



Sistemi di controllo attivo della dinamica del veicolo

Mario Terzo

Dipartimento d'Ingegneria Meccanica per l'Energetica
Università Federico II - Napoli

Requisiti di un sistema ABS

- Sterzabilità e stabilità del veicolo devono essere garantite in ogni situazione, indipendentemente dalle condizioni stradali.
- Il sistema deve essere in grado di mantenere il coefficiente di aderenza tra pneumatico e strada ai massimi livelli consentiti, con la condizione di dare maggiore priorità a stabilità e controllo direzionale piuttosto che alla minimizzazione degli spazi d'arresto.
- L'intervento del sistema di controllo deve avvenire quando una ruota si trova prossima al limite del bloccaggio, senza considerare se tale limite sia stato raggiunto applicando la forza sul pedale freno in modo brusco o graduale.
- Il sistema deve essere operativo nell'intero campo di velocità del veicolo, fino ad una velocità minima, prossima a quella di passeggio, al di sotto della quale il bloccaggio delle ruote non è più evidentemente un fenomeno critico.
- In curva, in condizioni di aderenza omogenea sui due lati, il veicolo deve mantenere la stabilità anche nelle frenate in cui si ricerca il minimo spazio di arresto, a patto che la velocità di percorrenza non ecceda i limiti fisici propri dell'autovettura.
- Il sistema deve essere capace di adattarsi rapidamente a variazioni di aderenza tra pneumatico e strada, per cambiamenti del fondo stradale o dei carichi verticali sulle ruote.
- Il sistema deve essere robusto ai disturbi derivanti da irregolarità della strada, imperfezioni di costruzione o di montaggio, ritardi ed isteresi dell'impianto frenante.
- L'ABS deve prevedere una strategia che assicuri il controllo direzionale in caso di frenata in condizioni "mu-split" (differenti coefficienti di aderenza sui due lati del veicolo).

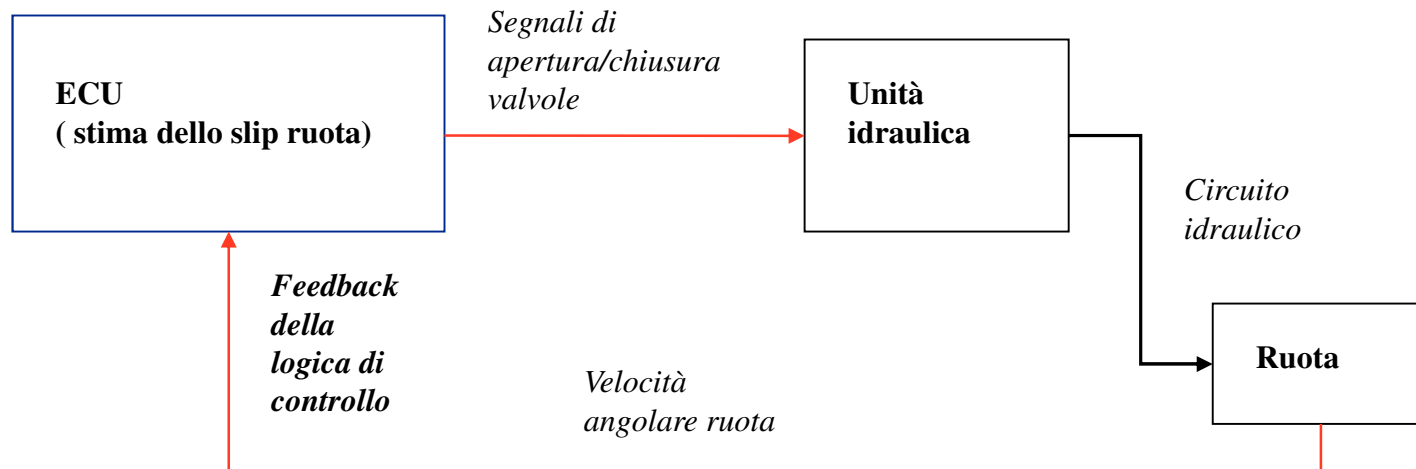
Requisiti di un sistema ABS

- L'idea fondamentale alla base di un sistema anti-slittamento è quella di introdurre un controllo che intervenga solo quando le ruote sono in condizioni limite di aderenza, mentre in condizioni non critiche il sistema di frenatura viene lasciato negli abituali assetti di funzionamento. Non esistendo la possibilità di valutare preventivamente le condizioni di aderenza, si è costretti a controllare l'efficacia frenante solo dopo averne rilevato gli effetti mediante un continuo monitoraggio delle condizioni di incipiente bloccaggio del pneumatico. Il sistema ABS dovrà, pertanto, riconoscere in qualche modo le condizioni del fondo stradale, mediante opportune elaborazioni matematiche dei segnali misurati, solitamente le sole velocità ruota. Da queste è possibile ricavare le accelerazioni delle ruote, ottenere una stima della velocità del veicolo, della accelerazione longitudinale e degli scorrimenti dei singoli pneumatici.
- Dal confronto tra i valori istantanei di alcune di queste grandezze e dei valori di soglia prestabiliti (memorizzati in centralina) si ha l'effetto finale di una modulazione della forza frenante, tra zero e il valore richiesto dal pilota, attraverso l'azione di una serie di elettrovalvole e pompe di recupero presenti nel circuito idraulico. Viene così mantenuto sotto controllo il rotolamento di ciascun pneumatico.

