

Sistemi e Strategie di Controllo Attivo della Dinamica Veicolo

Ing. Marco Borsari

Waycon Technologies s.r.l.

WAYCON S.R.L. è un'azienda di servizi operante nel settore elettronico, da anni mette a disposizione l'esperienza dei propri tecnici prevalentemente in ambito *automotive*:

- ❑ Supporto a Direzione tecnica, Tecnologie produttive, ed Assistenza Tecnica ad aziende automobilistiche.
- ❑ Sviluppo documentazione tecnica e sistemi diagnostici.
- ❑ Sviluppo, produzione attrezzatura per diagnosi sistemi elettronici auto.
- ❑ Formazione tecnica su sistemi automotive.

Sommario

- ❑ Obiettivi del Sistema di Controllo Stabilità
- ❑ I Pneumatici
- ❑ Sistema vettura
- ❑ Il controllo di stabilità
- ❑ Hardware installato in vettura
- ❑ Esempio: la strategia ABS

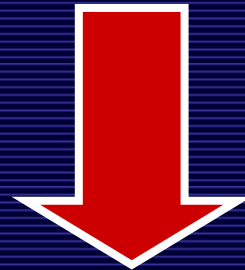
Obiettivi del Sistema di Controllo Stabilità

Prima dell'introduzione dei sistemi di controllo di stabilità:

- ❑ Rapporto incidenti su vetture circolanti praticamente costante.
- ❑ Danni agli occupanti limitati di sistemi di sicurezza passiva.
- ❑ Maggior parte degli incidenti causati dalla perdita di controllo del veicolo.

Obiettivi del Sistema di Controllo Stabilità

- ❑ E' necessario capire il comportamento del veicolo quando si trova al limite.
- ❑ E' necessario capire il comportamento di un guidatore medio quando si trova in condizioni limite.

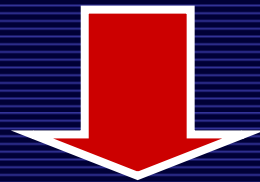


Strategia di controllo attivo della stabilità

Comportamento della vettura e del guidatore al limite di aderenza

Il comportamento di una vettura al limite è molto diverso da quello non al limite:

- ❑ In condizioni normali il sistema **veicolo – ruote – suolo** è praticamente lineare.
- ❑ In condizioni limite il sistema **veicolo – ruote – suolo** è fortemente non lineare a causa del comportamento non lineare delle ruote.



Un guidatore normale non ha l'esperienza, l'addestramento e le capacità per controllare il veicolo al limite.

Guida al limite di aderenza: Pilota Esperto e Guidatore Medio

- ❑ Un pilota esperto tende a correggere il comportamento della vettura al limite con una sequenza di comandi su **sterzo, acceleratore e freno**.
- ❑ Un pilota inesperto tende a correggere solamente con una azione sullo **sterzo**. Inoltre l'entità della correzione è spesso esagerata.



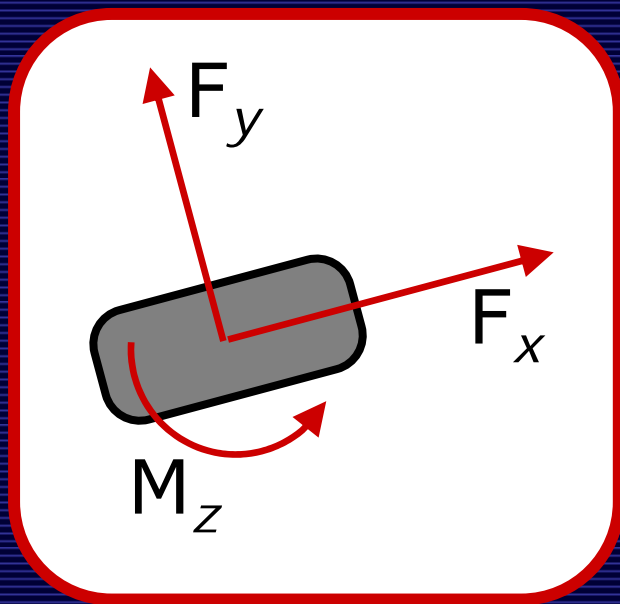
La situazione **peggiora** ulteriormente!!!

Sommario

- ❑ Obiettivi del Sistema di Controllo Stabilità
- ❑ I Pneumatici
- ❑ Sistema vettura
- ❑ Il controllo di stabilità
- ❑ Hardware installato in vettura
- ❑ Esempio: la strategia ABS

Pneumatici: Forze e Momenti

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



- ❑ Forza Longitudinale F_x
- ❑ Forza Laterale F_y
- ❑ Momento Autoallineante M_z

Tali forze e momenti dipendono da:

- ❑ Scorrimento λ
- ❑ Angolo di deriva α
- ❑ Carico verticale F_z

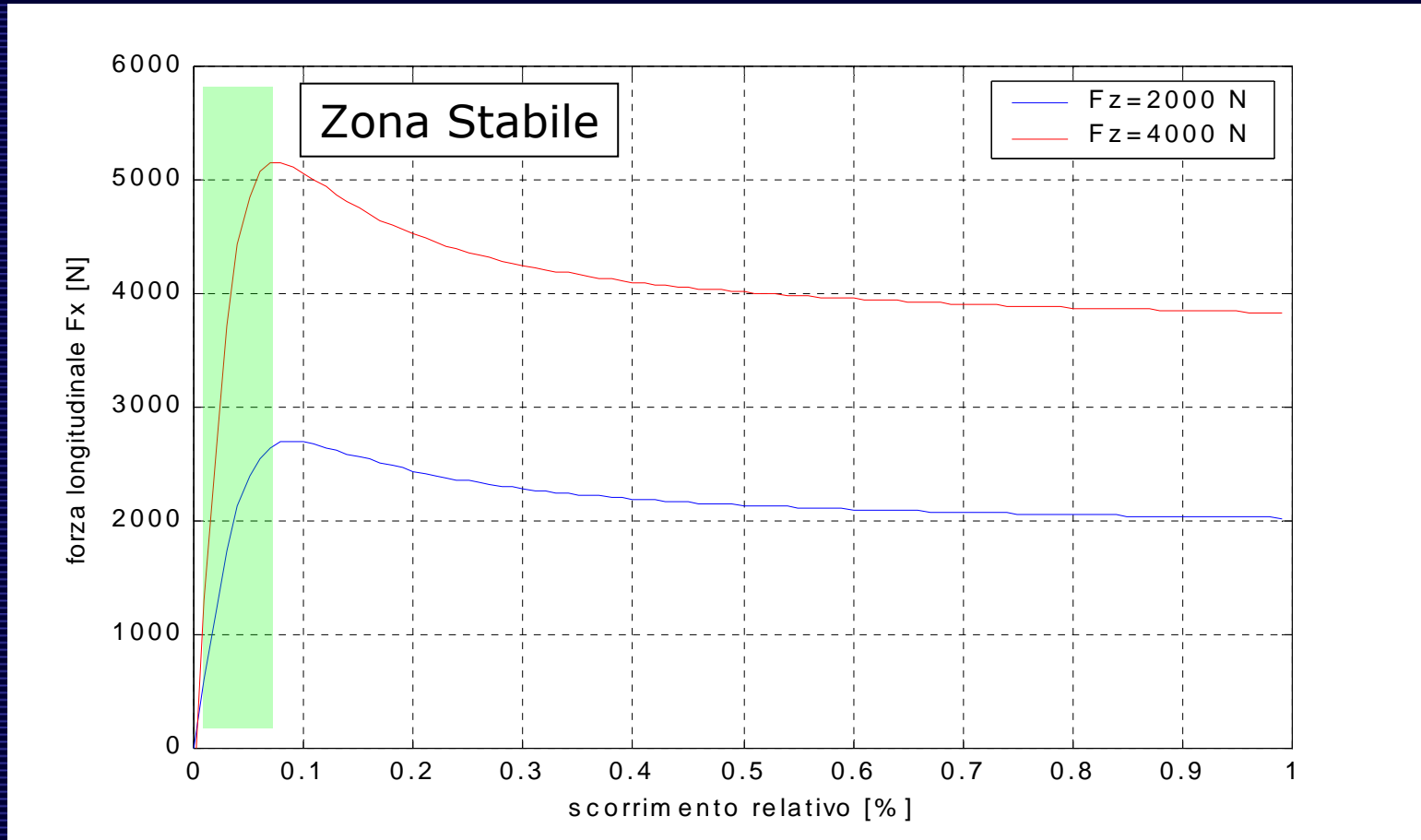
Pneumatici:

Forza Longitudinale F_x

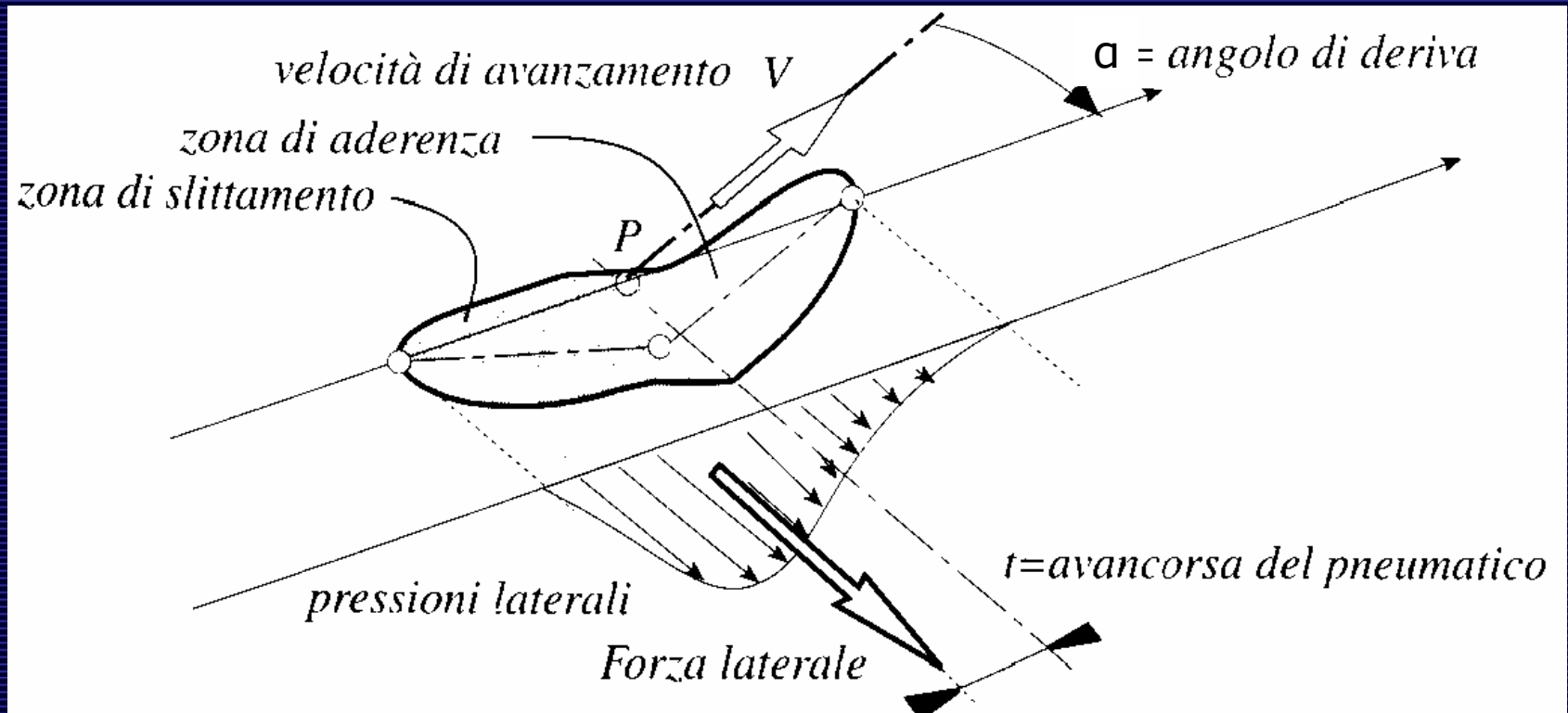
Il contatto ruota -terreno genera, nella trasmissione di forze longitudinali, delle deformazioni nella fascia del battistrada che entra in contatto col suolo e una conseguente differenza tra la velocità del veicolo nel centro ruota (V) e la velocità periferica della ruota stessa (ωR). Si definisce **scorrimento** (λ) la grandezza seguente:

