

# ABS

## Antilock Braking System

- Anni 20 Primo brevetto di sistema di antibloccaggio delle ruote
- 1978 Prime vetture equipaggiate con ABS (Bosch)
- 2002 ABS obbligatorio sulle auto di nuova immatricolazione

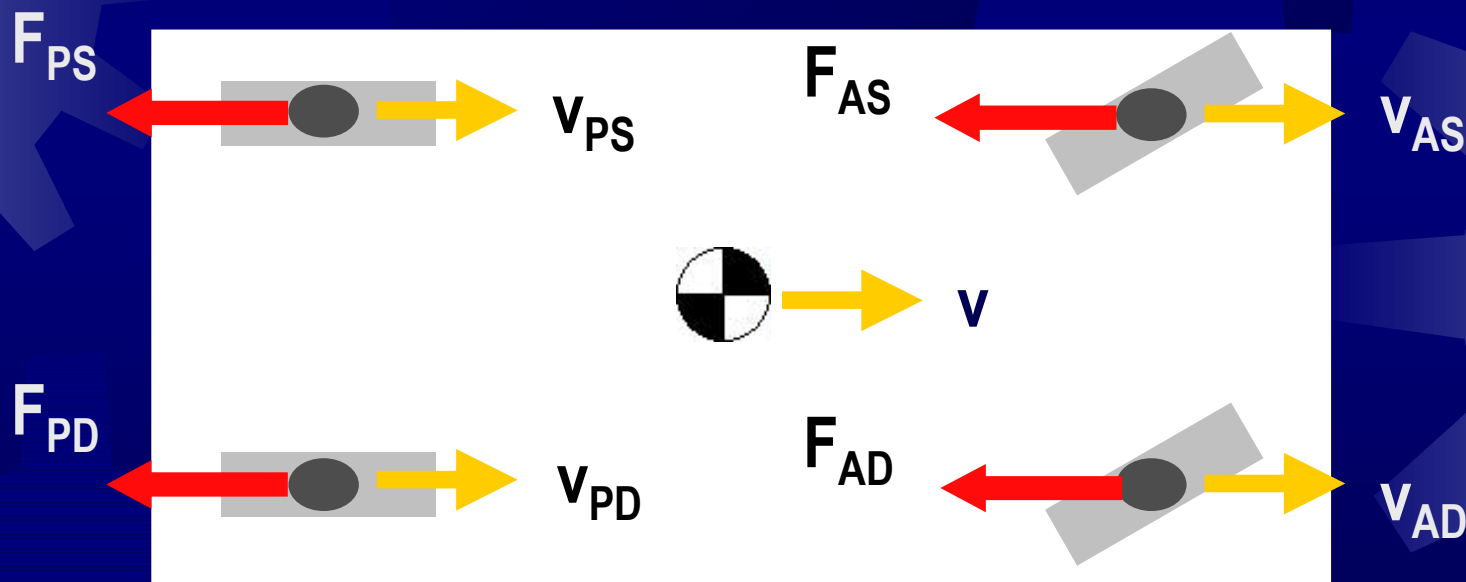
ABS

ASR

VDC

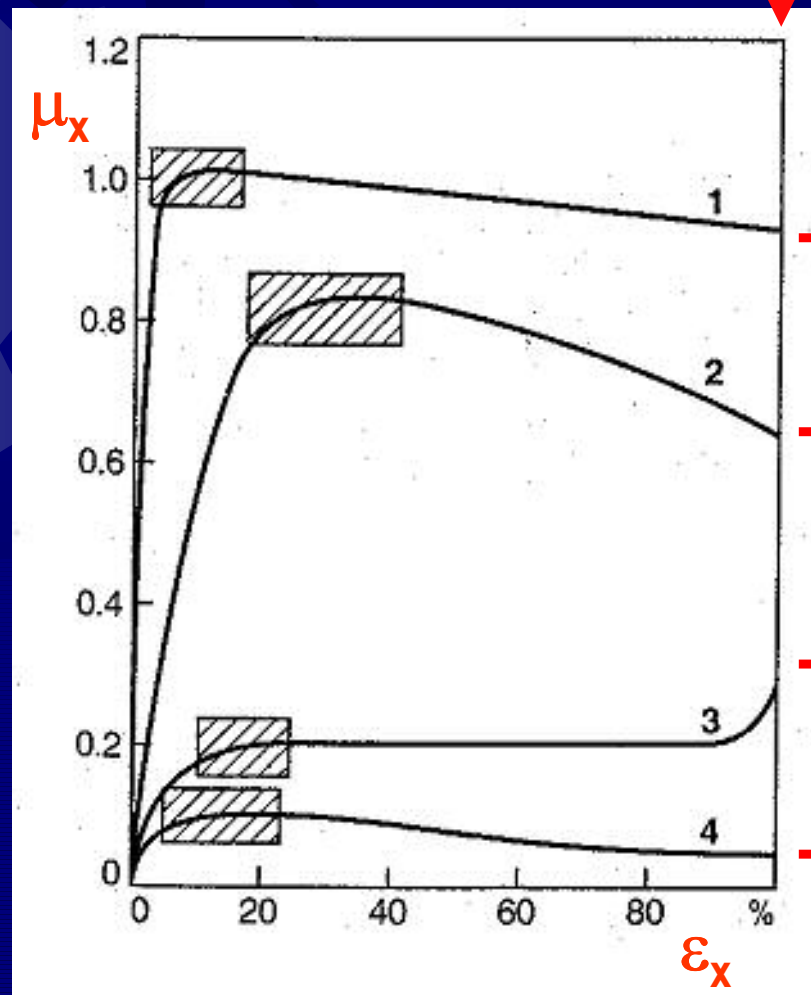
# Bloccaggio delle ruote

- ☀ Impossibilità di sterzare il veicolo (evitare un ostacolo, ...)



# Bloccaggio delle ruote

- ☀ Aumento dello spazio di arresto nella maggioranza dei casi (forza di contatto non ottimale)



$$\mu_x = \frac{F_x}{F_z} \quad \epsilon_x = 1 - \frac{\omega \cdot R}{v}$$

→ cemento asciutto

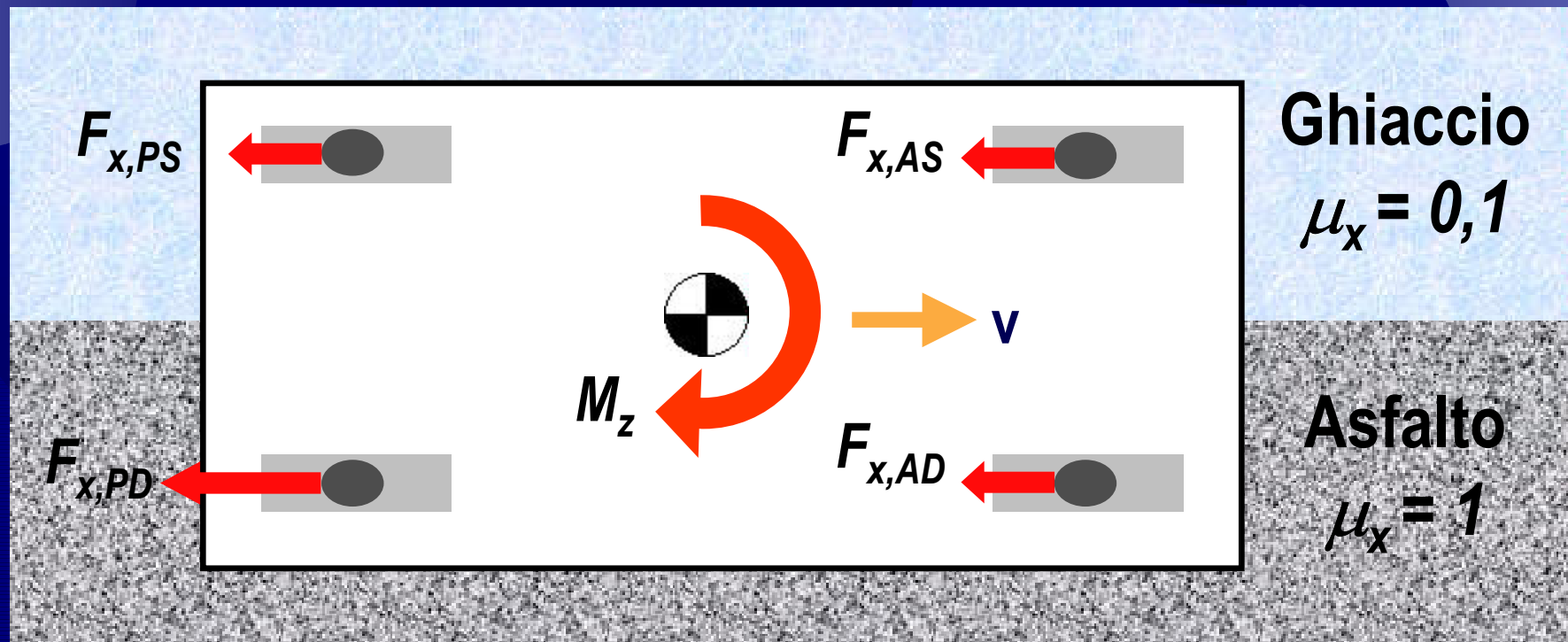
→ asfalto bagnato

→ neve non compattata

→ ghiaccio bagnato

# Requisiti

- ✱ Garantire la **direzionalità** (possibilità di sterzare) del veicolo indipendentemente l'intensità della frenata e dalla velocità del veicolo
- ✱ Ritardare la formazione del momento di imbardata nelle condizioni di  **$\mu$ -split**



