

Il sistema antipattinante: l'esperienza Trenitalia

DT/IRTB/TMSF

Ing. Andrea Ottati

Roma, 15 Ottobre 2019

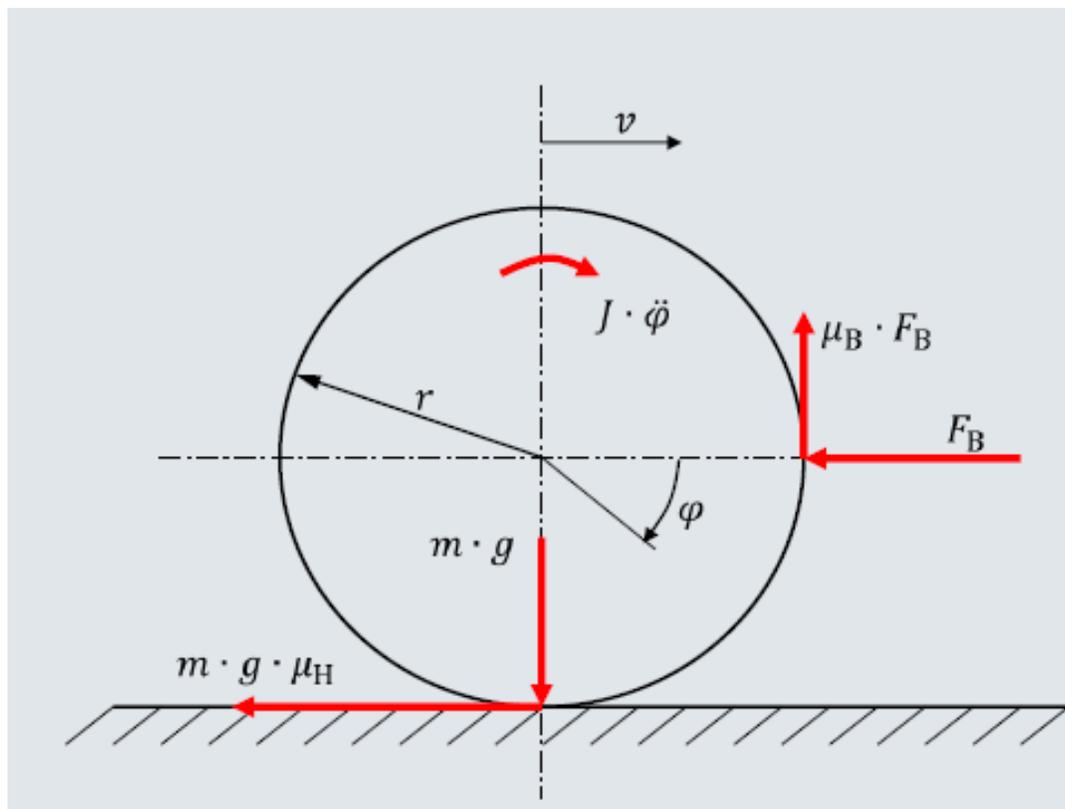


1. Aderenza ruota-rotaia

La maggior parte dei freni convenzionali, per la realizzazione della forza ritardatrice applicata al rotabile, utilizzano il *coefficiente di aderenza ruota-rotaia*.

Aderenza: fenomeno fisico che si manifesta nell'impronta di contatto ruota-rotaia in relazione al peso che vi grava e che consente la trasmissione della coppia motrice e della coppia frenante.

Coefficiente di aderenza ruota-rotaia: è il rapporto tra le forze frenanti trasmesse a terra tramite le ruote e la forza peso che grava sulla ruota .



$$a_{mom} = \frac{\mu_B \cdot F_B - \frac{J \cdot \ddot{\phi}}{r}}{m}$$

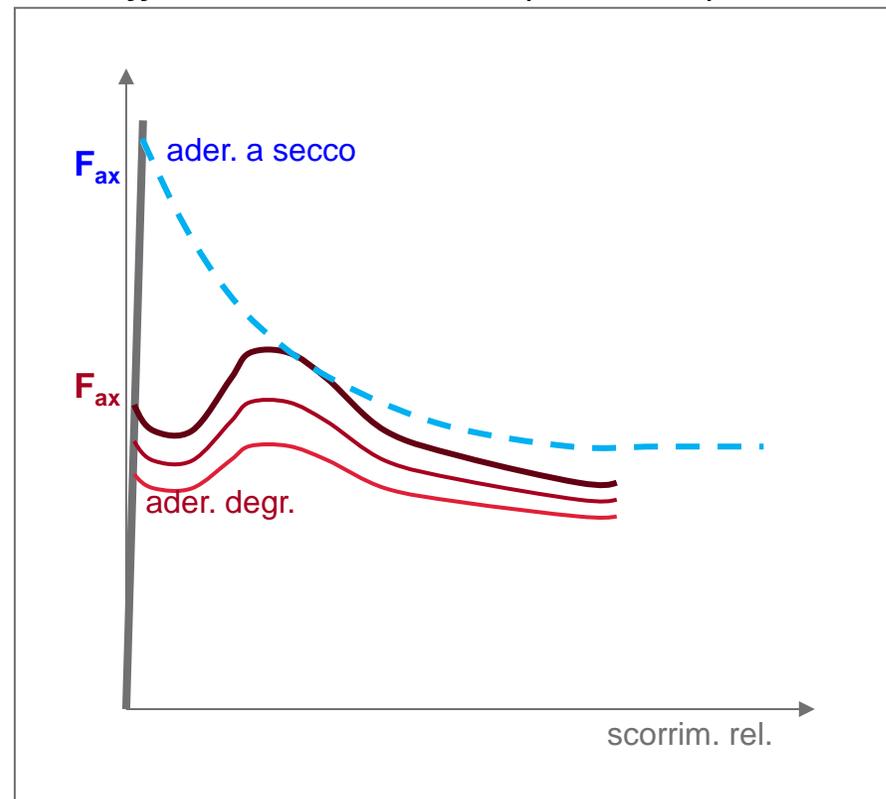
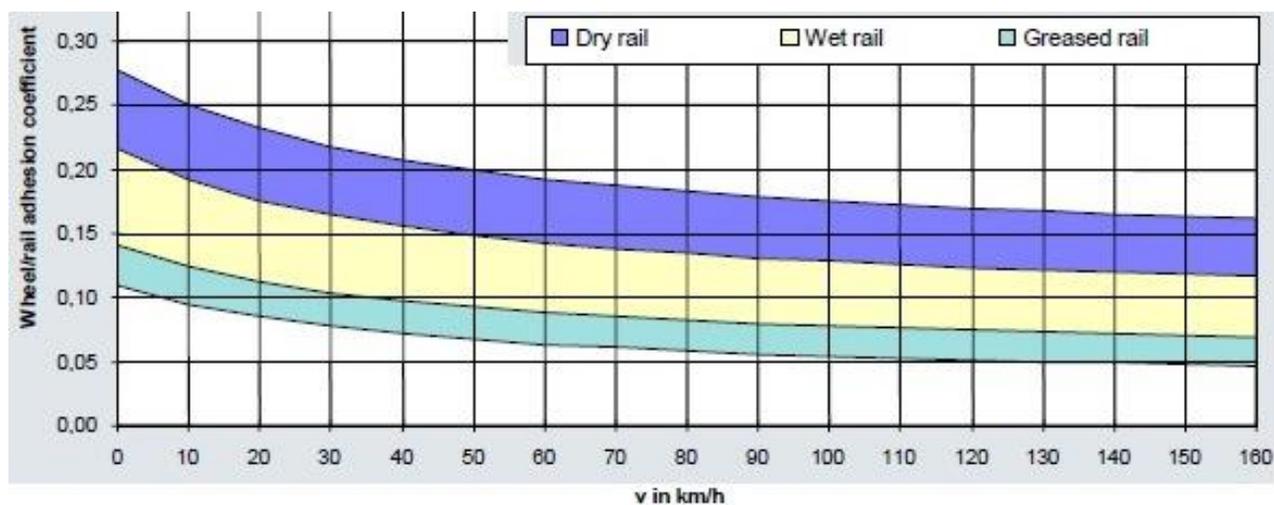
$$J = m_{rot} \cdot r^2 \quad \ddot{\phi} \approx \frac{a_{mom}}{r}$$