$$\lambda = 1 - \frac{\omega \cdot R}{V}$$

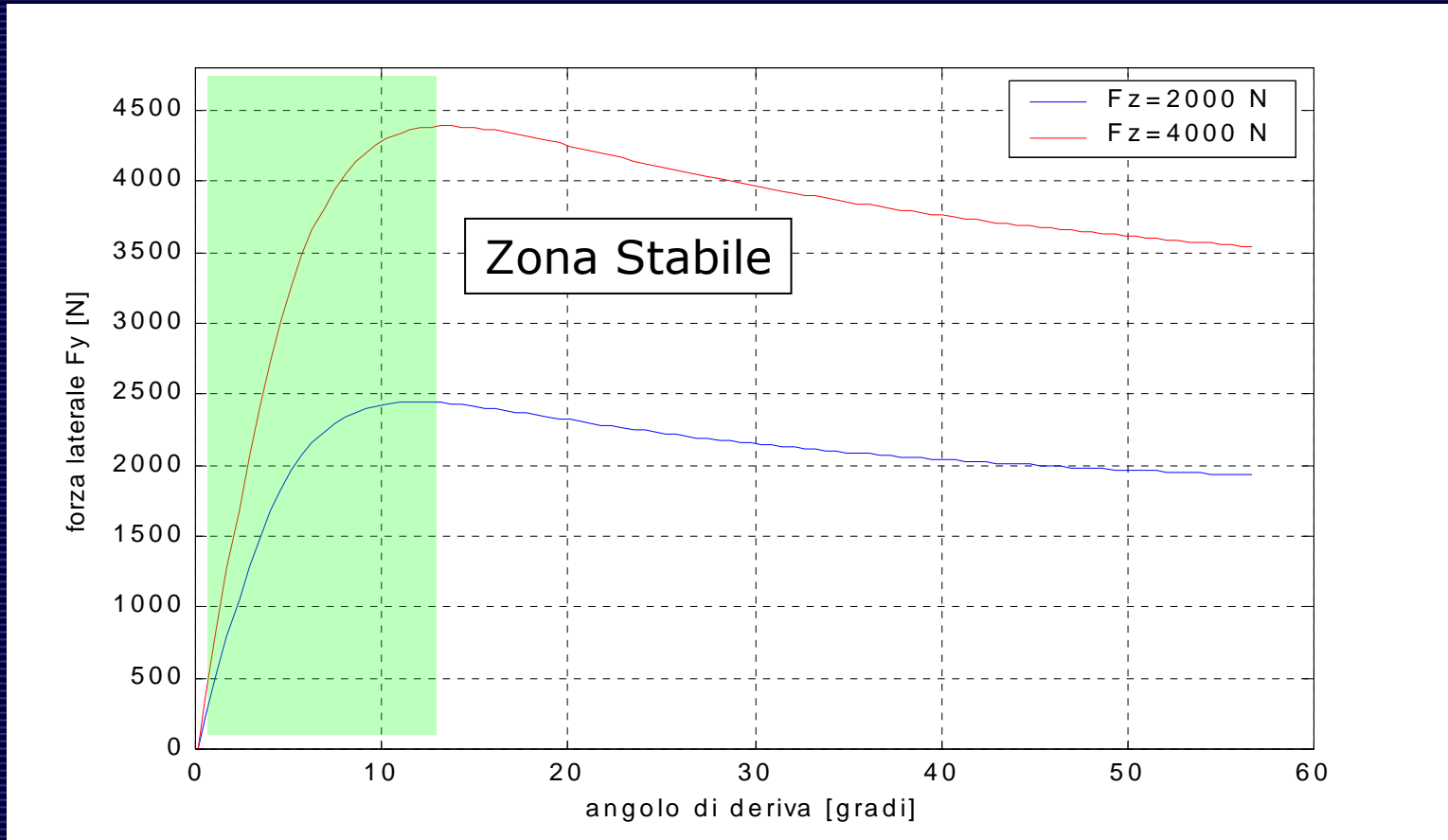
Pneumatici: Forza Longitudinale F_x



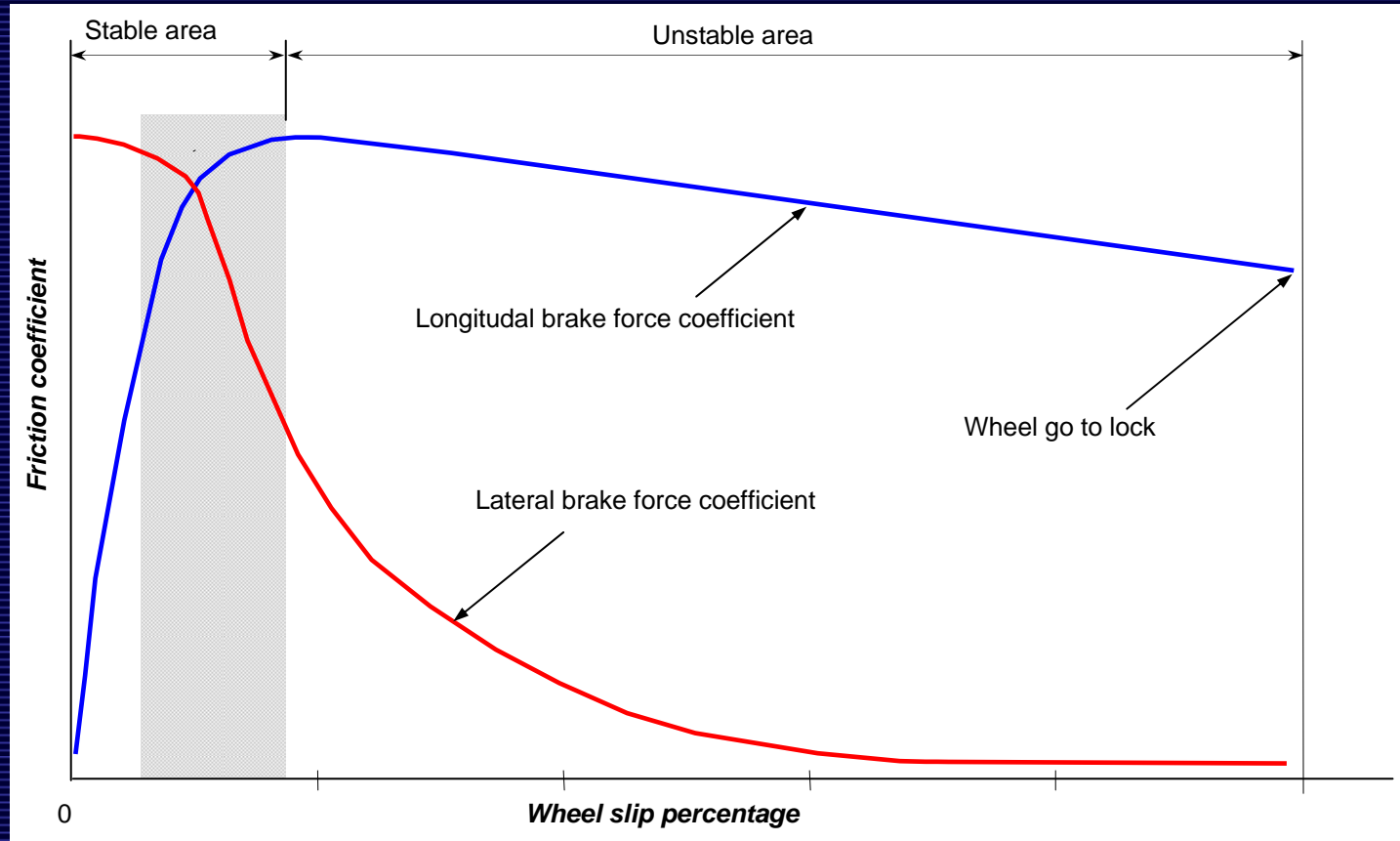
Pneumatici: Forza Laterale F_y



Pneumatici: Forza Laterale F_y

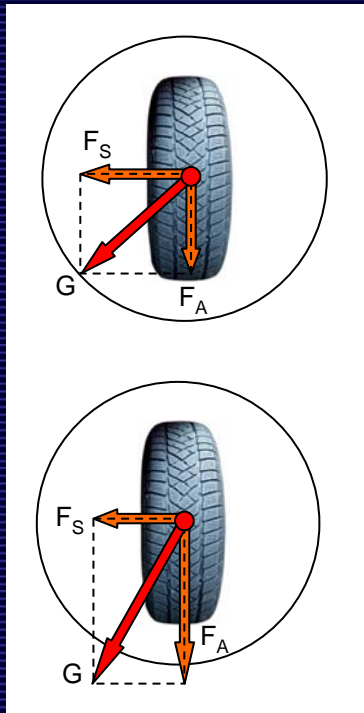


Pneumatici: F_x e F_y in funzione di λ



Pneumatici:

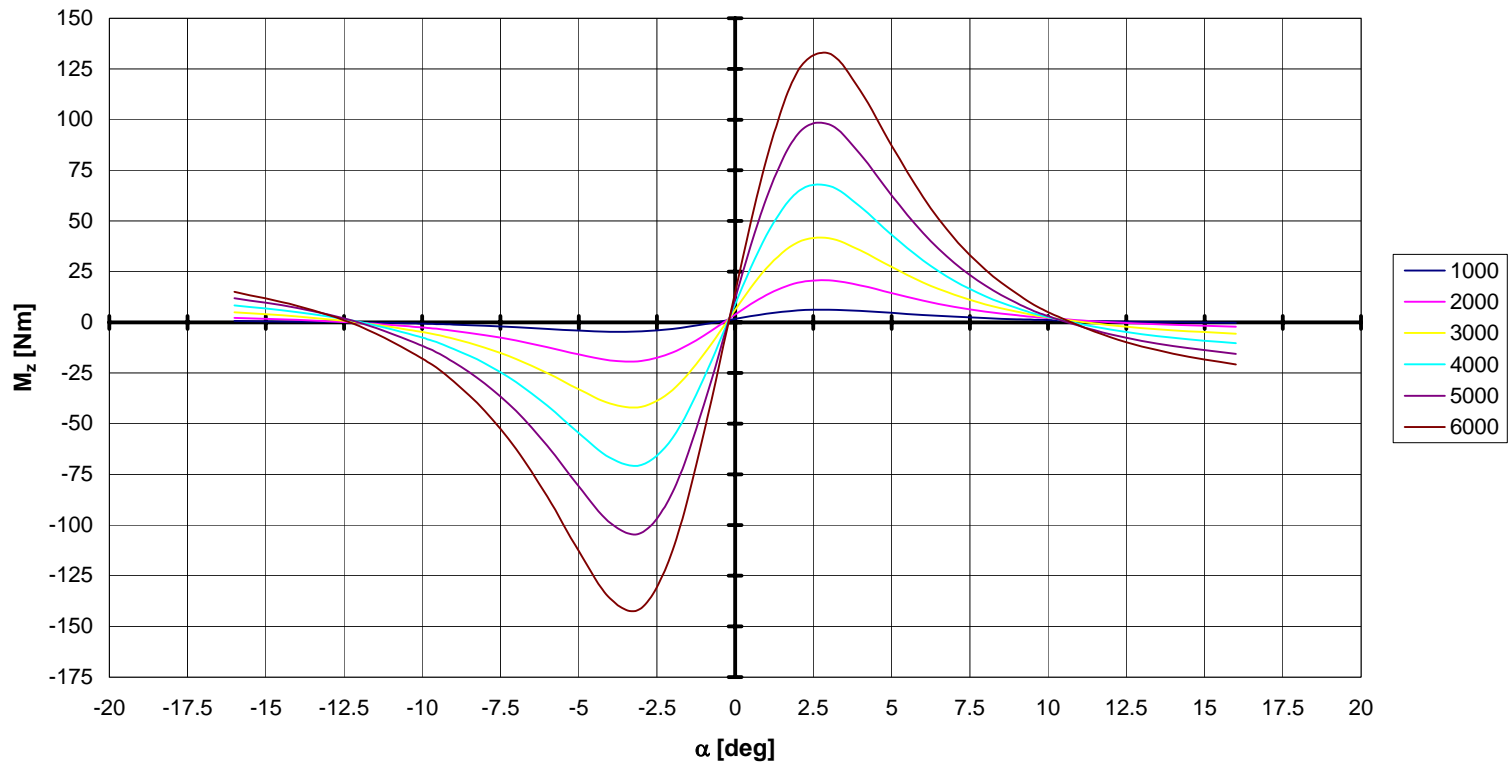
F_x e F_y : ellisse di aderenza



- ❑ La forza sviluppata dal pneumatico (G) è la combinazione della forza F_x e F_y .
- ❑ Se la forza G rimane all'interno dell'ellisse di aderenza (**zona stabile**) la vettura si trova in assetto **stabile** (figura in alto).
- ❑ Se la forza G esce dall'ellisse di aderenza (**zona instabile**) la vettura si trova in assetto **instabile** (figura in basso).

Pneumatici: Momento Autoallineante M_z

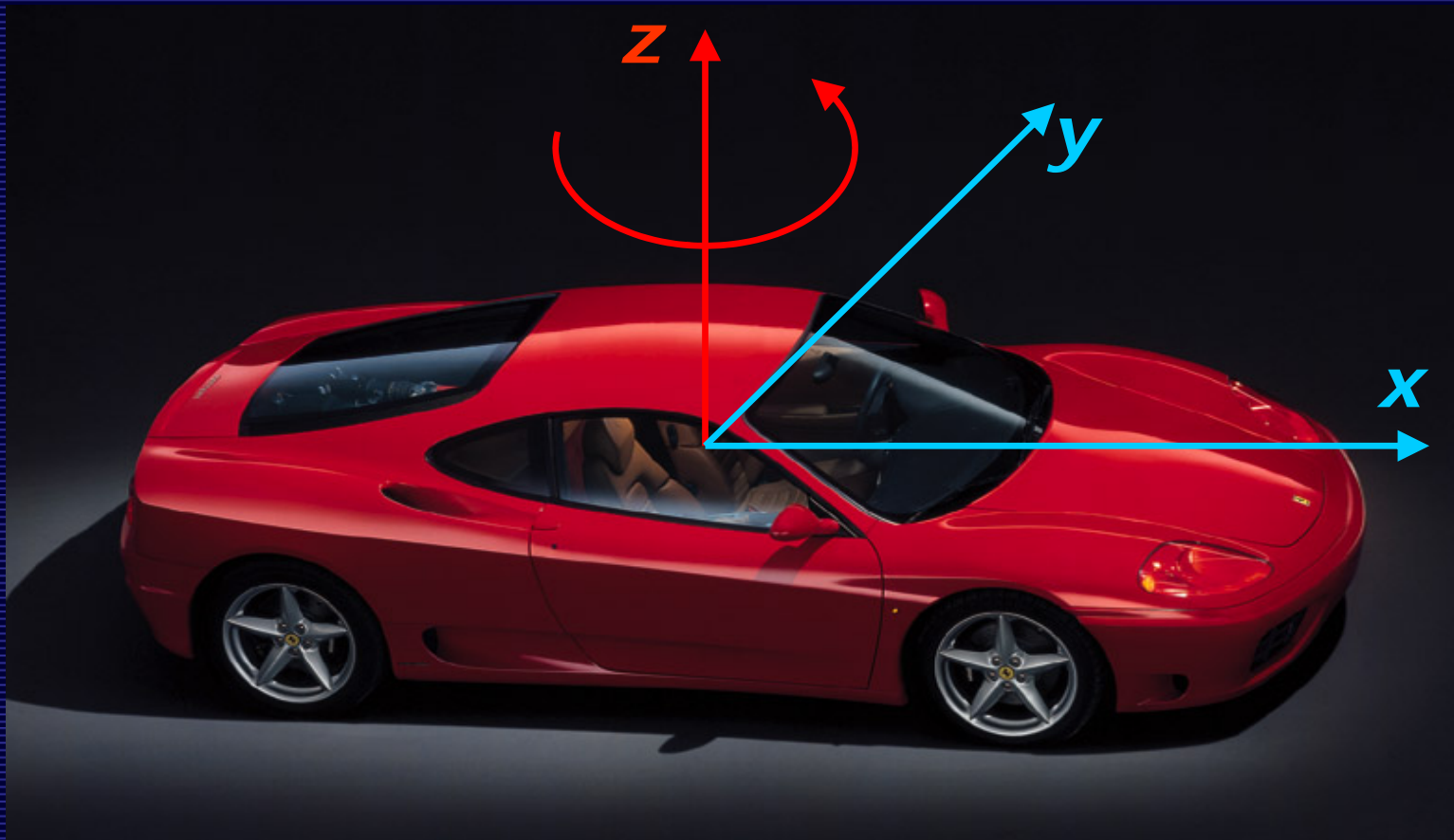
Momento autoallineante vs. angolo di deriva



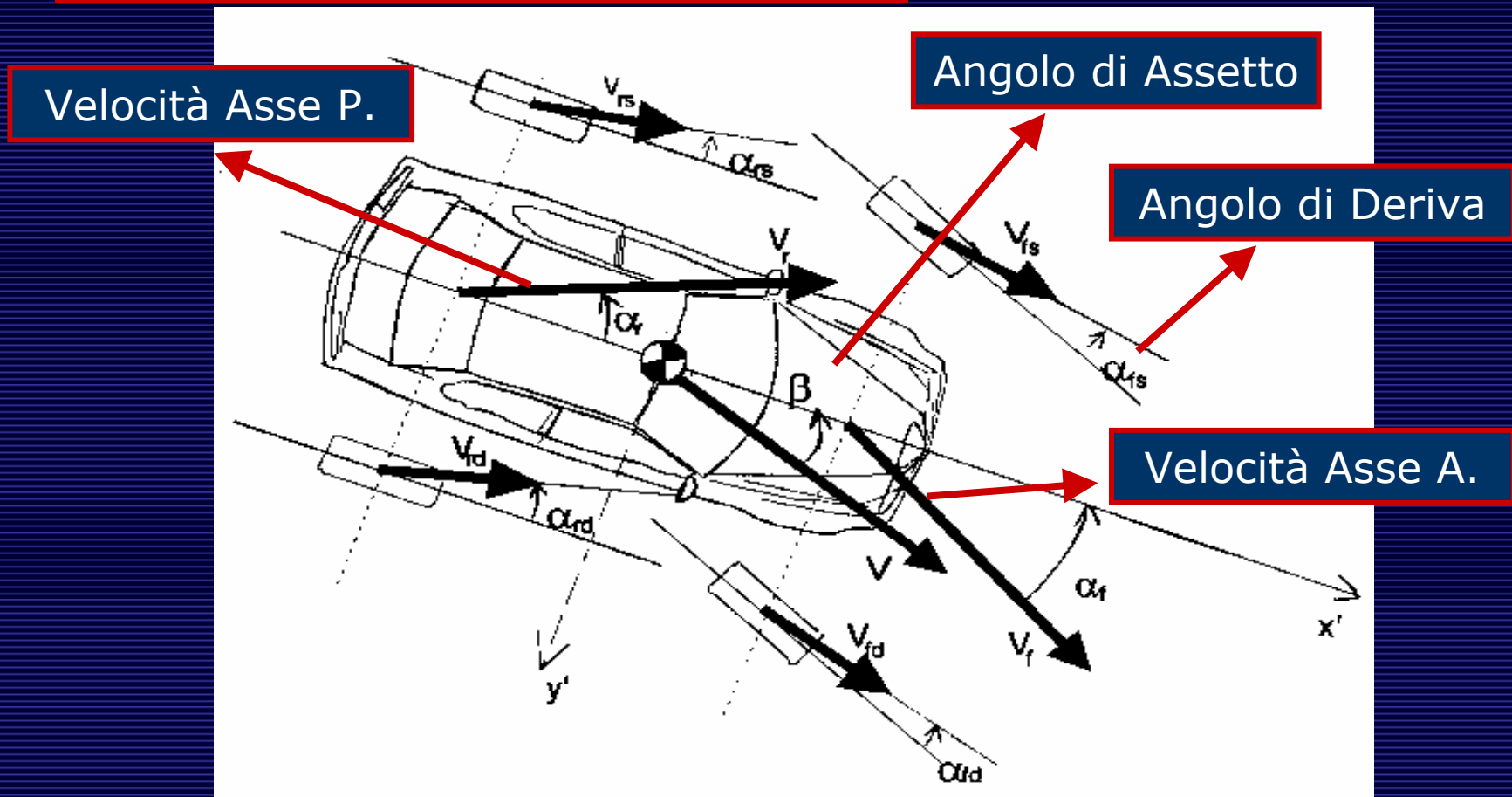
Sommario

- ❑ Obiettivi del Sistema di Controllo Stabilità
- ❑ I Pneumatici
- ❑ Sistema vettura
- ❑ Il controllo di stabilità
- ❑ Hardware installato in vettura
- ❑ Esempio: la strategia ABS

Il sistema di riferimento vettura



L'angolo di Assetto β



L'angolo di Assetto β

- ❑ Quando le ruote sono sterzate il momento imbardante è generato dalle forze laterali delle gomme.
- ❑ Il momento imbardante genera una certa velocità di imbardata.
- ❑ Il momento imbardante dipende quindi dall'angolo di deriva dei pneumatici.
- ❑ Più aumenta l'angolo di assetto più diventa difficile generare un momento imbardante.
- ❑ Ad angoli di assetto limite il momento imbardante è **marginalmente** influenzato dalla variazione dell'angolo sterzante.
- ❑ Al limite fisico è impossibile controllare la vettura con lo sterzo.
- ❑ Angoli di assetto critici:
 - 10° su superfici ad alta aderenza;
 - 2° su superfici a bassa aderenza.

