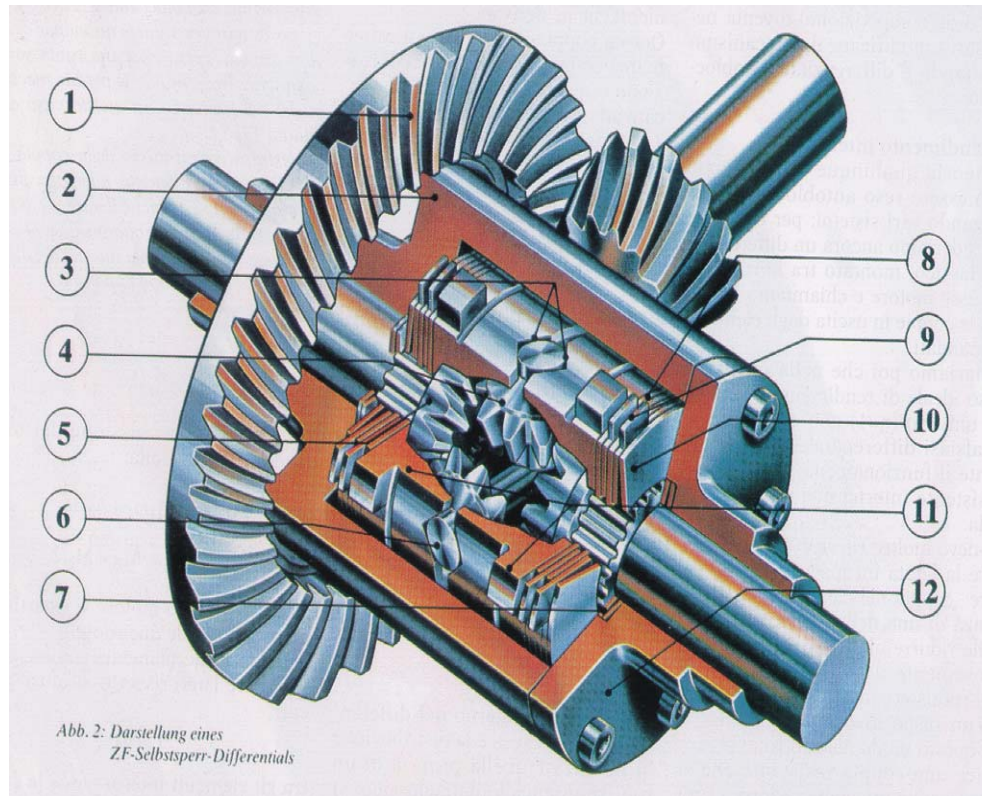

Controllo del Differenziale e Dinamica del Veicolo

Funzione del differenziale

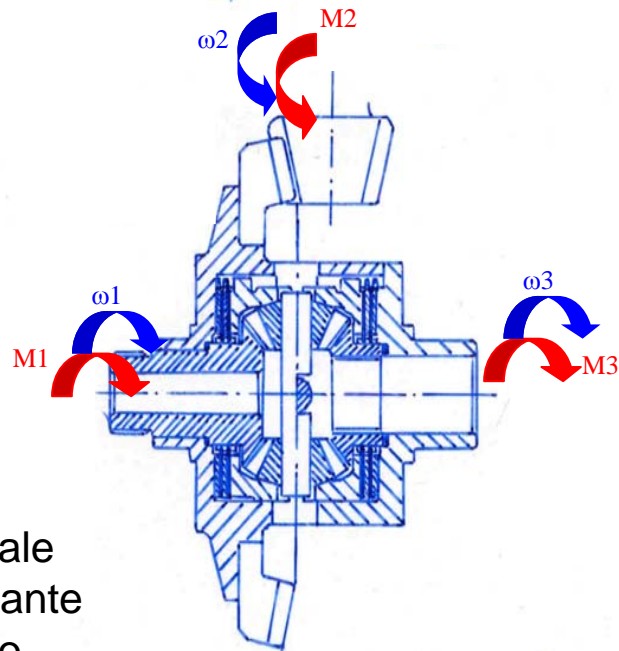
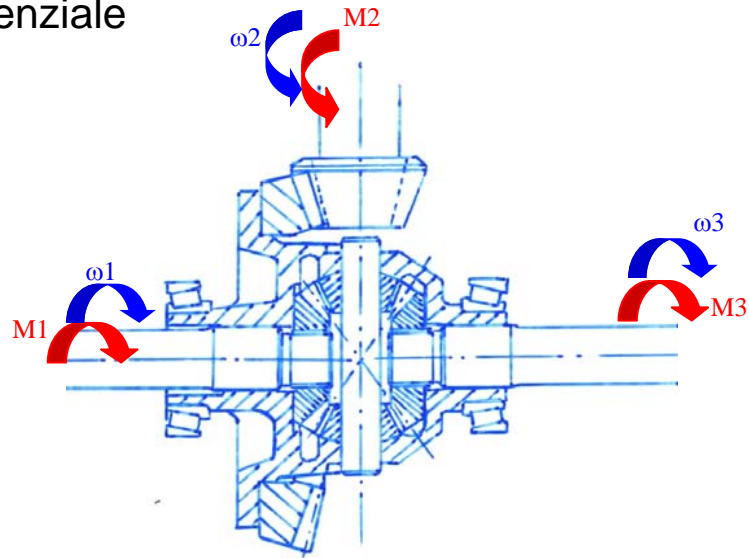
- 1) Svincolare cinematicamente tra loro gli alberi condotti
- 2) Ripartire convenientemente la coppia motrice



Differenziale
autobloccante
meccanico

Tipi di differenziale

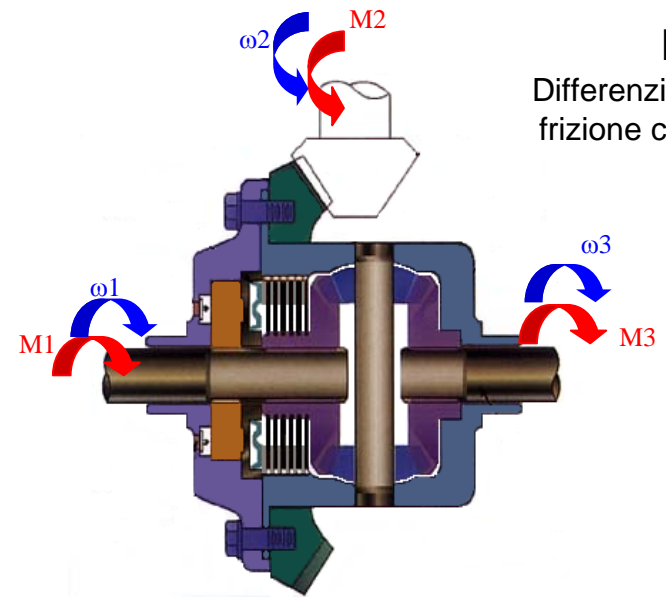
Differenziale libero



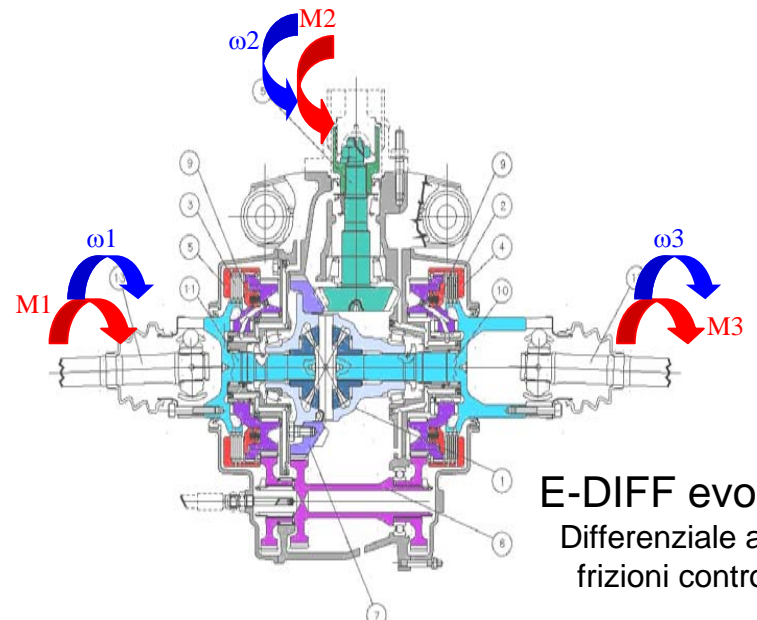
Differenziale autobloccante meccanico

Differenziali passivi

Differenziali attivi



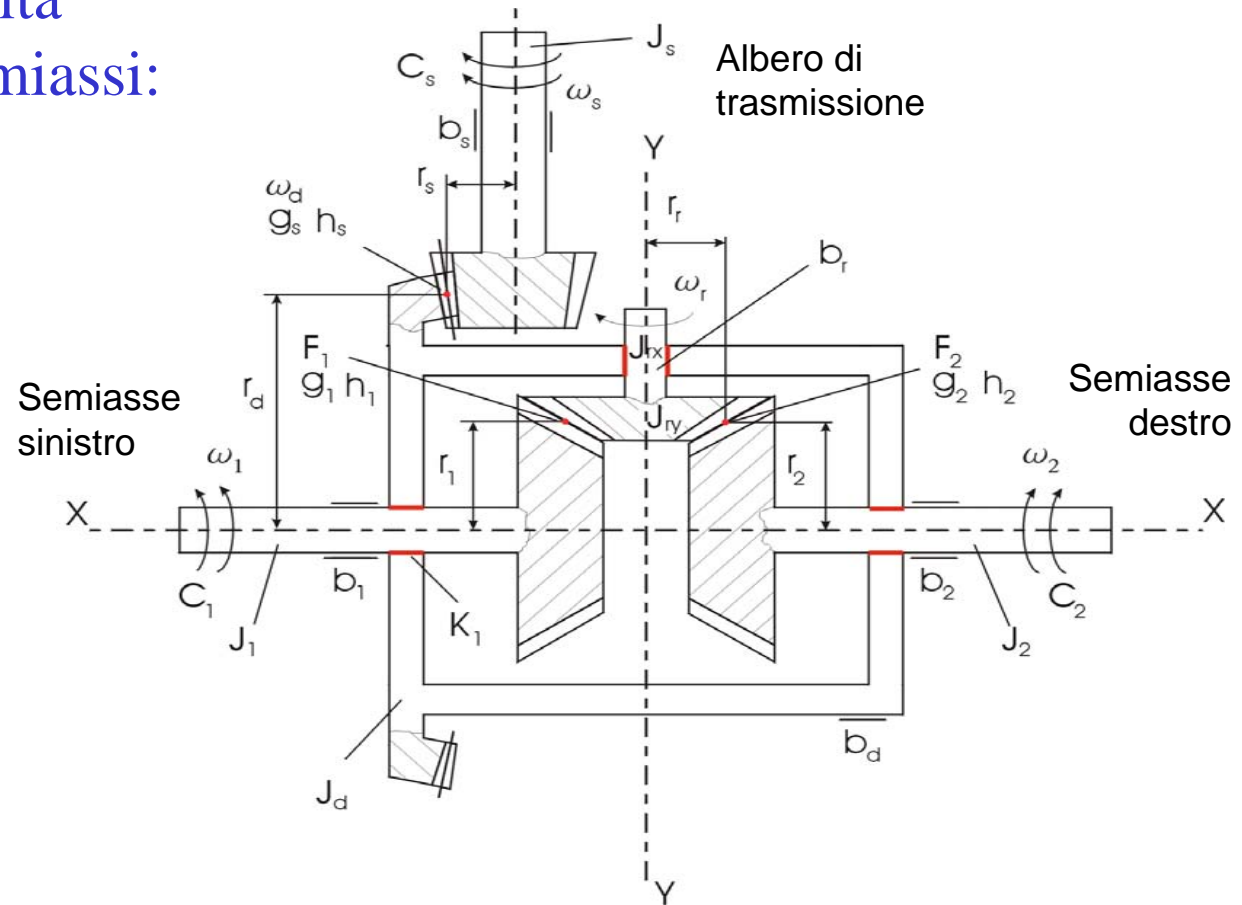
E-DIFF
Differenziale a una frizione controllata