$$a_{mom} = \frac{\mu_B \cdot F_B}{m + m_{rot}}$$

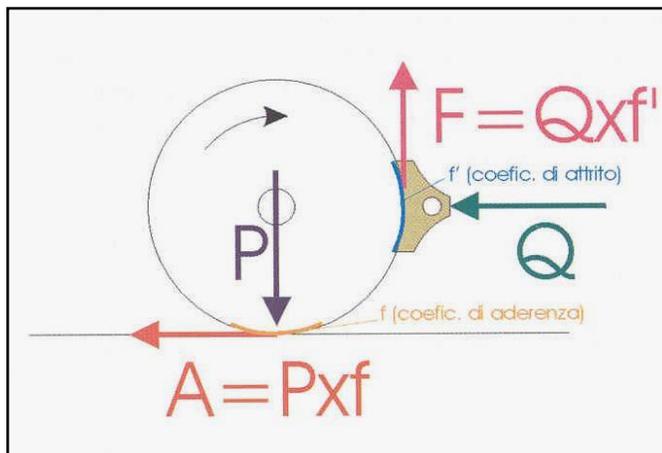
$$\mu_{H,erf} = \frac{\mu_B \cdot F_B}{(m + m_{rot}) \cdot g}$$

il **coefficiente di aderenza** varia, anche sensibilmente in funzione di diversi fattori:

- velocità del treno: *diminuisce con l'aumento della velocità;*
- materiale delle due superfici a contatto: *in particolare il coef. di aderenza diminuisce con l'aumentare della durezza dell'acciaio, poiché, a parità di peso, si hanno minori aree d'impronta e quindi maggiori pressioni specifiche sulla rotaia;*
- peso su ruota: *perché influisce sulla pressione di contatto;*
- presenza di umidità e foglie morte nella zona di contatto : *l'acqua diminuisce il coefficiente di aderenza soprattutto quando è presente in piccola quantità e si mescola alla patina preesistente (rotaie umide);*



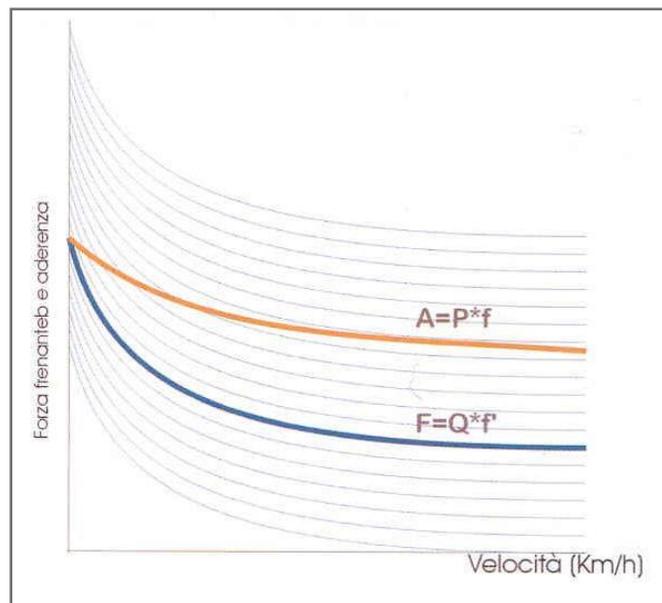
2. L'aderenza nella fase di frenatura



Durante la frenatura, in condizioni limite di aderenza, agiscono sulla ruota le seguenti forze:

F = forza frenante, pari al prodotto della forza di applicazione Q per il coefficiente di attrito della suola f' ;

A = azione trasmessa dalla ruota alla rotaia, pari al prodotto del peso P agente sulla ruota per il coefficiente di aderenza f .

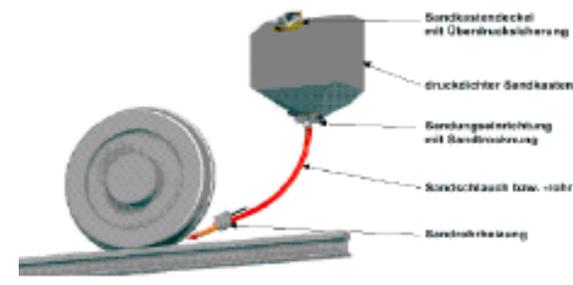


In generale, perché non si verifichino fenomeni di bloccaggio della ruota, la forza F dovrà risultare sempre minore o uguale alla forza A che, dipendendo dal coefficiente di aderenza, varierà in funzione della velocità.

Nella figura in basso sono rappresentati gli andamenti di A e di F per due valori di f ed f' .

Quando la coppia applicata alle ruote supera quella trasmissibile in base all'aderenza disponibile si genera la condizione di slittamento/pattinamento delle ruote.

In condizioni di aderenza non ottimale si allungano gli spazi di arresto



In condizioni critiche l'aderenza può essere incrementata tramite il getto di **sabbia** sul binario (dalle sabbiere dei mezzi di trazione).