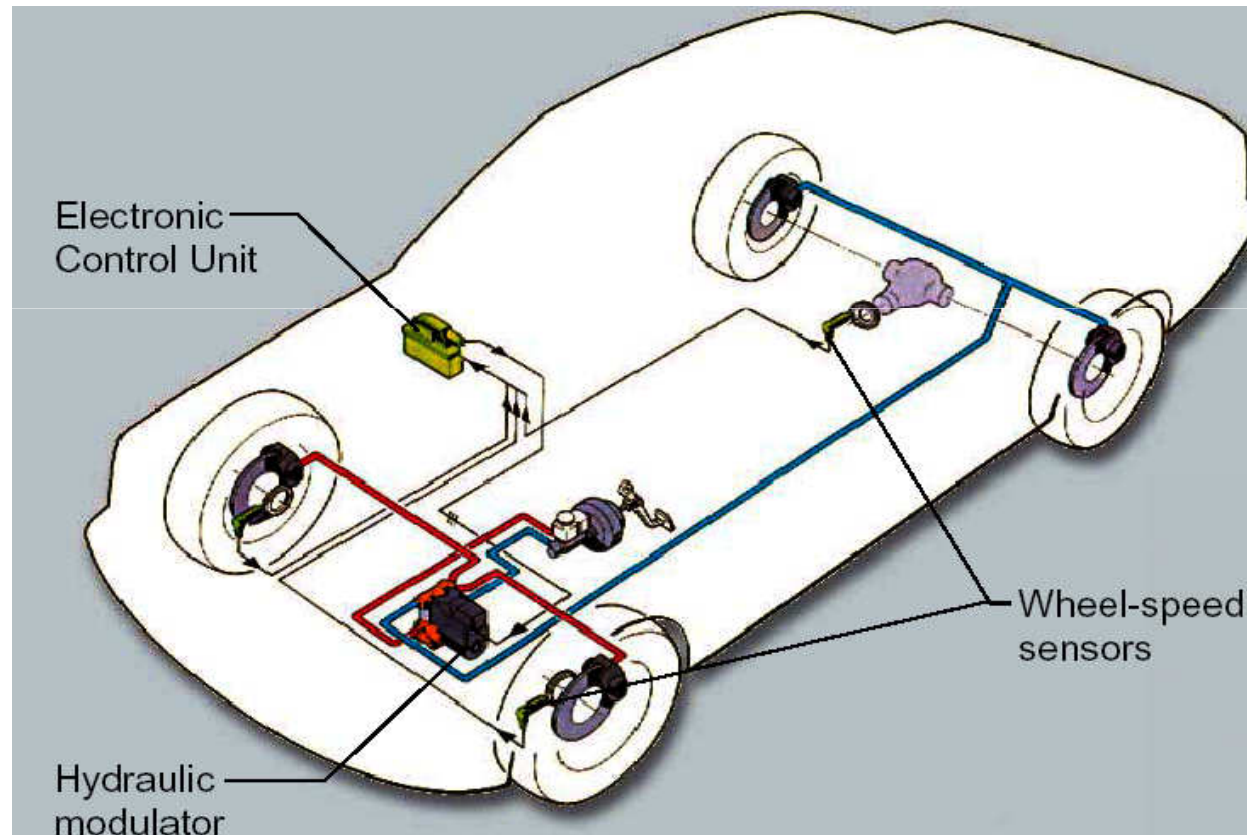
Componenti di un sistema ABS

- I componenti fondamentali che costituiscono un sistema ABS sono:
 - 1) l'unità idraulica (*Hydraulic Unit*), avente al suo interno:
 - valvole di ingresso
 - valvole di uscita
 - accumulatore
 - gruppo motore-pompa
 - valvole di non ritorno
 - 2) i sensori di velocità angolare sulle ruote
 - 3) l'unità elettronica centrale (*ECU*).

Schema logico di un sistema ABS



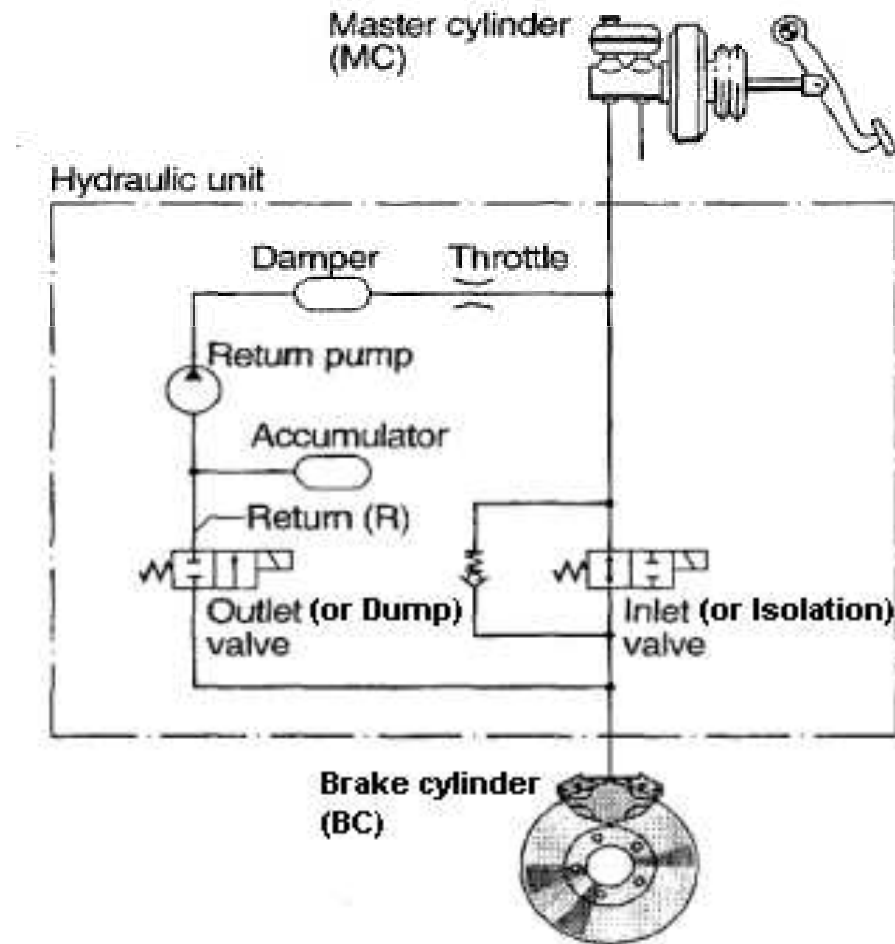
Componenti di un sistema ABS



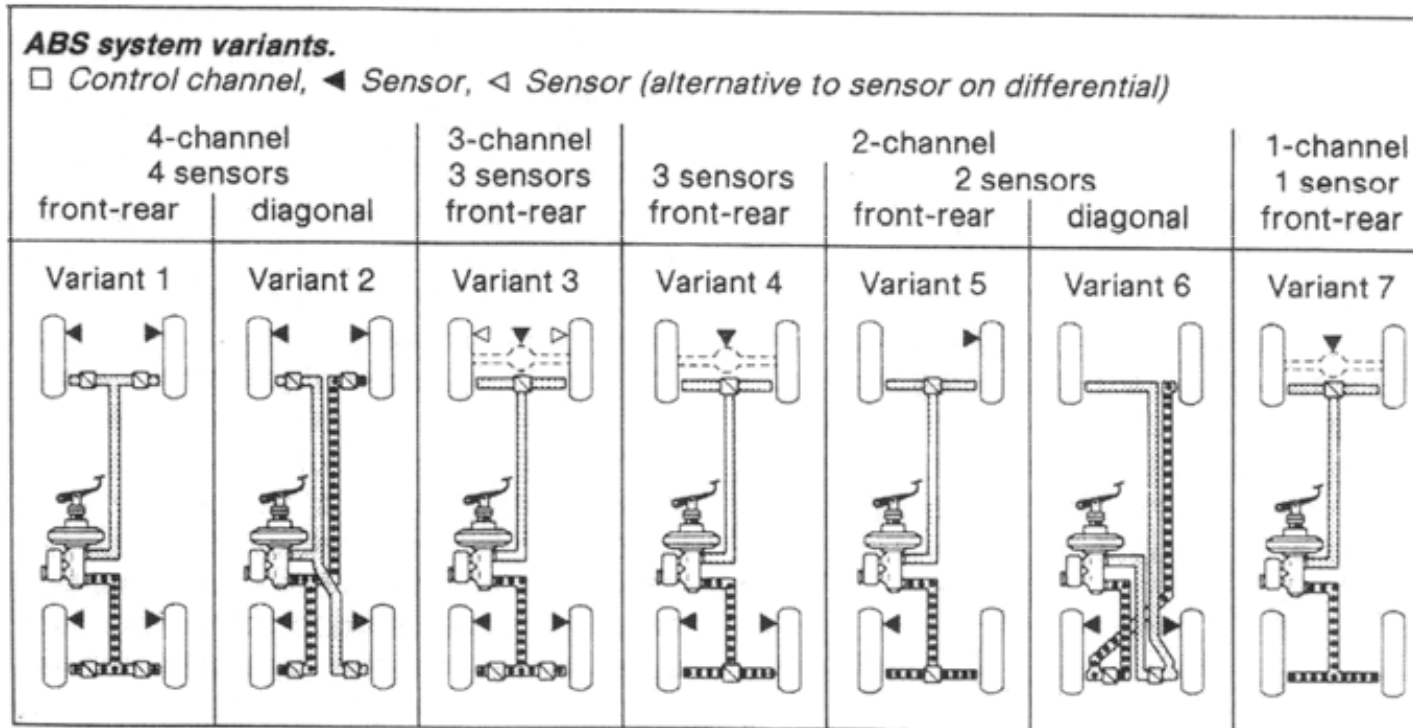
Componenti di un sistema ABS

- L'unità idraulica si interpone tra il *Master-Cylinder* (cilindro in cui la forza del piede del pilota, eventualmente amplificata dal servofreno, viene tradotta in aumento di pressione del liquido freni) ed i *Brake-Cylinders* (cilindri, uno per ruota, dove il liquido in pressione determina lo spostamento degli elementi frenanti contro le superfici dei rispettivi dischi o tamburi).
- In caso di frenata di emergenza l'elevato aumento di pressione sui brake-cylinder può provocare il bloccaggio di una o più ruote: è in questi casi che il sistema deve intervenire modulando la pressione nei cilindri.