E-DIFF evoluto
Differenziale a due frizioni controllate

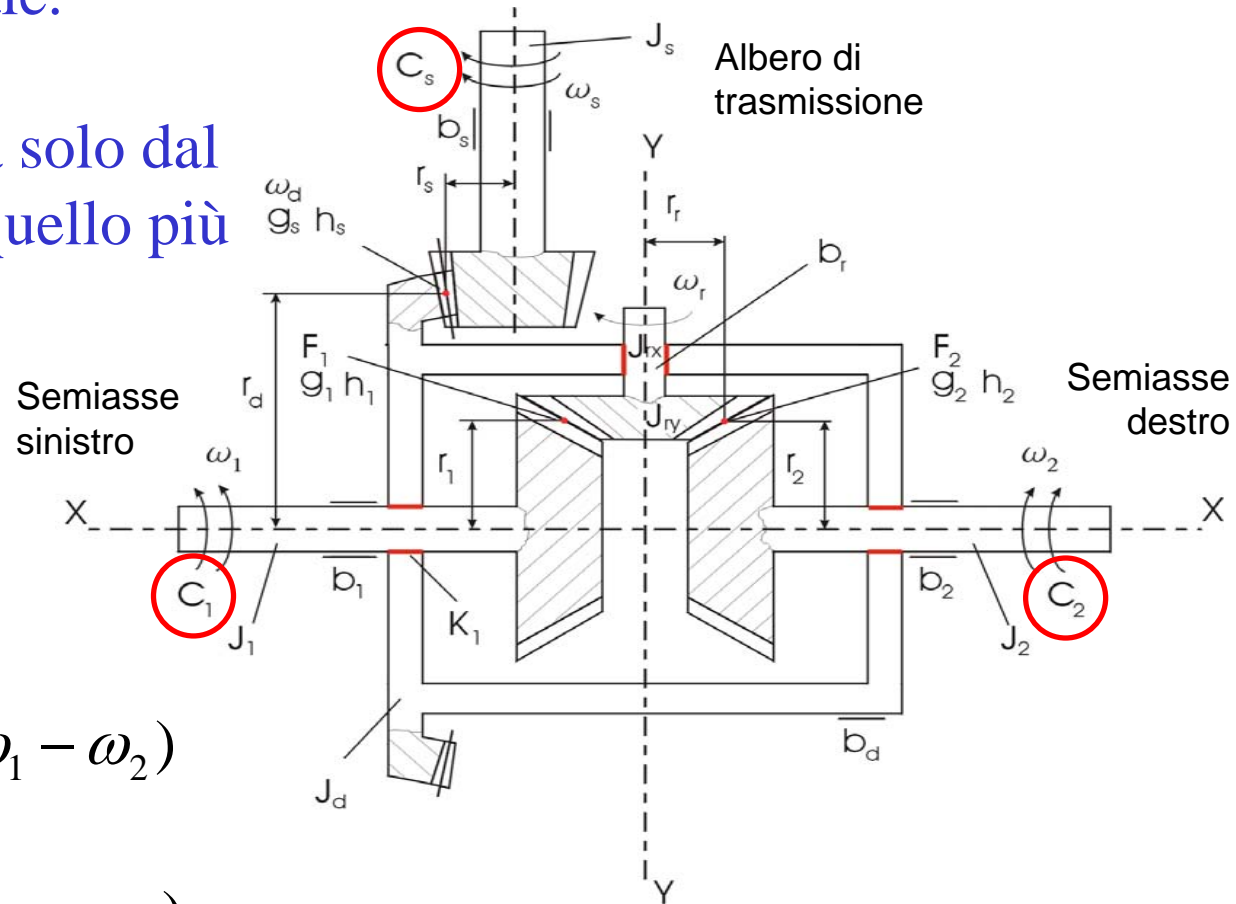
La coppia viene ripartita equamente sui due semiassi:

$$C_1 = C_2 = \frac{C_s}{2}$$



La ripartizione di coppia sui due semiassi dipende dalla coppia in ingresso sul differenziale.

Si può trasferire coppia solo dal semiasse più veloce a quello più lento.



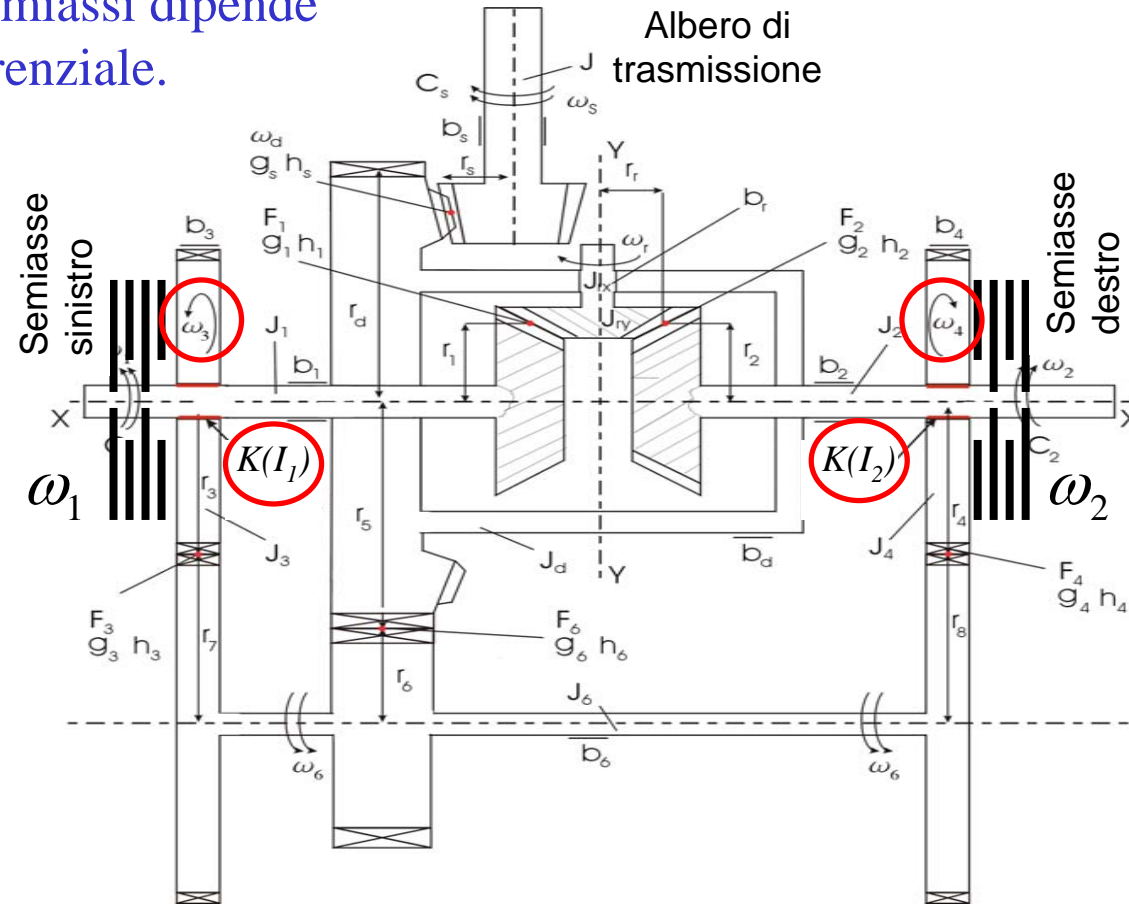
$$C_1 = \frac{C_s}{2} - K(C_s) \operatorname{sgn}(\omega_1 - \omega_2)$$

$$C_2 = \frac{C_s}{2} + K(C_s) \operatorname{sgn}(\omega_1 - \omega_2)$$

Differenziale attivo evoluto (sterzante)

La ripartizione di coppia sui due semiassi dipende dalle correnti di controllo del differenziale.