# Requisiti

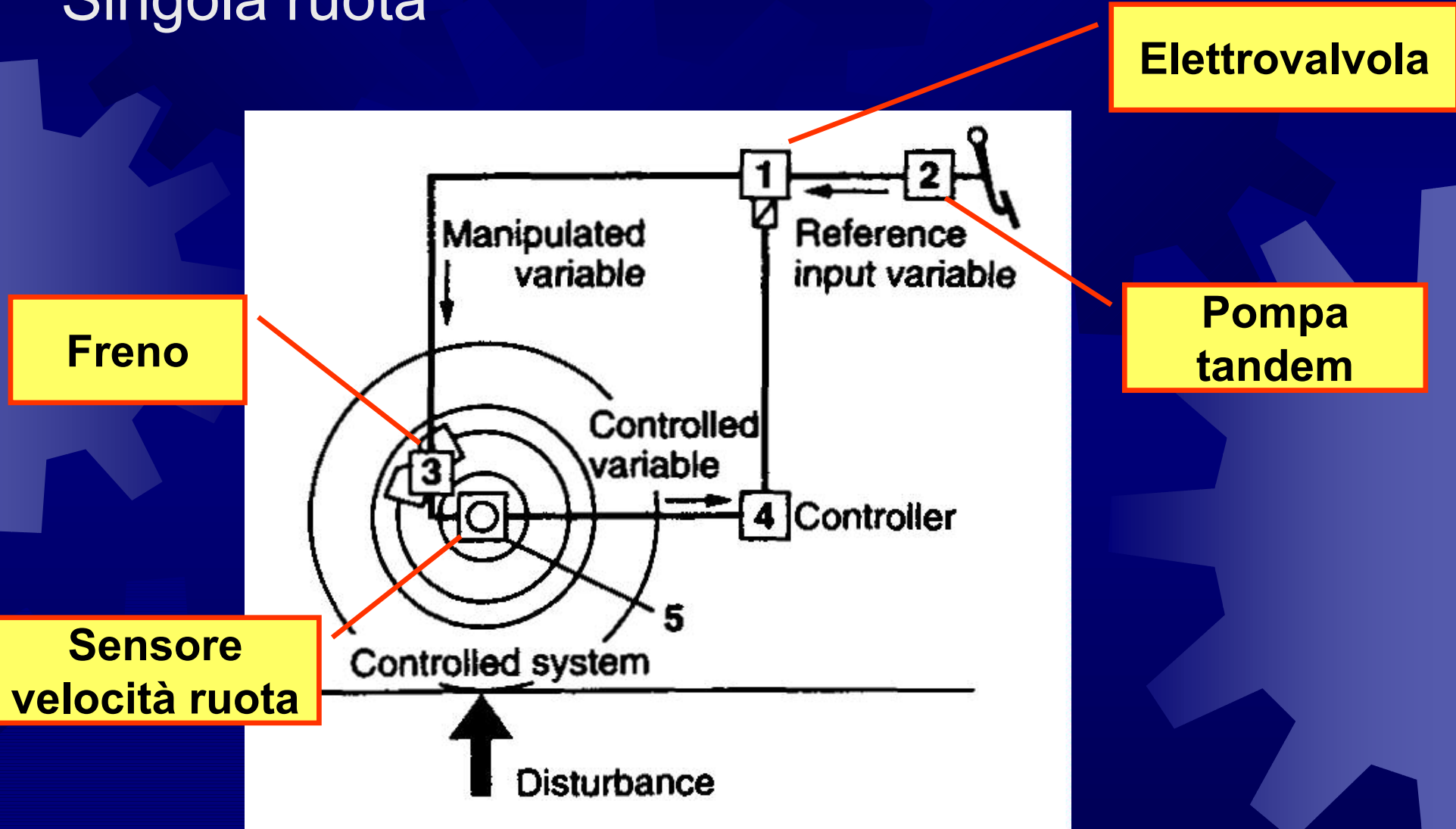
- ★ Ottimizzare l'efficienza della frenata, prediligendo però la possibilità di sterzare il veicolo rispetto alla riduzione dello spazio di arresto
- ★ Adattarsi rapidamente alle **variazioni di aderenza** (ad es. asfalto asciutto con tratti ghiacciati)
- ★ Garantire la direzionalità e una decelerazione ottimale del veicolo nel caso di **superfici sconnesse**
- ★ Garantire la direzionalità e la stabilità del veicolo nel caso di **frenata in curva** (velocità sufficientemente inferiori a quella limite)

# Requisiti

- ✱ Riconoscere e rispondere al fenomeno dell'**aquaplaning**
- ✱ Adattarsi all'**isteresi del freno** e all'influenza dell'inerzia del motore (dipendente dal rapporto di marcia)
- ✱ Evitare che il veicolo **beccheggia** o altri fenomeni di **risonanza**
- ✱ Disattivarsi in caso di **malfunzionamento**

# Circuito di controllo ABS

Singola ruota





# Sensore velocità periferica ruota

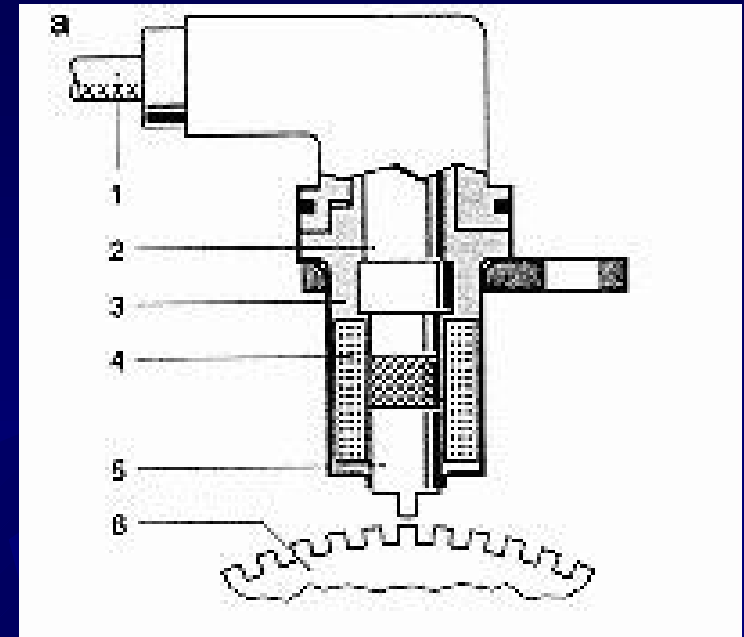
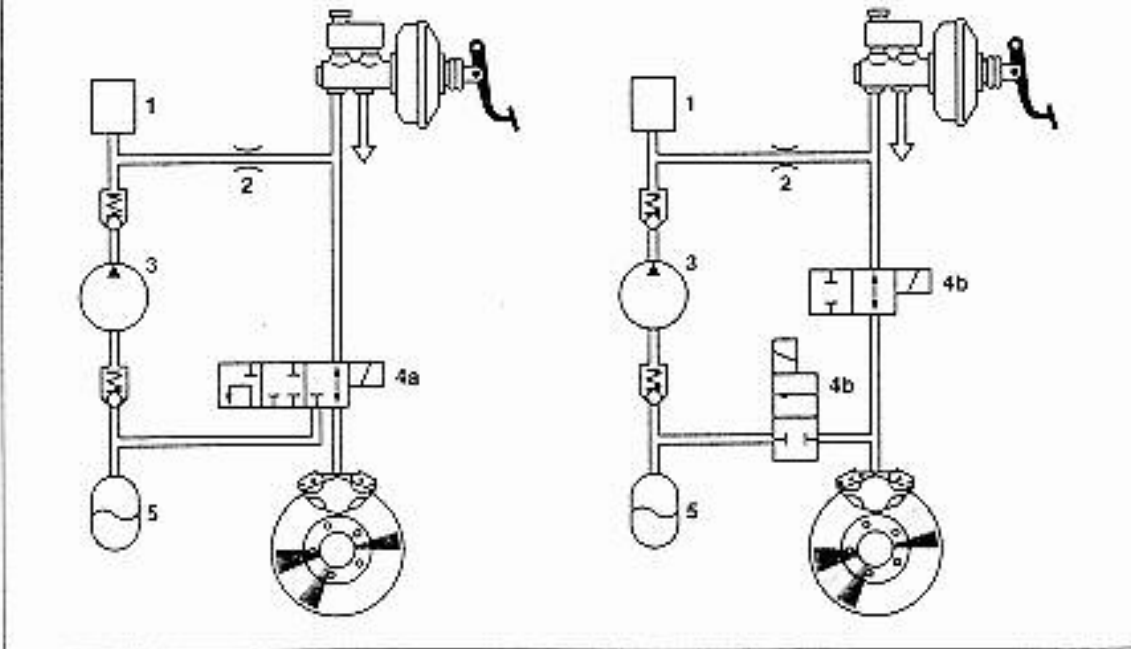


Fig.15: ABS systems: A comparison

a) ABS2, b) ABS5.