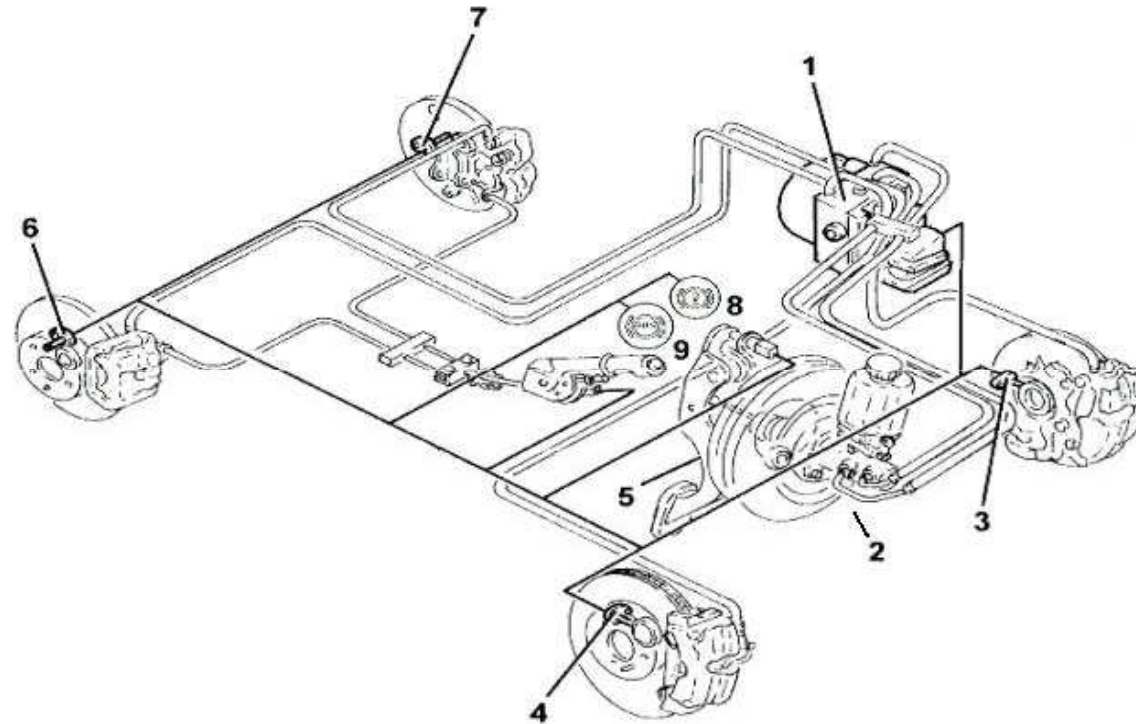
Singolo canale dell'unità idraulica



Varianti funzionali del sistema ABS



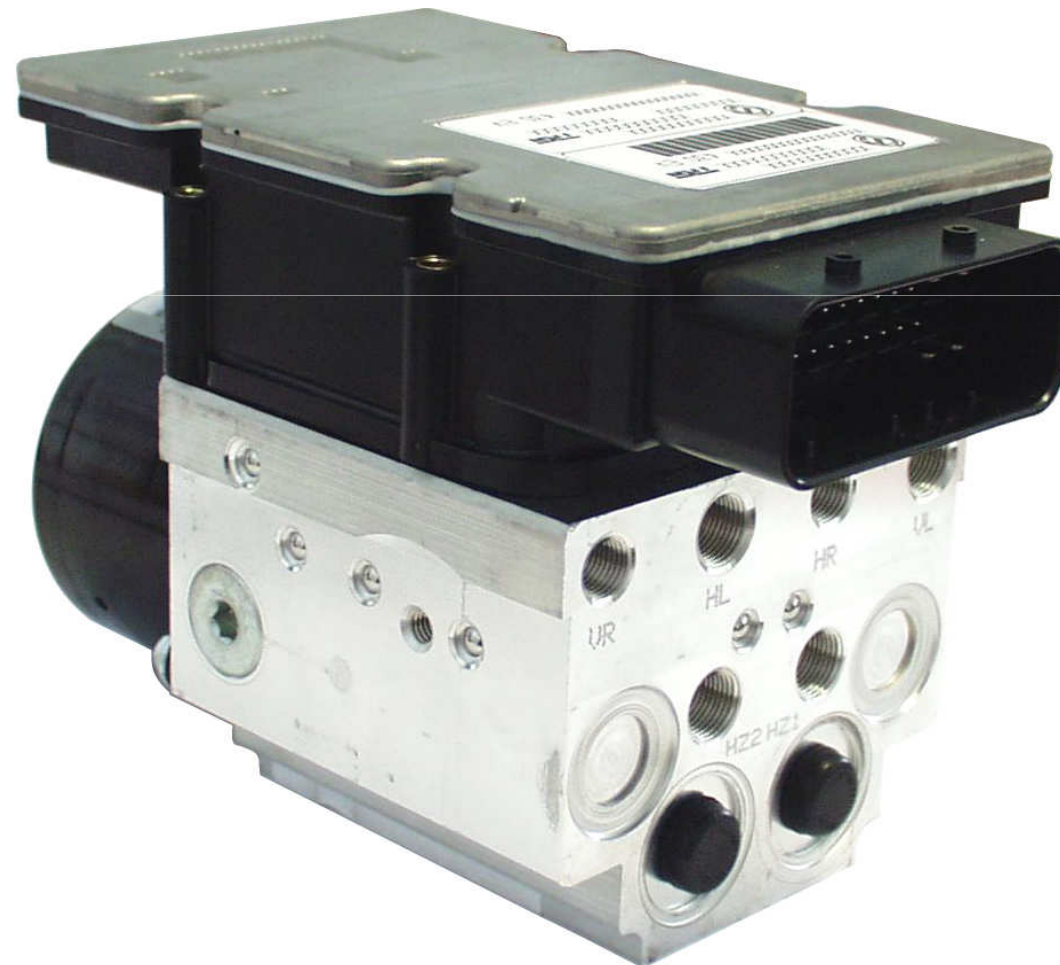
Impianto ABS a 4 canali e 4 sensori



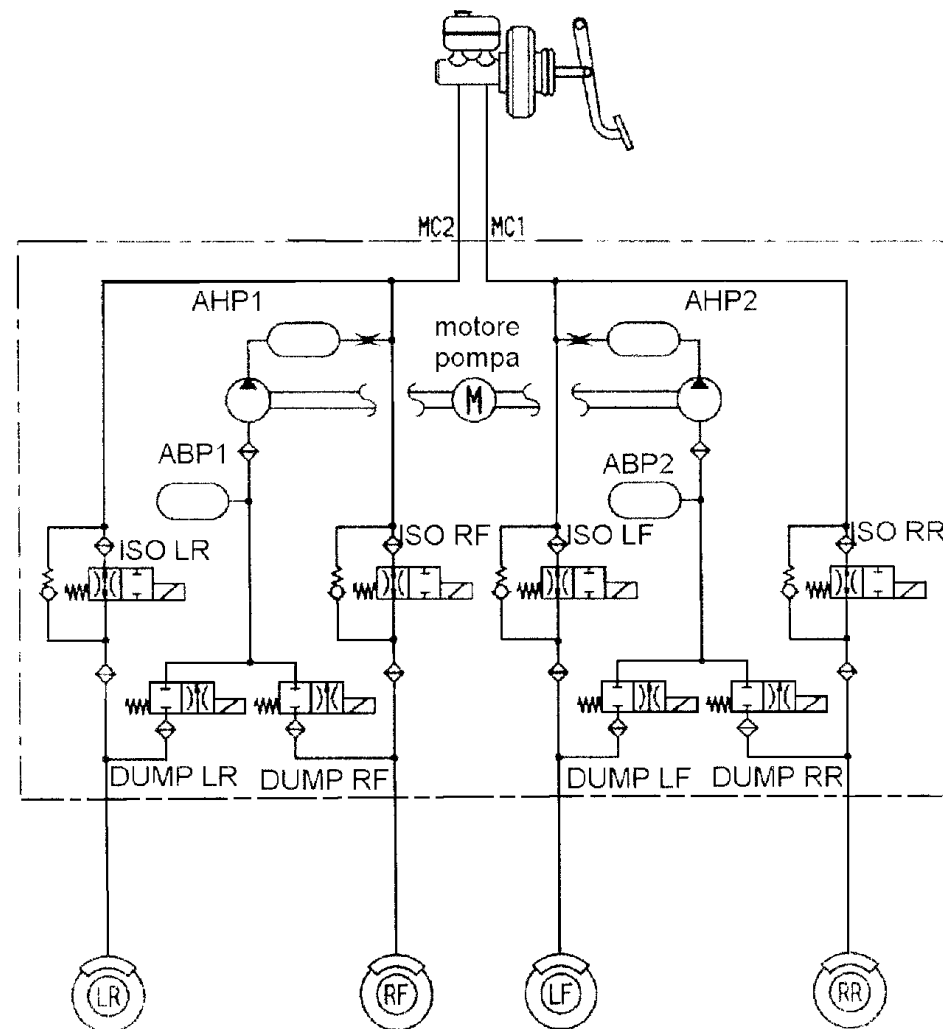
- 1 - Centralina ABS
- 2 - Master Cylinder
- 3 - Sensore ant. sinistro
- 4 - Sensore ant. destro
- 5 - Pedale freno

- 6 - Sensore post. destro
- 7 - Sensore post. sinistro
- 8 - Spia EBD
- 9 - Spia ABS