Sommario

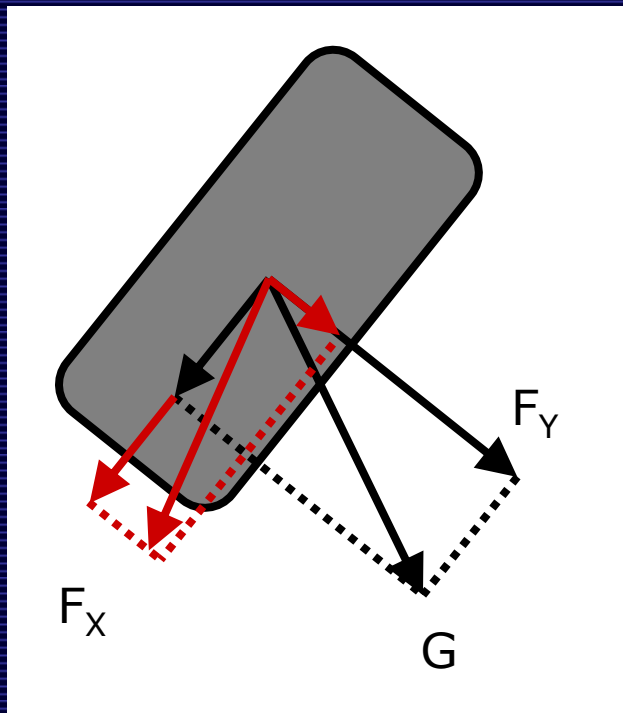
- ❑ Obiettivi del Sistema di Controllo Stabilità
- ❑ I Pneumatici
- ❑ Sistema vettura
- ❑ Il controllo di stabilità
- ❑ Hardware installato in vettura
- ❑ Esempio: la strategia ABS

Caratteristiche del sistema ESP

Il sistema deve:

- ❑ Prevenire le situazioni di **panico** nel guidatore.
- ❑ Rendere le reazioni del veicolo al limite **analoghe** a quelle in condizioni normali.
- ❑ Intervenire quando ancora ci sono **margini di correzione** del veicolo.
- ❑ Essere robusto nei confronti delle **variazioni delle condizioni** vettura:
 - usura, modello e dimensione ruote;
 - massa vettura;
 - situazione di marcia (aderenza, pendenza, ecc.).

Modalità Intervento ESP

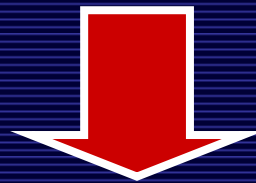


- Durante una curva si sviluppano una forza laterale F_Y e una forza laterale F_X .
- Se viene applicata una forza frenante aumenta la F_X e diminuisce la F_Y .
- Se sono vicino alle condizioni limite in pratica non varia il modulo del vettore G , ma solo la direzione.
- In questo modo è possibile imprimere un momento imbardante alla vettura.

Caratteristiche del sistema ESP

Il sistema per ottenere tali prestazioni deve:

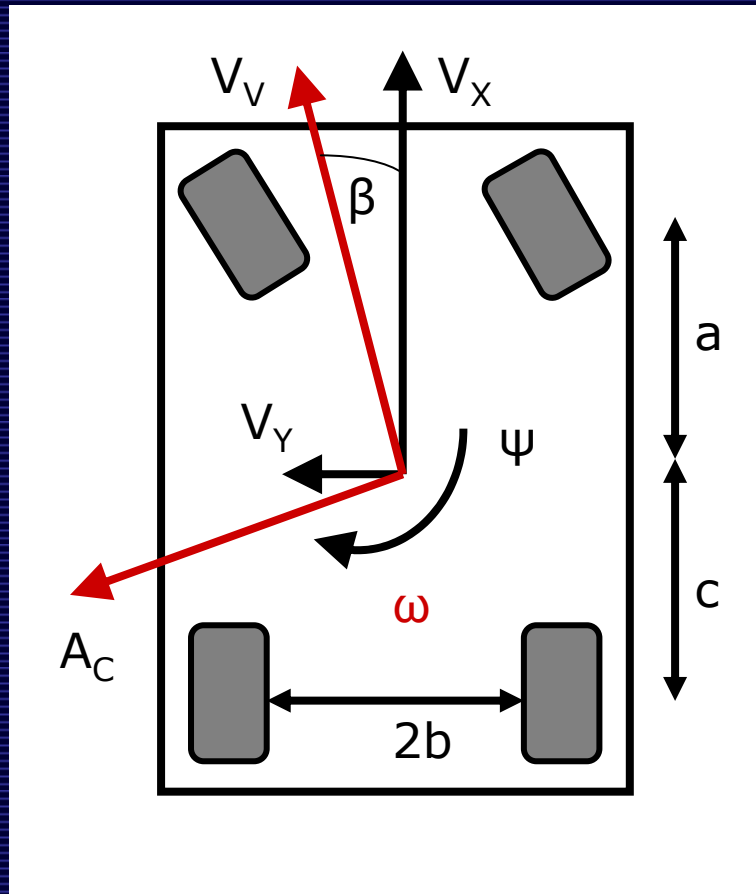
- ❑ Stimare e controllare l'angolo di assetto β della vettura (non è misurabile);
- ❑ Stimare il coefficiente di aderenza μ di ogni ruota (non è misurabile).



Si utilizzano:

- ❑ Velocità di imbardata (misurabile);
- ❑ Accelerazione laterale (misurabile);
- ❑ Modello dinamico della vettura.

Modello Dinamico



- V_x : Velocità Longitudinale
- V_y : Velocità Laterale
- V_v : Velocità del veicolo
- A_c : Accelerazione Centripeta
- ψ : Velocità Imbardata Veicolo
- ω : Velocità di Rotazione
- β : Angolo di Assetto

Modello Dinamico

$$\dot{\beta} = \omega - \dot{\psi}$$

$$\dot{\beta} = -\dot{\psi} + \frac{A_C}{V_V}$$

$$\dot{\beta} = -\dot{\psi} + \frac{1}{V_V} (A_Y \cos(\beta) - A_X \sin(\beta))$$

$$\cos(\beta) = \frac{1}{1 + \beta^2}$$

$$\sin(\beta) = \frac{\beta}{1 + \beta^2}$$

Modello Dinamico

$$\dot{\beta} = -\dot{\psi} + \frac{A_Y}{V_V} \frac{1}{1 + \beta^2} - \frac{A_X}{V_V} \frac{\beta}{1 + \beta^2}$$

$$\dot{\beta} = \frac{1}{1 + \cancel{\beta^2}} \left[\frac{A_Y}{V_V} - \dot{\psi} - \cancel{\beta} \frac{A_X}{V_V} - \cancel{\beta^2} \dot{\psi} \right]$$

Se l'angolo di assetto è piccolo e la velocità è costante l'equazione può essere ridotta e integrata:

$$\beta(t) = \beta_0 + \int_0^t \dot{\beta} dt = \beta_0 + \int_0^t \left\{ \frac{A_Y}{V_V} - \dot{\psi} \right\} dt$$

Modello Dinamico

- ❑ Nella stima del β oltre alle variabili vengono integrati anche i loro errori.
- ❑ Nelle manovre di emergenza il beccheggio e il rollio non possono essere trascurati.
- ❑ Viene utilizzato un **observer** basato su un modello a 4 ruote per stimare meglio β .
- ❑ L'**observer** usa 2 equazioni dinamiche:
 - Velocità di Imbardata;
 - Velocità Laterale.

Modello Dinamico

$$m_V (-A_Y - V_X \cdot \dot{\psi}) = (F_{Y1} + F_{Y2}) \cdot \cos(\delta_w) + -(F_{X1} + F_{X2}) \cdot \sin(\delta_w) + F_{Y3} + F_{Y4}$$

$$J_V \cdot \ddot{\psi} = -[(F_{Y1} + F_{Y2}) \cdot \cos(\delta_w) \cdot a - (F_{X1} + F_{X2}) \cdot \sin(\delta_w) \cdot b] + (F_{Y3} + F_{Y4}) \cdot c + (F_{X1} + F_{X2}) \cdot \sin(\delta_w) \cdot a + (F_{X1} + F_{X2}) \cdot \cos(\delta_w) \cdot b + (F_{X3} + F_{X4}) \cdot b$$

Modello Dinamico

- Le forze longitudinali possono essere stimate da:
 - Forza Motrice
 - Forza Frenante
 - Dinamica Ruota

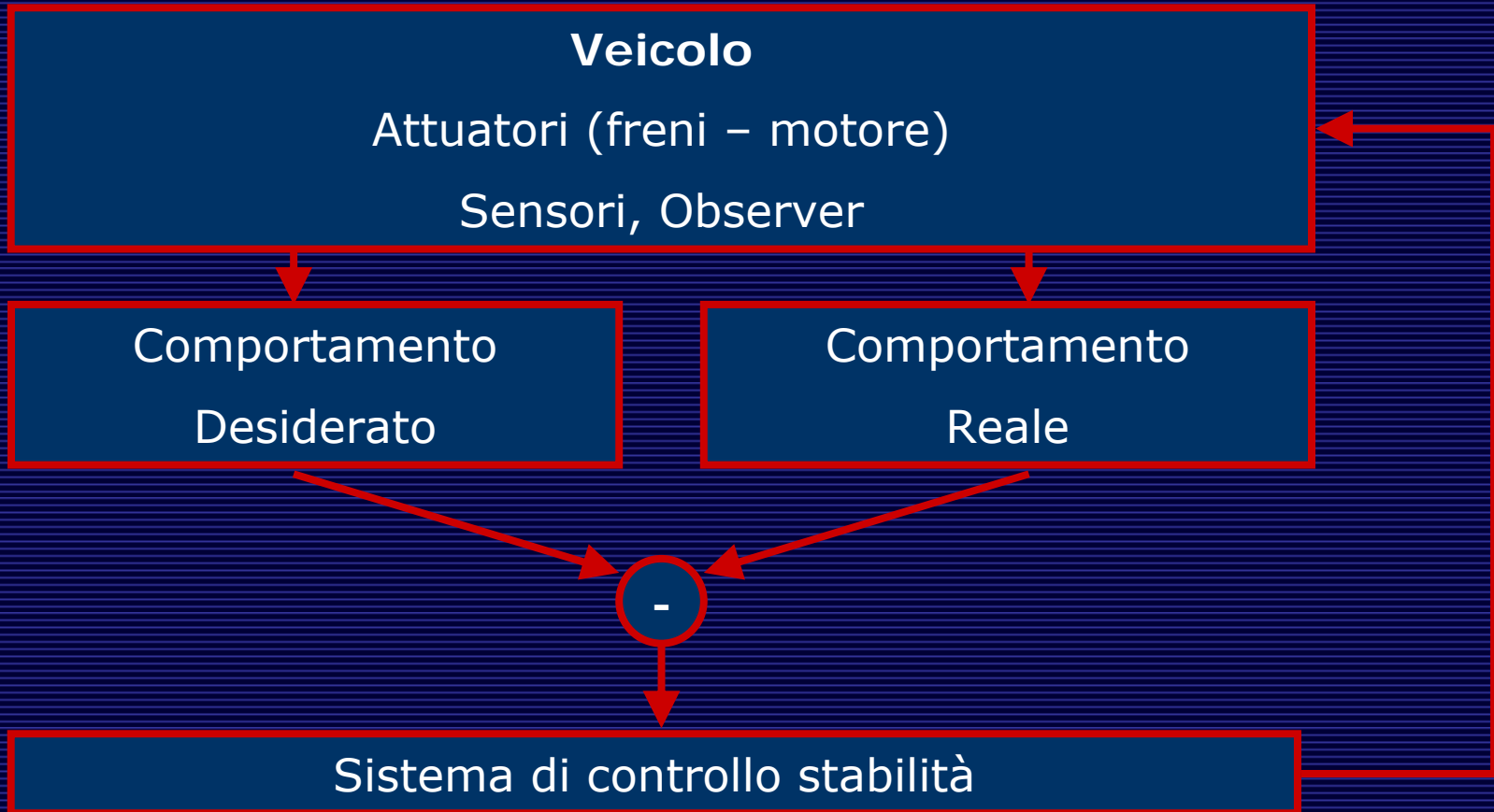
- Le forze laterali possono essere stimate a partire da quelle longitudinali utilizzando un modello HSRI che utilizza:
 - Rigidity Longitudinale del pneumatico
 - Rigidity Laterale del pneumatico
 - Scorrimento
 - Carico Verticale
 - Angolo di deriva

Modello Dinamico

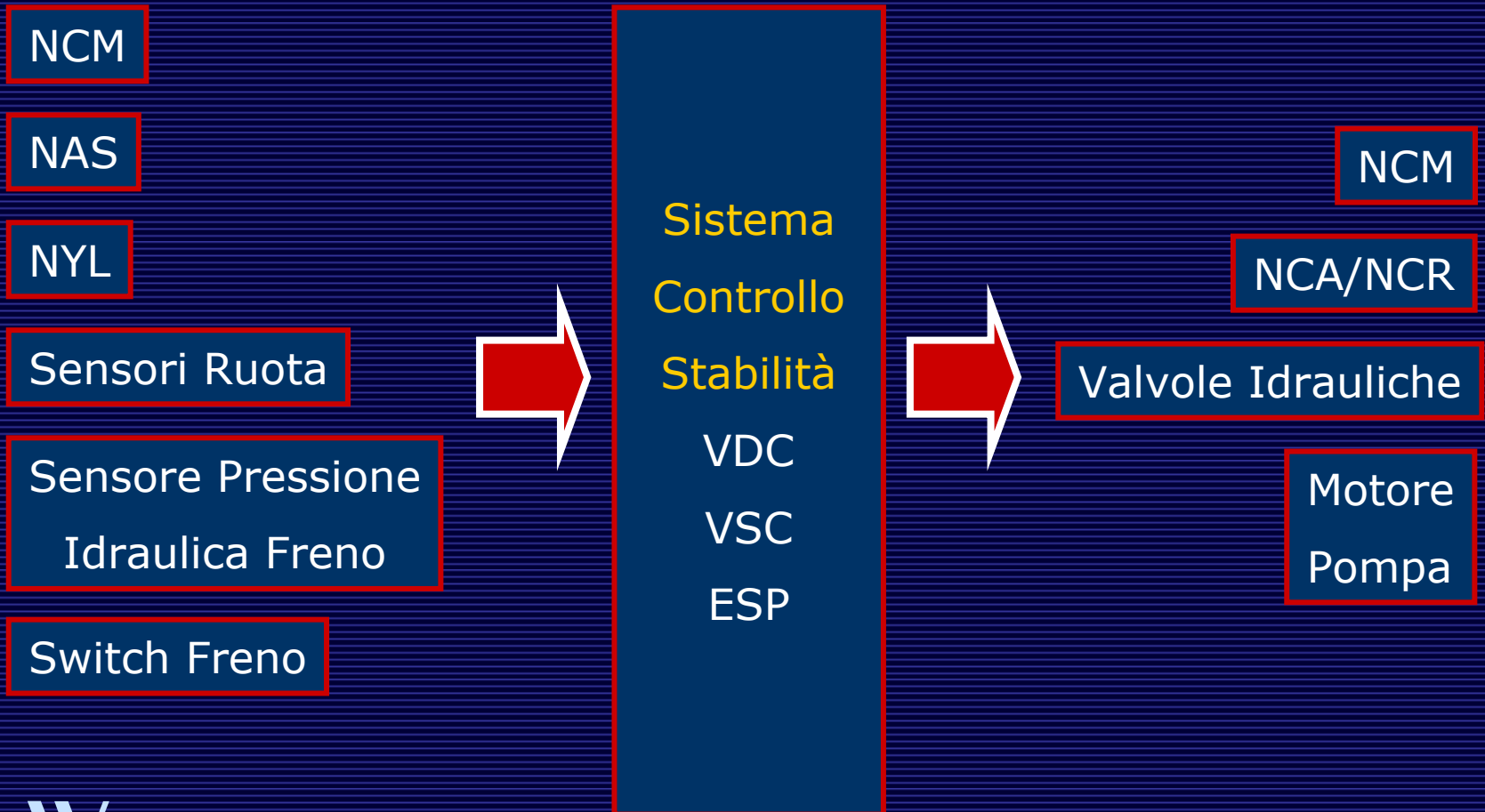
- Inoltre viene sempre fatto un controllo di plausibilità sulla velocità di imbardata tramite:

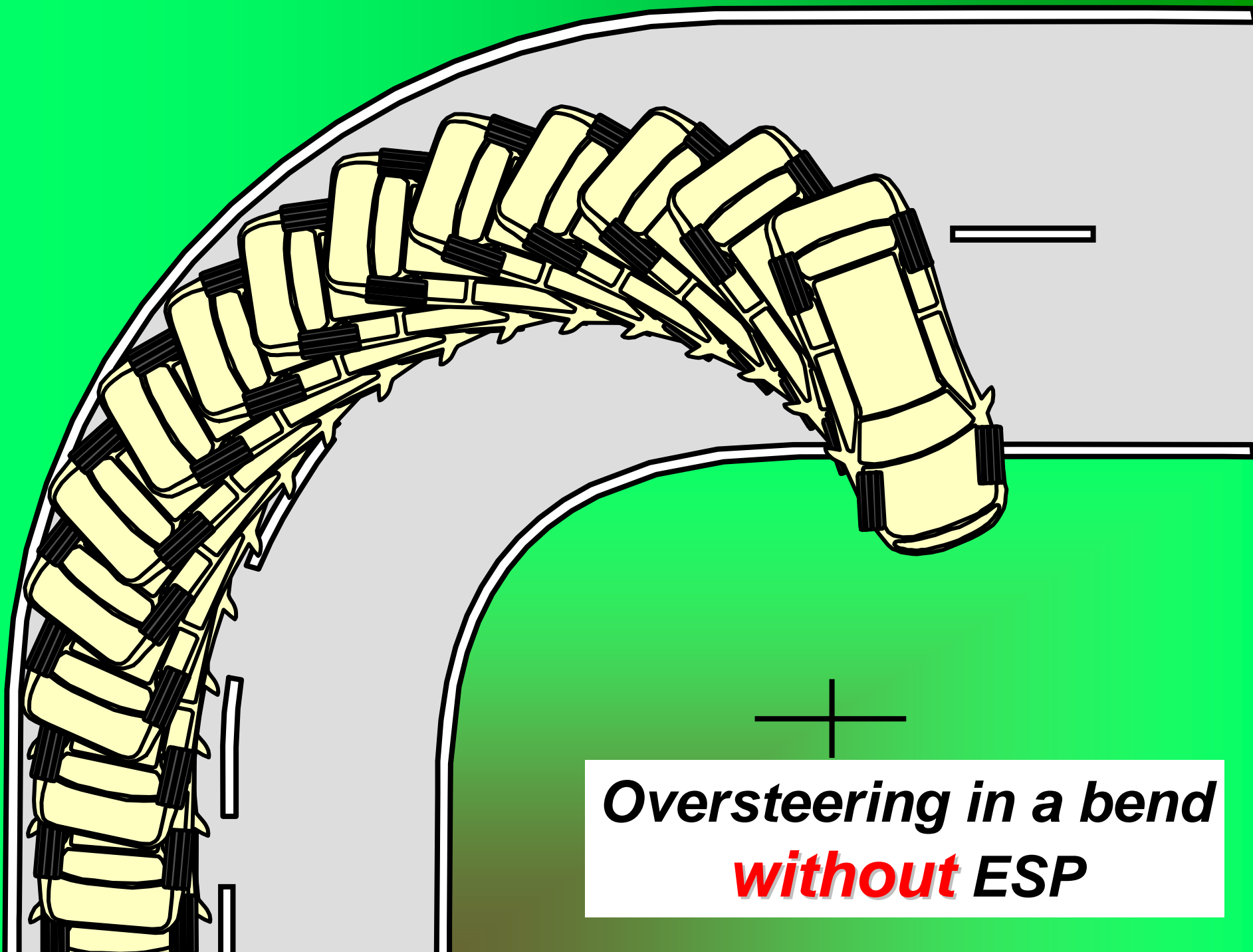
$\dot{\Psi}_{real} = \dot{\Psi}_{mis}$	Misurata
$\dot{\Psi}_{\delta Vol} = \frac{\delta_f \cdot V}{l + Kus \cdot V^2} = \frac{\delta_f \cdot V}{L \left(1 + \frac{V^2}{V_{ch}^2} \right)}$	Angolo Volante
$\dot{\Psi}_{ay} = \frac{a_y}{V}$	Accelerazione Laterale
$\dot{\Psi}_{speed} = \frac{\Delta V}{t}$	Velocità Ruote

Sistema di Controllo Stabilità: Schema a blocchi

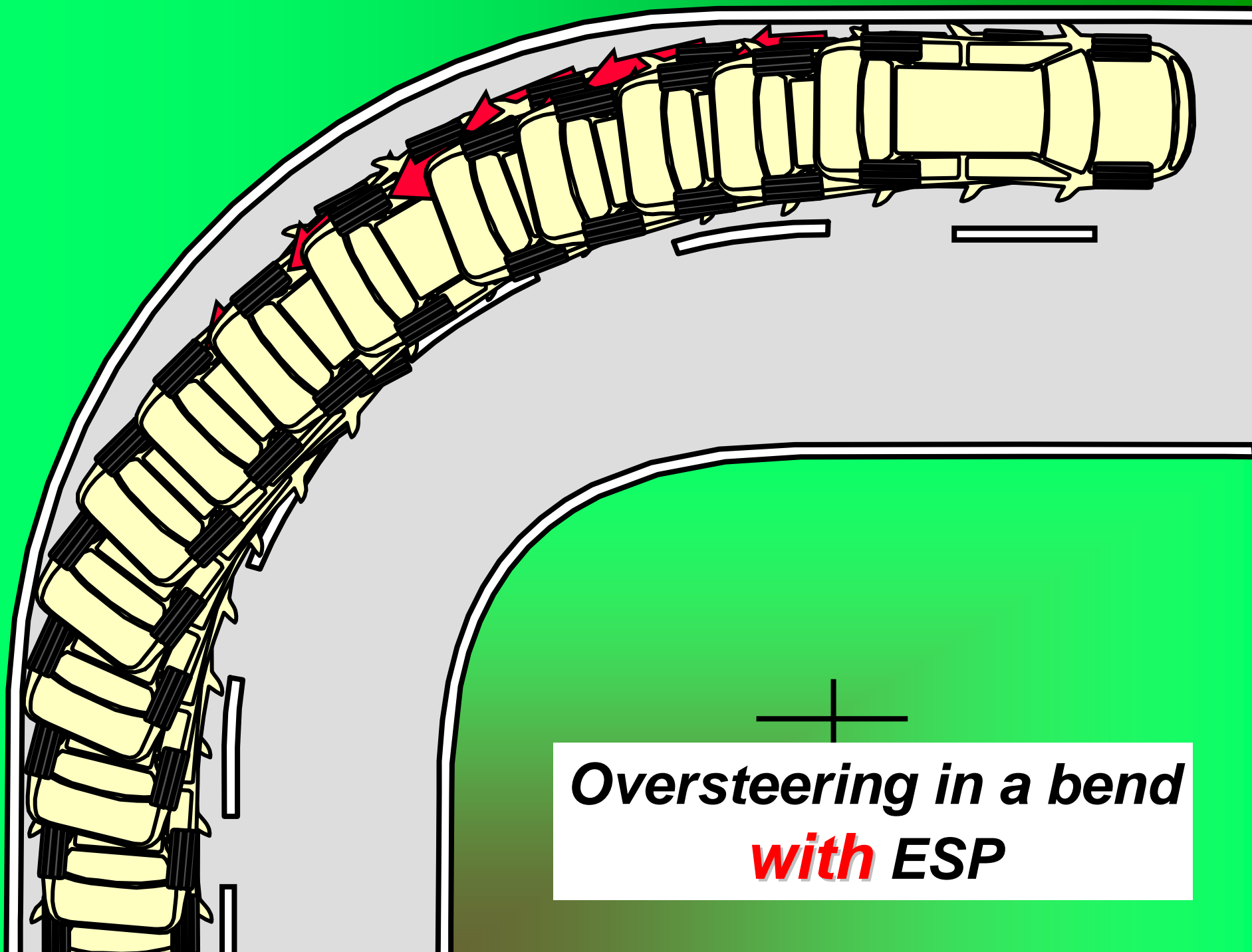


Sistema di Controllo Stabilità: Interfacciamento vettura

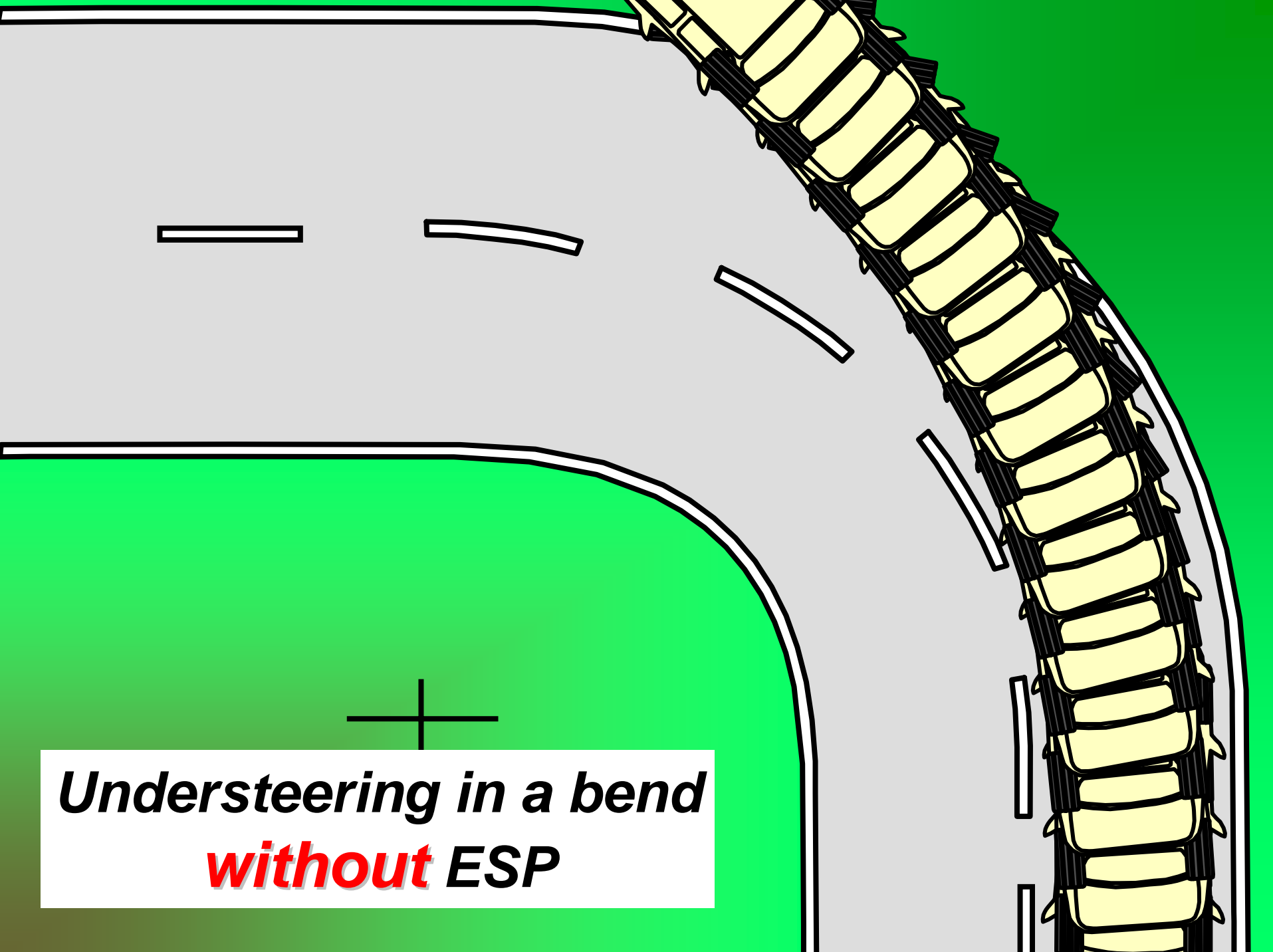




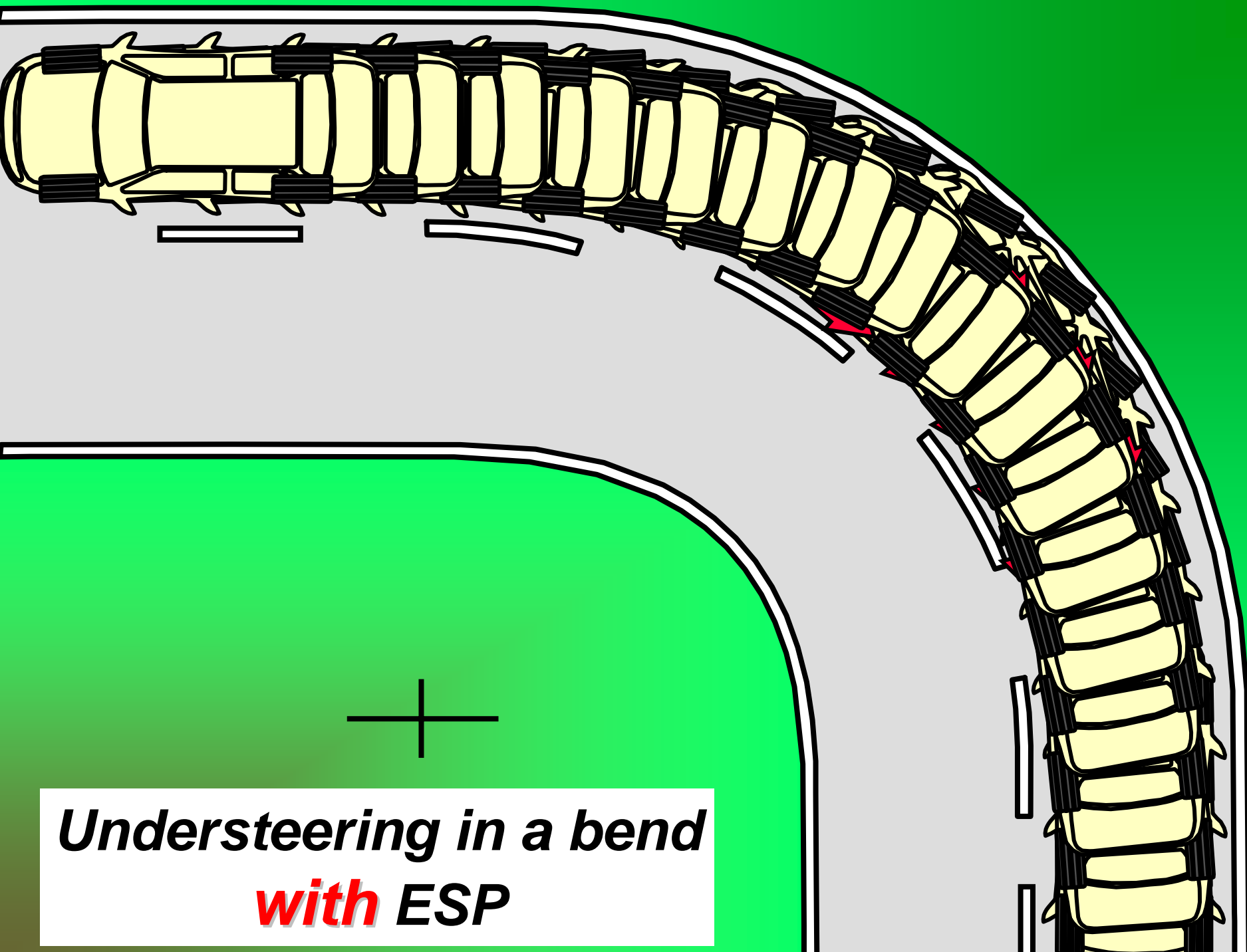
Oversteering in a bend
***without* ESP**