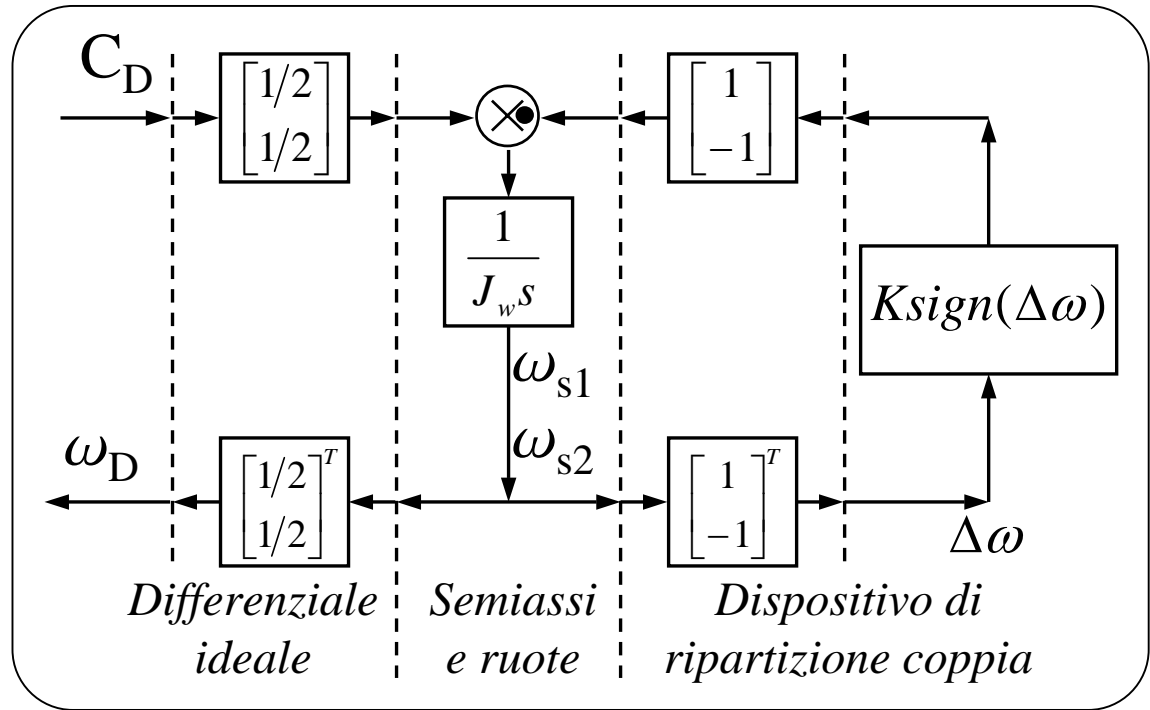
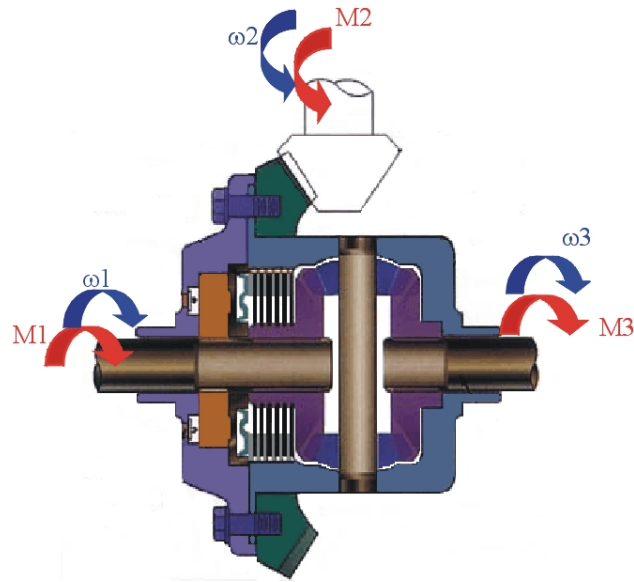
Si può trasferire coppia tra i due semiassi quasi indipendentemente rispetto alle loro velocità.



$$C_1 = \frac{C_s}{2} - K(I_1) \operatorname{sgn}(\omega_1 - \omega_3) + K(I_2) \operatorname{sgn}(\omega_2 - \omega_4)$$

$$C_2 = \frac{C_s}{2} + K(I_1) \operatorname{sgn}(\omega_1 - \omega_3) - K(I_2) \operatorname{sgn}(\omega_2 - \omega_4)$$

Modello POG semplificato di un differenziale



Questo modello semplificato permette di simulare:

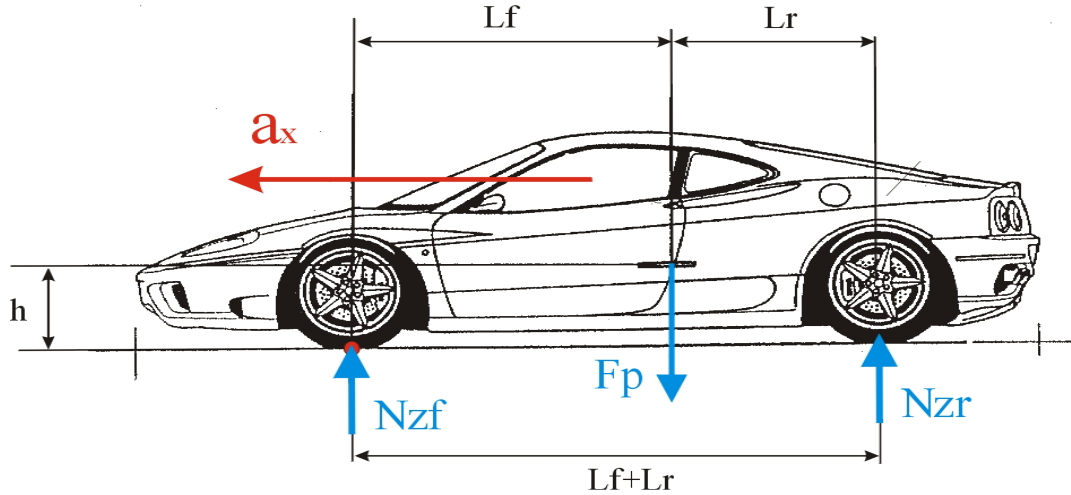
- Differenziale tradizionale con $K=0$.
- Differenziale autobloccante meccanico con $K=f(C_D)$
- Differenziale a controllo elettronico con $K=f(I)$

Il differenziale (o i differenziali sulle vetture 4x4) influenzano la dinamica del veicolo secondo i seguenti aspetti:

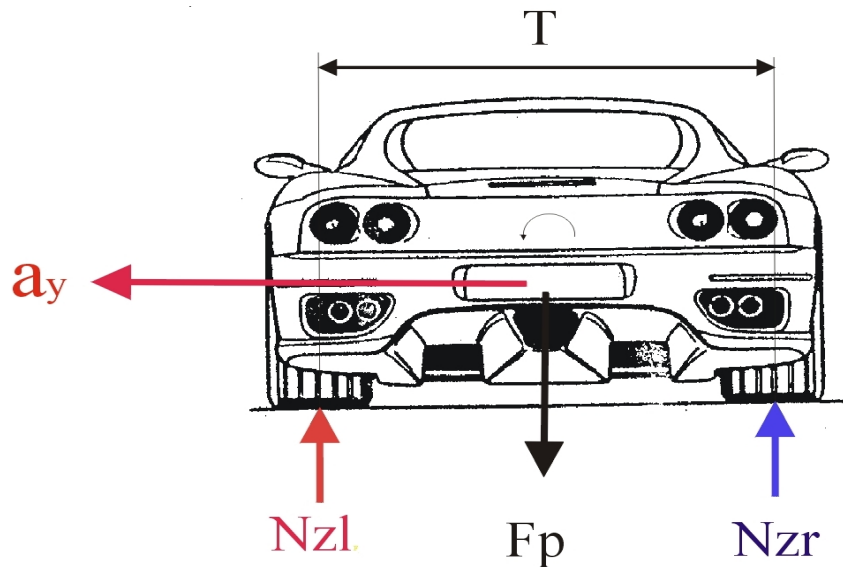
- Massima accelerazione longitudinale
- Massima accelerazione laterale
- Stabilità
- Guidabilità

La possibilità di controllare elettronicamente il differenziale di una autovettura permette di modificare il comportamento del veicolo nelle varie condizioni di marcia.

Ripartizione dinamica del carico verticale

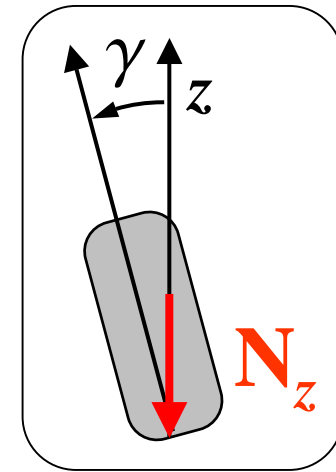
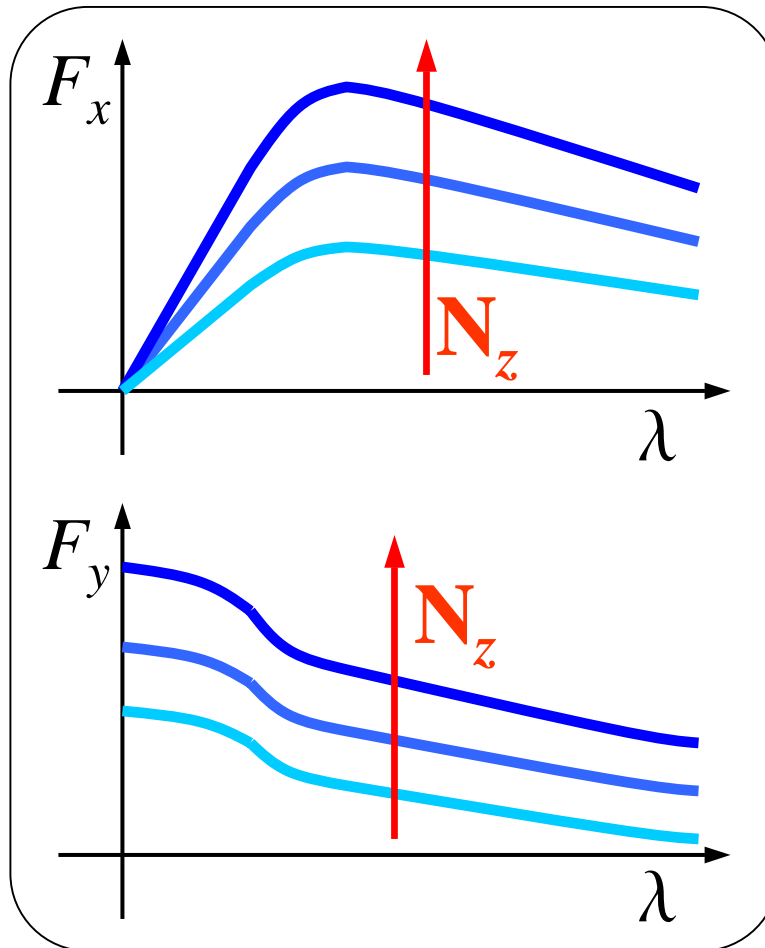


- **BECCHEGGIO:** determina una variazione del carico N_z tra semiassi anteriori e posteriori. Si ha prevalentemente in fase di accelerazione e di decelerazione.



- **ROLLIO:** variazione del carico N_z tra semiassi destro e sinistro. Si ha nel moto curvilineo

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



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

Gli pneumatici con un maggior carico verticale N_z possono trasmettere a terra forze maggiori.