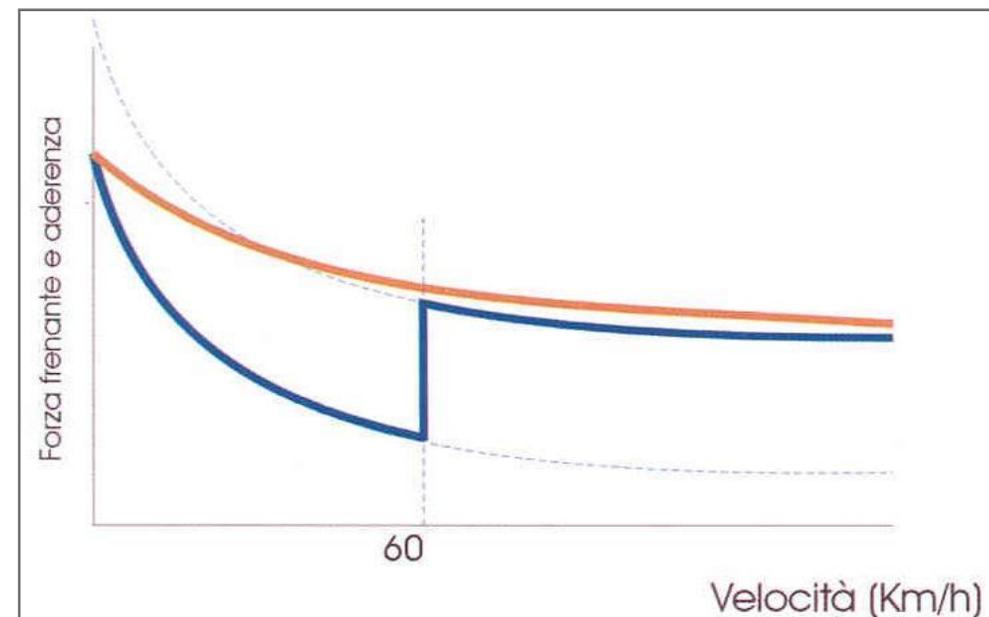


l'interposizione di materiali duri (per esempio sabbia silicea) aumenta il coefficiente di aderenza fino a valori superiori a quello di rotaie asciutte.

Per sfruttare meglio l'aderenza disponibile ed ottenere prestazioni frenanti superiori è necessario introdurre un dispositivo che **vari la pressione all'interno del cilindro freno** in funzione della velocità.

ESEMPIO:

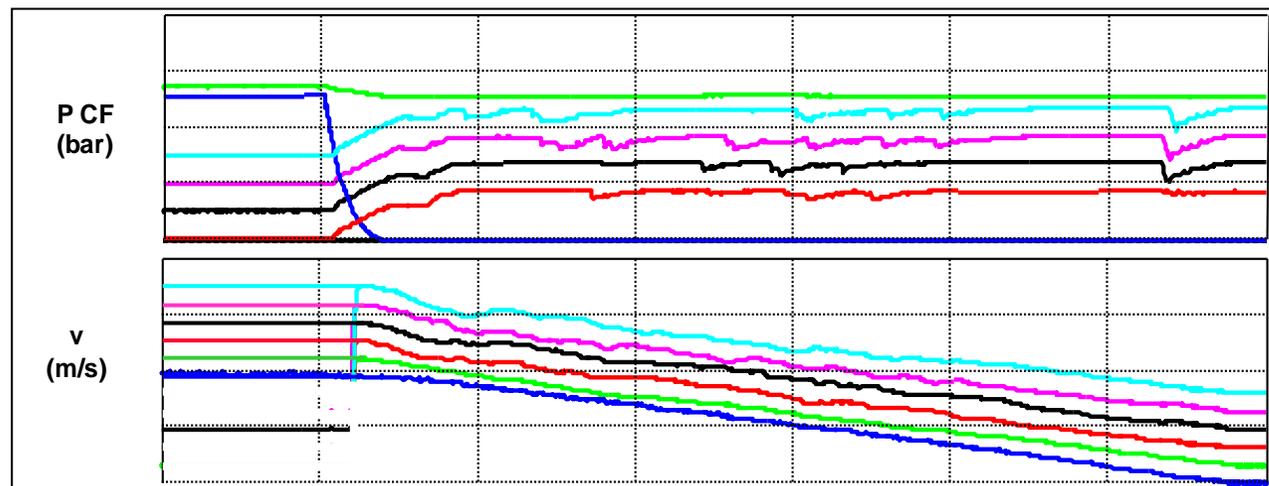
Per velocità minori di 60 km/h il trasformatore di pressione alimenta i CF a bassa pressione, mentre per velocità superiori li alimenta ad alta pressione. Si ottiene così una frenatura ottimale sia alle alte che alle basse velocità, diminuendo gli spazi di frenatura.



3. Il dispositivo antipattinante

I rotabili dotati di freni a dischi, che impegnano normalmente un'aderenza relativamente elevata rispetto a quella disponibile in caso di rotaie umide o bagnate, sono dotati di un dispositivo antipattinante che modula la pressione ai cilindri del freno con un duplice scopo:

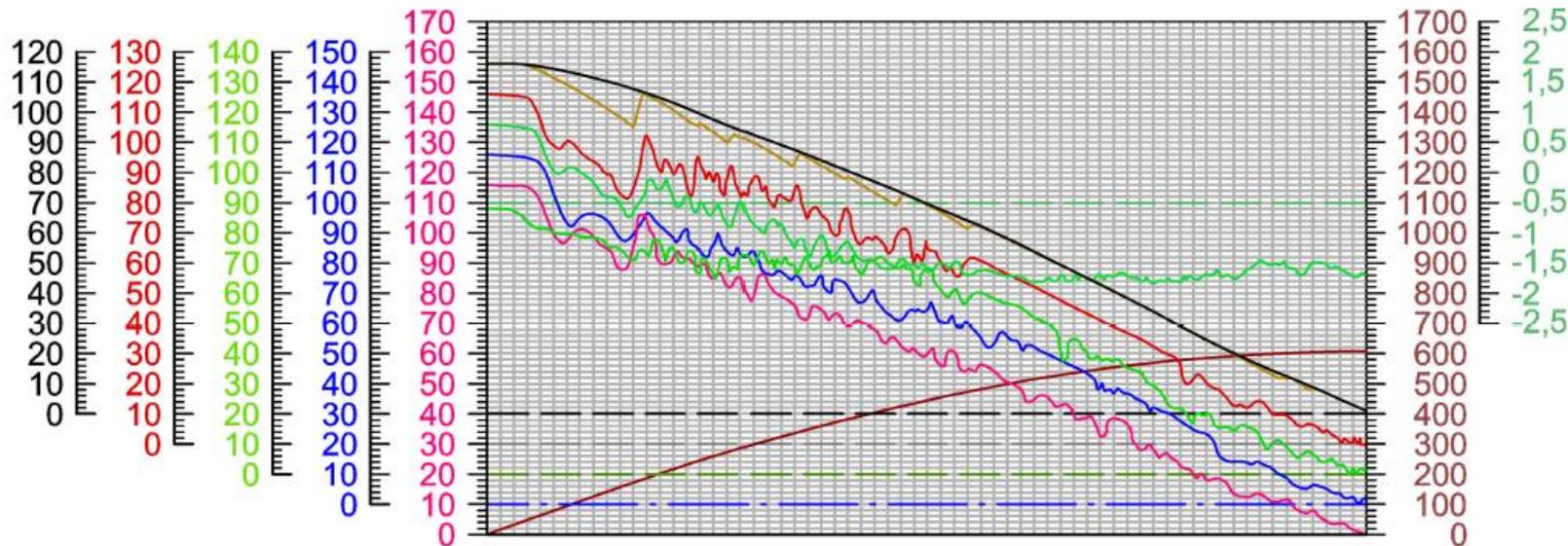
- proteggere gli assi dal bloccaggio, evitando le sfaccettature delle ruote,
- mantenere gli assi in scorrimento controllato, in modo da sfruttare al meglio il recupero del coefficiente di attrito/aderenza che si genera grazie allo scorrimento relativo fra ruota e rotaia, ottimizzando gli spazi di frenata.