ECU, unità idraulica e motore di un sistema ABS

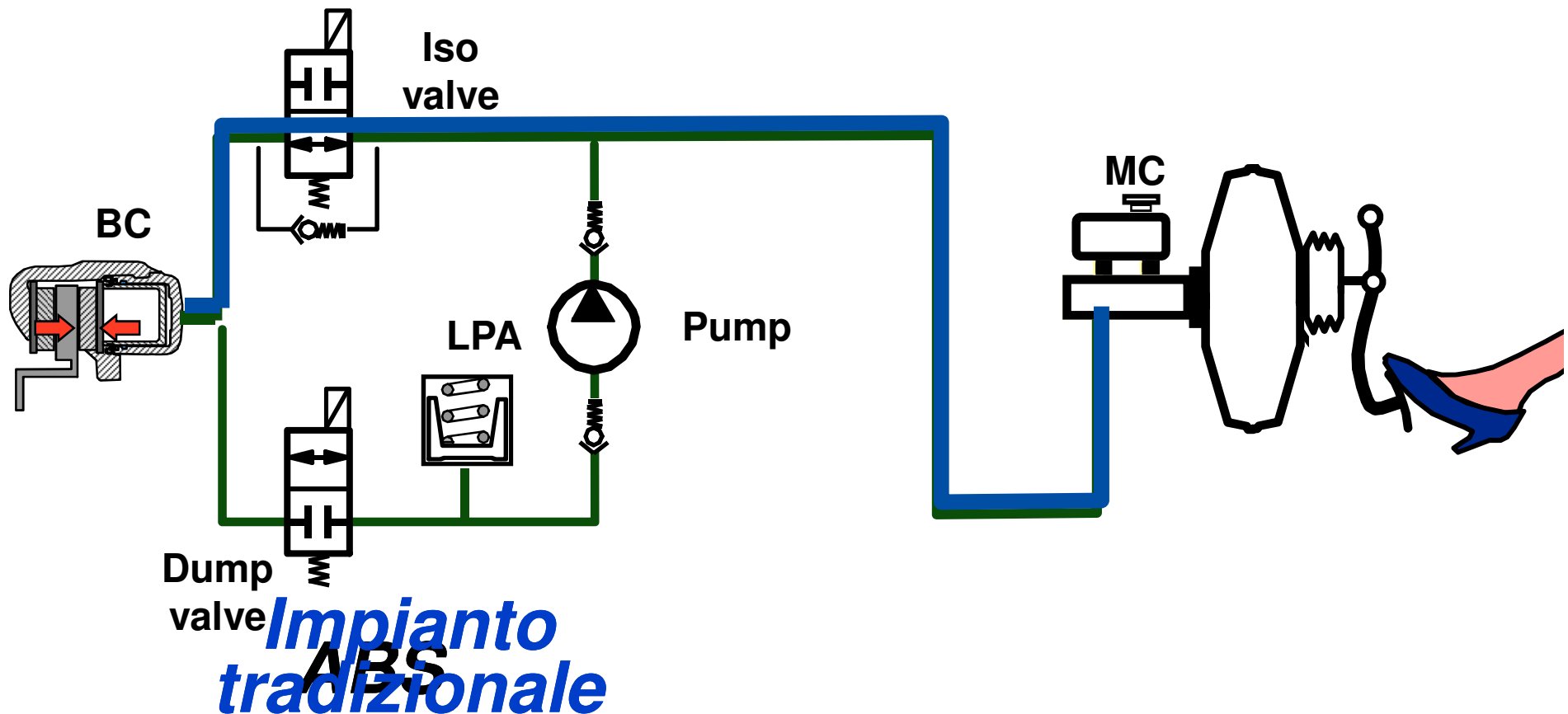


Unità idraulica a quattro canali



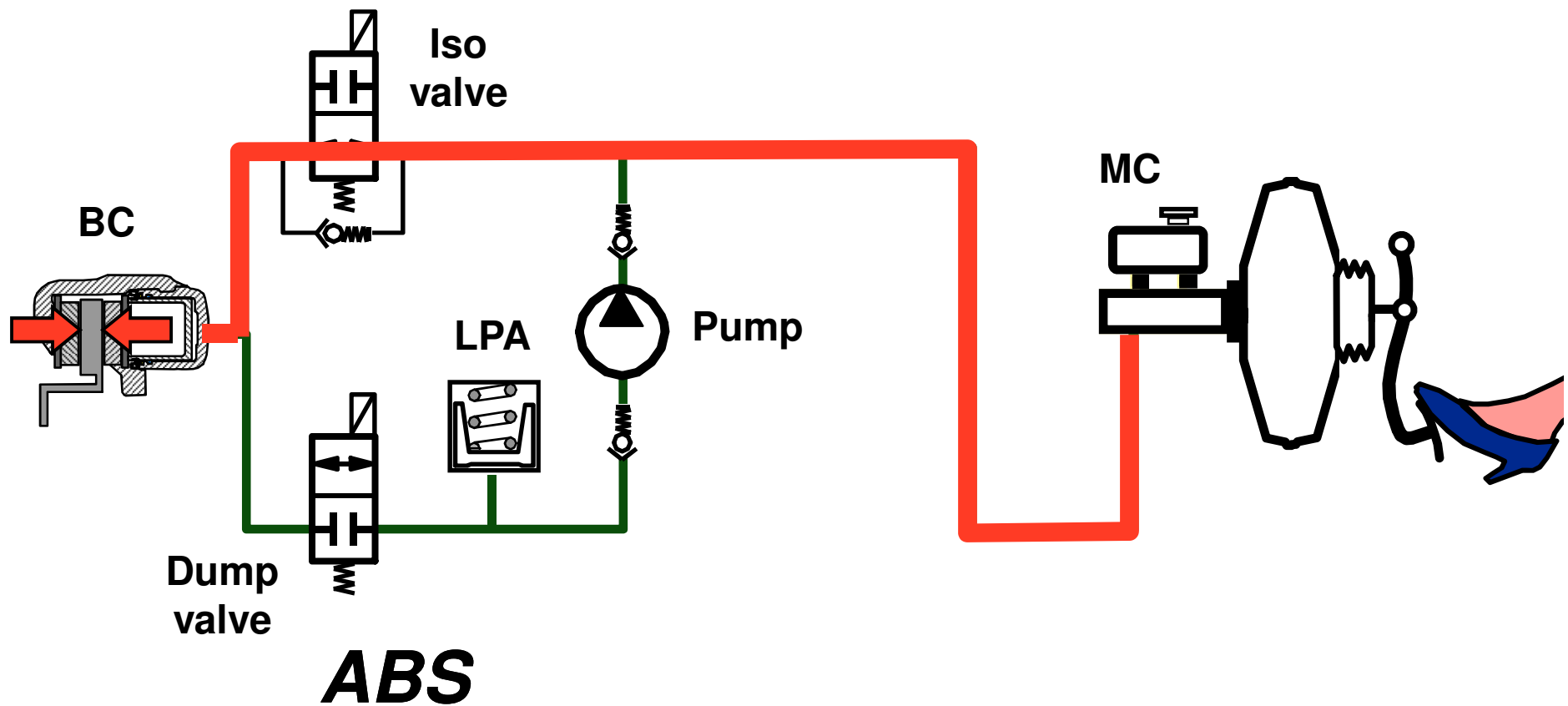
Il sistema ABS: principio di funzionamento