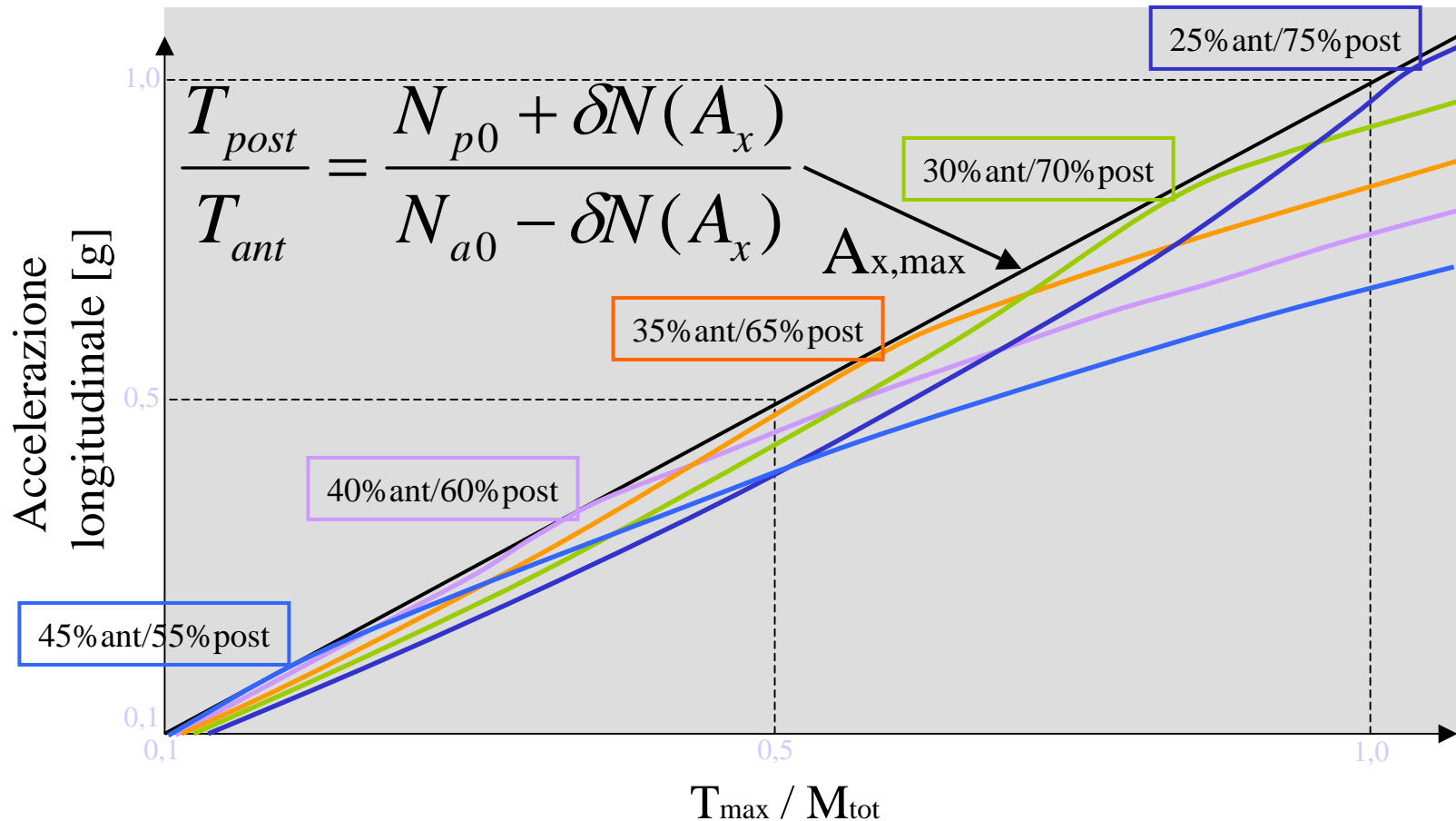
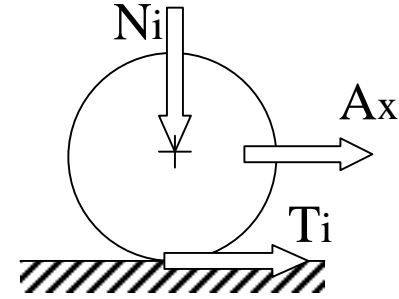
Controllando opportunamente la ripartizione di coppia sul/sui differenziale/li si possono massimizzare le accelerazioni laterali e/o longitudinali.

La ripartizione di coppia sulle 4 ruote influenza anche la manovrabilità del veicolo (sottosterzo, sovrasterzo) quindi occorre trovare la miglior ripartizione di coppia che garantisca sia le prestazioni che la guidabilità.

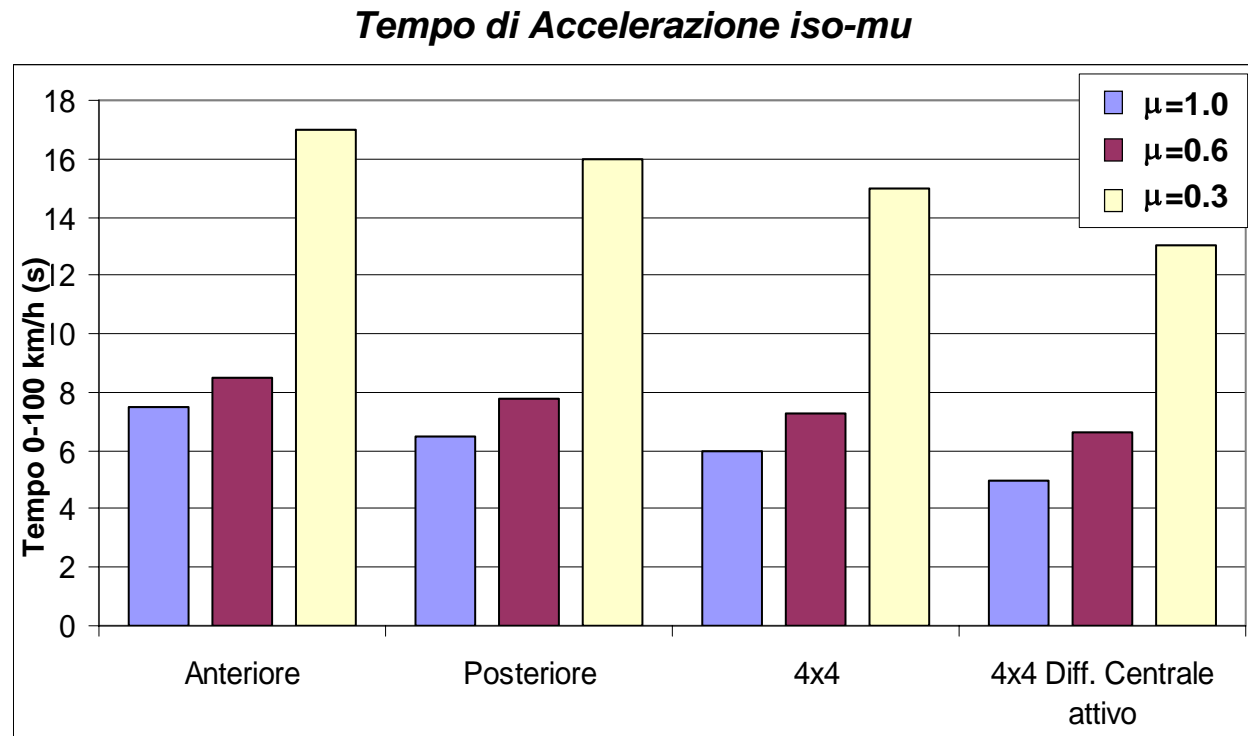
Sfruttare al meglio l'aderenza stradale:

$$T_{i,\max} = \mu \cdot N_i \Rightarrow T_{\max} = \sum (\mu \cdot N_i) = \sum \mu \cdot (m_i \cdot g) = \mu \cdot g \cdot M_{\text{tot}}$$

$$A_{x,\max} = \frac{T_{\max}}{M_{\text{tot}}} = \mu \cdot \frac{M_{\text{tot}}}{M_{\text{tot}}} \cdot [g] \Rightarrow A_{x,\max} = \mu \cdot [g]$$

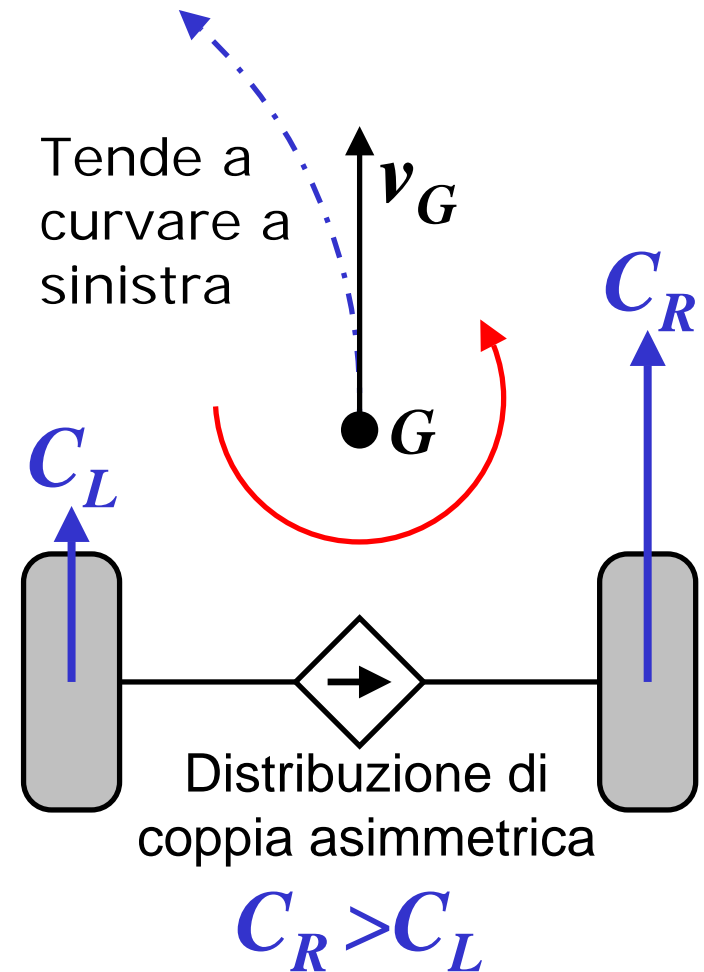
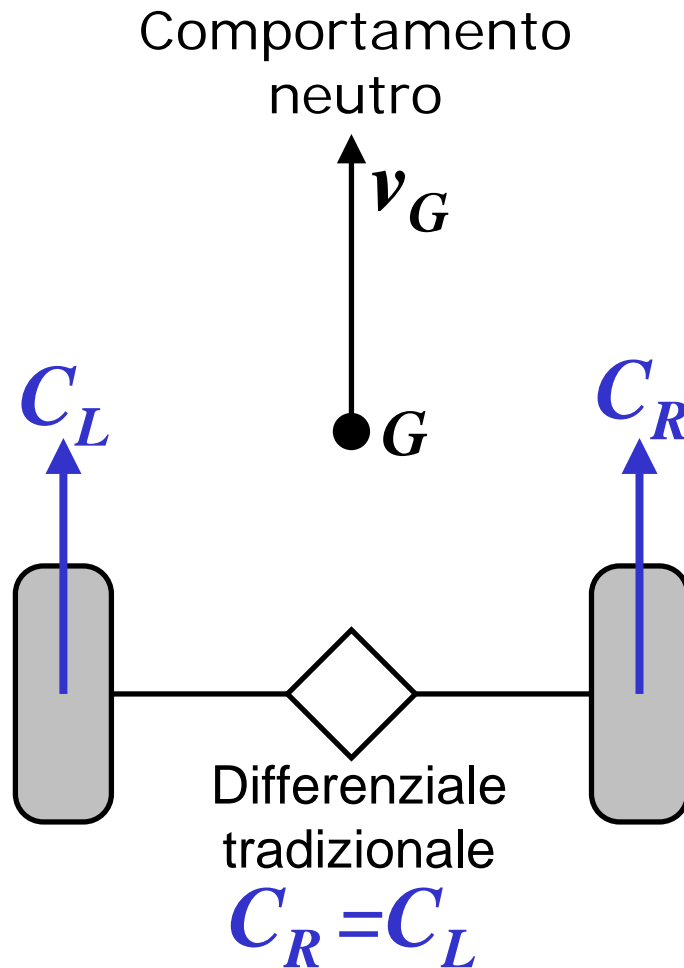