1 Damper chamber, 2 Throttle, 3 Return pump, 4a 3/3 valve, 4b 2/2 valves, 5 Accumulator chamber.

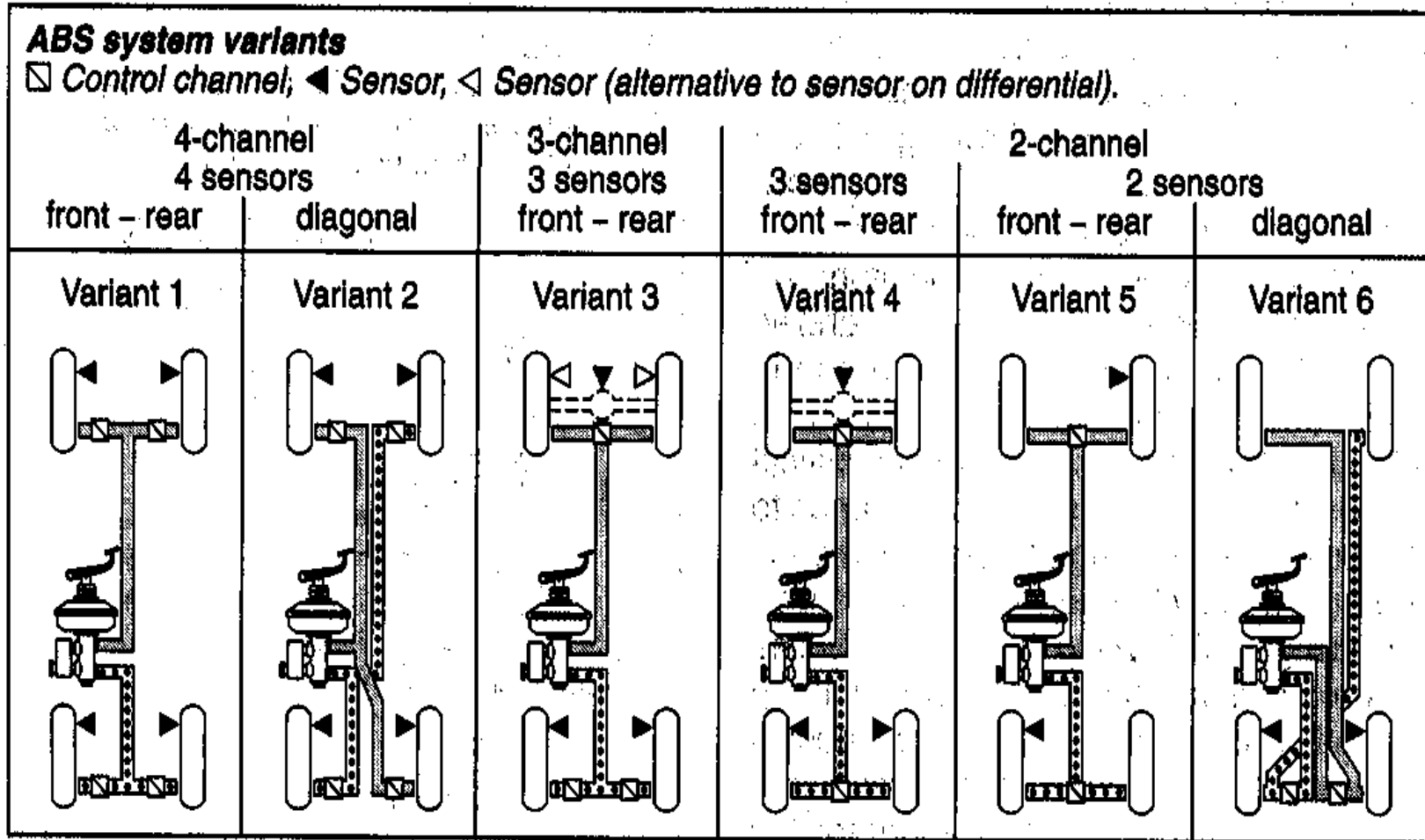


## Modulatore della pressione



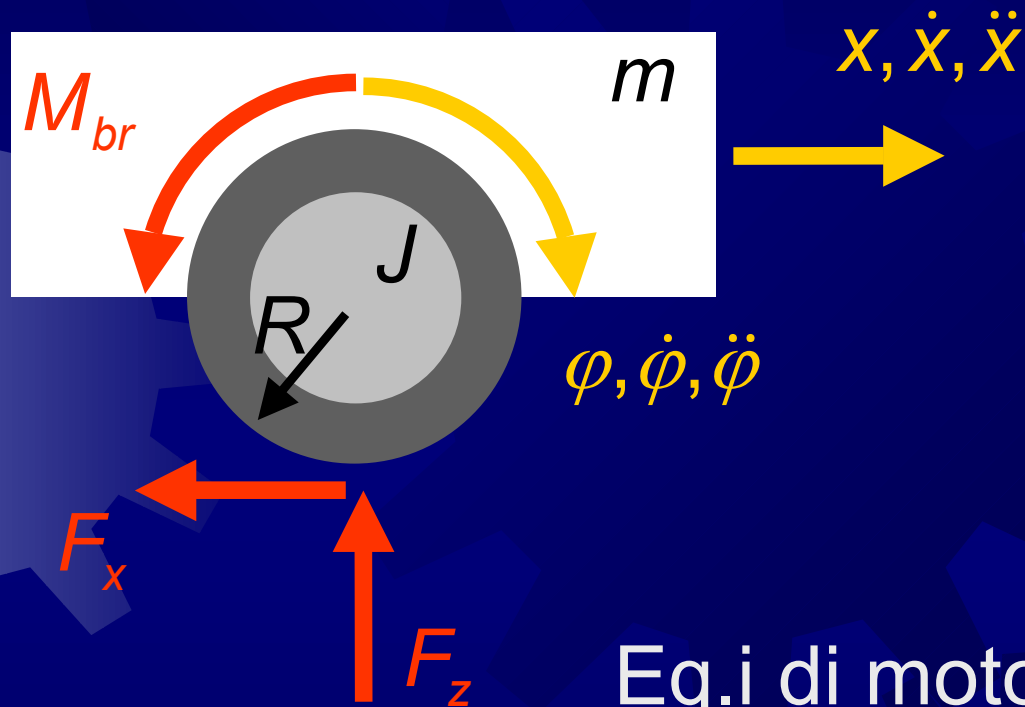
# Varianti ABS

- ☀ Ruote posteriori: principio *select low*
- ☀ Ruote anteriori: controllo indipendente



# Dinamica ruota frenata

Modello ¼ di veicolo



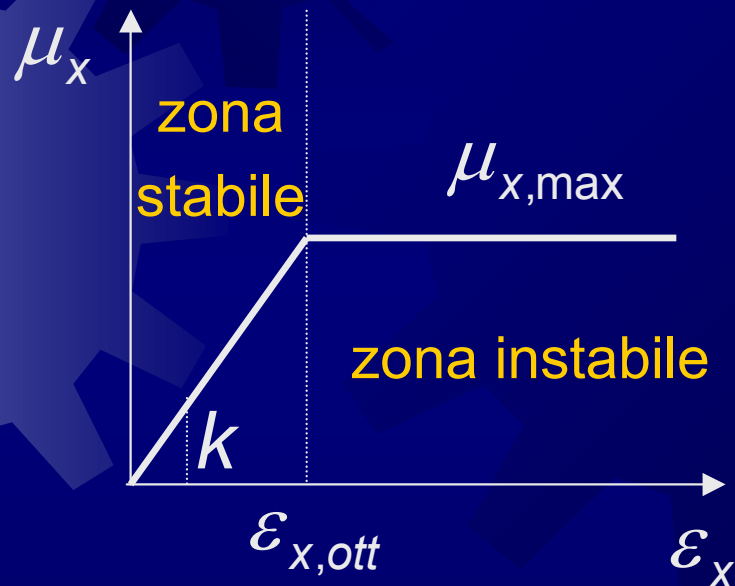
Eq.i di moto (2 g.d.l.)

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -F_x & F_x = \mu_x F_z = \mu_x mg \\ J\ddot{\varphi} = F_x R - M_{br} \end{cases}$$

# Dinamica ruota frenata

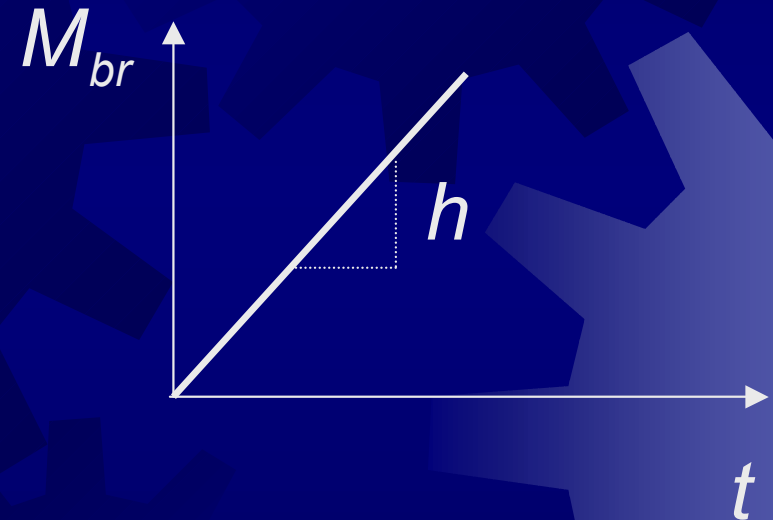
## Ulteriori semplificazioni

### Forza di contatto



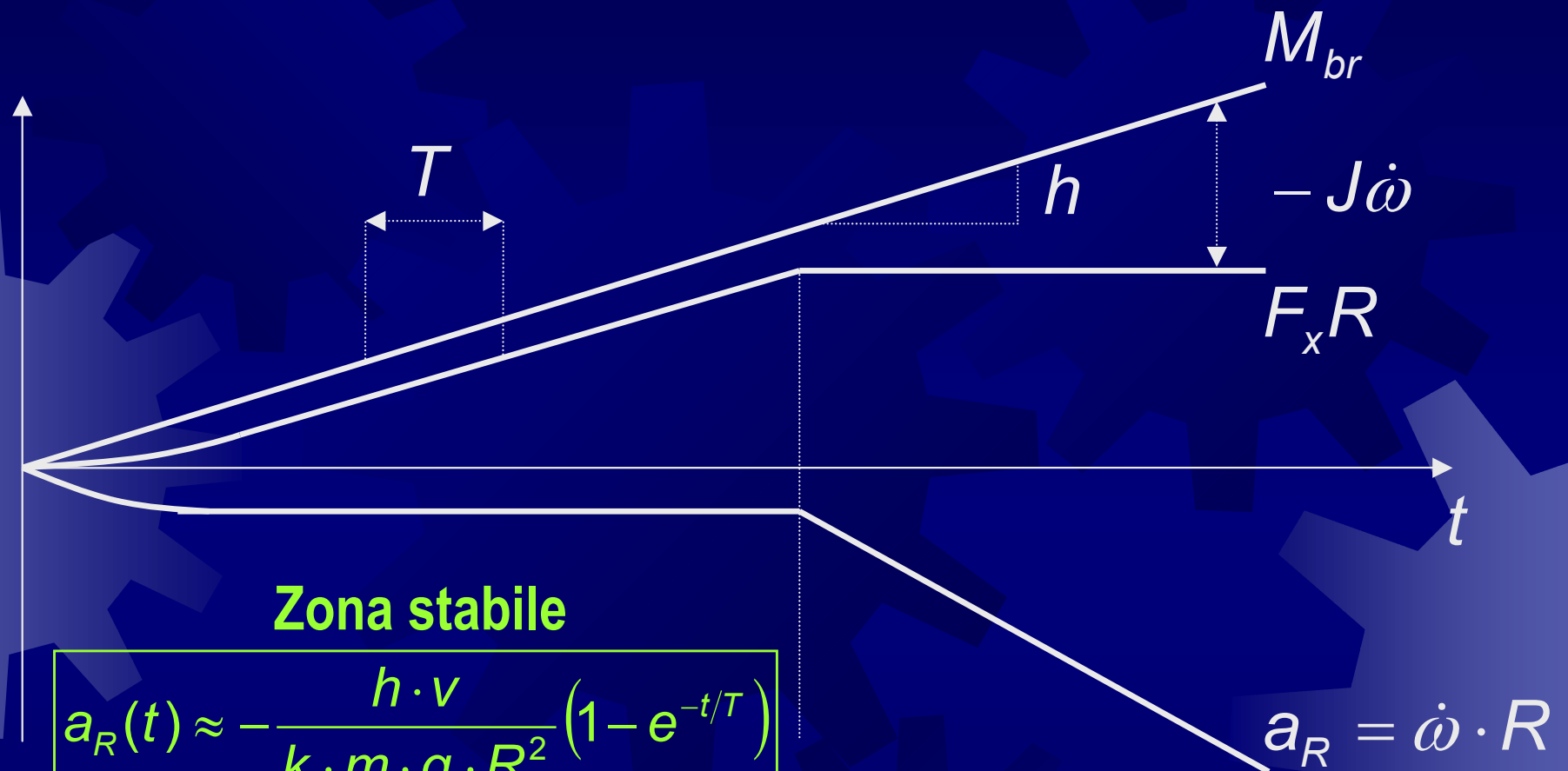
$$\begin{cases} \mu_x = k \cdot \varepsilon_x & \varepsilon_x \leq \varepsilon_{x,ott} \\ \mu_x = \mu_{x,max} & \varepsilon_x \geq \varepsilon_{x,ott} \end{cases}$$