Frenata Normale



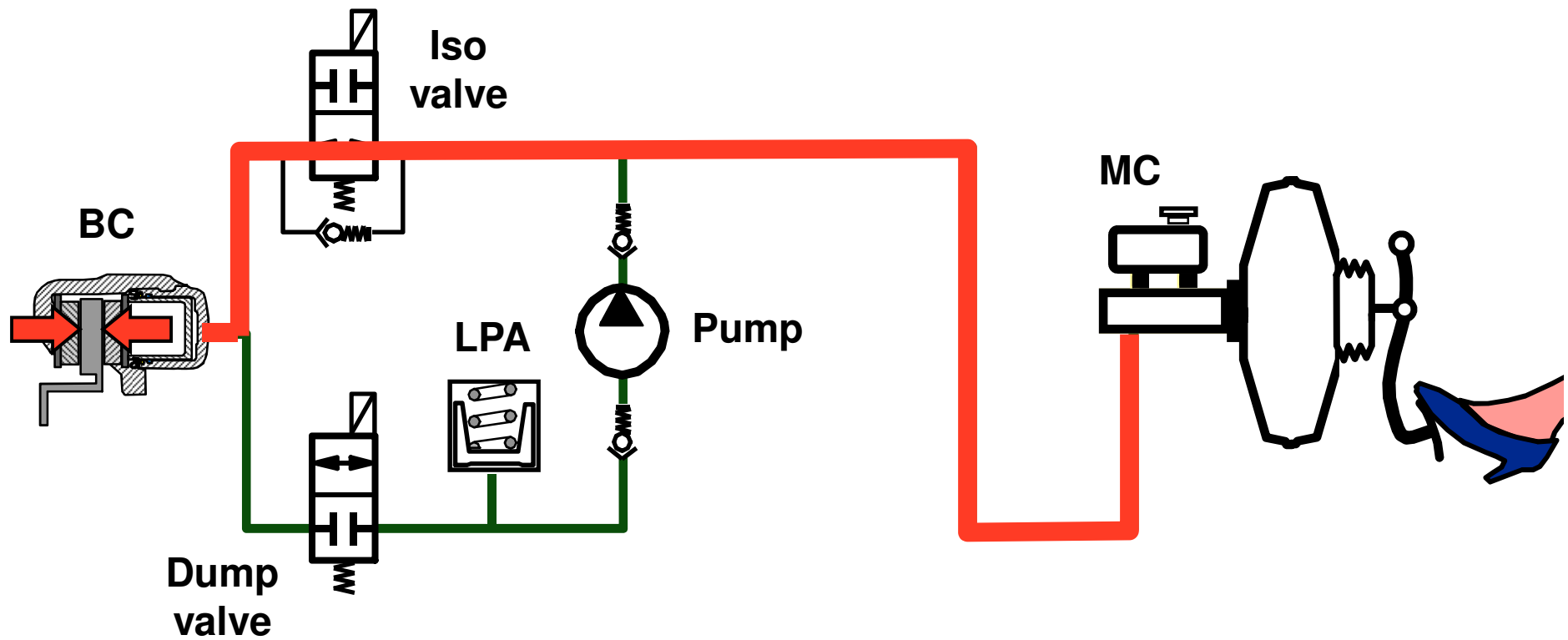
Il sistema ABS: principio di funzionamento

Frenata d'emergenza



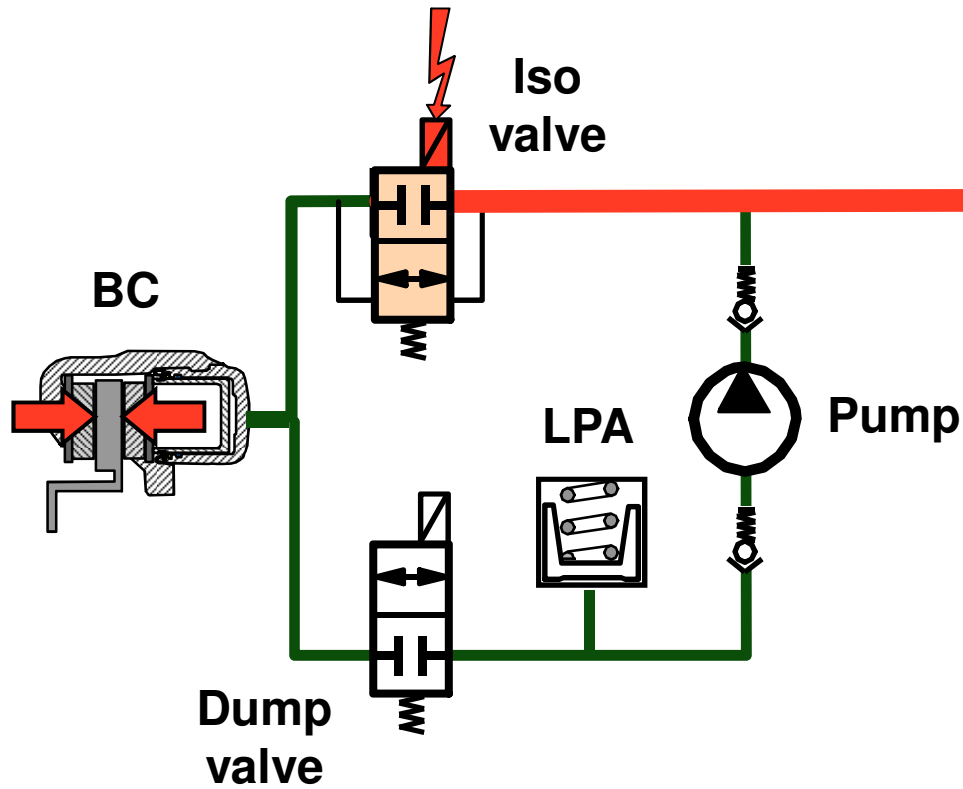
Il sistema ABS: principio di funzionamento