Prestazione Longitudinale del Veicolo 4x4 (2)



Azione sterzante del differenziale

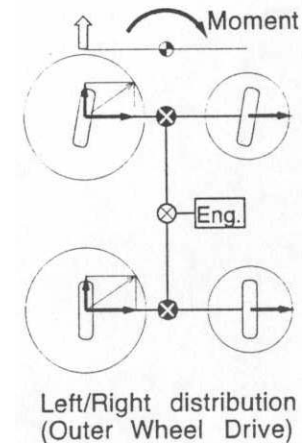
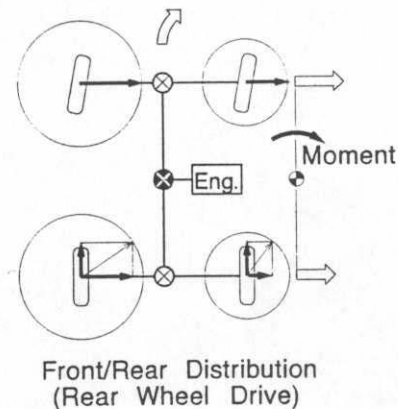
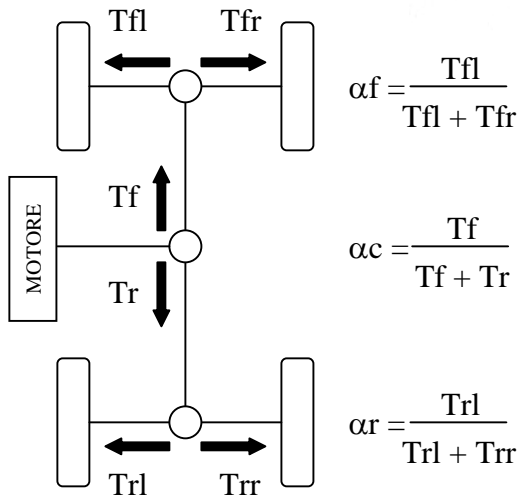
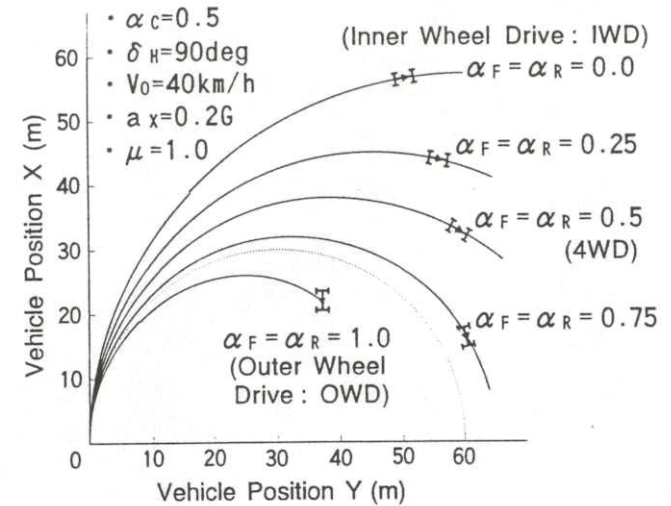
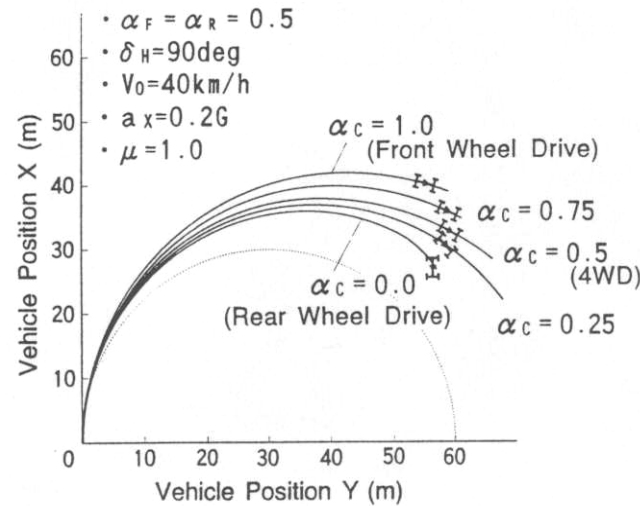
Lo sbilanciamento della coppia sulle ruote motrici causa un momento sterzante sul veicolo.



Prestazione Laterale del Veicolo 4x4

Obiettivo: ottimizzare il momento d'Imbardata.

La ripartizione di coppia sui 3 differenziali influenza la guidabilità.

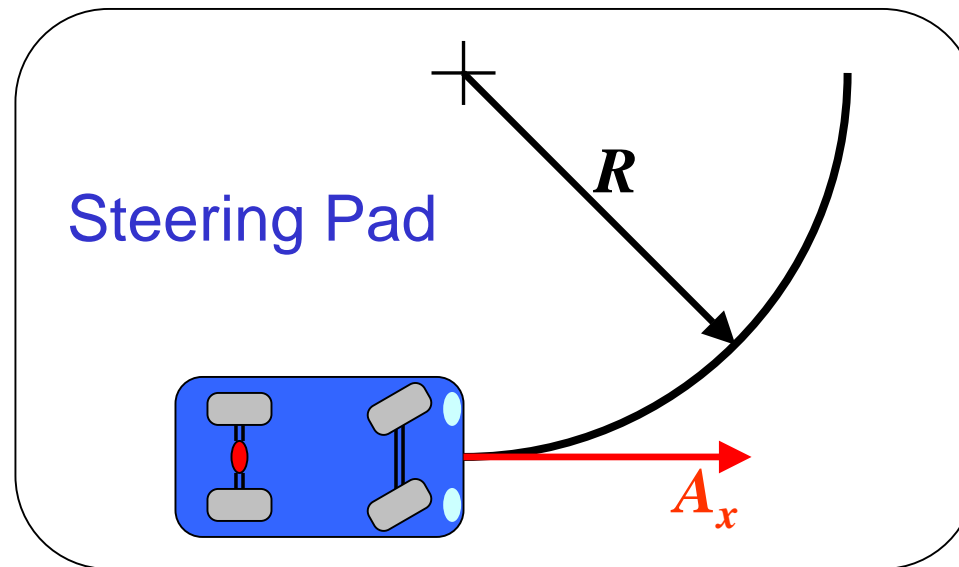


Influenza ripartizione coppia anteriore / posteriore

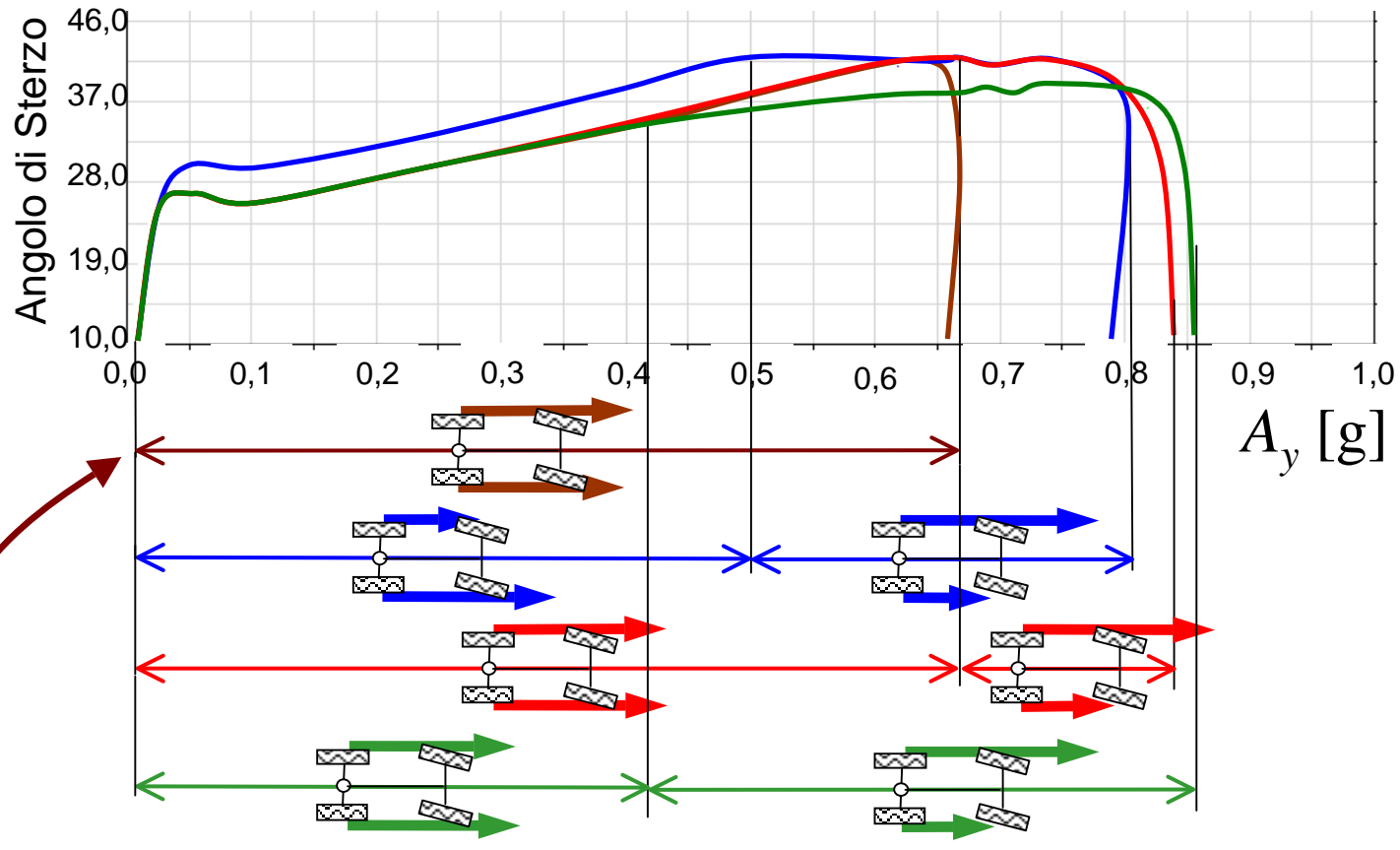
Influenza ripartizione coppia destra / sinistra

La possibilità di regolare la ripartizione di coppia fra i semiassi tramite i differenziali controllati permette di migliorare la guidabilità e la trazione in uscita di curva.

Steering Pad: per comparare le strategie di controllo sul differenziale si eseguono test su curve a raggio fisso e ad accelerazione longitudinale A_x costante.