Oversteering in a bend
***with* ESP**



Understeering in a bend
without ESP

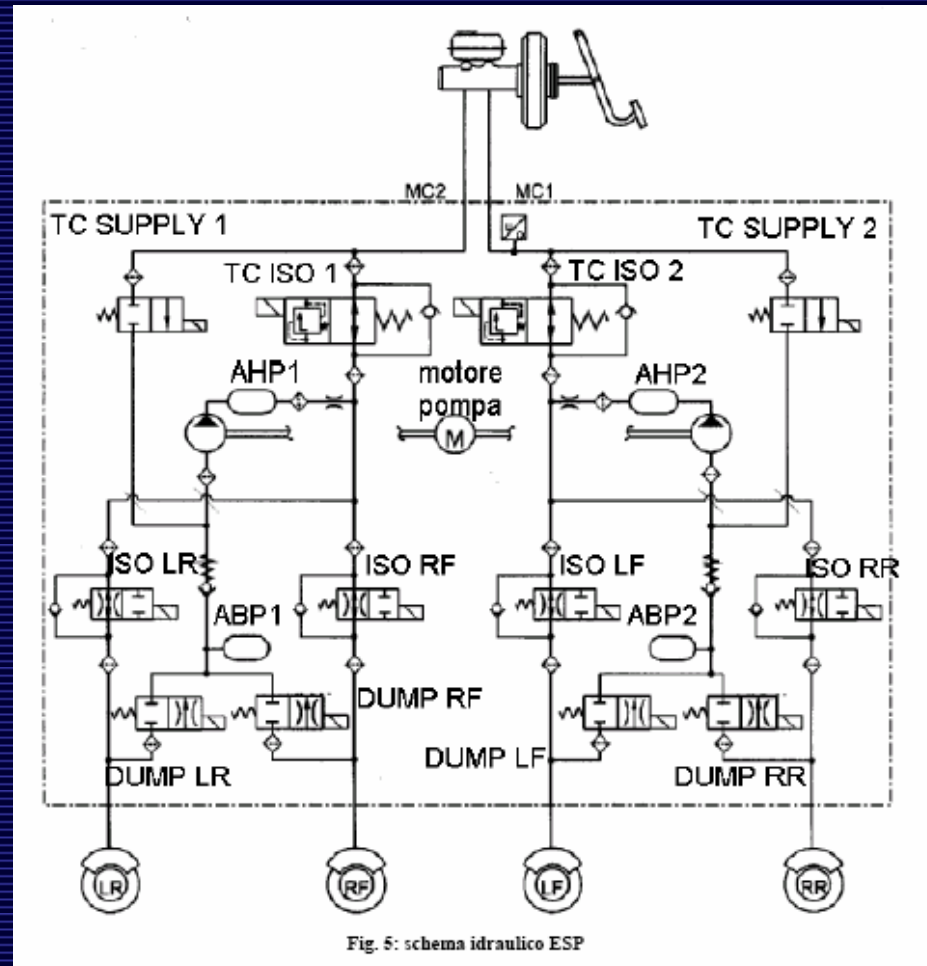


*Understeering in a bend
with ESP*

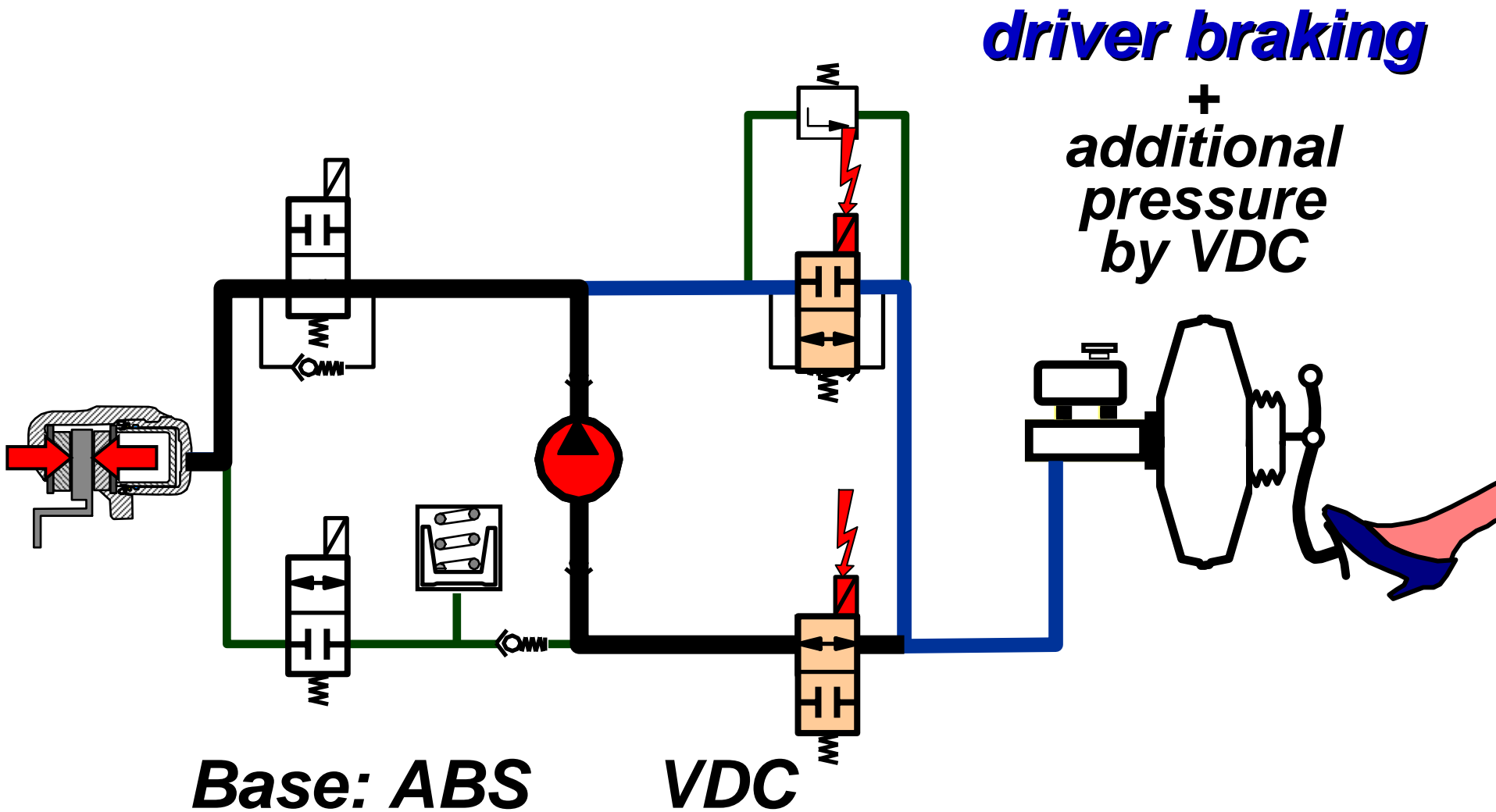
Sommario

- ❑ Obiettivi del Sistema di Controllo Stabilità
- ❑ I Pneumatici
- ❑ Sistema vettura
- ❑ Il controllo di stabilità
- ❑ Hardware installato in vettura
- ❑ Esempio: la strategia ABS

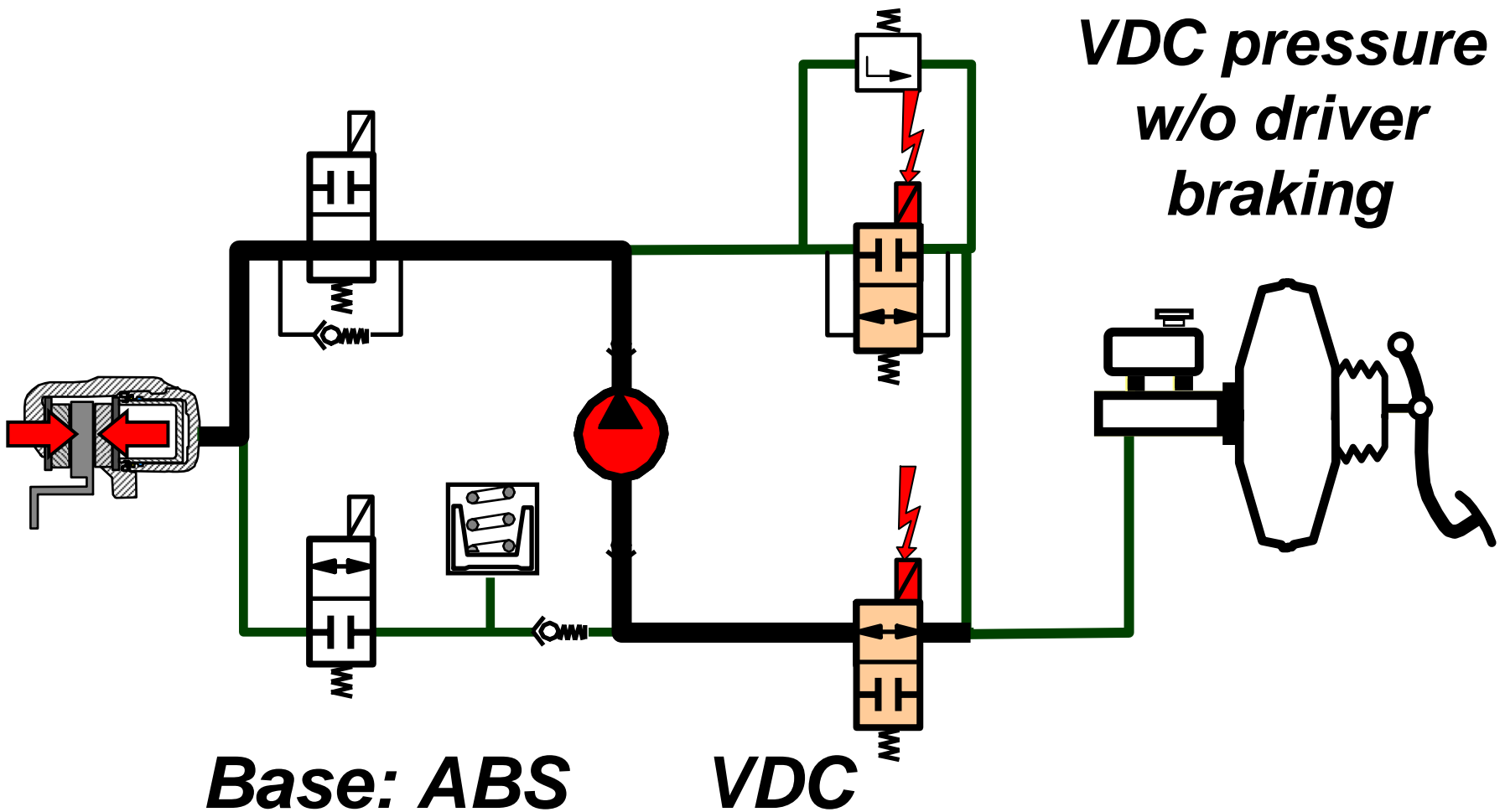
Sistema di controllo stabilità: Schema idraulico



Sistema di Controllo Stabilità



Sistema di Controllo Stabilità



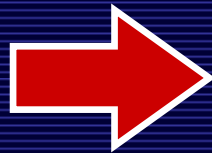
HW installato in vettura

Il sistema ESP è composto da:

- Sistema integrato Idraulico/Elettronico
 - Hydraulic Control Unit (HCU)
 - Electronic Control Unit (ECU)
- Sensori velocità ruote
- Sensori imbardata e accelerazione laterale
- Elettrovalvole pinza
- Elettrovalvole ISO e DUMP
- Motore Pompa

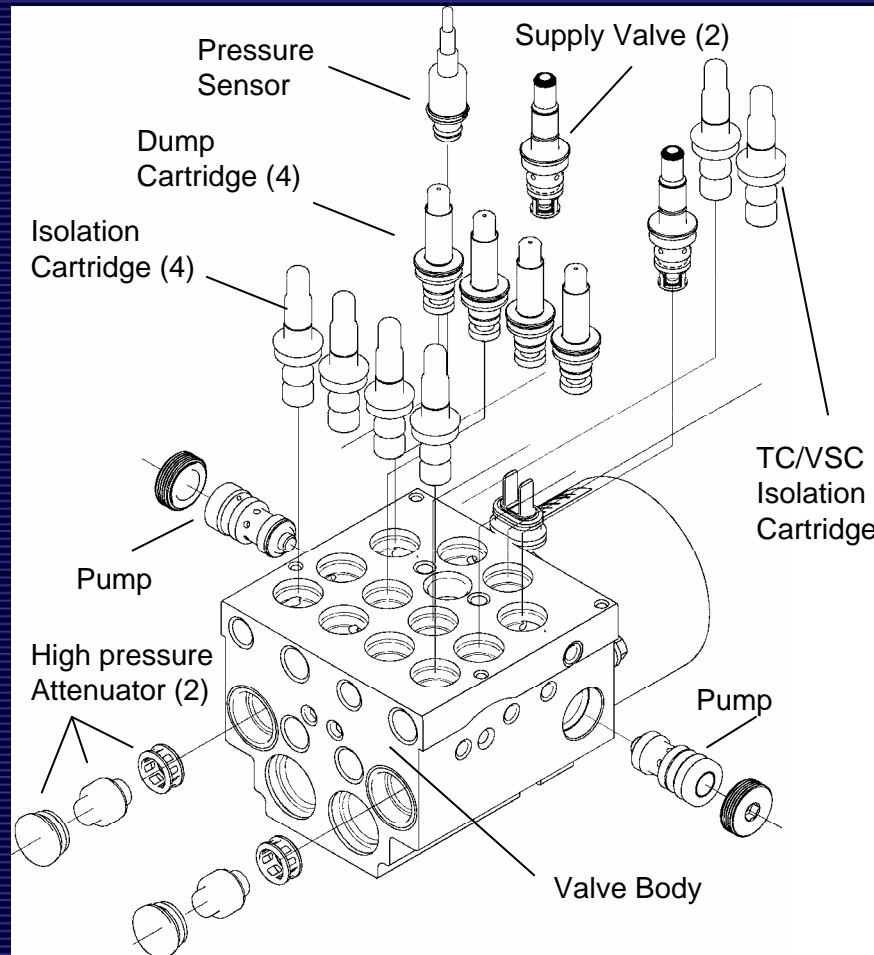
HW installato in vettura

Sistema integrato IDRAULICO ELETTRONICO



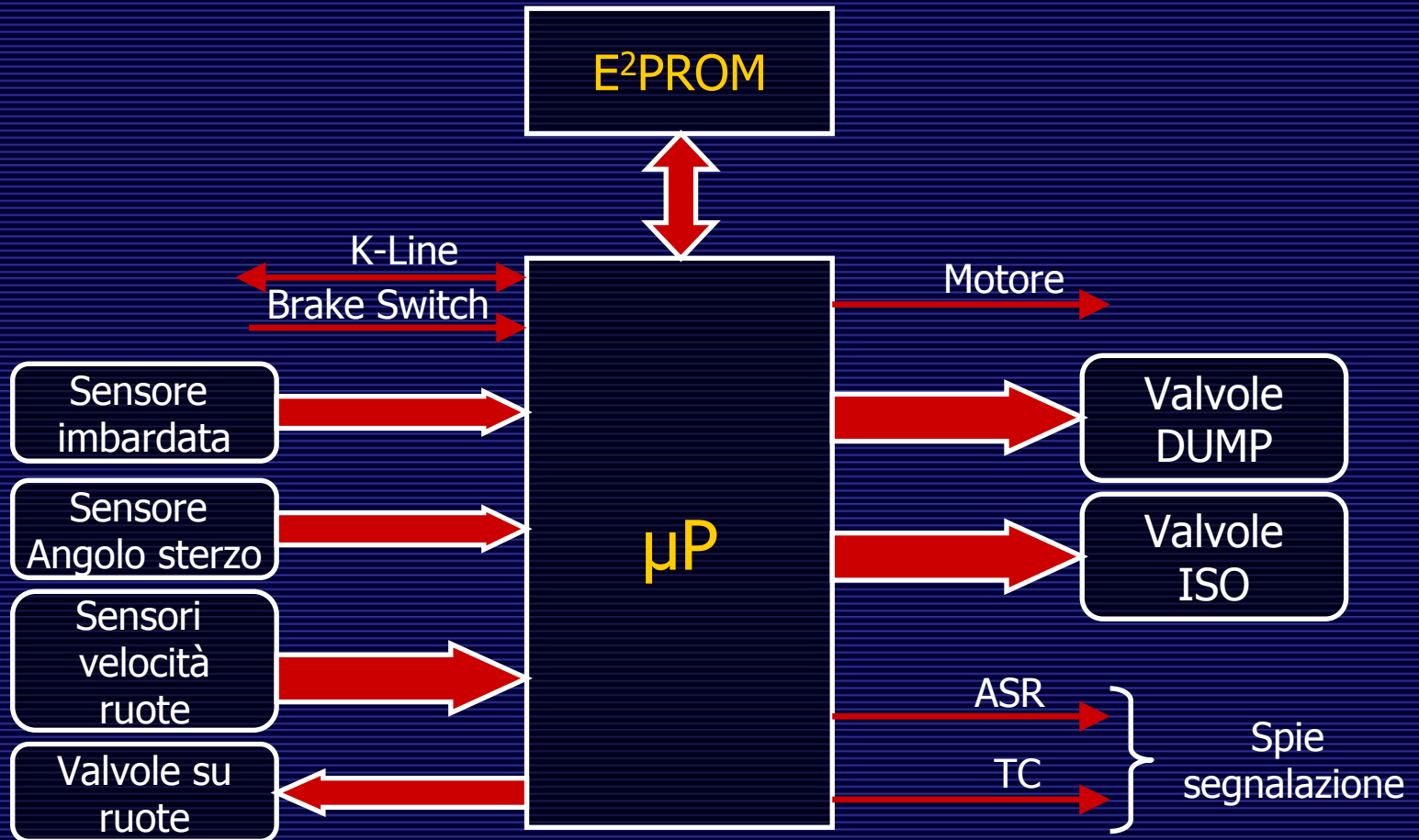
HW installato in vettura

Hydraulic Central Unit (HCU)