Intervento ABS

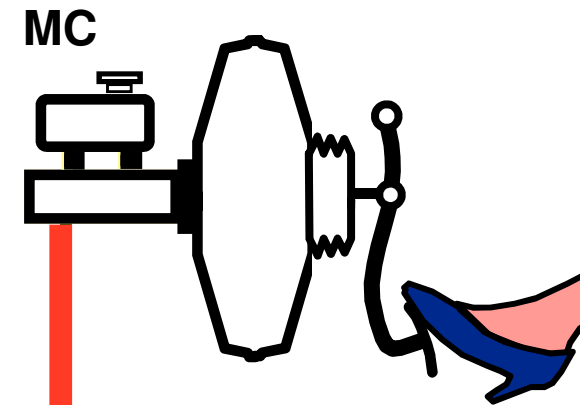


Il sistema ABS: principio di funzionamento

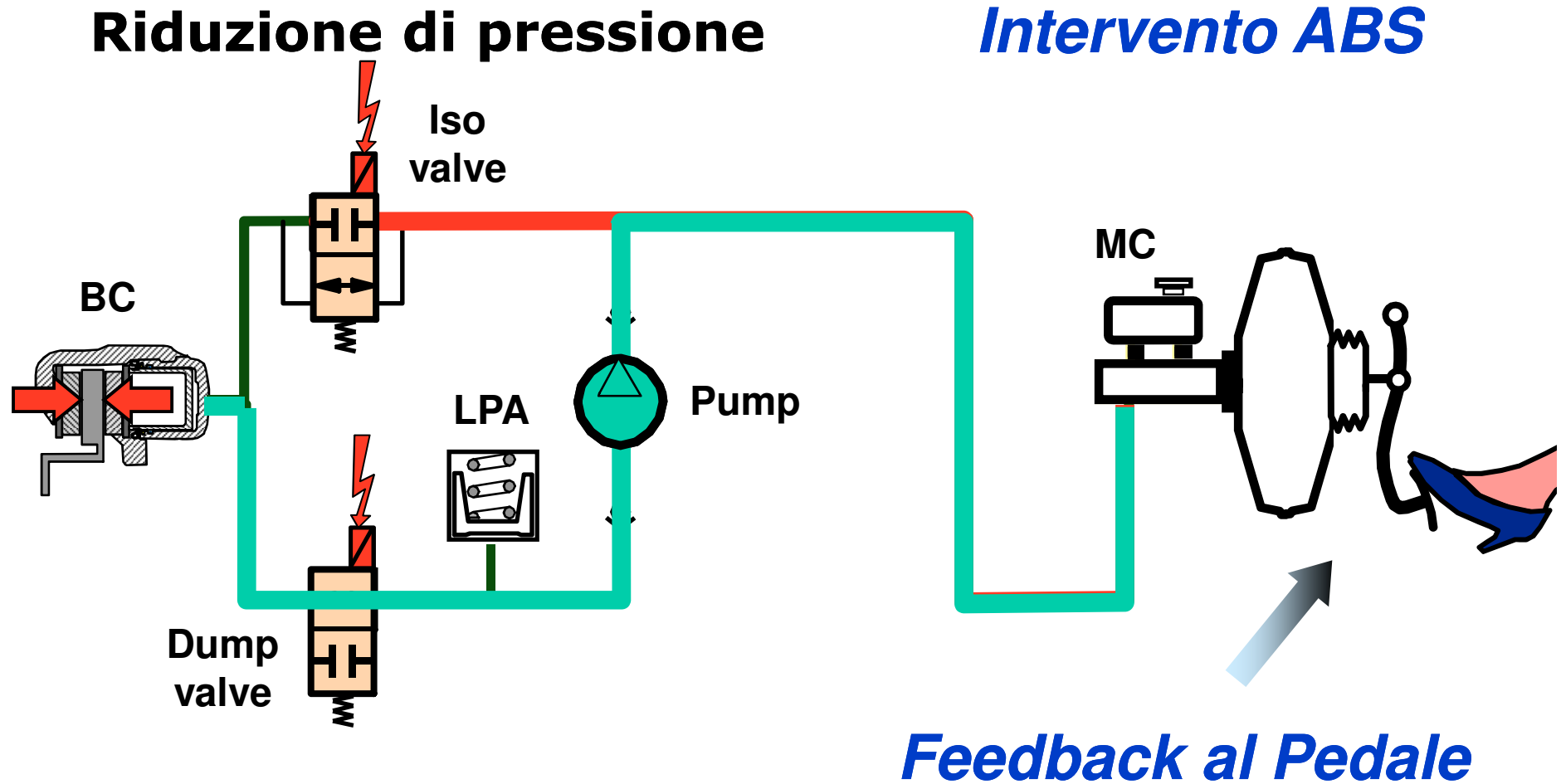
P=cost



Intervento ABS

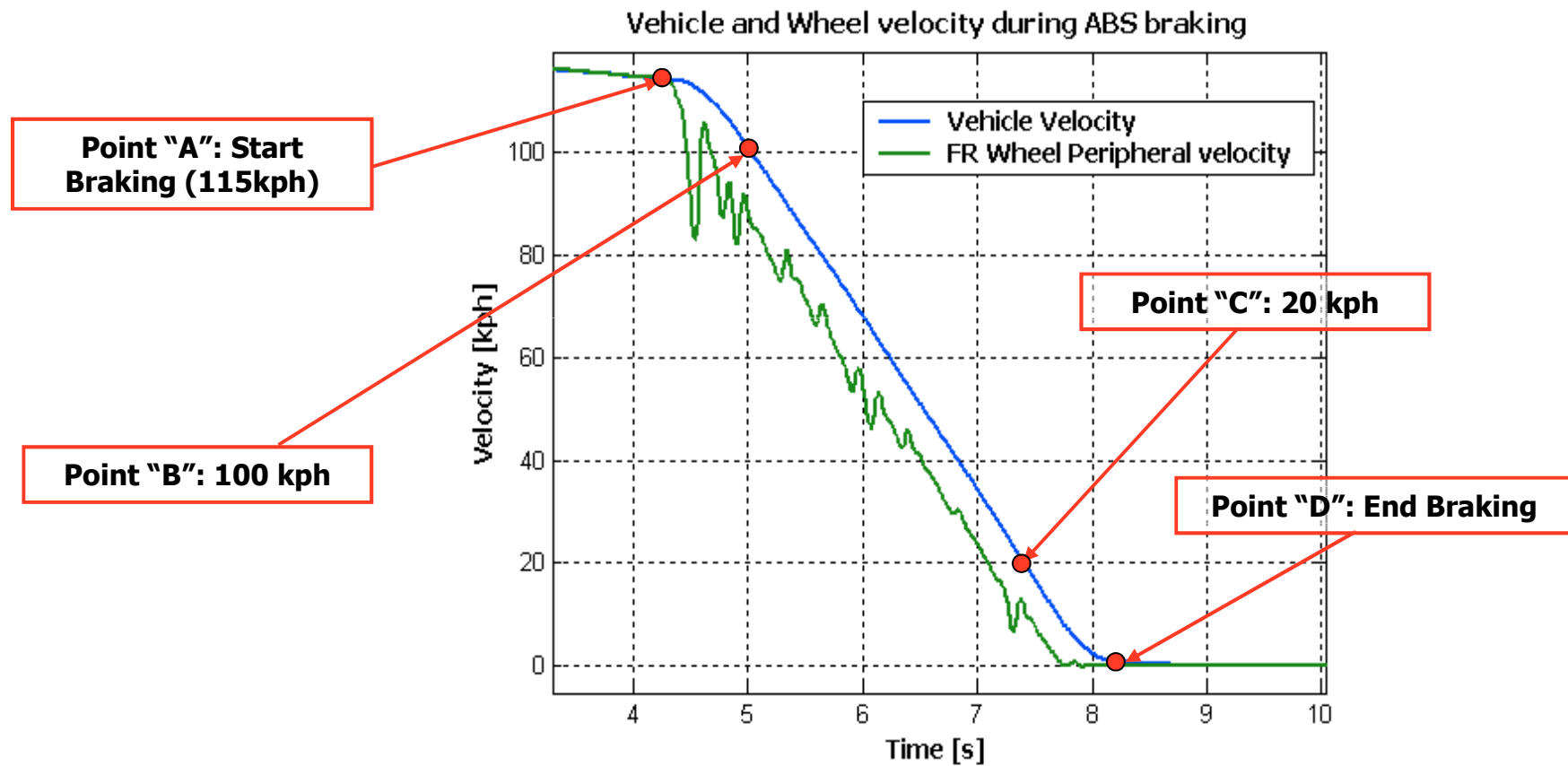


Il sistema ABS: principio di funzionamento



Stati di controllo

- *Dump* (fase di scarico): la pressione idraulica al BC viene ridotta se lo slip supera una soglia di intervento (*Slip Threshold*);
- *Hold* (fase di tenuta): la pressione idraulica al BC viene mantenuta costante se lo slip torna ad essere inferiore alla soglia;
- *Apply* (fase di riapplicazione): dallo stato di Hold si passa allo stato di Apply quando la velocità periferica della ruota è sufficientemente vicina alla velocità del veicolo (valori di slip contenuti).



Stati di controllo: posizione delle valvole

- Riassumendo, è possibile avere:
 - valvola Iso in posizione ON e valvola Dump in posizione OFF => possibile pressione crescente
 - entrambe le valvole in posizione OFF => pressione costante
 - valvola Iso in posizione OFF e valvola Dump in posizione ON => pressione decrescente.

Logica di controllo anti-lock

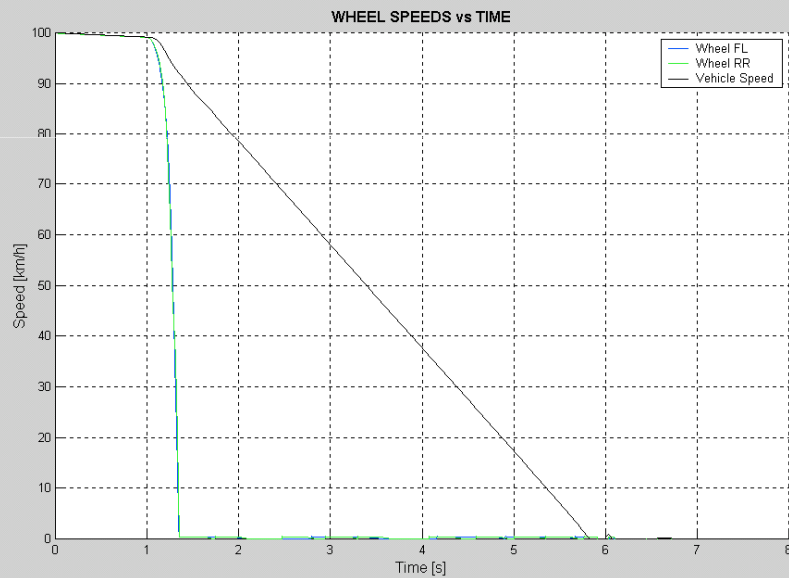
- La logica effettua una stima degli scorrimenti longitudinali degli pneumatici
- Le uniche grandezze misurate sono le velocità angolari delle quattro ruote
- Gli scorrimenti stimati vengono confrontati con dei valori soglia. Sulla base di tale confronto viene selezionato lo stato di controllo da attuare