### Coppia frenante



$$M_{br} = h \cdot t$$

# Dinamica ruota frenata



**Zona stabile**

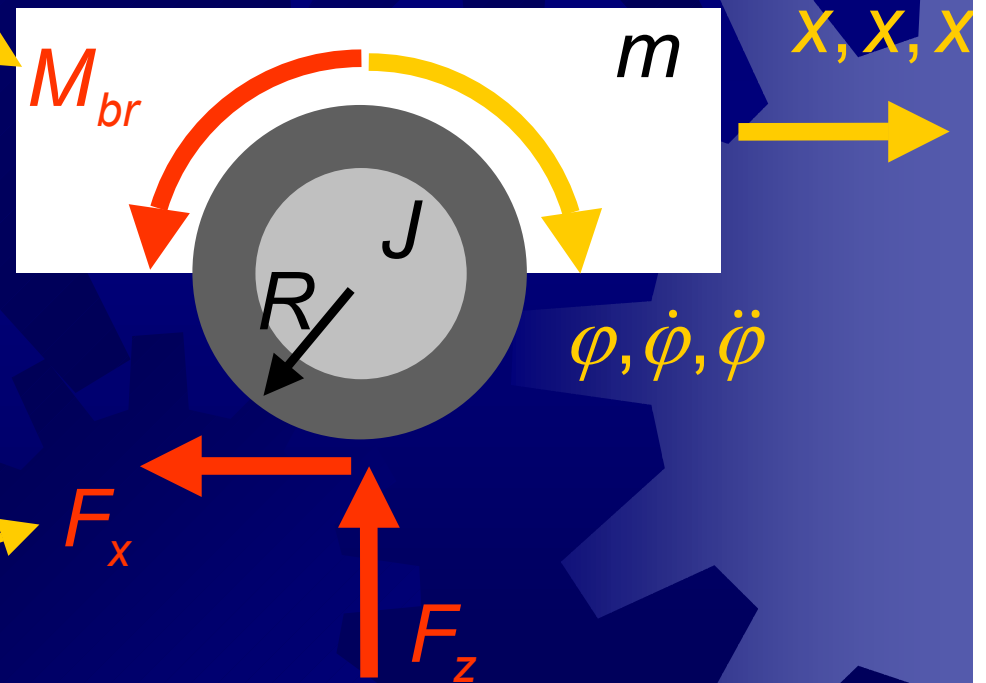
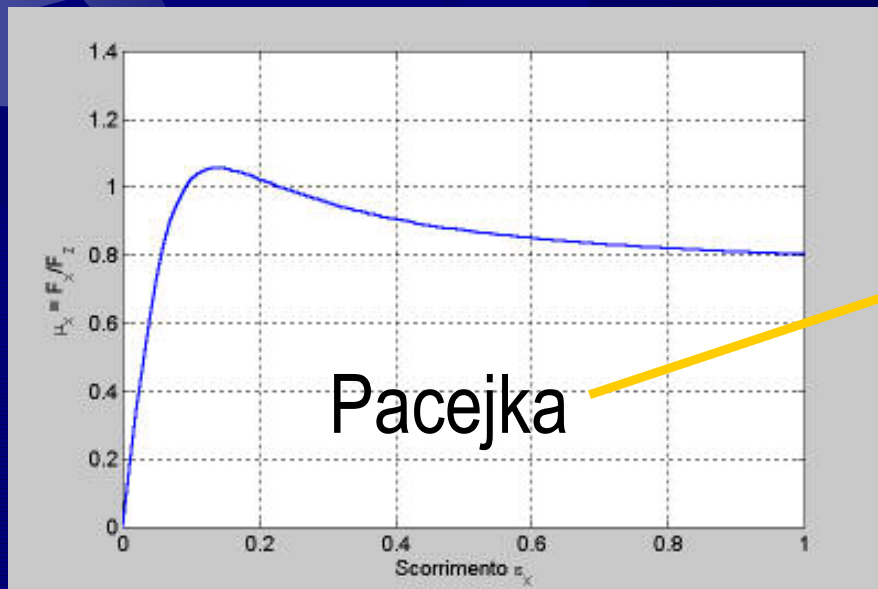
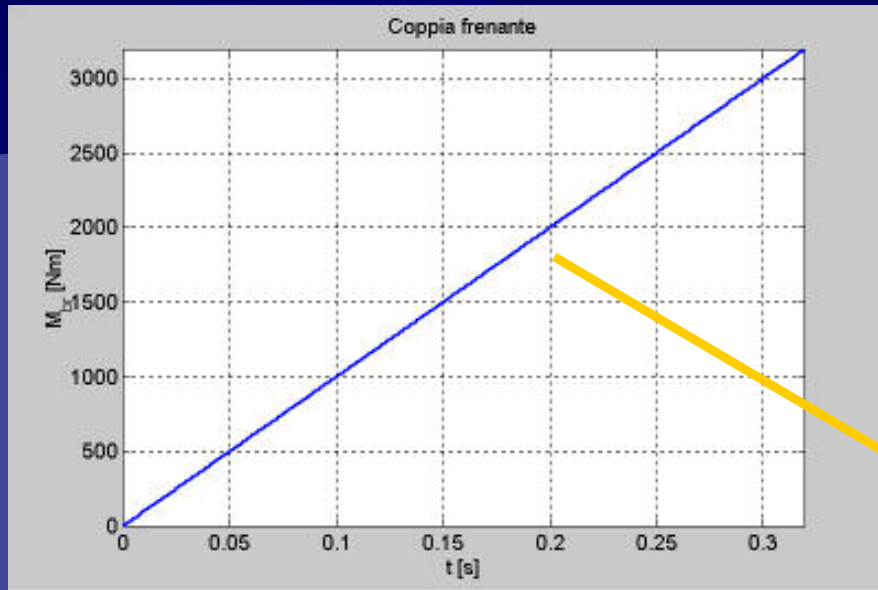
$$a_R(t) \approx -\frac{h \cdot v}{k \cdot m \cdot g \cdot R^2} (1 - e^{-t/T})$$

$$T = \frac{J \cdot v}{k \cdot m \cdot g \cdot R^2}$$

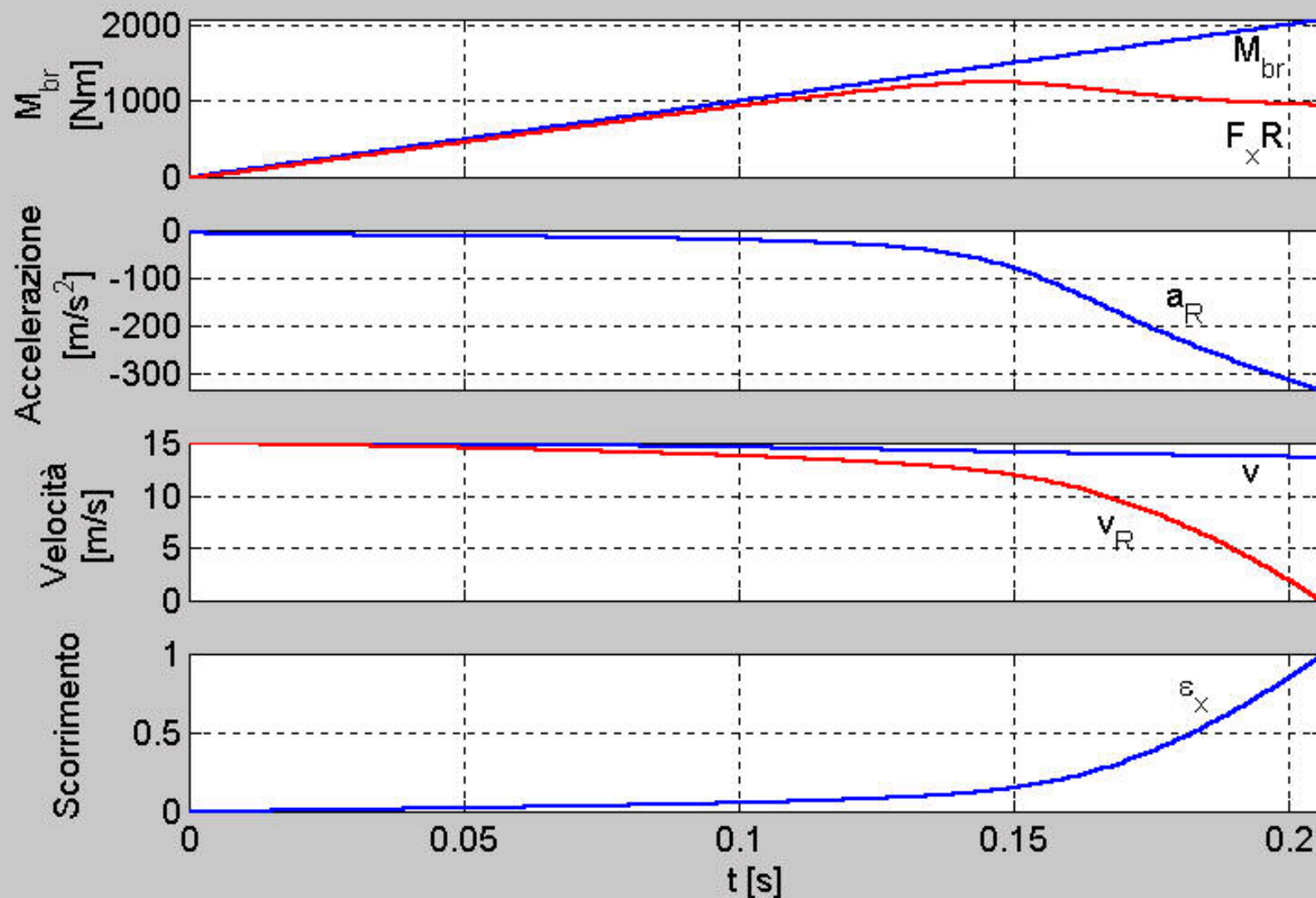
**Zona instabile**

$$a_R(t) = \mu_{x,\max} \cdot g \frac{m \cdot R^2}{J} - \frac{h \cdot R}{J} t$$

# Dinamica ruota frenata



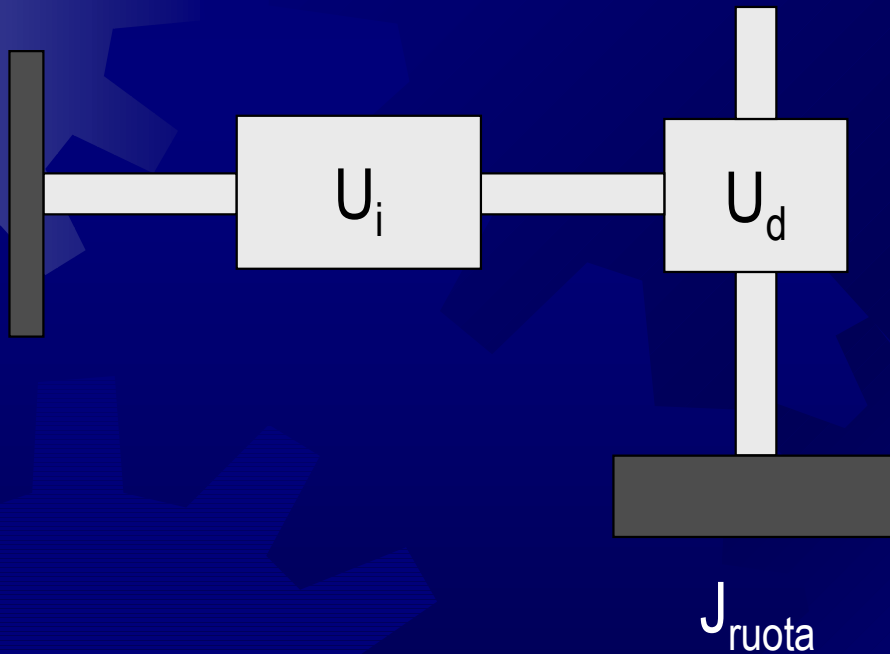
# Dinamica ruota frenata



# Dinamica ruota frenata

- ☀ Influenza del rapporto di marcia (ruote motrici)