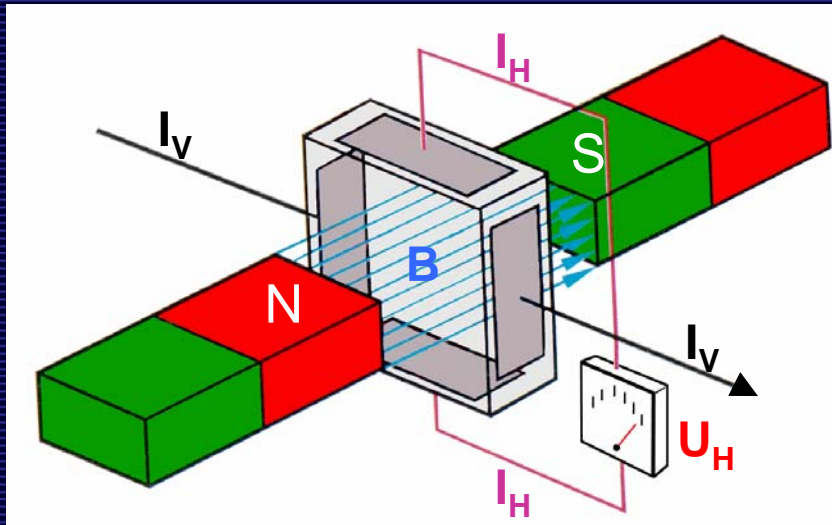
HW installato in vettura

Electronic Control Unit (ECU)



HW installato in vettura

Sensori Velocità Ruote

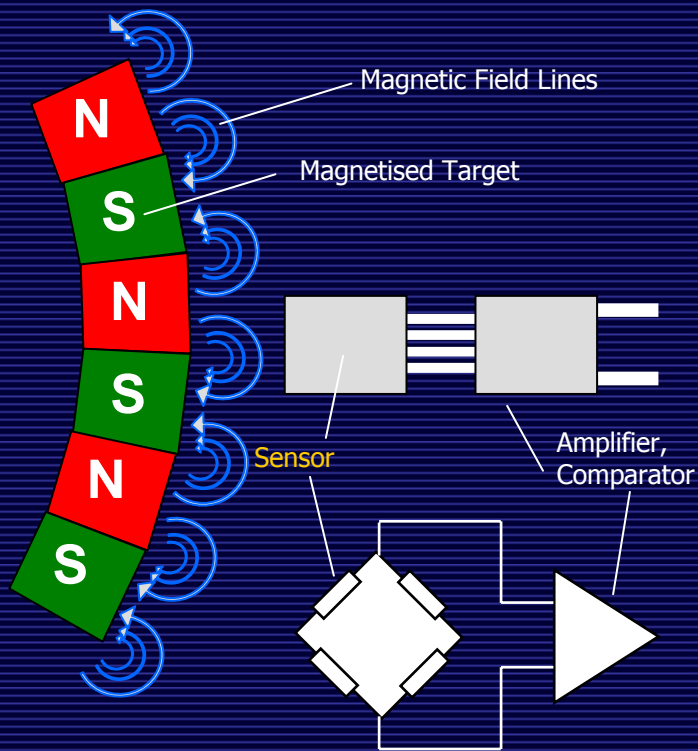


Se un conduttore percorso da corrente è immerso in un campo magnetico perpendicolare alla corrente, sulle facce perpendicolari alla corrente e al campo si genera una *fem* (U_H) proporzionale sia al campo (B) che alla corrente (I_V).

- I_V = Corrente di pilotaggio
- U_H = Tensione Hall
- I_H = Corrente di Hall
- B = Campo magnetico

HW installato in vettura

Sensori Velocità Ruote

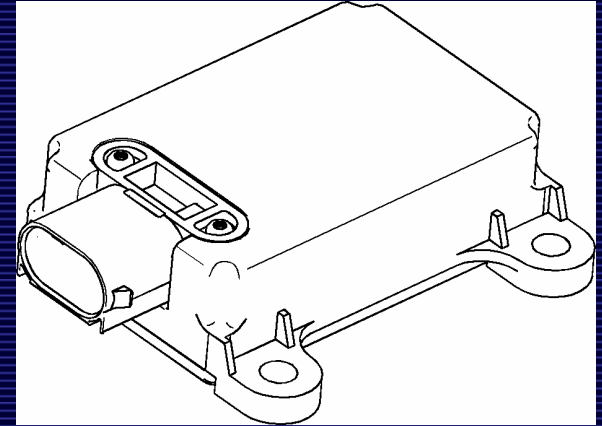


- ❑ Comprensivo di rilevatore e circuito di condizionamento.
- ❑ La tensione rilevata viene condizionata e l'uscita è un'onda quadra.

HW installato in vettura

Sensore di imbardata e di accelerazione laterale

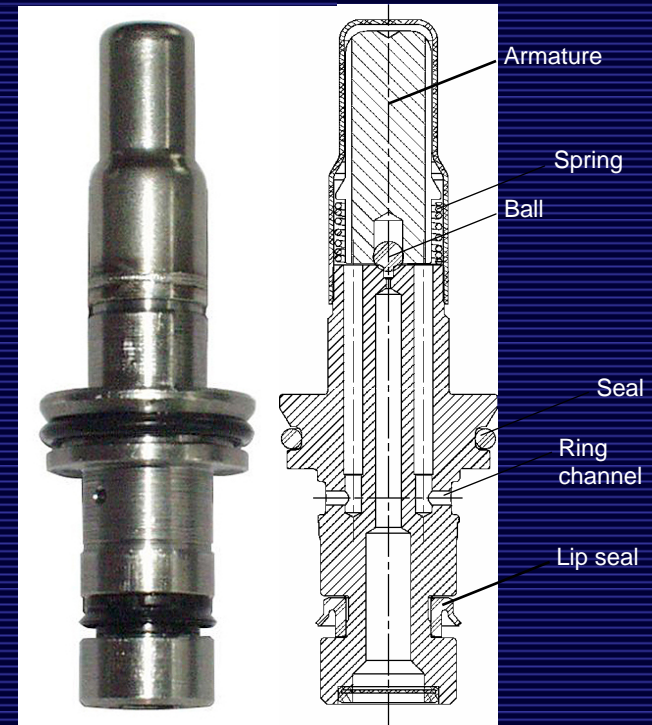
- ❑ Sensore Imbardata:
 - Basato sul principio di Coriolis
 - Misura fino a $\pm 93^\circ/s$
- ❑ Sensore di accelerazione laterale
 - Basato sulla misura di capacità differenziali
 - Misura fino a $\pm 14m/s^2$
- ❑ Altre caratteristiche
 - Comunica su C-CAN
 - Ha funzionalità autodiagnostiche



HW installato in vettura

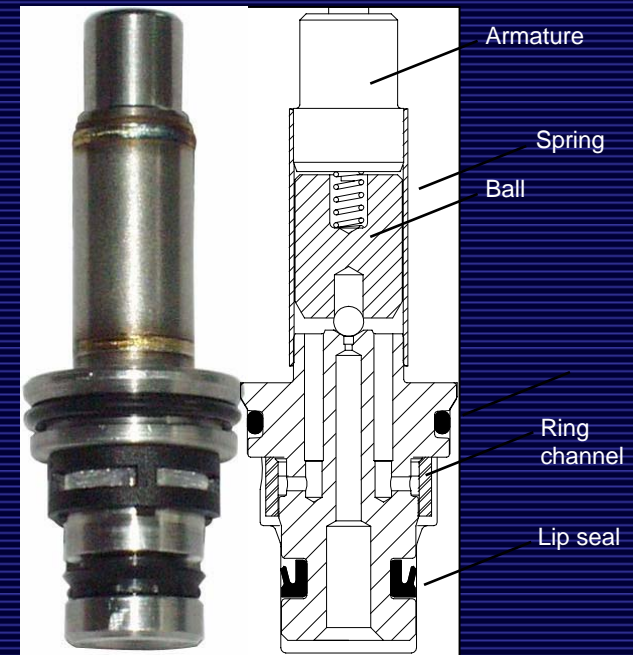
Elettrovalvole Isolation Pinza (4)

- ❑ La valvola di isolamento è posizionata nel circuito idraulico tra il *master cylinder* e permette la libera circolazione dell'olio durante le fasi di frenatura normale.
- ❑ Durante la fase di isolamento la valvola chiude il circuito idraulico prevenendo ulteriori incrementi di pressione sulla pinza freno.
- ❑ La valvola rimane chiusa anche durante la fase di mantenimento della pressione.



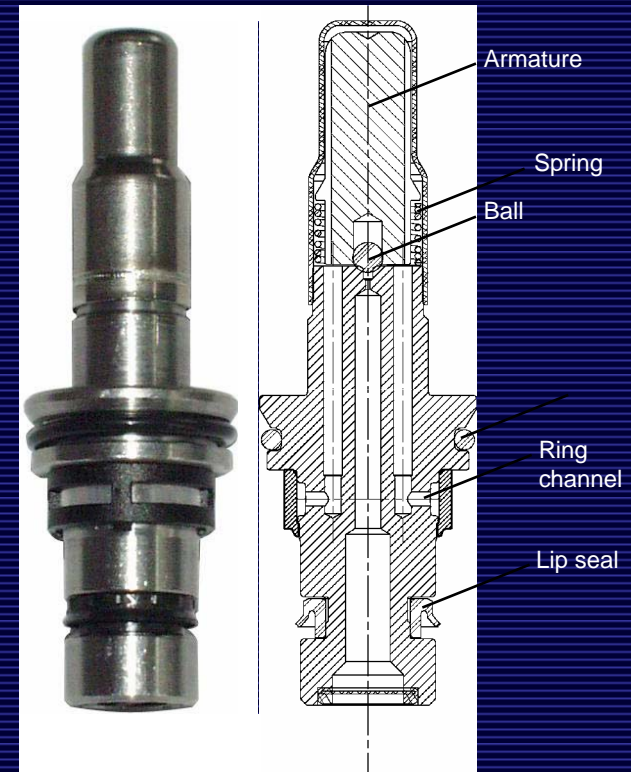
HW installato in vettura Elettrovalvole DUMP (4)

- ❑ Le valvole di DUMP generano un percorso tra le *isolation valve* (lato freni) e l'*accumulatore a bassa pressione*.
- ❑ Servono a mantenere chiuso questo percorso ad eccezione della fase di mantenimento.



HW installato in vettura Elettrovalvole Isolation (TC/VSC) (2)

- Sono sistemate sul circuito principale e permettono la normale percorrenza del fluido idraulico sia durante una frenata in sicurezza che con l'intervento dell'ABS.
- Quando è attivo il TC/VSC la valvola non permette il reflusso dalla pompa al *master cylinder*.



Sistema di controllo stabilità: Strategie di base

- **ESP**: Electronic Stability Program
- **ABS**: Antilock Brake System
 - **EBD**: Electronic Brake Distribution
 - **CDC**: Cornering Brake Control
- **ASR/TC**: Anti Slip Regulator/Traction Control
- **MSR**: Engine Drag Torque Control
- **HH**: Hill Holder

Sommario

- ❑ Obiettivi del Sistema di Controllo Stabilità
- ❑ I Pneumatici
- ❑ Sistema vettura
- ❑ Il controllo di stabilità
- ❑ Hardware installato in vettura
- ❑ Esempio: la strategia ABS

Strategia ABS

- ❑ Segnale **ABS_Active**
- ❑ Stima velocità di avanzamento
- ❑ Segnale **Vehicle_Moving**
- ❑ Calcolo scorrimenti longitudinali
- ❑ Calcolo delle soglie di scorrimento
- ❑ Stati di controllo
- ❑ Slip Control
 - Dump Strategy
 - Wheel Recovery
 - Apply Strategy
- ❑ Stima accelerazione longitudinale

Strategia ABS: Segnale **ABS_Active**

- ❑ Molte logiche di controllo adottano strategie diverse a seconda che la manovra di frenata sia assistita o meno dall'ABS.
- ❑ Per esempio il sistema EBD deve funzionare solamente in frenata normale, mentre in frenata assistita da ABS deve essere disattivato per non interferire con l'ABS stesso.
- ❑ Per la stima delle velocità di riferimento è necessario sapere quali ruote sono assistite dall'ABS o meno.

Strategia ABS:

Stima velocità di avanzamento

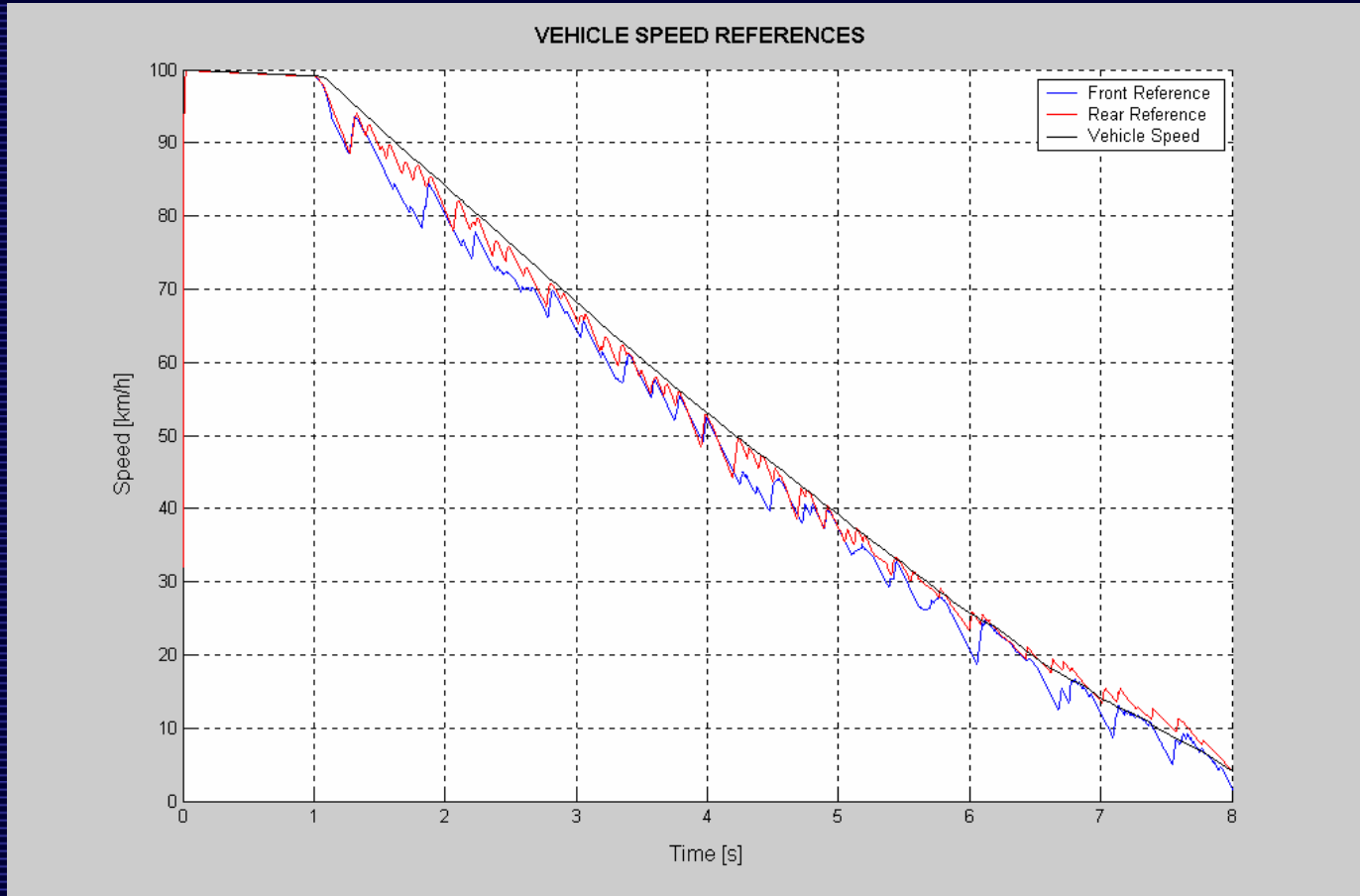
- ❑ Vengono stimate 2 velocità di riferimento:
 - Velocità Assale Anteriore
 - Velocità Assale Posteriore
- ❑ In condizioni di marcia **normale** la velocità di avanzamento del veicolo si discosta poco dalla velocità periferica dei pneumatici.
- ❑ In condizioni **limite** tali velocità sono molto diverse e quindi stime molto semplici (media, velocità più alta, ecc.) non sono sufficientemente accurate.
- ❑ E' necessaria una metodologia che operi in modo differente a delle condizioni di frenata.