Tipico funzionamento dell'antipattinante

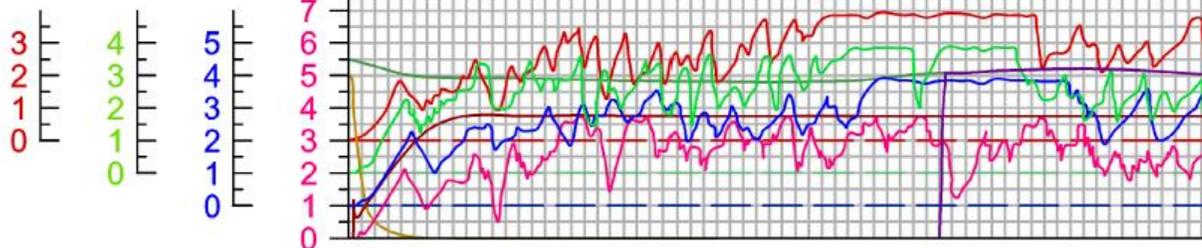
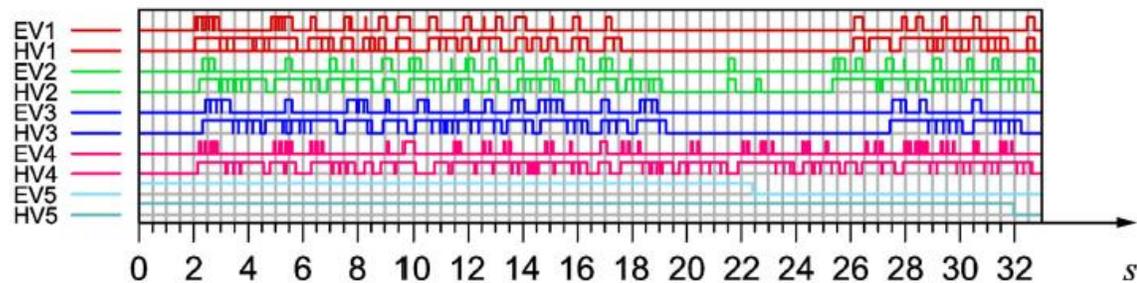
Speed
in km/h

- Vehicle speed
- Reference speed
- Wheelset 1
- Wheelset 2
- Wheelset 3
- Wheelset 4
- Braking distance
- Deceleration



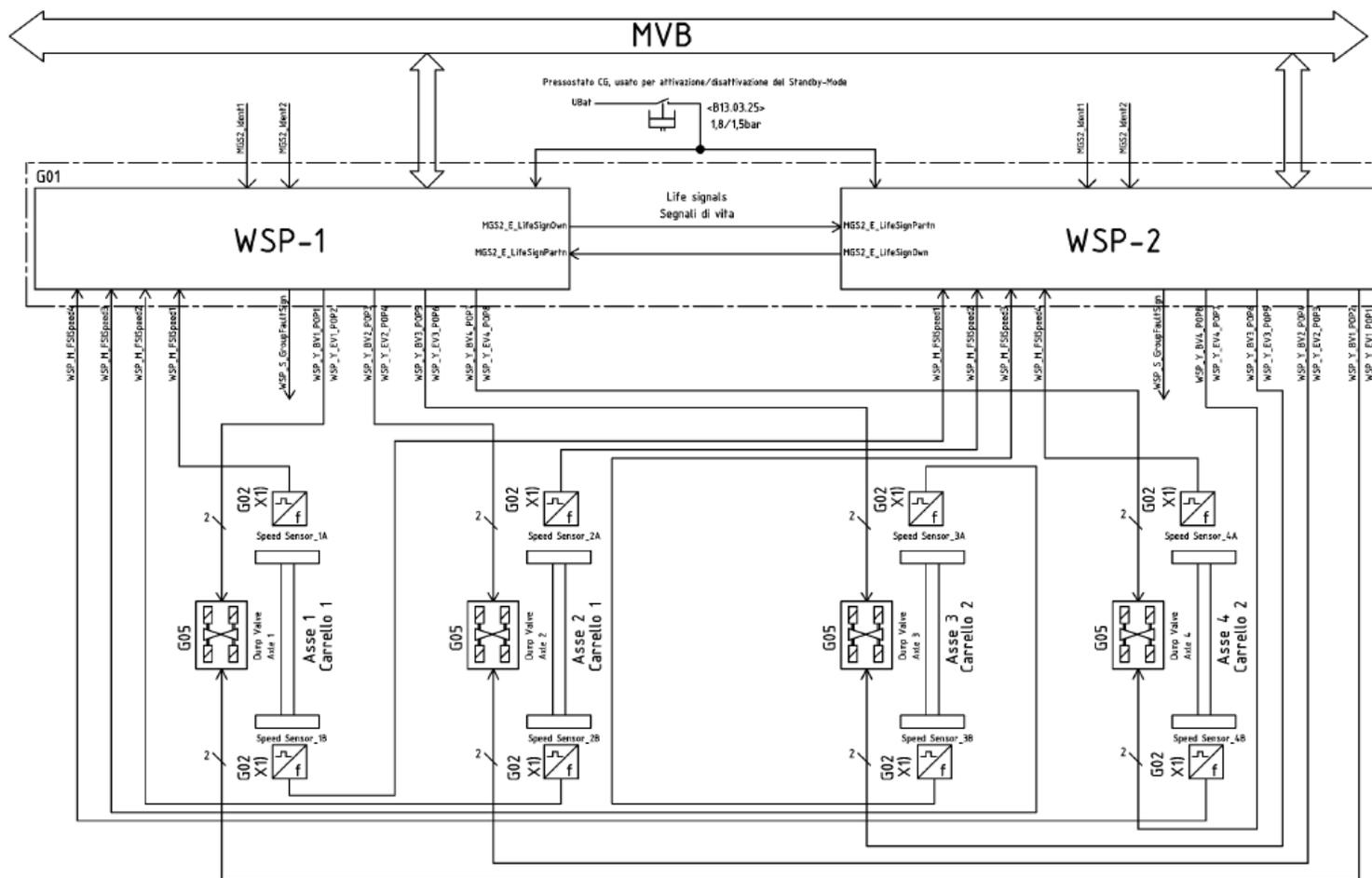
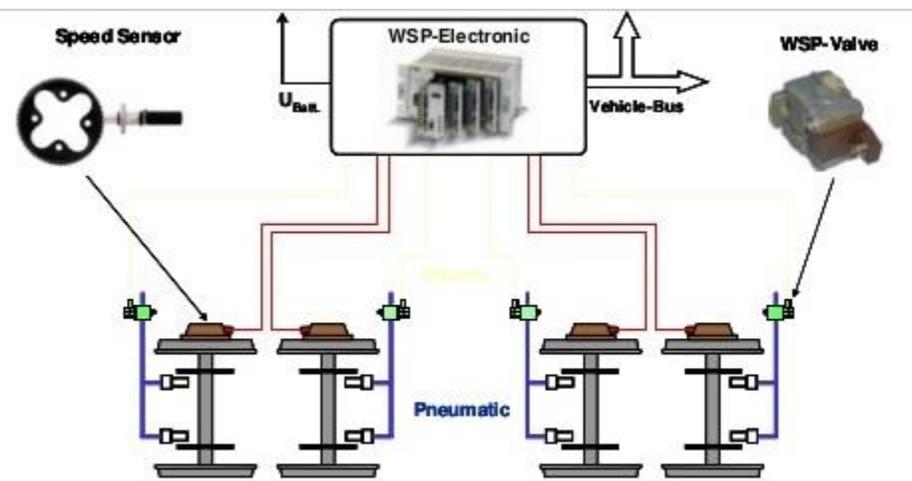
Pressure
in bar