$J_{motore}$



$$J \approx J_{motore} (U_i U_d)^2 + J_{ruota}$$

$$U_i U_d = \frac{\omega_m}{\omega_r}$$

$$U_I = 3.50$$

$$U_{II} = 2.12$$

$$U_{III} = 1.43$$

$$U_{IV} = 1.03$$

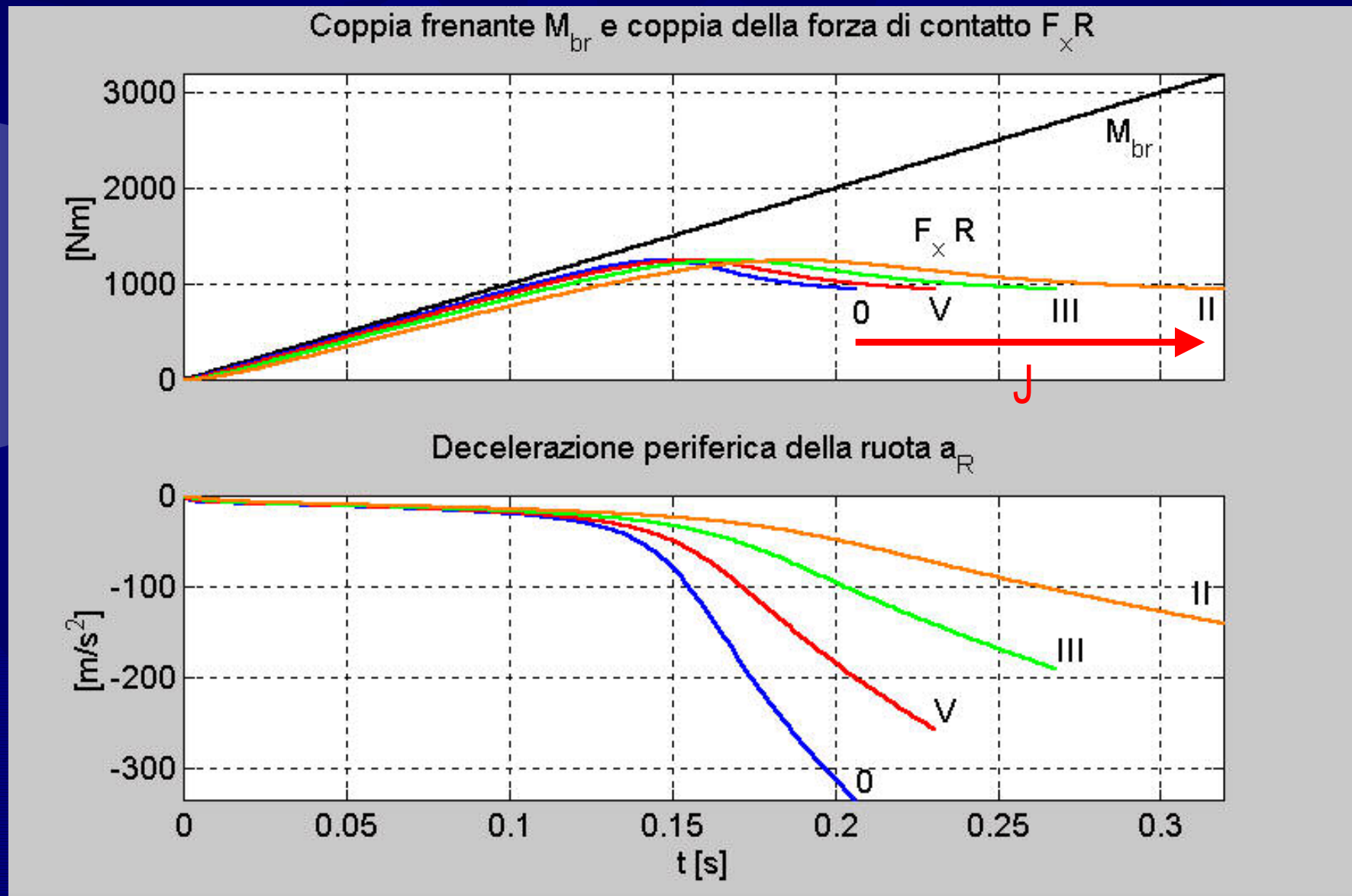
$$U_V = 0.84$$





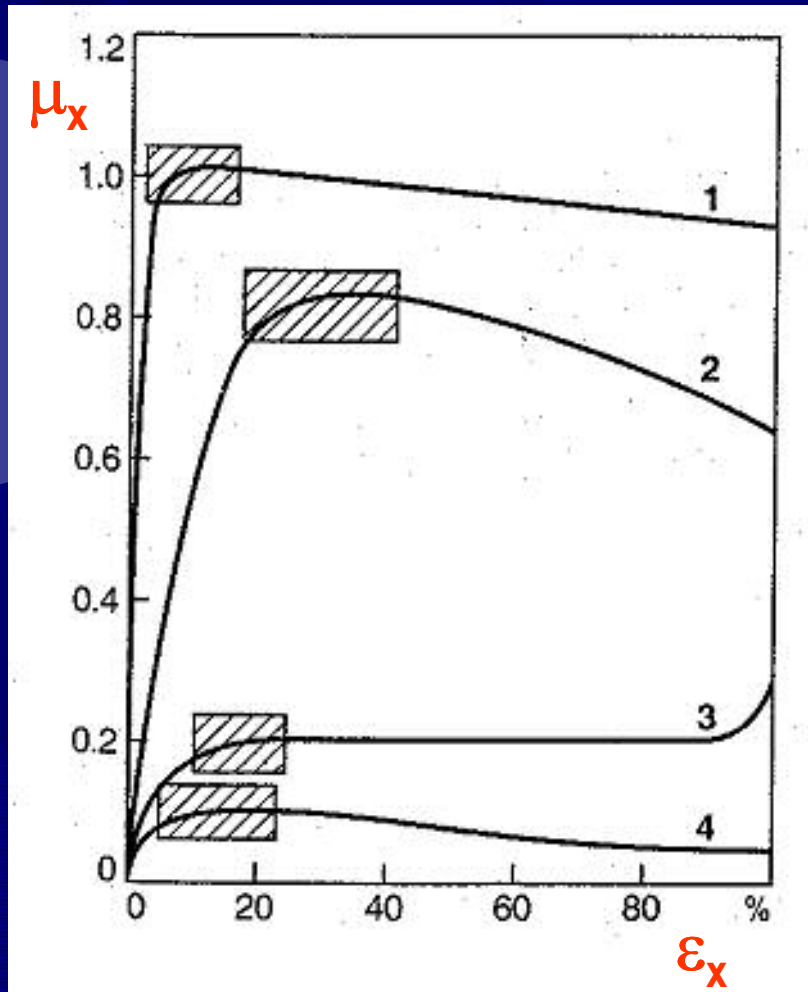
# Dinamica ruota frenata

## ☀ Influenza del rapporto di marcia



# Scelta variabili controllate

## ☀ Scorrimento



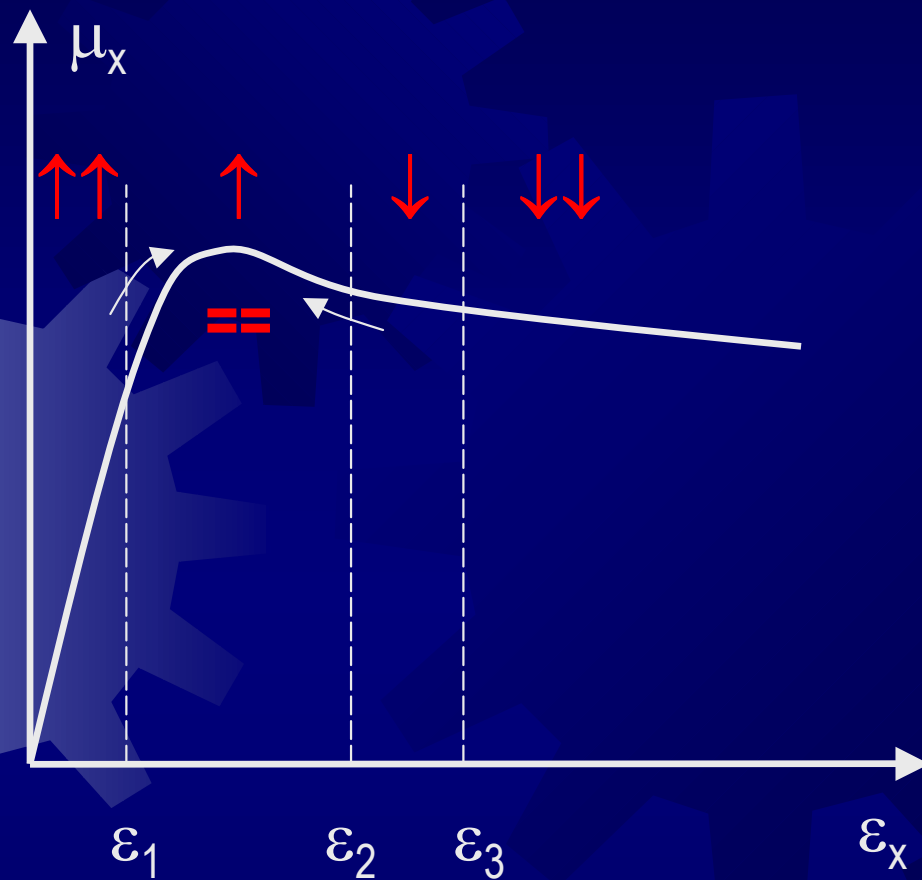
- Come misurare la velocità del veicolo?

Algoritmo stimatore della velocità del veicolo

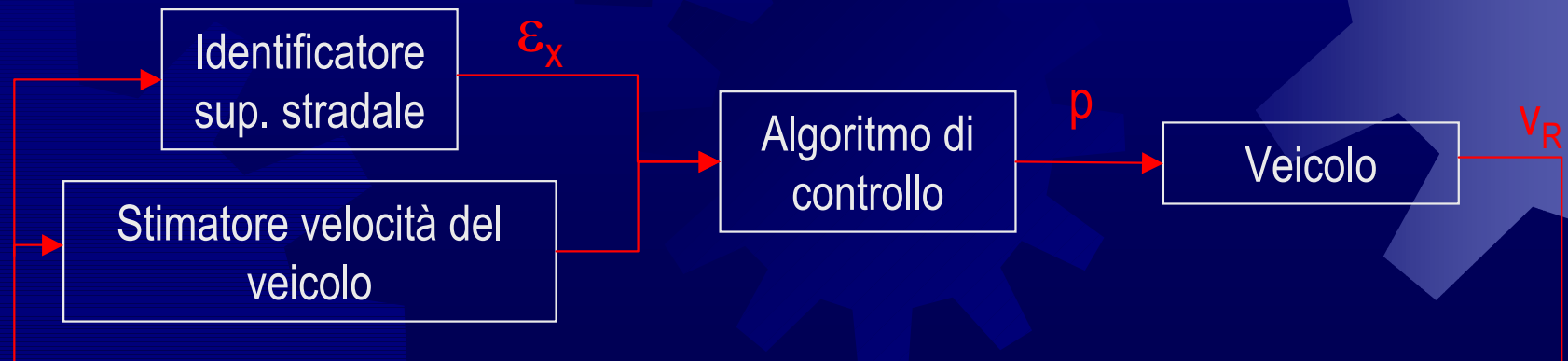
- Quale scorrimento ottimale?