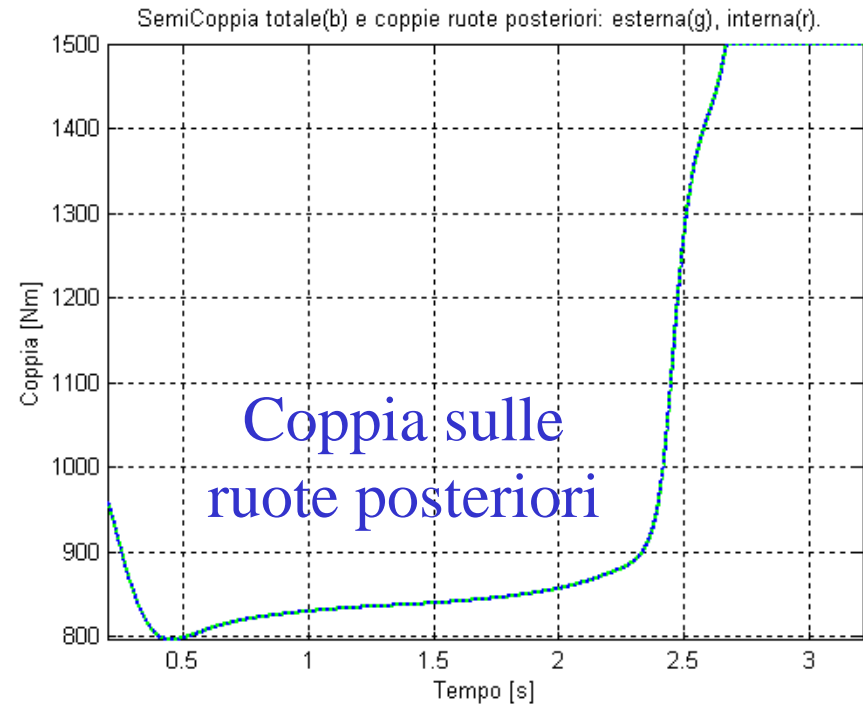
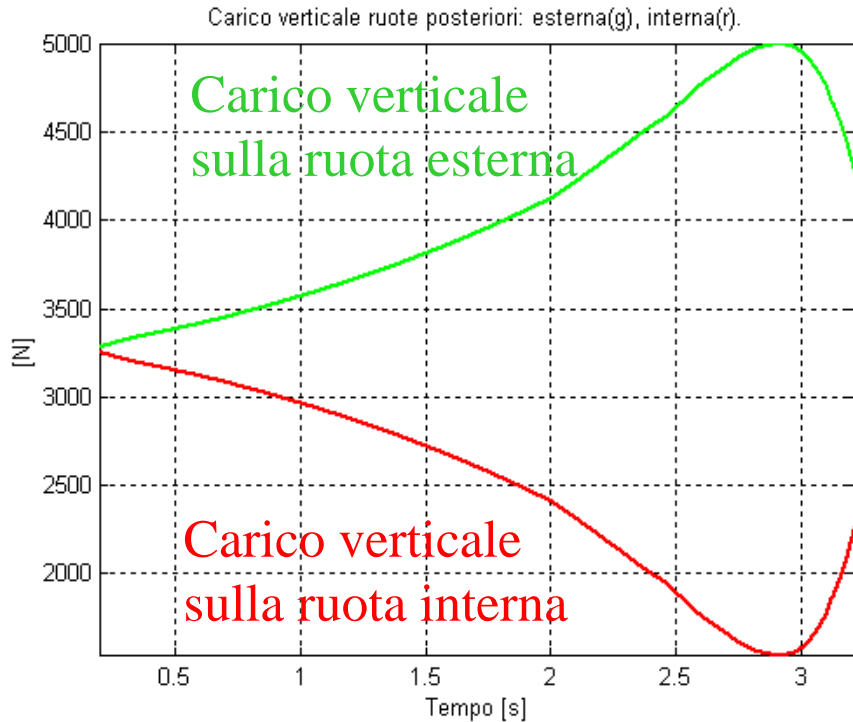


Steering Pad: Curva di raggio 10 [m] - $A_x = 0,3$ g costante



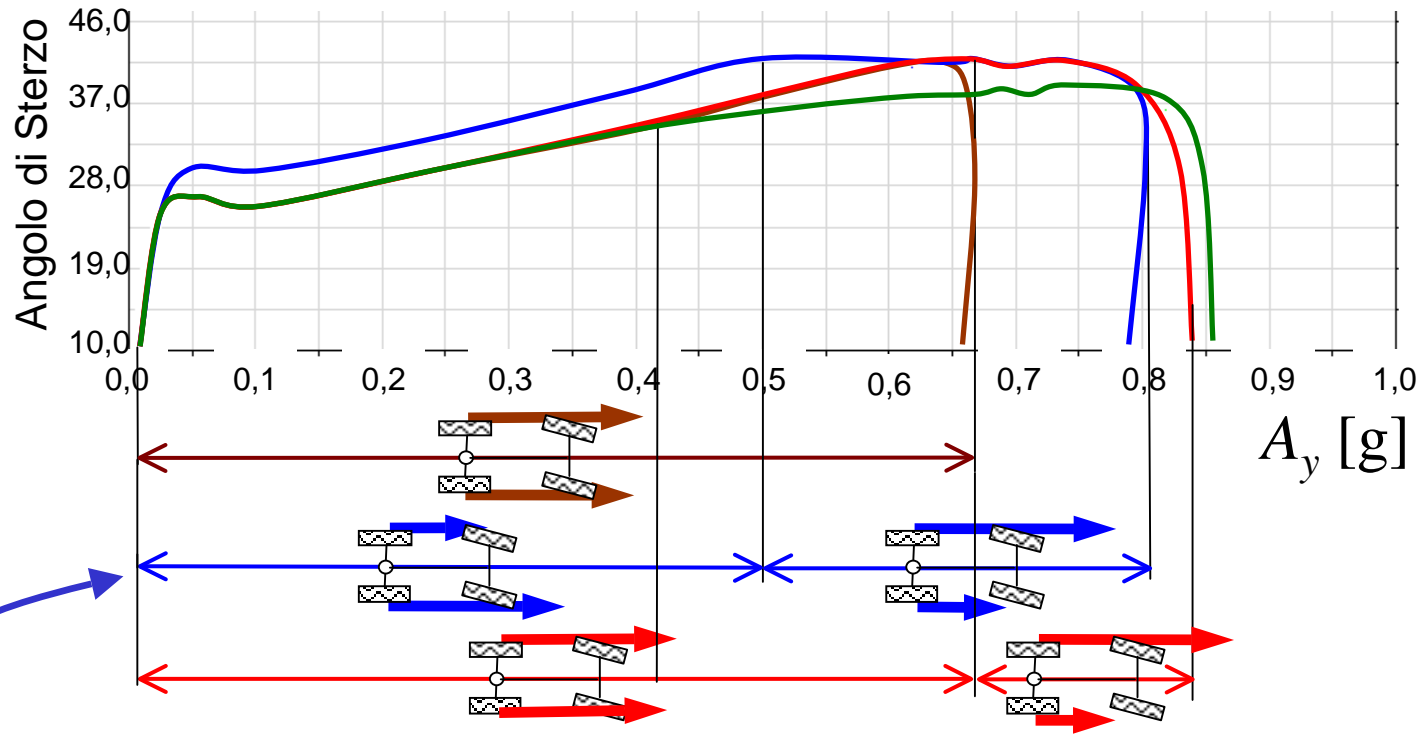
- Il differenziale tradizionale fornisce sempre la stessa coppia sui due semiassi.
- Non sfrutta il maggior carico sulla ruota esterna per incrementare la trazione.
- Quando la ruota interna (con meno carico e metà coppia) comincia a slittare ($A_y > 0,65$) si perde il controllo del veicolo (testacoda).

Differenziale Posteriore Tradizionale



- Il differenziale tradizionale fornisce sempre la stessa coppia sui due semiassi.
- Non sfrutta il maggior carico sulla ruota esterna per incrementare la trazione.
- Quando la ruota interna (con meno carico e metà coppia) comincia a slittare si perde il controllo del veicolo (testacoda).

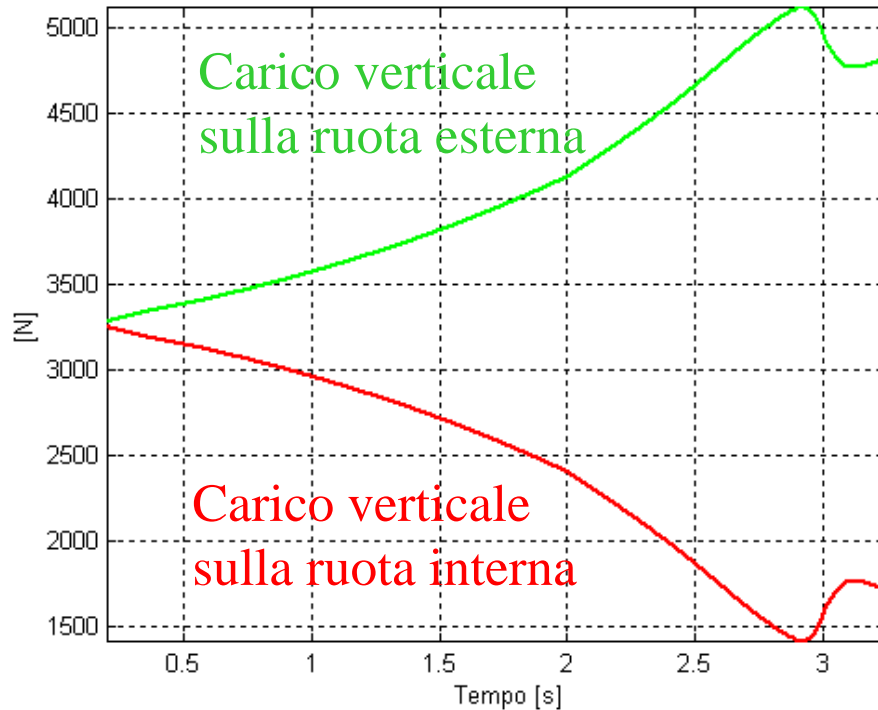
Steering Pad: Curva di raggio 10 [m] - $A_x = 0,3$ g costante



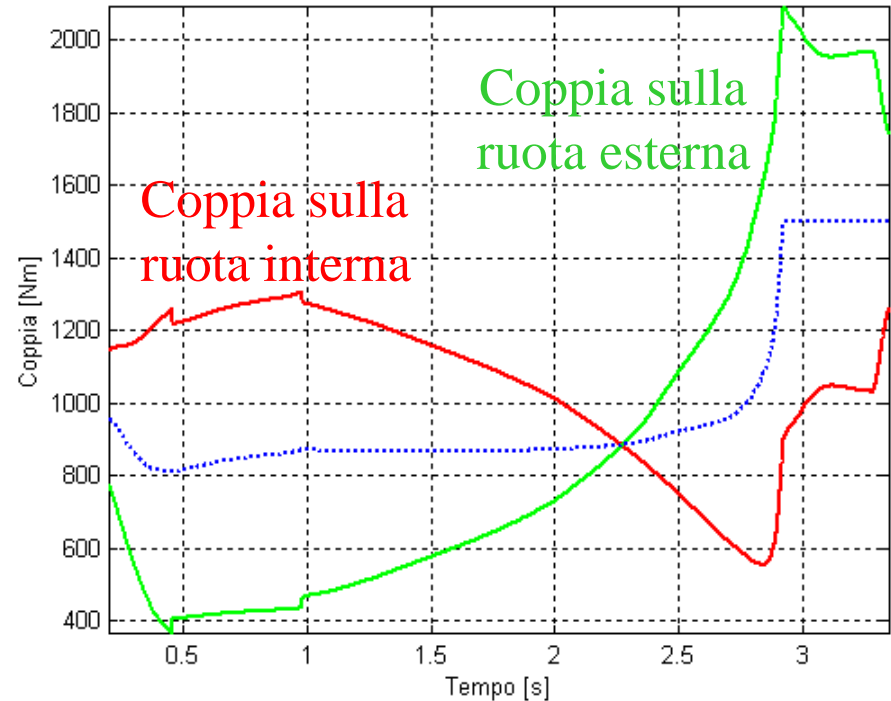
- Il differenziale autobloccante meccanico trasferisce parte della coppia dal semiasse più veloce a quello più lento.
- Nella prima parte della curva ($A_y < 0,5$) si ha più coppia sulla ruota interna e il comportamento è eccessivamente sottosterzante.
- Nella seconda parte della curva ($A_y > 0,65$), quando la ruota interna ruoterebbe più velocemente, si trasferisce più coppia all'esterno migliorando la trazione e la guidabilità.