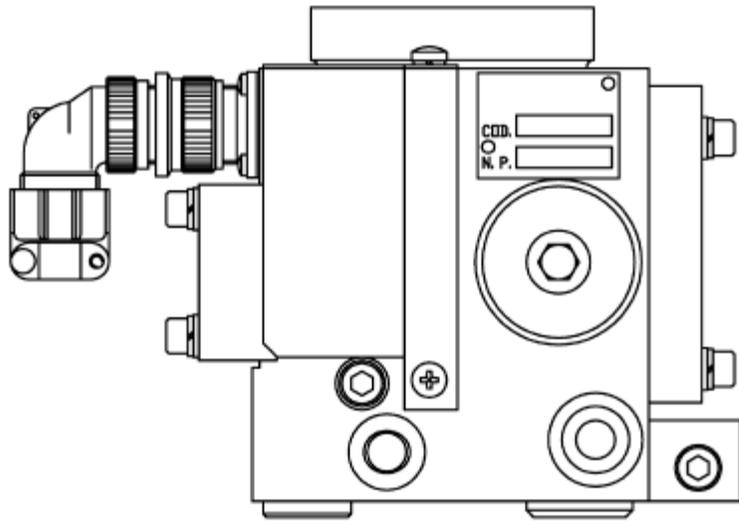
- Main brake pipe
- Distributor pressure
- Cylinder 1
- Cylinder 2
- Cylinder 3
- Cylinder 4
- Aux. reservoir pressure
- F pressure



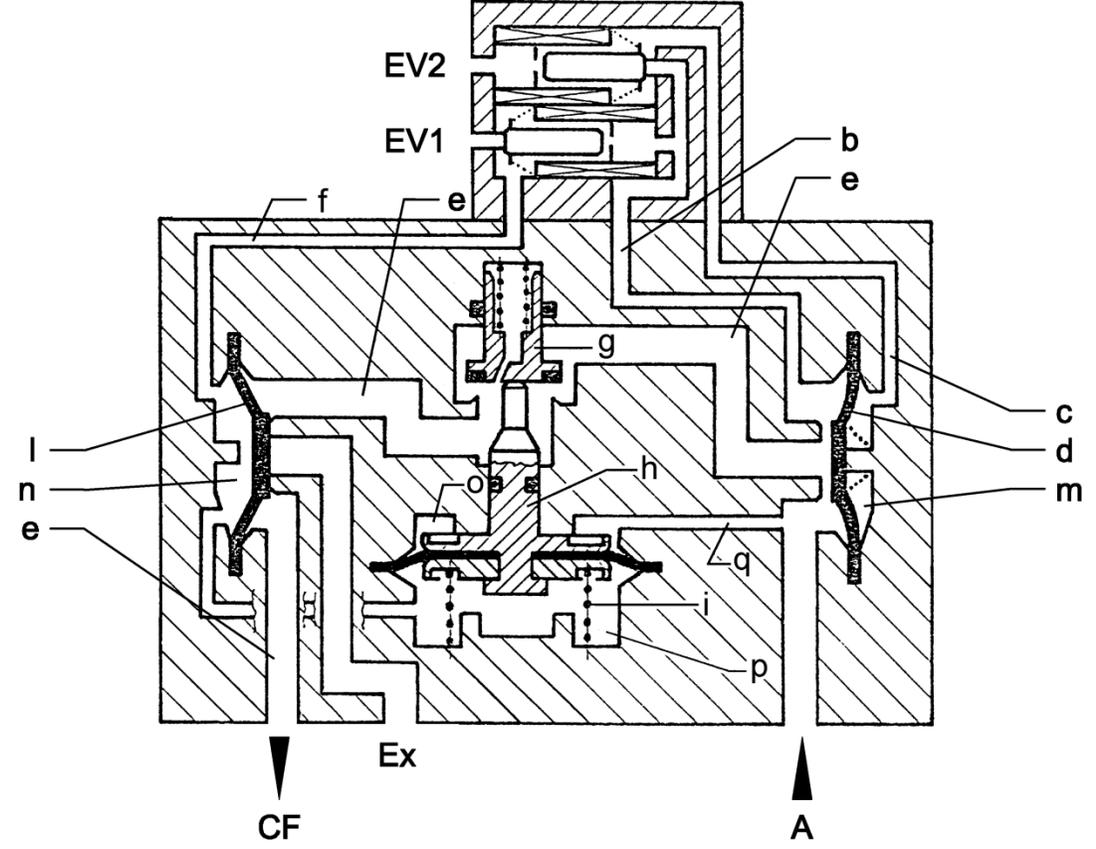
architettura

Il dispositivo antipattinante è in genere costituito da sensori di velocità montati sugli assi, che fanno capo ad una centralina elettronica di controllo, che a sua volta comanda dei gruppi elettrovalvolari di alimentazione e di scarico dei cilindri freno.

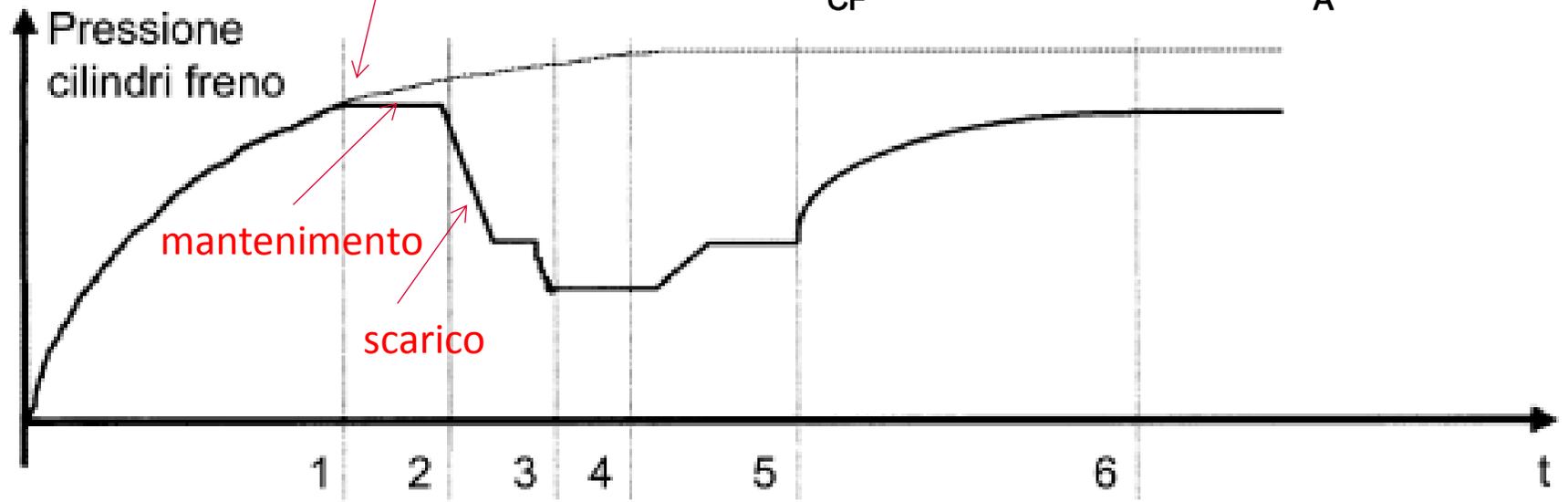




Gruppo elettrovalvolare E464 (per carrello)