Strategia ABS:

Stima velocità di avanzamento

- In condizione di **ABS OFF**:
 - Rear Reference: si considera la massima velocità tra le 2 ruote posteriori;
 - Front Reference: si considera la minima velocità posteriore se questa è minore della più alta anteriore. Altrimenti la minima anteriore.
- In condizione **ABS ON**:
 - Rear Reference: si considera la velocità più alta delle 4;
 - Front Reference: si considera la seconda velocità più alta.
- Le velocità delle ruote sono limitate in accelerazione e decelerazione da un **rate limiter** per filtrare valori non plausibili.

Strategia ABS: Stima velocità di avanzamento



Strategia ABS: Segnale `Vehicle_Moving`

- ❑ L'obiettivo dell'ABS è quello di impedire il bloccaggio delle ruote, ma esiste una situazione in cui è **necessario** bloccare le ruote...
- ❑ Quando, a bassissima velocità, voglio **fermare** il veicolo!!!
- ❑ Tale segnale serve per inibire completamente la strategia ABS quando la velocità del veicolo scende sotto una certa soglia (tipicamente 5Km/h).

Strategia ABS:

Calcolo scorrimenti longitudinali

Vengono utilizzate due diverse strategie per calcolare lo scorrimento delle ruote anteriori e posteriori:

- ❑ Per le ruote anteriori lo slip è semplicemente la differenza tra il **Front Reference** e la velocità periferica della ruota;
- ❑ Per le ruote posteriori vengono calcolati i due scorrimenti come differenza tra il **Rear Reference** e la velocità periferica della ruota e viene assegnato a entrambe le ruote il maggiore dei due.
- ❑ Tale strategia per il posteriore permette di aumentare la stabilità in frenata a scapito degli spazi di arresto.

Strategia ABS:

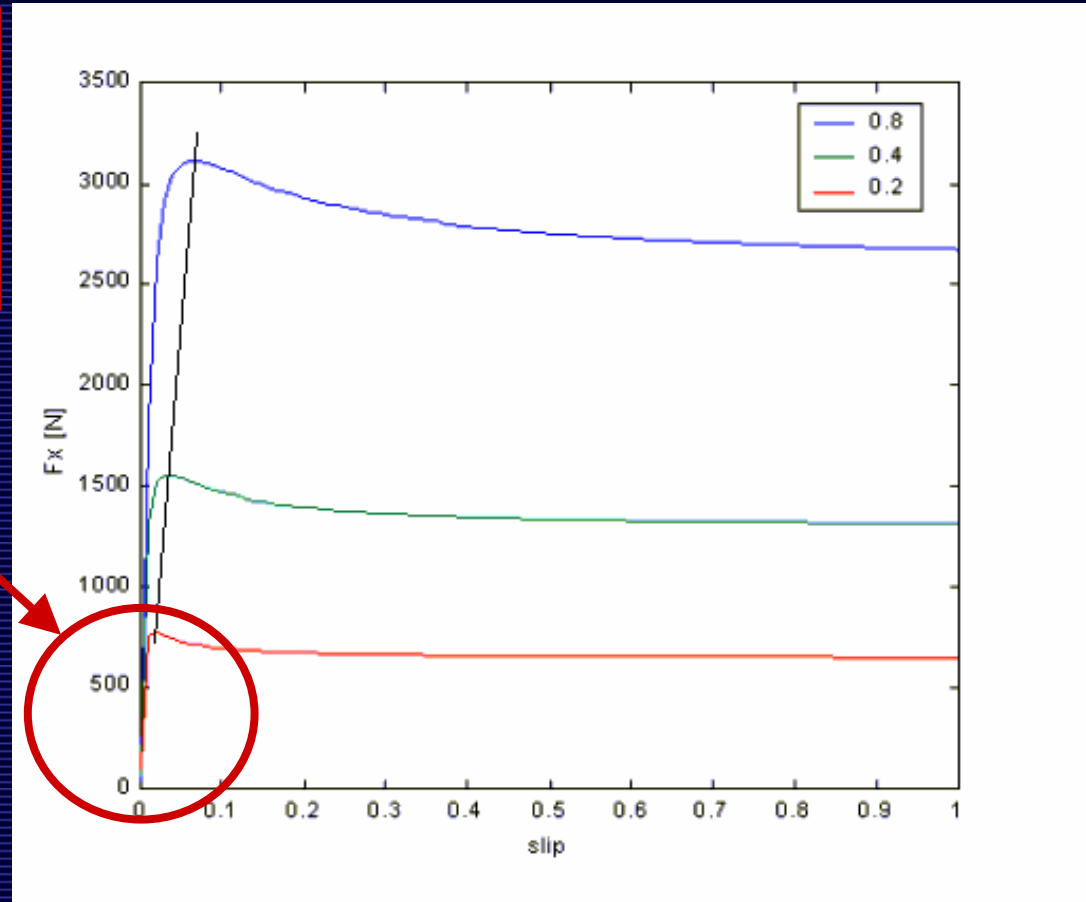
Calcolo delle soglie di scorrimento

- ❑ Una volta calcolati gli scorrimenti, questi vengono confrontati con delle soglie opportunamente calcolate. Se lo scorrimento eccede la soglia allora la ruota è in condizione di instabilità e deve intervenire il controllo.
- ❑ Le soglie sono espresse in percentuale rispetto alla velocità del veicolo.
- ❑ Le soglie percentuali possono provocare false attivazioni a bassa velocità e quindi sono limitate inferiormente da opportune soglie di calibrazione dette **Absolute Slip Thresholds**.

Strategia ABS: Calcolo delle soglie di scorrimento

Zona in cui interviene
la soglia assoluta:

**Absolute Slip
Thresholds**



Strategia ABS:

Calcolo delle soglie di scorrimento

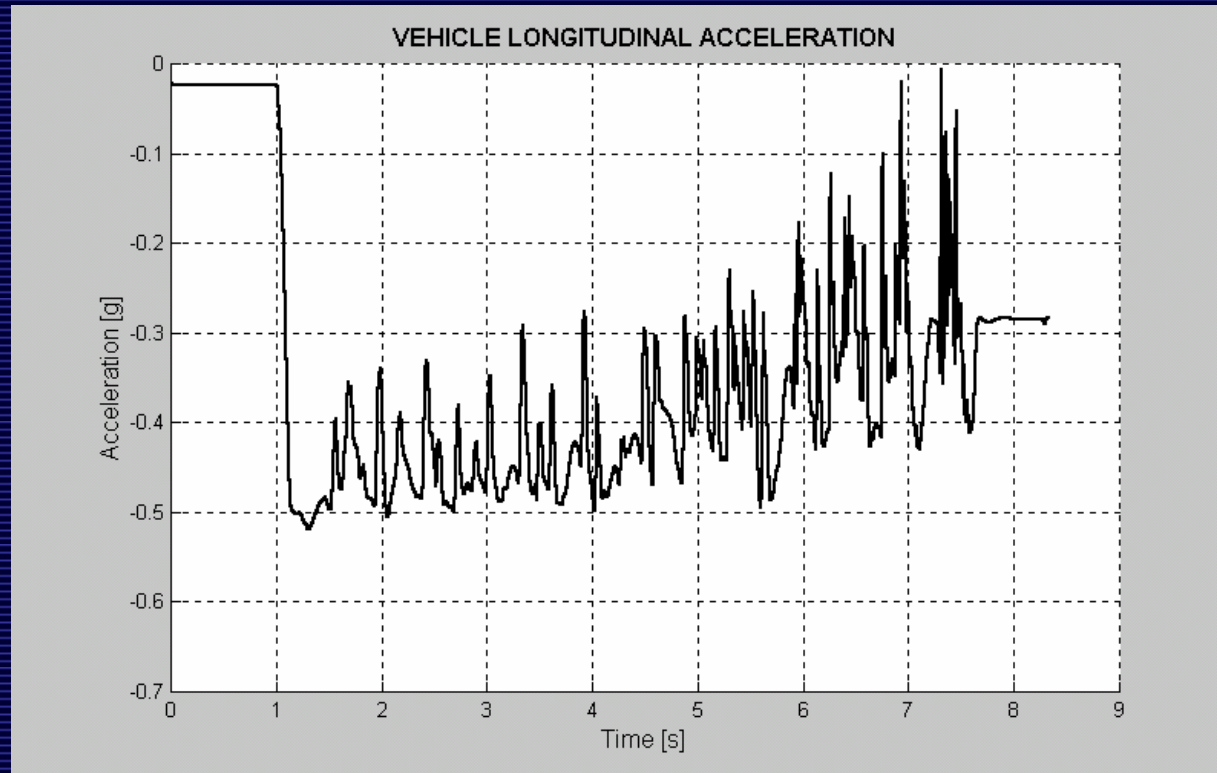
- ❑ Le soglie di scorrimento per ciascuna ruota sono calcolate attraverso la stima del coefficiente di aderenza μ .
- ❑ Il coefficiente di aderenza μ viene calcolato attraverso la decelerazione longitudinale a_x .
- ❑ Per stimare in modo sufficientemente accurato il coefficiente di aderenza è necessario che la frenata sia in condizioni limite.

In condizioni limite abbiamo infatti:

$$m \cdot a_x = F_x = \mu \cdot m \cdot g$$

$$a_x = \mu \cdot g$$

Strategia ABS: Calcolo delle soglie di scorrimento

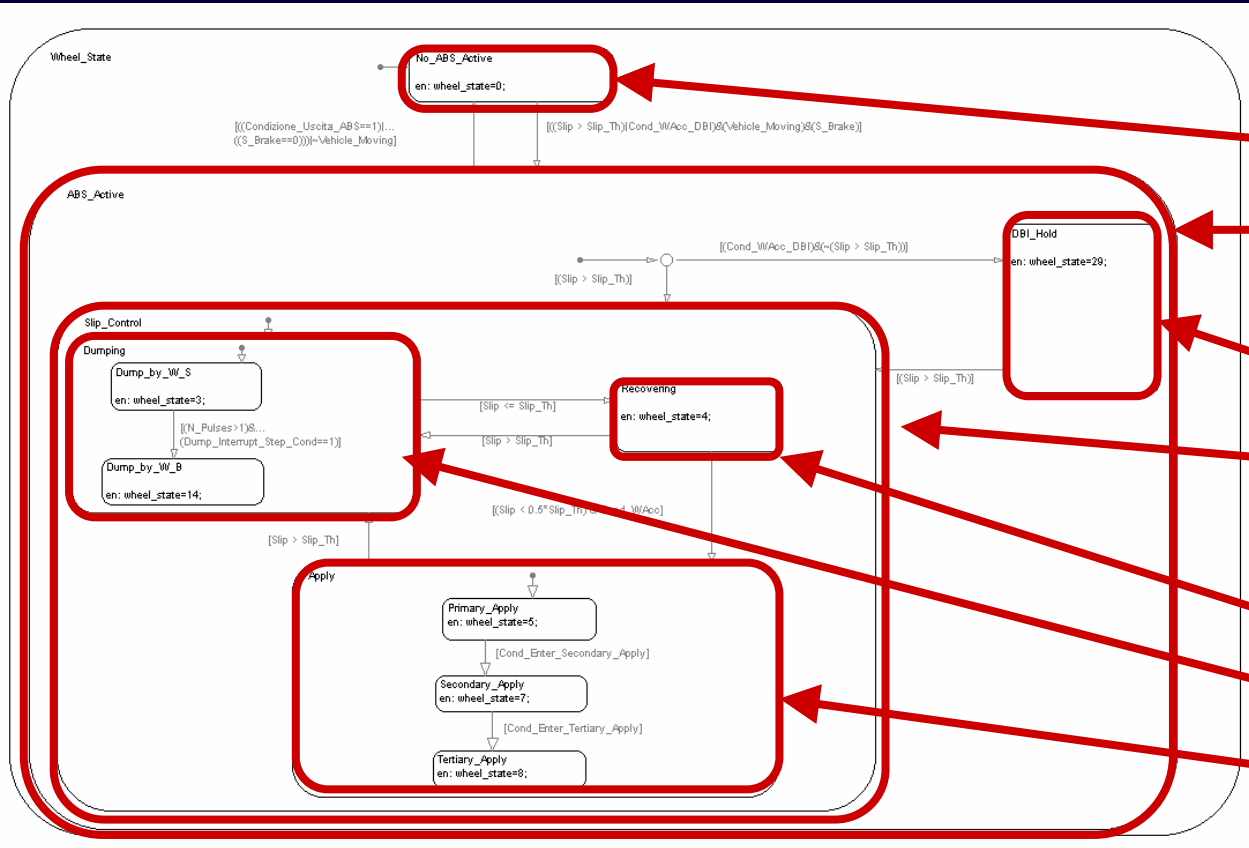


Accelerazione longitudinale in una frenata controllata dall'ABS (Panic Braking) con $\mu=0.5$

Strategia ABS: Stati di Controllo

- ❑ La strategia di controllo è caratterizzata da una successione di **fasi** o **stati**.
- ❑ Gli stati principali di funzionamento sono **attivo** e **non attivo**.
- ❑ All'interno di ciascuno stato ci sono vari **sottostati** che determinano il tipo di controllo da effettuare a fronte delle condizioni del sistema.
- ❑ Per esempio la **macchina a stati** per controllare l'azione di controllo di una singola ruota è caratterizzata da 4 stati:
 - Stato **non attivo**;
 - Stato di **rilascio**;
 - Stato di **applicazione** della pressione frenante;
 - Stato di **tenuta**.