- I valori soglia degli scorrimenti dipendono dall'aderenza pneumatico-strada. La logica effettua una stima del coefficiente di aderenza a partire dalle velocità delle ruote.

Stima delle grandezze: V_x

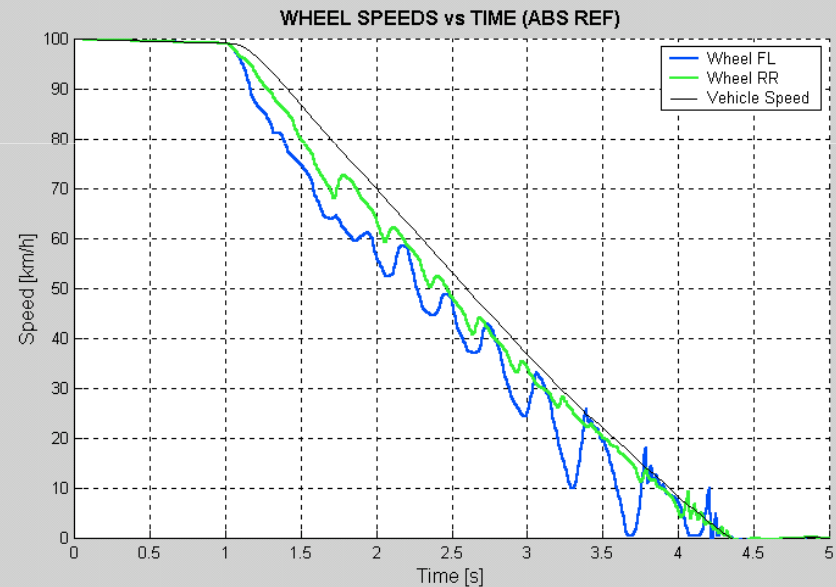
- In normali condizioni di marcia (ruote folli oppure piccole coppie frenanti o motrici applicate), la velocità di avanzamento del veicolo non si discosta molto dalla velocità tangenziale delle ruote. Nei normali tachimetri installati sugli autoveicoli, infatti, viene considerata la media aritmetica delle velocità angolari delle ruote anteriori (veicoli a trazione anteriore), moltiplicata per un raggio di rotolamento “nominale” per ottenere la velocità del veicolo da indicare sul quadro. Ma quando le ruote sono prossime al bloccaggio in frenata, oppure in condizioni di *spin-up* in accelerazione, la velocità “periferica” delle ruote (o velocità di puro rotolamento, ottenuta moltiplicando la velocità angolare per il raggio di puro rotolamento) risulta sensibilmente diversa dalla velocità del veicolo. Essendo, però, le velocità ruota le uniche grandezze misurate, da queste occorre partire. Tipicamente la ruota selezionata ai fini della stima di velocità è una delle posteriori. Infatti le velocità delle ruote posteriori sono molto prossime a quella del veicolo a causa di una ripartizione differenziata di coppie frenanti tra avantreno e retrotreno.