Inizio pattinamento



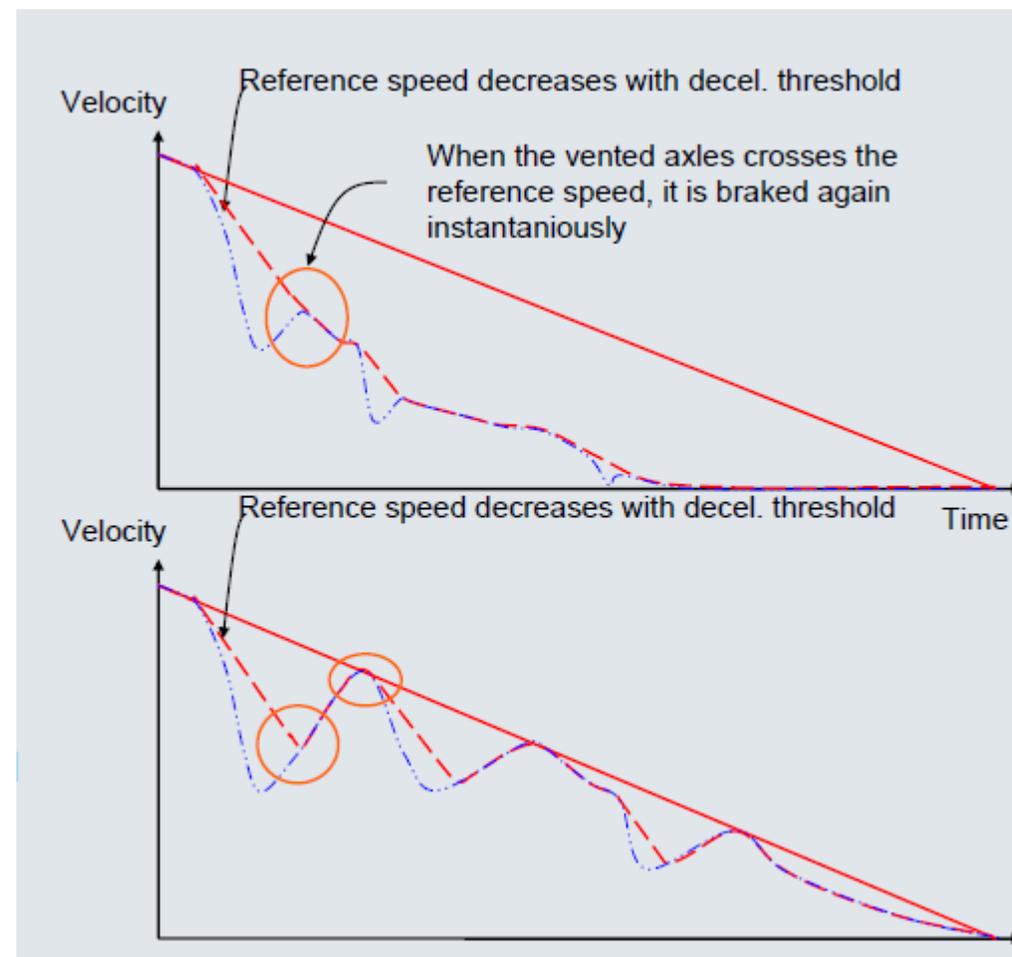
Algoritmo e logica di intervento

I **criteri di intervento del sistema antipattinante** possono essere **accelerometrici** (riduzione della pressione in conseguenza del superamento di una soglia di decelerazione dell'asse) e/o per **confronto fra la velocità degli assi e la velocità di riferimento** elaborata dalla centralina (intervento per superamento soglia di ΔV).

La velocità di riferimento è utilizzata per la regolazione dell'antipattinante. Errori nel calcolo della v_{ref} possono portare a sfaccettature o falsi segnali di velocità

Gli antipattinanti sono dotati di una sicurezza che ne esclude selettivamente il funzionamento in caso di sfrenatura di un asse anormalmente prolungata.

I treni per alta velocità sono dotati di un dispositivo indipendente per la sorveglianza della rotazione assi.



3. Quadro Normativo

Aderenza degradata e antipattinante

FICHE UIC 541-05

- Ediz. 2 del 2005 - Ediz. 3 del 2016;
- Definisce i requisiti e le prove di verifica per i sistemi antipattinanti ed i suoi componenti;
- Fornisce i limiti di distanza di arresto in condizione di aderenza degradata;
- Non quantifica le prestazioni del treno in condizioni estremamente degradate;

EN 15595

- Applicazione richiesta dalla TSI Loc&Pas ;
- EN 15595:2009 simile all'ed.2 della Fiche 541-05
- EN 15595:2018 simile all'ed.3 della Fiche 541-05

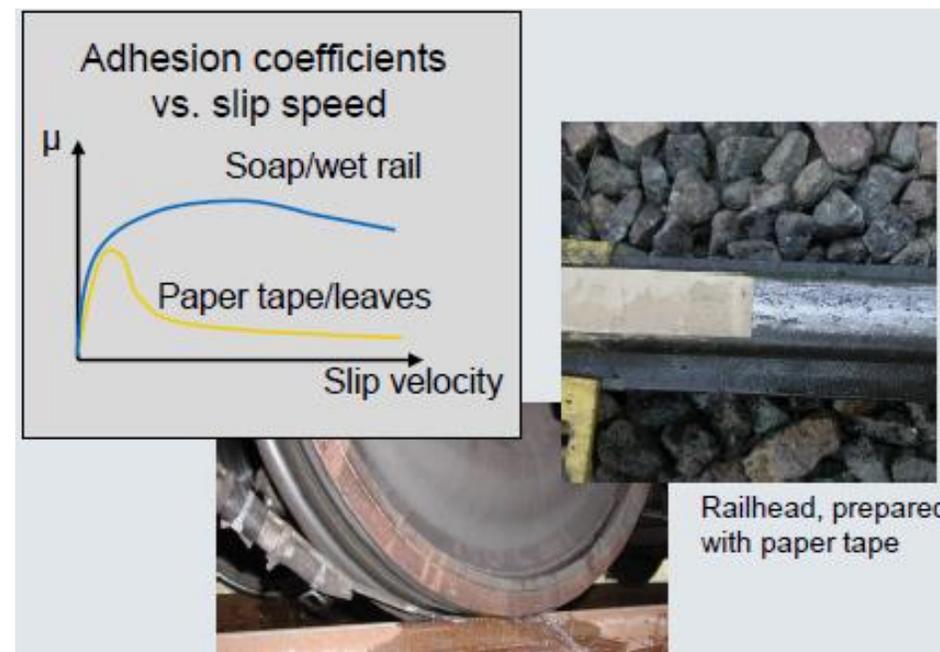
Requisiti in fase di progetto a secco

Le normative prevedono in genere 0,15 come valore del coefficiente di aderenza ruota-rotaia a secco

