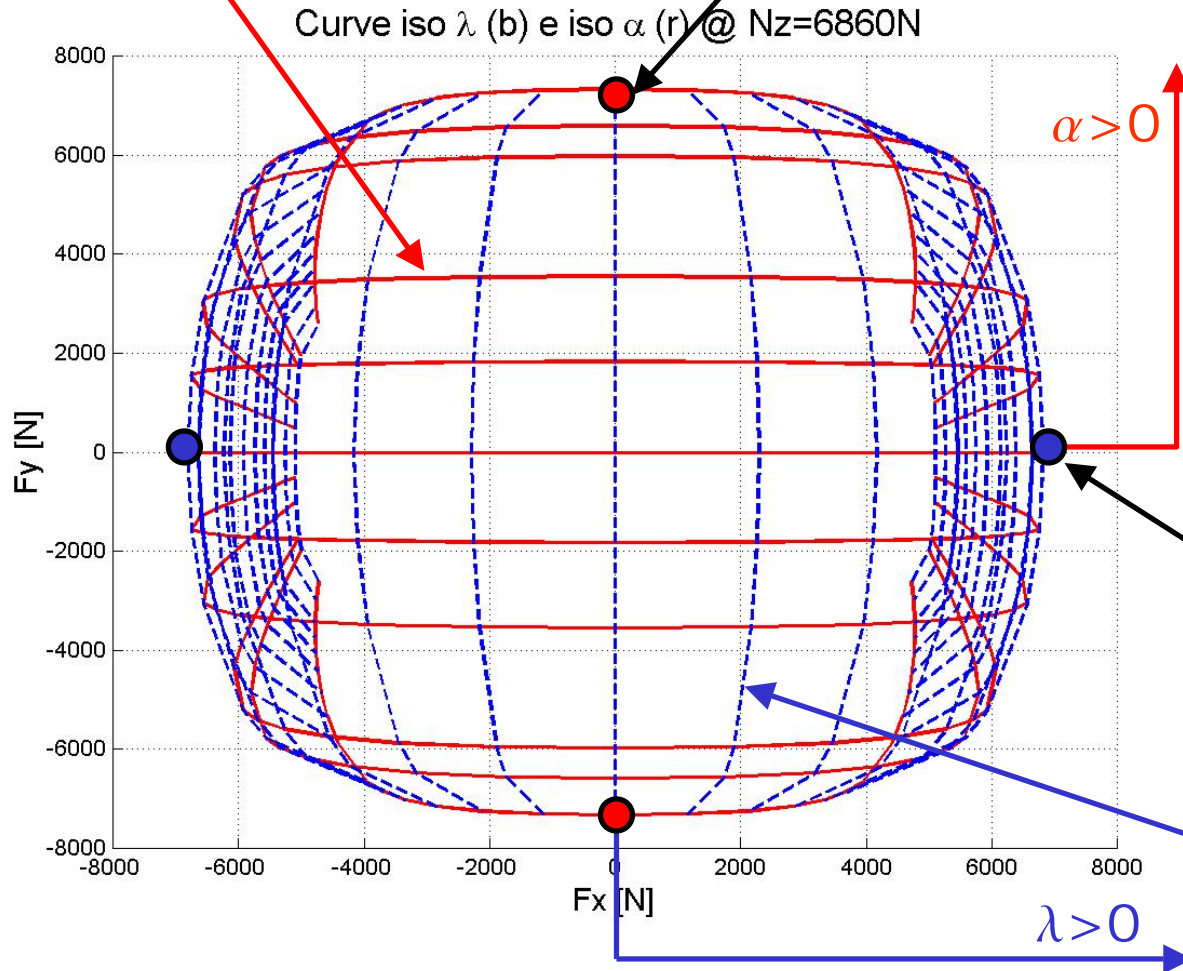
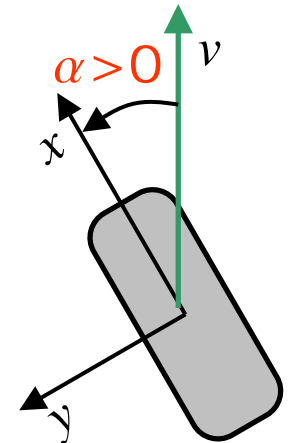
L'ellissi di aderenza si allarga in modo quasi proporzionale con il **carico verticale  $N_z$** .  
Aumentando il carico del 10% l'ellissi di aderenza si allarga meno del 10%



# Considerazioni sull'ellissi di aderenza

Curve con angolo di scorrimento  $\alpha$  costante

I valori massimo e minimo per la forza laterale si hanno per  $\lambda=0$  quindi senza trazione sulle ruote



I valori massimo e minimo per la forza longitudinale si hanno per  $\alpha=0$  quindi con ruote allineate con la direzione del veicolo

Curve con scorrimento  $\lambda$  costante