Algoritmo identificatore della superficie stradale

# Esempio di controllore basato sullo scorrimento

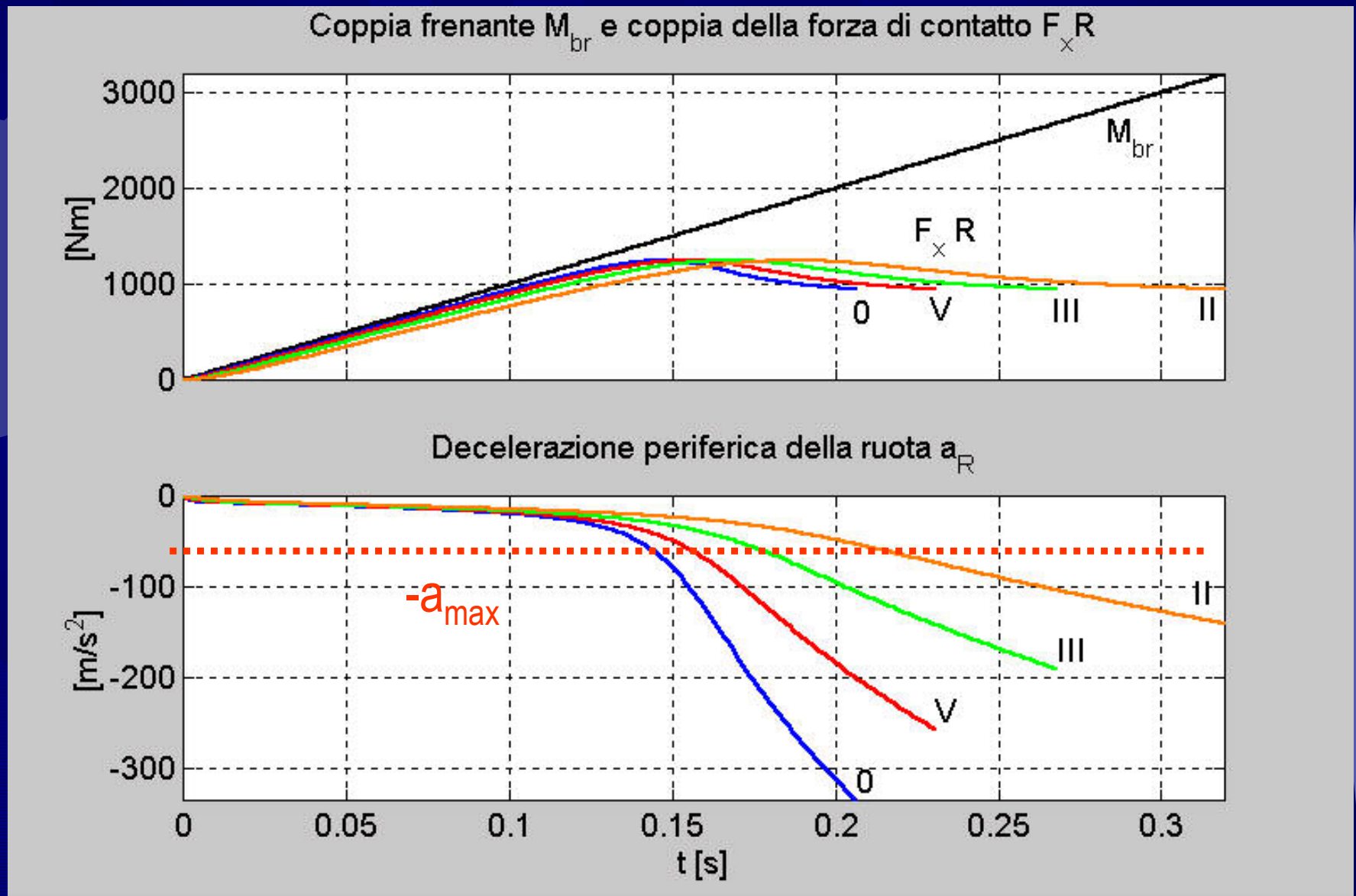


- ↑ ↑ Aumento rapido pressione
- ↑ Aumento pressione
- = Pressione costante
- ↓ Riduzione pressione
- ↓ ↓ Riduzione rapida pressione



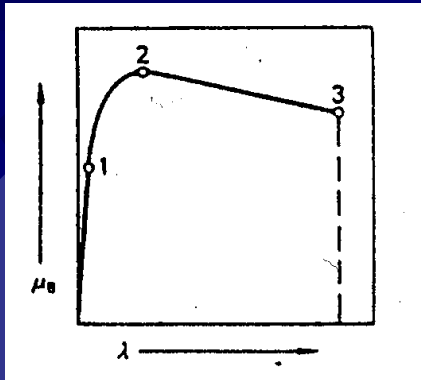
# Scelta variabili controllate

- ★ Decelerazione periferica della ruota



# Scelta variabili controllate

## ★ Decelerazione periferica della ruota



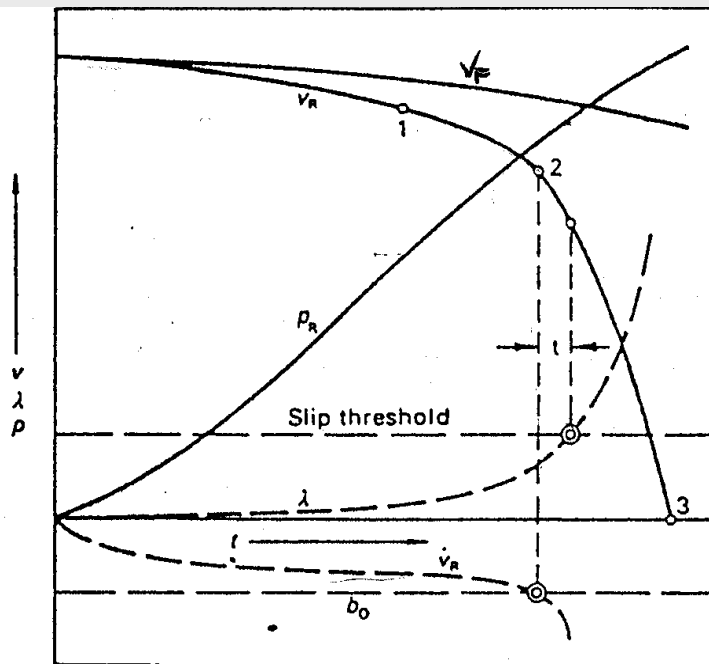
**Zona stabile**

**Zona instabile**

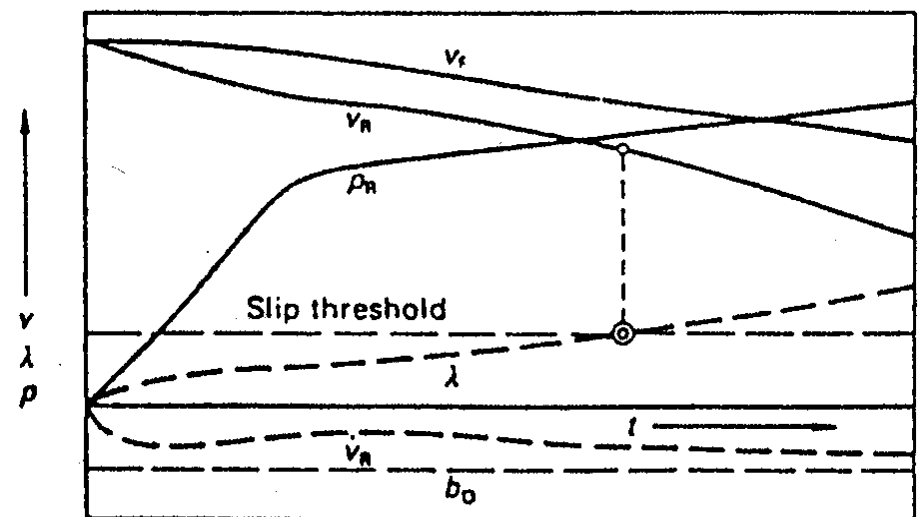
$$a_R(t) \approx -\frac{h \cdot v}{k \cdot m \cdot g \cdot R^2} (1 - e^{-t/T})$$

$$a_R(t) = \mu_{x,\max} \cdot g \frac{m \cdot R^2}{J} - \frac{h \cdot R}{J} t$$

Incremento di pressione (h) elevato  
Ruota con basso momento di inerzia (J)



Incremento di pressione (h) basso  
Ruota con elevato momento di inerzia (J)



# Logica di controllo Bosch

## ☀ Variabili controllate

- Decelerazione/Accelerazione periferica della ruota
- Scorrimento (stimato)