Differenziale Posteriore Autobloccante Meccanico

Carico verticale ruote posteriori: esterna(g), interna(r).

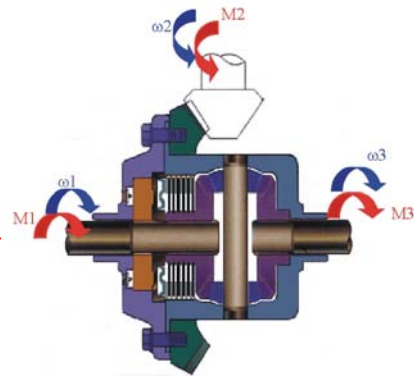
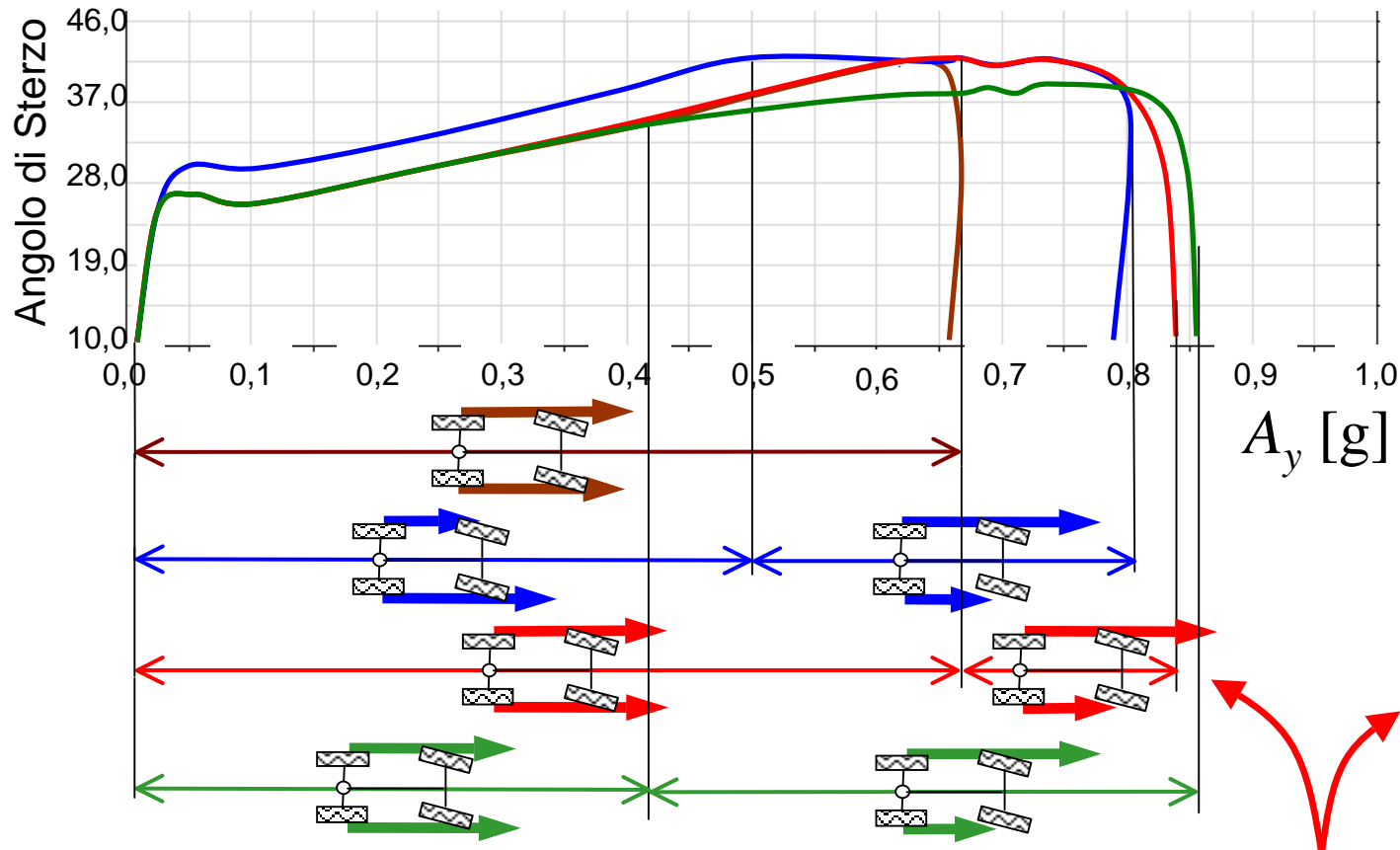


SemiCoppia totale(b) e coppie ruote posteriori: esterna(g), interna(r).



- Il differenziale autobloccante meccanico trasferisce parte della coppia dal semiasse più veloce a quello più lento.
- Nella prima parte della curva si ha più coppia sulla ruota interna e il comportamento è eccessivamente sottosterzante.
- Nella seconda parte della curva, quando la ruota interna ruoterebbe più velocemente, si trasferisce più coppia all'esterno migliorando la trazione e la guidabilità.

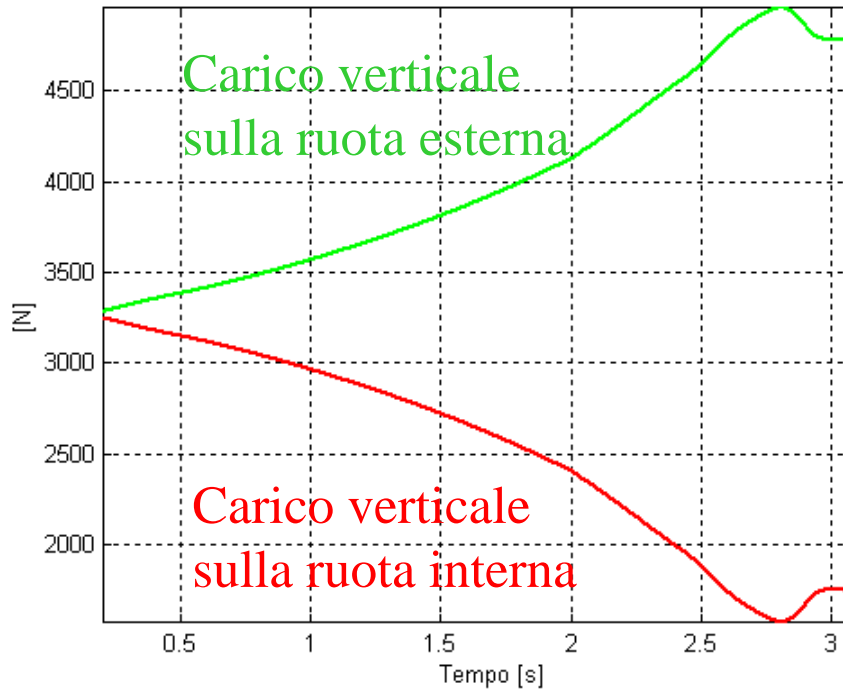
Steering Pad: Curva di raggio 10 [m] - $A_x = 0,3 \text{ g}$ costante



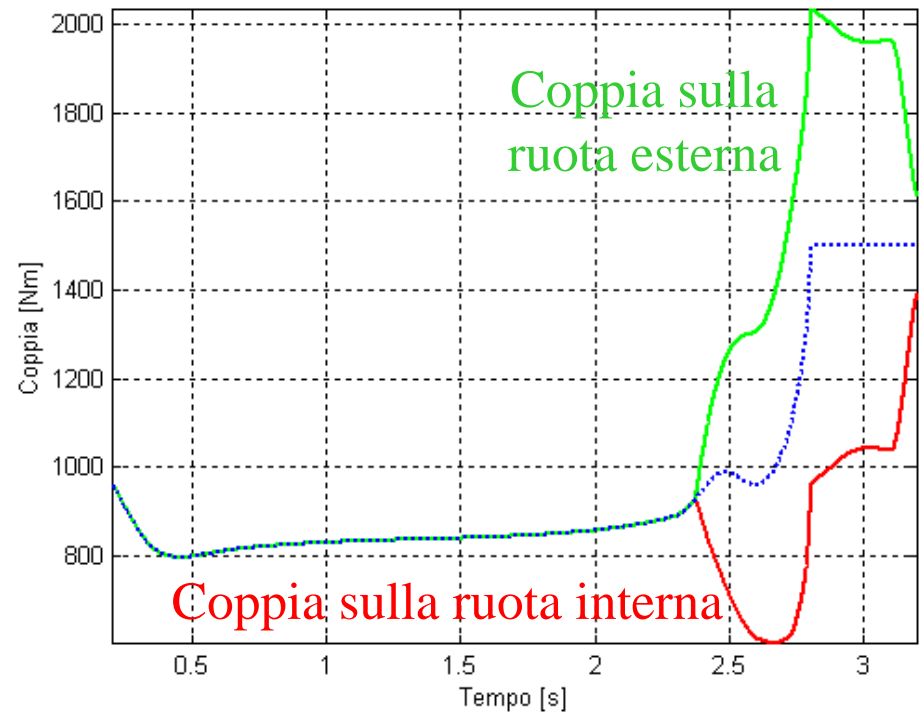
- Il differenziale controllato elettronicamente trasferisce parte della coppia dal semiasse più veloce a quello più lento.
- Si trasferisce coppia solo quando la ruota interna perde trazione ($A_y > 0.65$).
- Elimina il sottosterzo a inizio curva, incrementa la trazione e mantiene la guidabilità nelle condizioni limite.