NORMA	LIMITE	NOTA
UIC 544-1	0,15	calcolo
SAM F 009	0,15 trainsets (>200km/h) 0,13 trainsets e loco 0,16 carrozze (≤200km/h)	test
UIC 660 (HST)	0,15	test
TSI Loc&Pas	0,13 ≤ 7 assi 0,15 > 7 assi (a carico normale) 0,17 ≥ 20 assi (a vuoto)	Calcolo Da 30 a 250km/h e scende di 0,05 a 350

Prove sul treno con aderenza degradata / estremamente degradata

Typical adhesion levels by preparation method			
Lubricants	Adhesion level	Application	Simulates
aqueous solution of soap	0.1 to 0.05	via nozzles from train	Model low to very low adhesion levels
shampoo	0.08 to 0.03	manually	
potash soft soap	0.05 to 0.02	manually	
Oil	0.03 to 0.01	manually, via nozzles	Model very low to extremely low adhesion levels
Paper	0.03 to 0.01	manually	
Leaves	0.03 to 0.01	manually	



Le prove su veicolo:

- sono sempre necessarie per la validazione su tipologia di veicolo
- sono però costose
- il valore iniziale di aderenza non è noto
- non permettono di misurare direttamente l'aderenza
- La misura indiretta dell'aderenza può essere influenzata dalle condizioni di prova (ugello utilizzato per spray, temperatura e umidità dell'aria) e dall'antipattinante stesso

Prove al banco con aderenza degradata / estremamente degradata

Permettono in modo semplice ed veloce la messa a punto dell'antipattinante

Simulatore

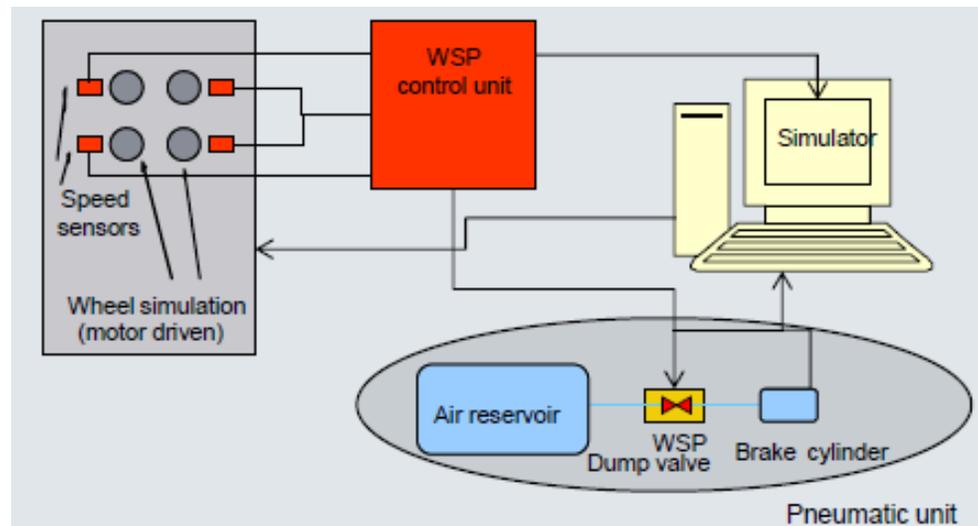
- Contiene un **modello di simulazione del treno** (masse, masse rotanti, attrito, forza di applicazione) e uno/più **modelli di aderenza**
- Riceve come input il segnale di pressione dei cilindri, della valvola di scarico dal WSP (velocità di riferimento)
- Simula la rotazione assi e ha come output i segnali di controllo della frenatura

Simulatore velocità assi

- Riceve il segnale di velocità dal simulatore e regola la velocità di rotazione di conseguenza

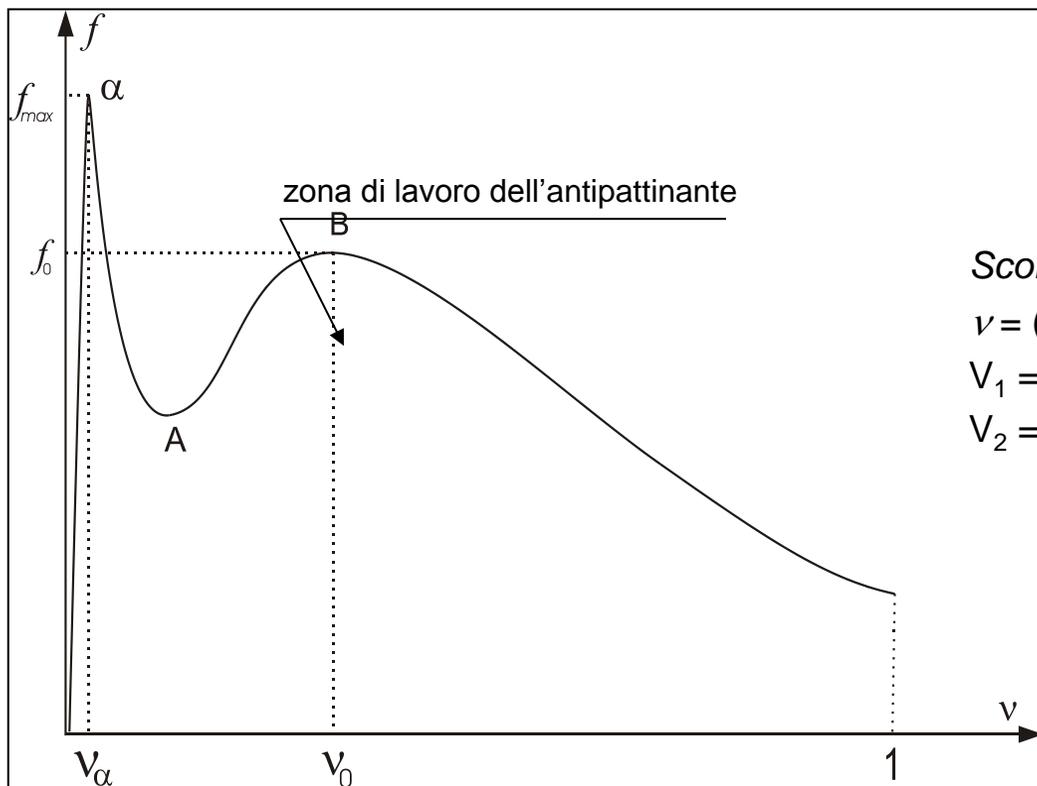
Unità di controllo antipattinante

- Riceve i segnali di velocità dai sensori e comanda le valvole dell'antipattinante