Strategia ABS: Stati di Controllo – **Wheel State**



- 2 stati principali:
 - No Abs Active
 - Abs Active
- 2 stati per il controllo ruota:
 - Deceleration
 - Slip
- 3 stati per il controllo slip:
 - Recover
 - Dump
 - Apply

Strategia ABS:

Stati di Controllo – **Wheel State**

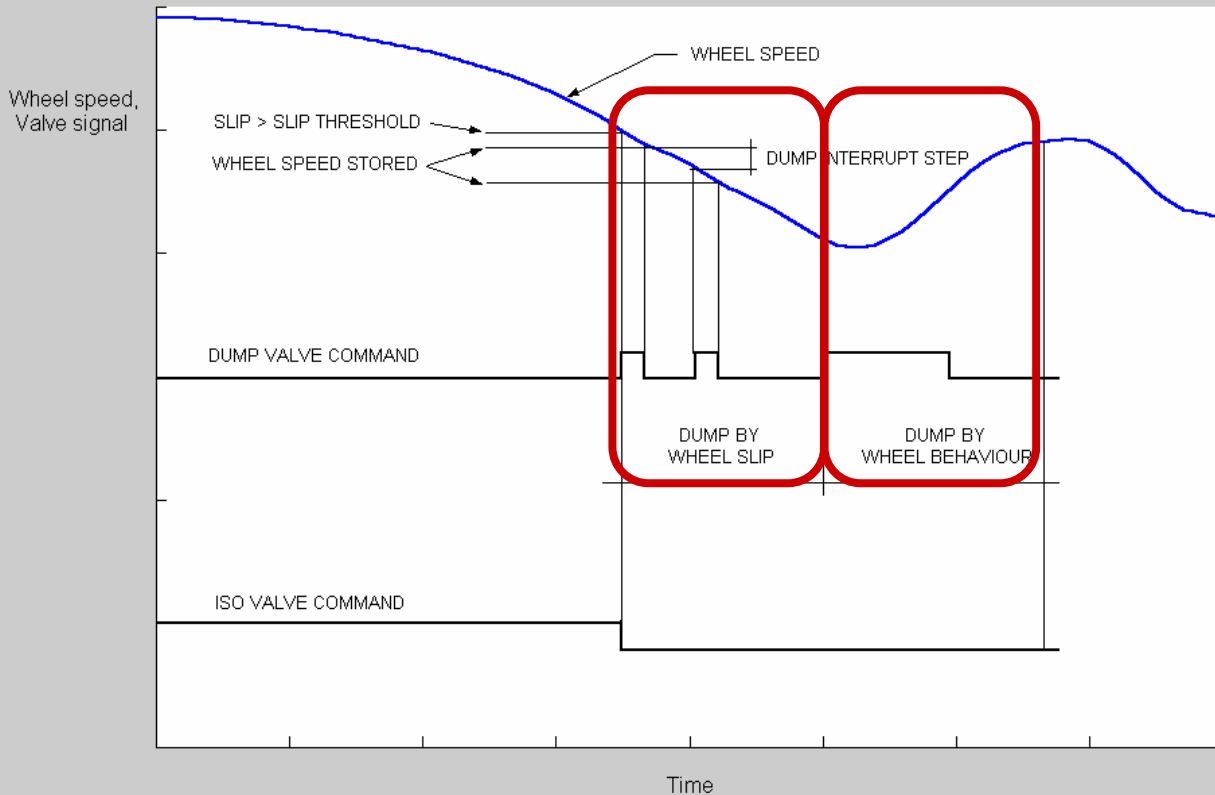
- ❑ Lo stato di controllo ruota **Deceleration** interviene solamente se non si è in già in **Slip**.
- ❑ Lo stato di **Dumping** si compone di altri 2 sottostati:
 - Dump by Wheel Slip;
 - Dump by Wheel Behaviour.
- ❑ Lo stato di **Apply** si compone di altri 3 sottostati:
 - Primary Apply;
 - Secondary Apply;
 - Tertiary Apply.

Strategia ABS:

Slip Control – **Dump Strategy**

- ❑ Appena un pneumatico supera la soglia di scorrimento è necessaria una fase di riduzione della pressione frenante (**Dumping**) per fare recuperare stabilità alla ruota.
- ❑ A una riduzione della pressione non corrisponde una risposta immediata della ruota.
- ❑ E' quindi necessario introdurre una strategia diversificata:
 - **Dump by Wheel Slip** o **Pulsed Dumping**: riduzione graduale della pressione per mantenere scorrimenti ottimali.
 - **Dump by Wheel Behaviour** o **Continuous Dumping**: ulteriore riduzione della pressione per evitare il bloccaggio della ruota.
- ❑ Si cerca quindi di stabilizzare lo slip al suo valore ottimale in modo graduale per minimizzare gli spazi di frenata .

Strategia ABS: Slip Control – **Dump Strategy**

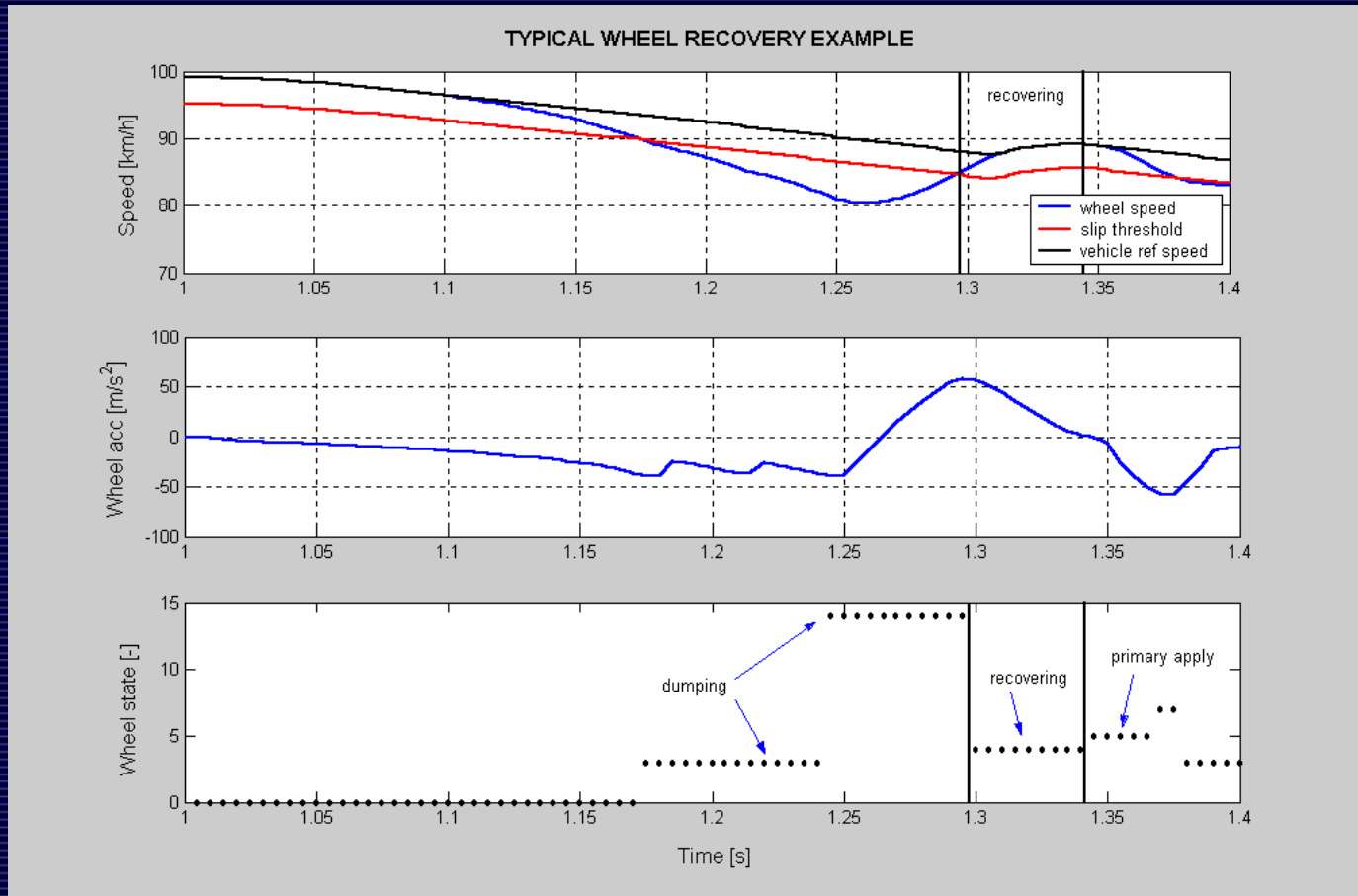


Strategia ABS:

Slip Control – **Recovery Strategy**

- ❑ Con questa strategia si effettua il **recupero della stabilità** del pneumatico quando lo scorrimento rientra all'interno della soglia di intervento ABS.
- ❑ Si deve assolutamente evitare di riapplicare pressione frenante prima che la ruota sia rientrata nella parte stabile della sua curva di lavoro.
- ❑ Per assicurarsi dell'effettiva stabilità raggiunta si controllano 2 variabili:
 - Lo scorrimento deve essere **inferiore** a una certa percentuale (50%) dello scorrimento di intervento;
 - L'accelerazione angolare della ruota deve rimanere **limitato** per un certo intervallo di tempo.

Strategia ABS: Slip Control – Recovery Strategy



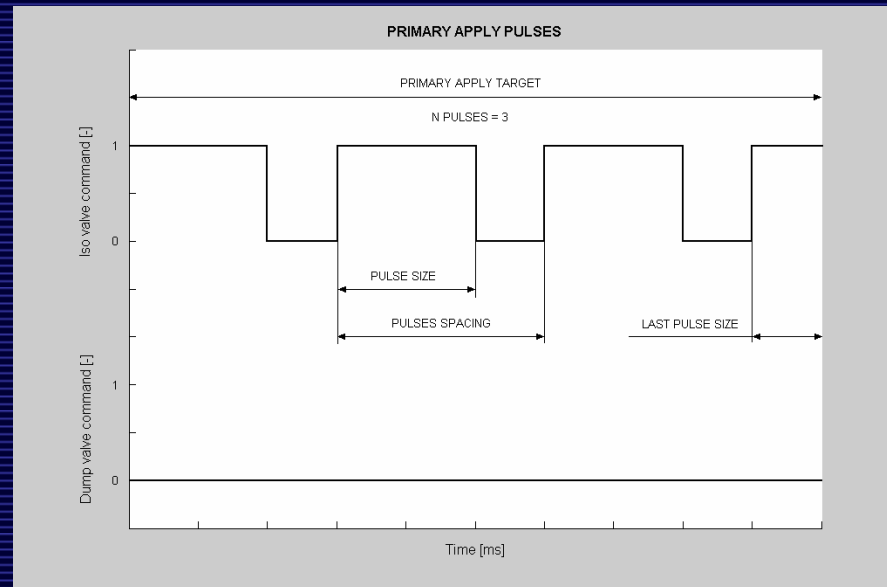
Strategia ABS:

Slip Control – **Apply Strategy**

- ❑ Una volta che la ruota è stabile si può riapplicare pressione frenante.
- ❑ E' necessario applicare la pressione in modo graduale per evitare un repentino nuovo bloccaggio della ruota.
- ❑ Si stima una **pressione obiettivo** da raggiungere in un determinato **tempo obiettivo**.
- ❑ Tali valori dipendono dalle caratteristiche idrauliche dell'impianto frenante e dalle condizioni che hanno portato al precedente bloccaggio della ruota.
- ❑ Gli obiettivi non vengono raggiunti da un'applicazione unica di pressione, ma tramite 2 applicazioni successive:
 - **Primary Apply;**
 - **Secondary Apply.**

Strategia ABS: Slip Control – **Apply Strategy** - Primary

- Durante questa fase viene applicata la pressione frenante con un **gradiente di carico primario** stabilito in fase di calibrazione.
- L'applicazione della forza frenante avviene tramite un numero variabile di impulsi di durata prefissata.



Strategia ABS:

Slip Control – **Apply Strategy** - Secondary

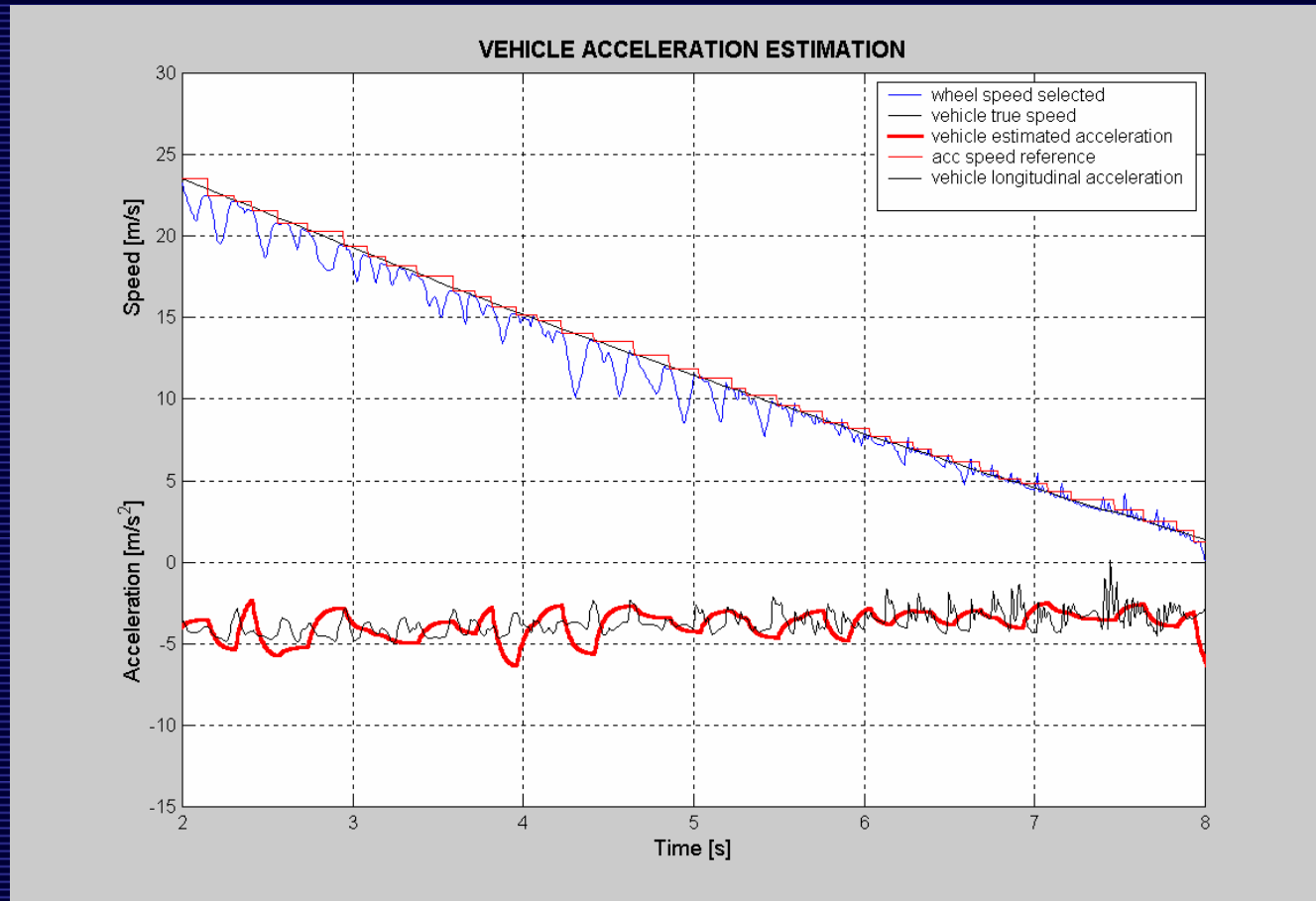
- ❑ Durante questa fase viene applicata la pressione frenante con un **gradiente di carico secondario** stabilito dalle condizioni che hanno portato al precedente bloccaggio della ruota.
- ❑ L'applicazione della forza frenante avviene tramite un numero prefissato di impulsi di durata variabile.
- ❑ Quindi nella fase di carico primario si raggiunge un valore di pressione frenante che non provoca bloccaggio nel minor tempo possibile, mentre nella fase di carico secondaria si raggiunge la pressione di bloccaggio in modo più graduale.
- ❑ In più ci può essere una fase di **carico terziaria** per aumentare la pressione frenante quando dopo la fase di carico secondaria il pneumatico è ancora lontano dal limite di aderenza.

Strategia ABS:

Stima dell'Accelerazione Longitudinale

- ❑ Tale segnale è molto critico per il funzionamento del sistema.
- ❑ La derivata delle velocità di riferimento non è una buona stima perché troppo rumorosa.
- ❑ Si costruisce un segnale velocità "ad hoc" per ricavarne l'accelerazione longitudinale:
 - In **ABS OFF**: Velocità maggiore tra le ruote condotte;
 - In **ABS ON**: Velocità più alta tra le 4. Il valore viene misurato all'uscita dello stato di **Recovery**.
- ❑ Il segnale è quindi, in **ABS ON**, continuo a tratti.

Strategia ABS: Stima dell'Accelerazione Longitudinale



Sistemi e Strategie di Controllo Attivo della Dinamica Veicolo

Ing. Marco Borsari