Differenziale Posteriore Controllato Elettronicamente

Carico verticale ruote posteriori: esterna(g), interna(r).

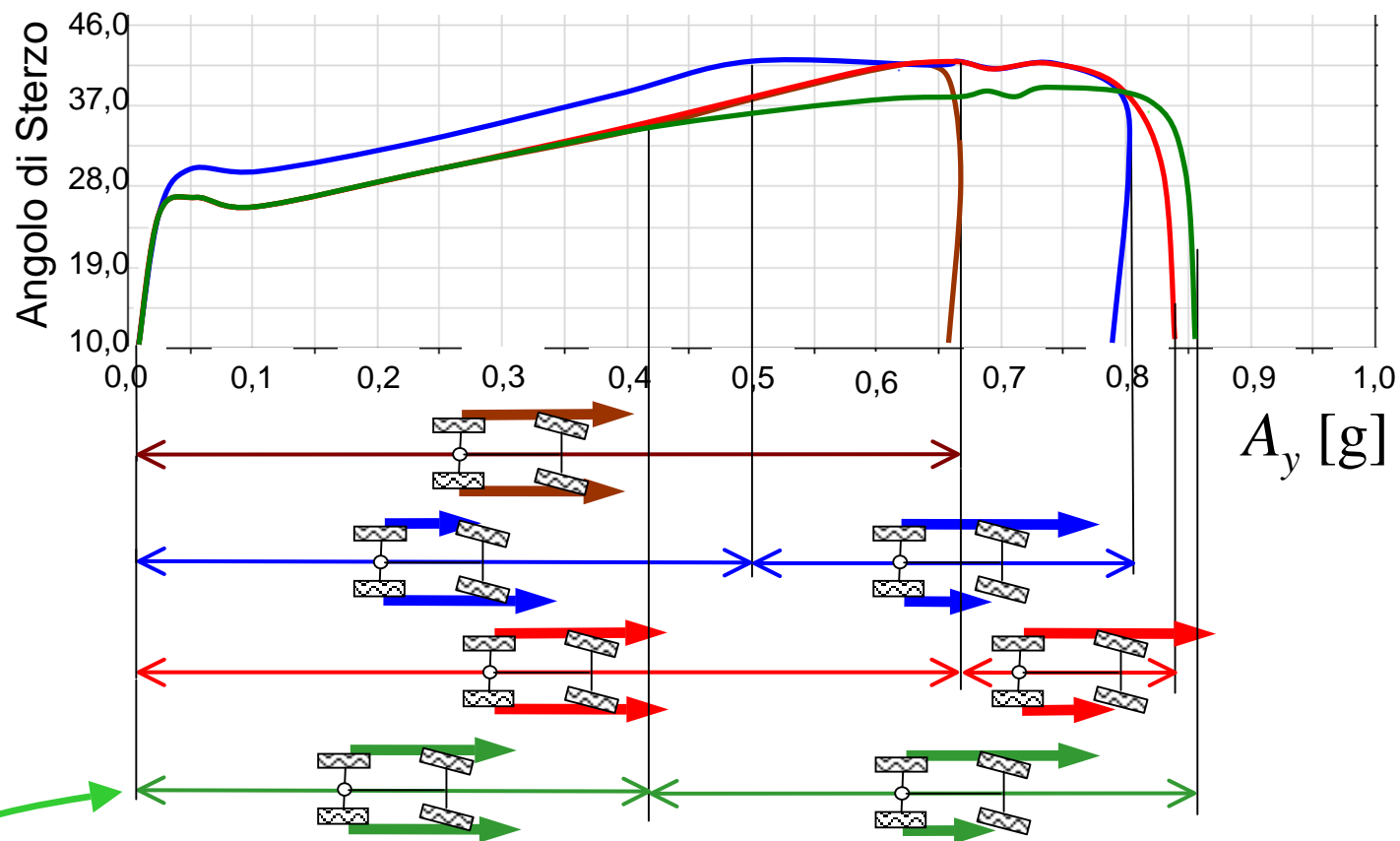


SemiCoppia totale(b) e coppie ruote posteriori: esterna(g), interna(r).



- Il differenziale controllato elettronicamente trasferisce parte della coppia dal semiasse più veloce a quello più lento.
- Si trasferisce coppia solo quando la ruota interna perde trazione ($t=2.4s$).
- Elimina il sottosterzo a inizio curva, incrementa la trazione e mantiene la guidabilità nelle condizioni limite.

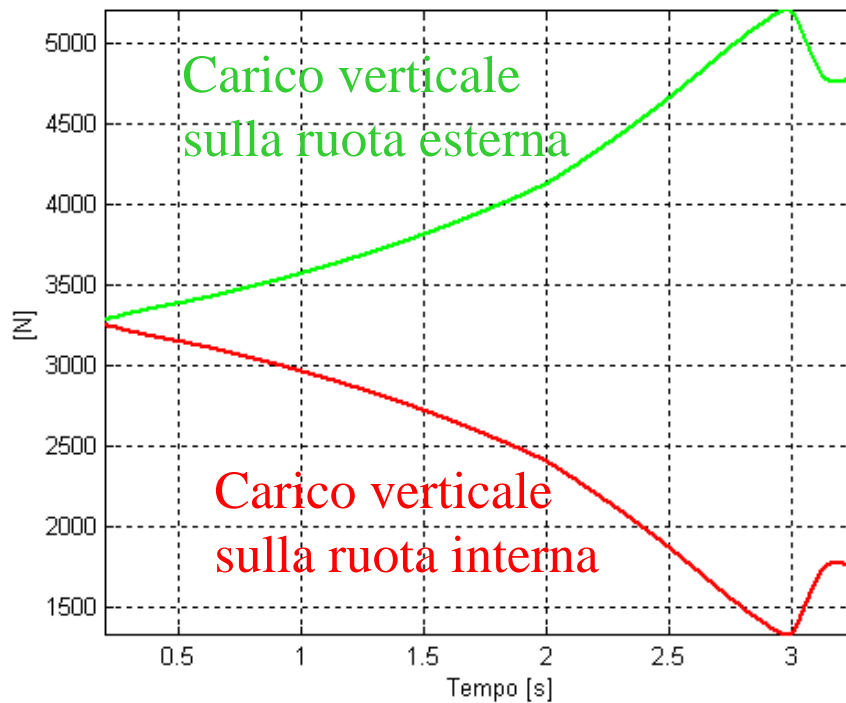
Steering Pad: Curva di raggio 10 [m] - $A_x = 0,3 \text{ g}$ costante



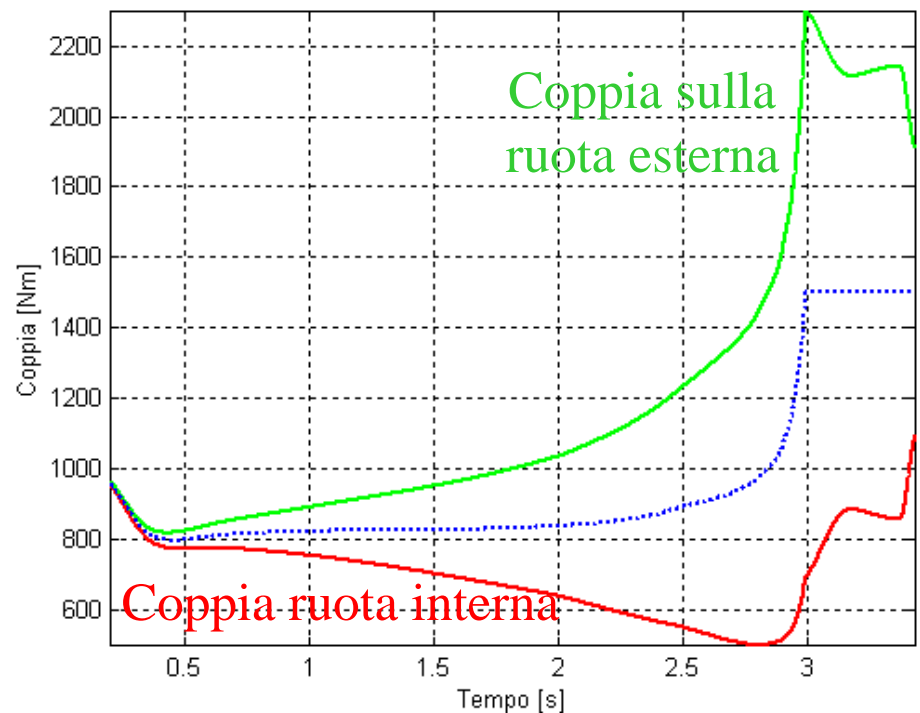
- Il differenziale elettronico evoluto può trasferire coppia fra i semiassi indipendentemente rispetto alla loro velocità.
- Migliora la guidabilità anche in condizioni non estreme.
- Incrementa la trazione e mantiene la guidabilità nelle condizioni limite.

Differenziale Posteriore Elettronico Evoluto

Carico verticale ruote posteriori: esterna(g), interna(r).



SemiCoppia totale(b) e coppie ruote posteriori: esterna(g), interna(r).



- Il differenziale elettronico evoluto può trasferire coppia fra i semiassi indipendentemente rispetto alla loro velocità.
- Migliora la guidabilità anche in condizioni non estreme.
- Incrementa la trazione e mantiene la guidabilità nelle condizioni limite.

I problemi di stabilità con il differenziale tradizionale insorgono quando la ruota all'interno della curva comincia a slittare.

IL differenziale elettronico a una frizione può trasferire coppia solo dal semiasse più veloce a quello più lento.

La strategia più semplice per le accelerazioni in uscita di curva (come per lo steering pad) consiste nell'azionare il differenziale cercando di limitare la velocità della ruota interna a valori prossimi alla velocità della ruota esterna. La coppia di bloccaggio K imposta al differenziale si può quindi definire, nel caso più semplice, come proporzionale alla differenza di velocità:

$$K = \begin{cases} 0 & \text{se } \omega_{ruota\ interna} \leq \omega_{ruota\ esterna} \\ \gamma(\omega_{ruota\ interna} - \omega_{ruota\ esterna}) & \text{se } \omega_{ruota\ interna} > \omega_{ruota\ esterna} \end{cases}$$

Con questa semplice strategia si trasferisce automaticamente più coppia motrice sulla ruota esterna a mano a mano che la ruota interna perde aderenza

Questa semplice strategia migliora la stabilità del veicolo in uscita di curva, ma non è la soluzione ottima in termini di guidabilità.

La strategia di controllo deve considerare le diverse situazioni di assetto del veicolo, le condizioni più importanti sono:

- **power off**: rilascio dell'acceleratore in ingresso curva.
- **power on steady**: uscita di curva ad accelerazione costante.
- **power on transitorio**: uscita di curva ad accelerazione crescente.

Le variabili utilizzate per la definizione della strategia di controllo del differenziale sono:

- A_y : accelerazione laterale
- V_x : velocità longitudinale
- Coppia entrante nel differenziale
- Velocità delle ruote
- Posizione pedale dell'acceleratore