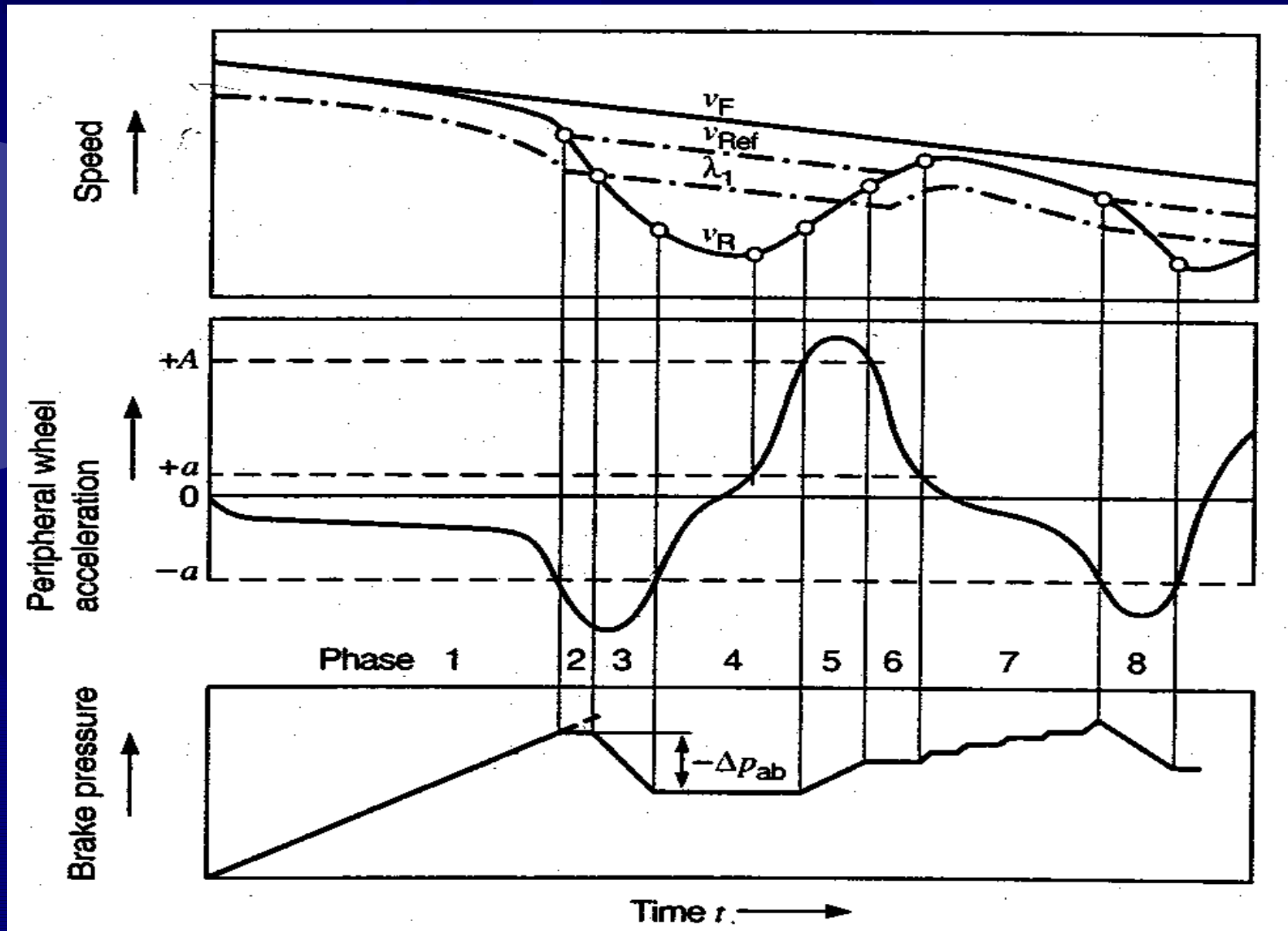
## ☀ Algoritmo

- Alta aderenza
- Bassa aderenza
- $\mu$ -split



# Logica di controllo Bosch

Ciclo di controllo in caso di **elevata aderenza**





## Autoadattività (cicli successivi al primo)

# Logica di controllo Bosch

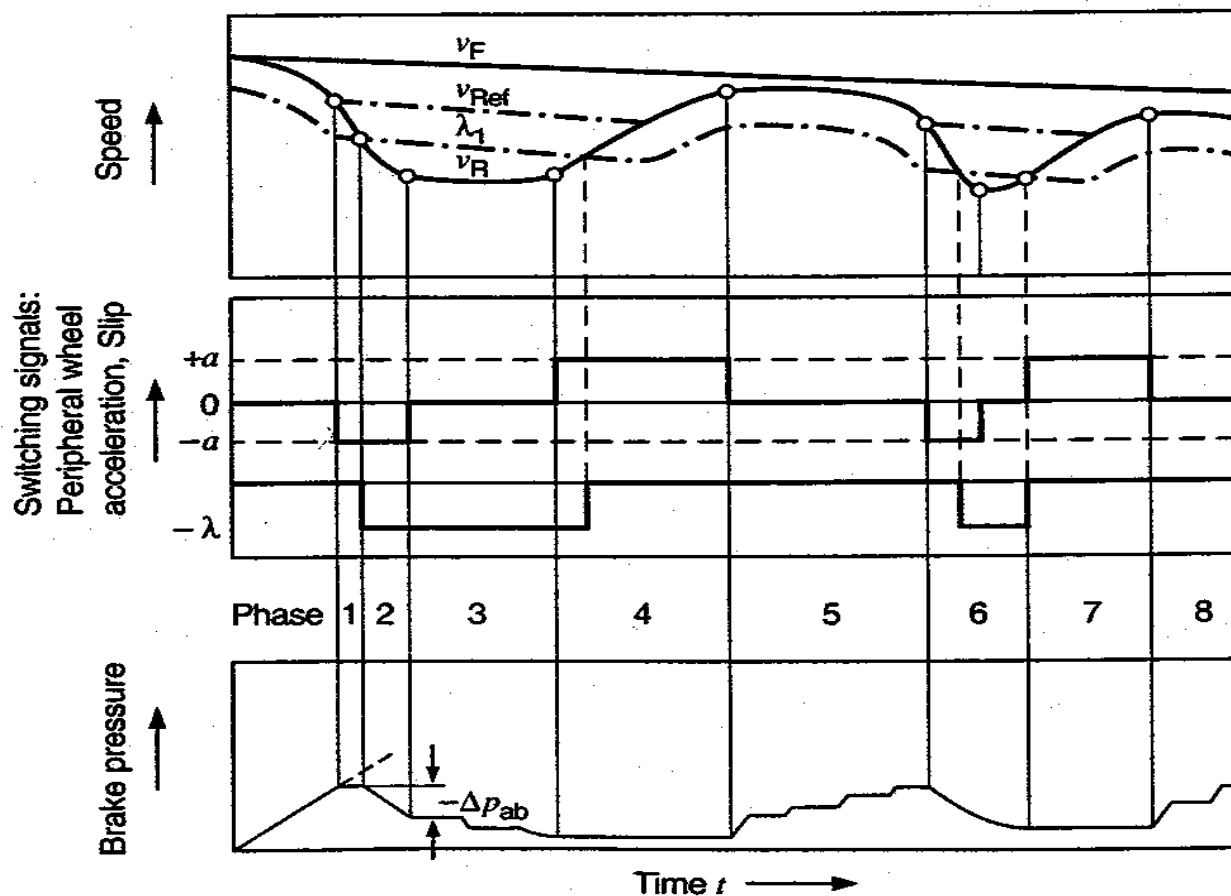
## Ciclo di controllo in caso di bassa aderenza

**Fig. 8: Braking control for low braking-force coefficients**

$v_F$  Vehicle speed,  $v_{Ref}$  Reference speed,  $v_R$  Peripheral wheel speed,

$\lambda_1$  Slip switching threshold,

Switching signals:  $+a$  Threshold of peripheral wheel acceleration,  $-a$  Threshold of peripheral wheel deceleration,  $-\lambda$  Slip,  $-\Delta p_{ab}$  Brake-pressure decrease.

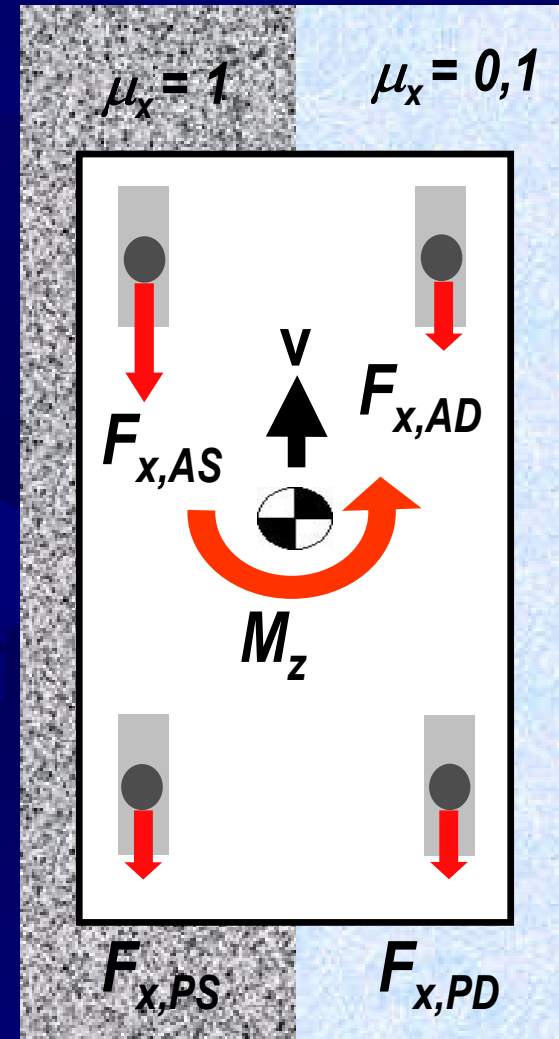
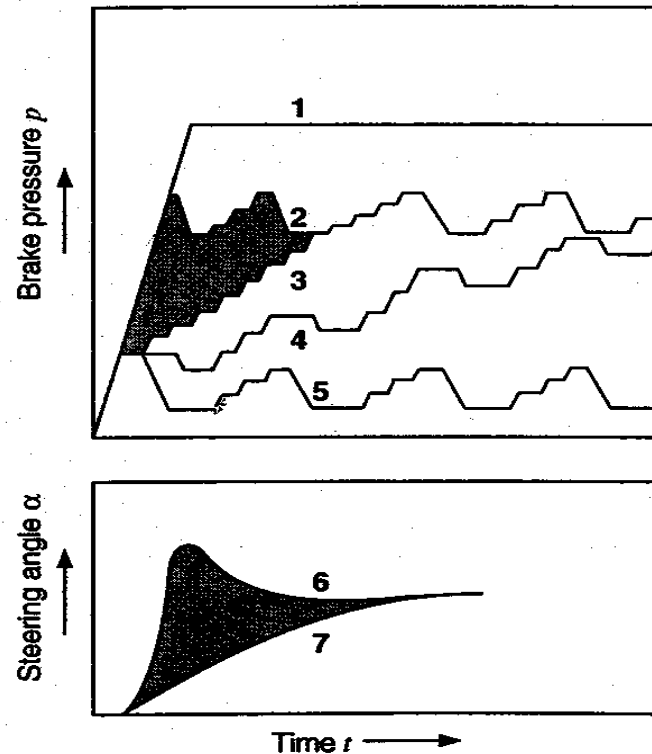


# Logica di controllo Bosch

*$\mu$ -split*: algoritmo di ritardo della coppia di imbardata

**Bild 10: Brake-pressure/steering-angle characteristic for yawing-moment buildup delay (GMA)**

- 1 Brake master cylinder pressure  $p_{HZ}$ ,
- 2 Brake pressure  $p_{high}$  without GMA,
- 3  $p_{high}$  with GMA1,
- 4  $p_{high}$  with GMA2,
- 5  $p_{low}$ ,
- 6 Steering angle  $\alpha$  without GMA,
- 7 Steering angle  $\alpha$  with GMA.