4. Strategie per migliorare le performance - ritorni di esercizio

Ricerca della zona con massima aderenza



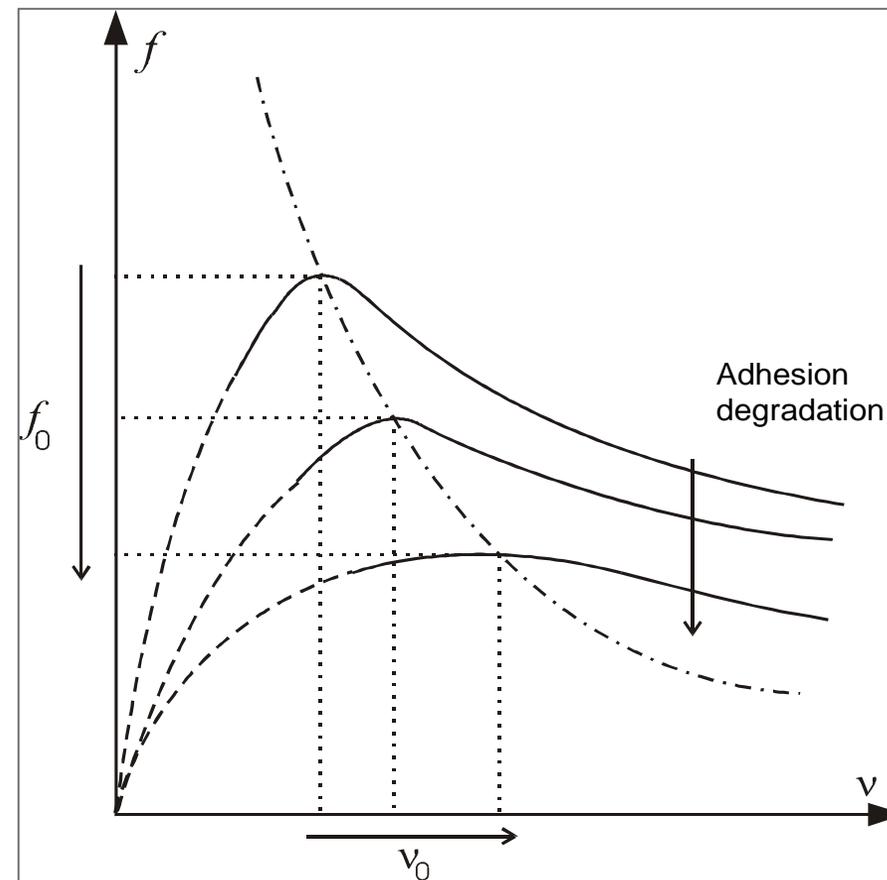
Scorrimento relativo:

$$v = (V_1 - V_2) / V_1$$

$V_1 = \text{vel. veicolo}$

$V_2 = \text{vel. perif. ruota}$

mantenendo gli assi in scorrimento controllato, è possibile sfruttare la zona della caratteristica di aderenza in cui è possibile sviluppare la massima forza decelerante (massimo relativo B).

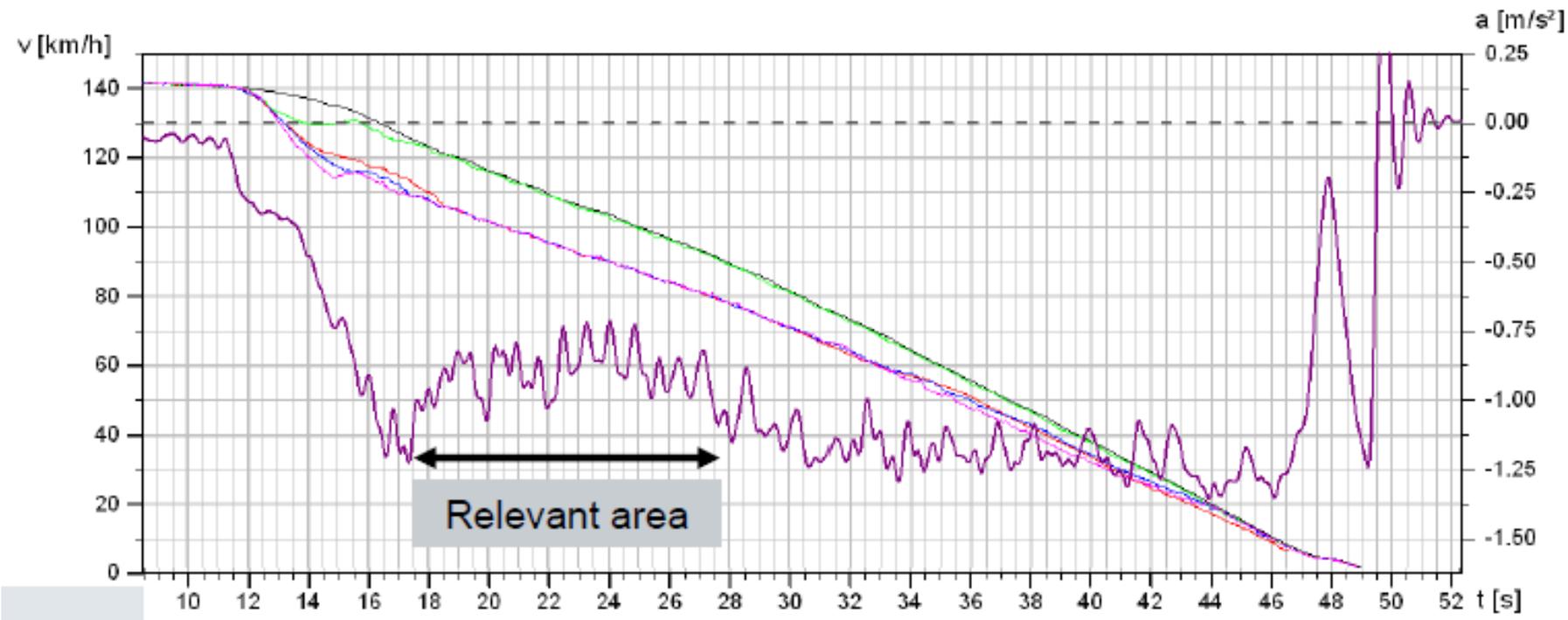


Uso dello sforzo frenante come variabile di controllo

Corretta determinazione della velocità di riferimento

La determinazione della velocità di riferimento è fondamentale per il corretto funzionamento del sistema antipattinante sia al fine di evitare un eccessivo consumo d'aria sia per minimizzare l'allungamento degli spazi di arresto

Quando tutti gli assi sono in scorrimento la strategia di sfrenare periodicamente un asse comporta un allungamento delle distanze di arresto



Aumento della disponibilità del sistema antipattinante

Quando il sistema antipattinante non è disponibile per preservare l'integrità degli assi è necessario isolare il rotabile dal freno → riduzione delle prestazioni del treno

Grazie per l'attenzione...