# Logica di controllo Bosch

## Parametri del controllore

- ☀ soglie di decelerazione/accelerazione periferica
  - $-a$
  - $+a$
  - $+A$
- ☀ parametri per il calcolo della velocità di riferimento
  - $-a_{\text{ref}}$  gradiente fisso di estrapolazione (?)
- ☀ parametri per il calcolo segnale  $\lambda_1$ 
  - $\varepsilon_{x1}$  soglia di scorrimento (?)
- ☀ parametri Fase 4
  - $T_{41}$  durata massima mantenimento pressione
  - $T_{42}$  durata breve riduzione pressione
- ☀ parametri Fase 7
  - $T_s$  durata degli aumenti a gradino della pressione
  - $D_c$  rapporto aumento / mantenimento del gradino

# Modello Simulink

- Modello ¼ di veicolo con trasferimento di carico



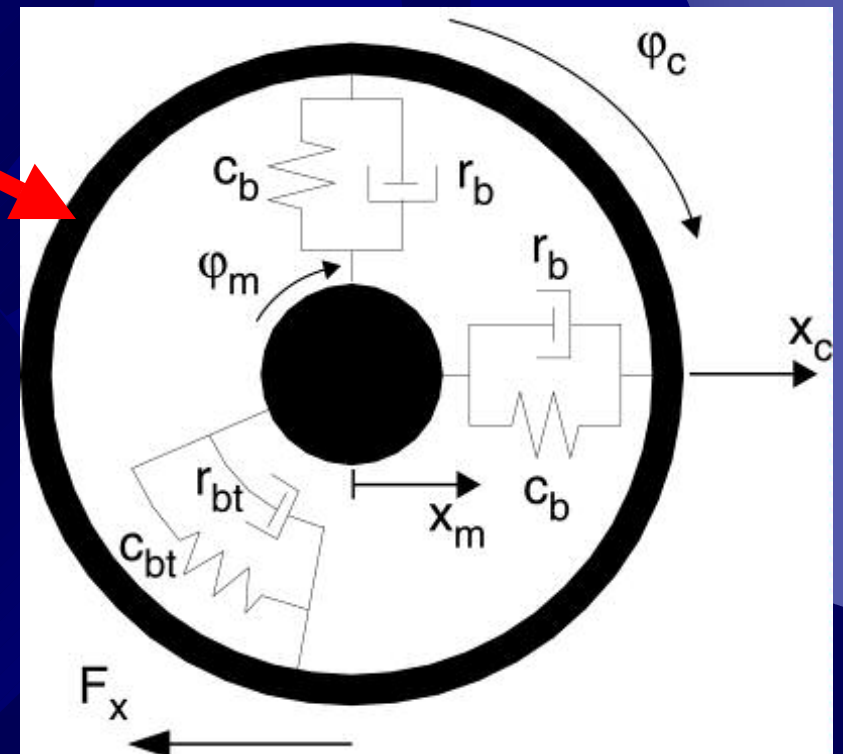
- Modello ad anello rigido

Diagram showing forces  $F_x$  and  $F_z$  acting on the mass. The vertical force is given by the equation:

$$F_z = F_{z0} + \Delta F_z(\ddot{\xi})$$

4 g. d. l.

$$x_v (= x_m), x_c, \varphi_c, \varphi_m$$

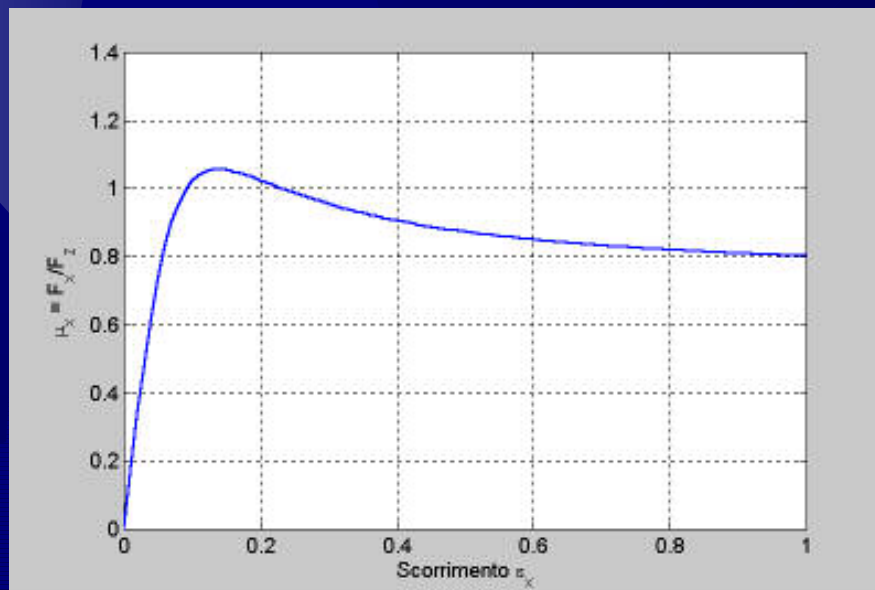


# Modello Simulink

- ☀ Formula di Pacejka con rilassamento

$$F_{x0} = D_x \sin \{ C_x \arctan [ B_x \cdot \varepsilon_x - E_x ( B_x \cdot \varepsilon_x - \arctan ( B_x \cdot \varepsilon_x ) ) ] \}$$

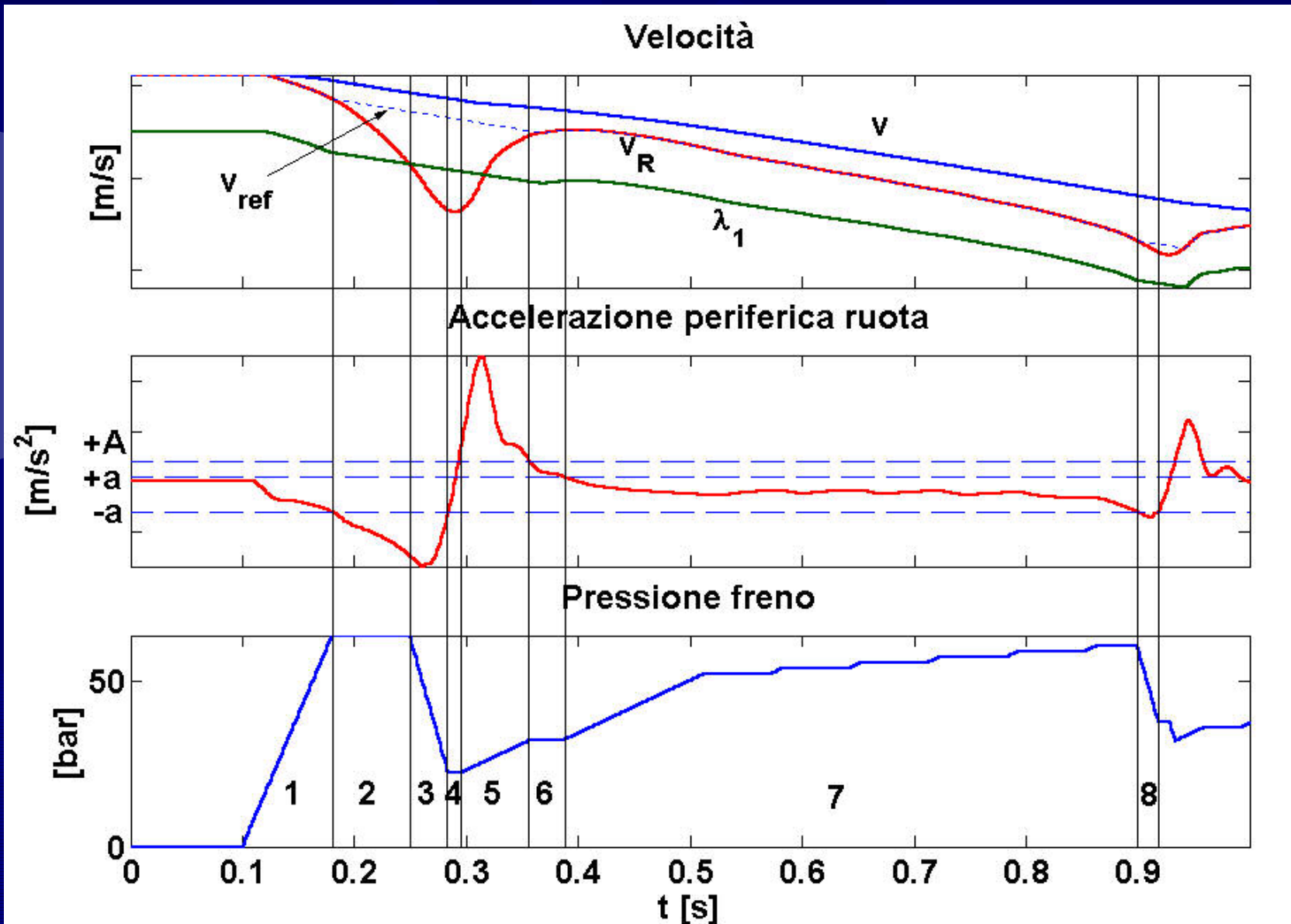
$$\sigma \dot{F}_x + \dot{x}_c F_x = \dot{x}_c F_{x0}(\varepsilon_x)$$





# Modello Simulink

- ✦ Algoritmo di controllo (logica Bosch)





# Modello Simulink

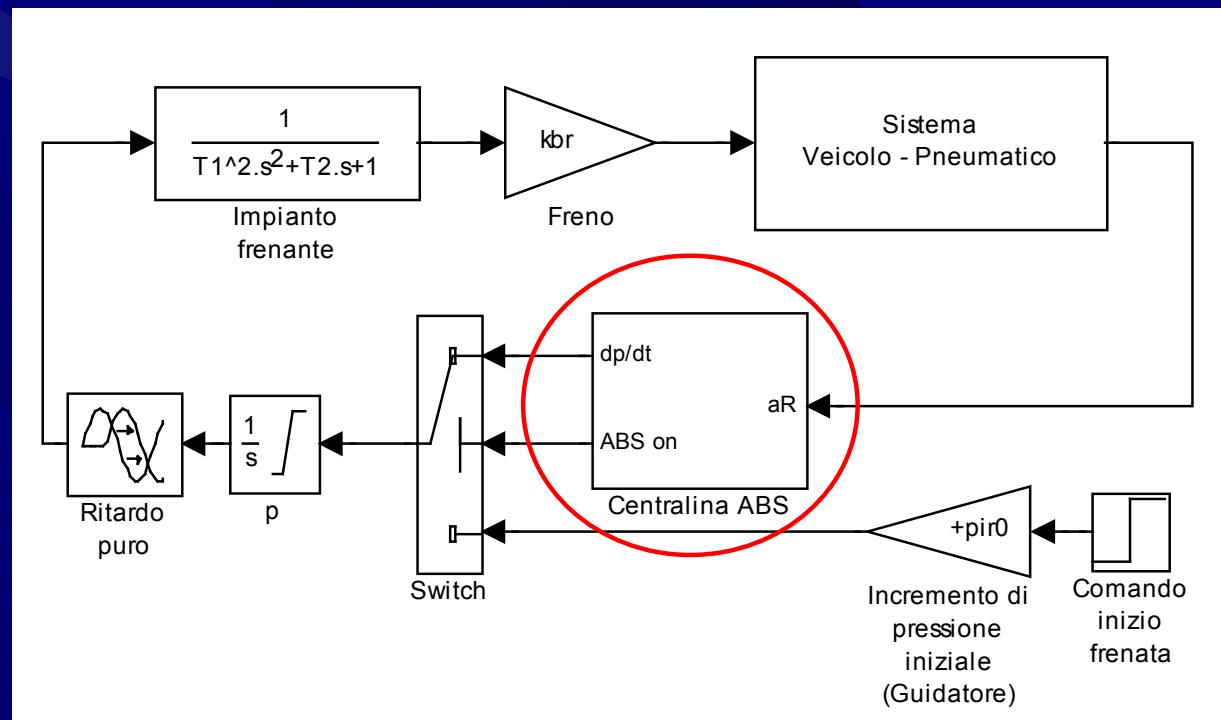
## ★ ABS

- **ingresso:** decelerazione periferica della ruota

$$a_R = \dot{\omega}R$$

- **uscita:** derivata temporale pressione impianto frenante  $\dot{p}$

- **ritardo puro:** somma dei tempi morti di elaborazione  $\tau_0$



# Modello Simulink

## ☀ Impianto frenante

- sistema del 2°ordine

$$\tau_1^2 \ddot{p}_{br} + \tau_2 \dot{p}_{br} + p_{br} = p_{ABS}$$

## ☀ Freno

- relazione lineare coppia-pressione

$$M_{br} = k_{br} p_{br}$$