Andamento delle velocità con e senza ABS

No ABS



ABS



Stima delle grandezze: A_x , aderenza

- A partire dalla velocità longitudinale si procede poi alla stima della accelerazione longitudinale e, da questa, alla stima del coefficiente di aderenza.
- La massima decelerazione espressa in “g” viene assunta pari al coefficiente di aderenza.

Stima dell'aderenza

- Chiamando F_x la forza frenante agente sul veicolo, a_x la decelerazione longitudinale, m la massa, μ il coefficiente di aderenza, Q il peso del veicolo, e trascurando le altre forze longitudinali si può scrivere l'uguaglianza approssimata:

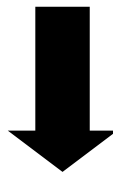
$$F_x = ma_x \cong \mu Q \quad \text{con } Q = mg$$



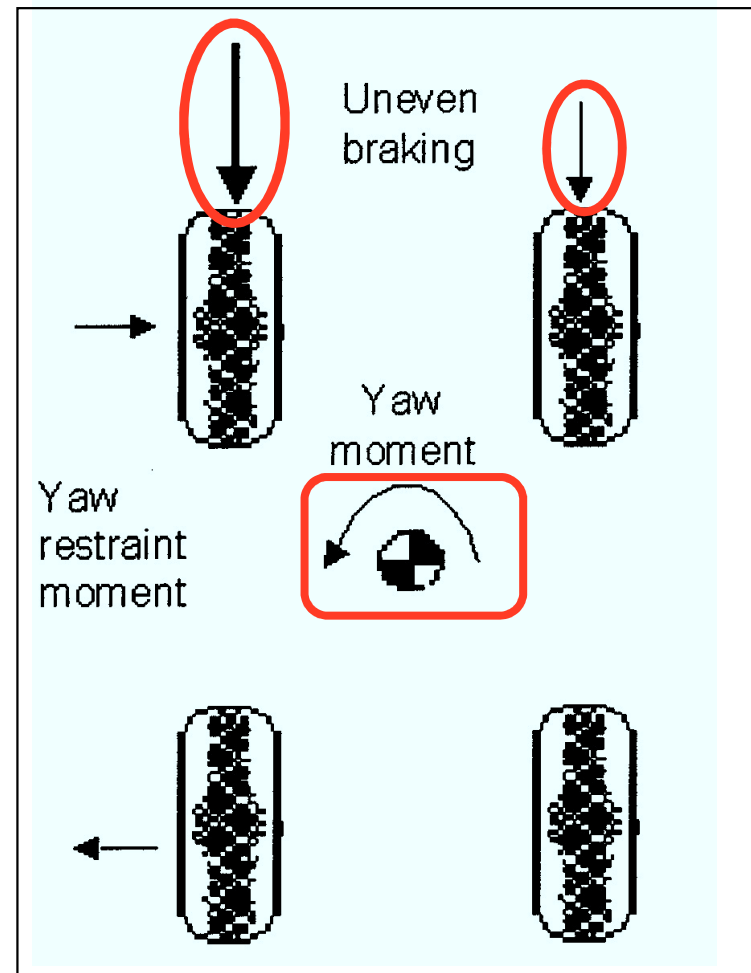
$$\text{Ovvero } \mu = a_x / g$$

mu-split

- In frenate d'emergenza su fondi ad aderenza differenziata (μ -split) si generano forze frenanti sui due lati del veicolo di diversa intensità



Momento destabilizzante
d'imbardata

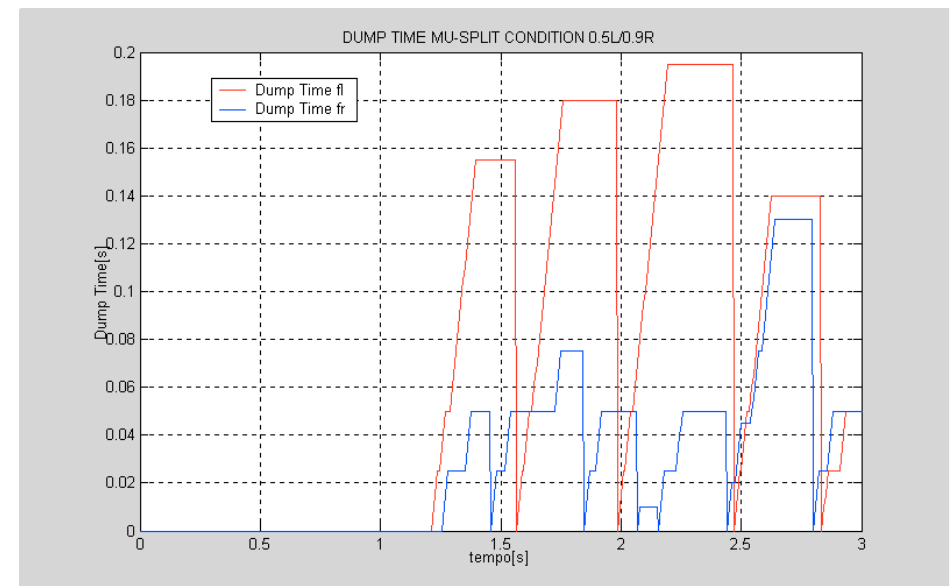
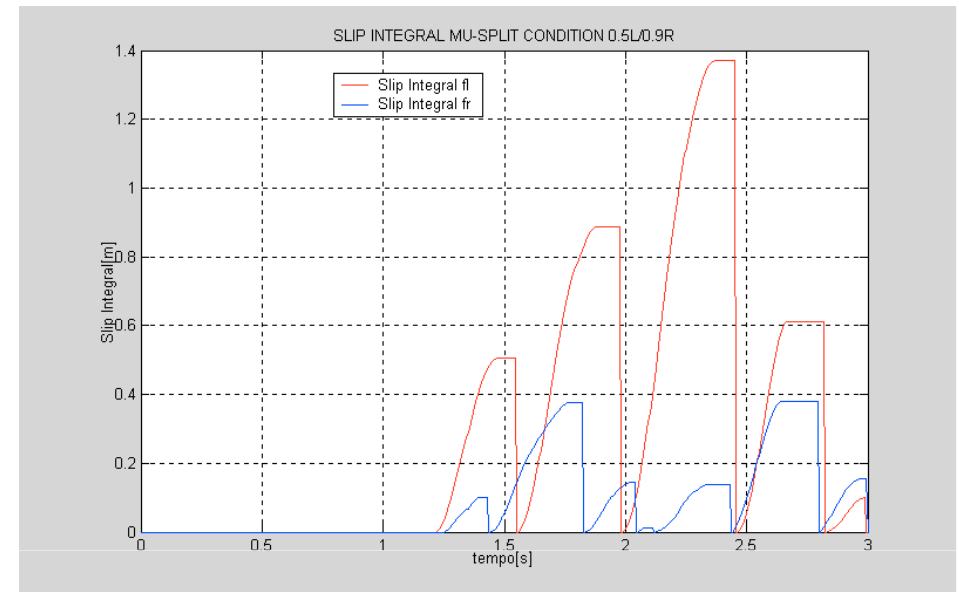


Logica di controllo mu-split

Il riconoscimento di una condizione di μ -split avviene analizzando le due seguenti grandezze relative alle ruote anteriori:

- differenza tra gli *slip*
- differenza tra i *Dump Time* (durate delle fasi di scarico)

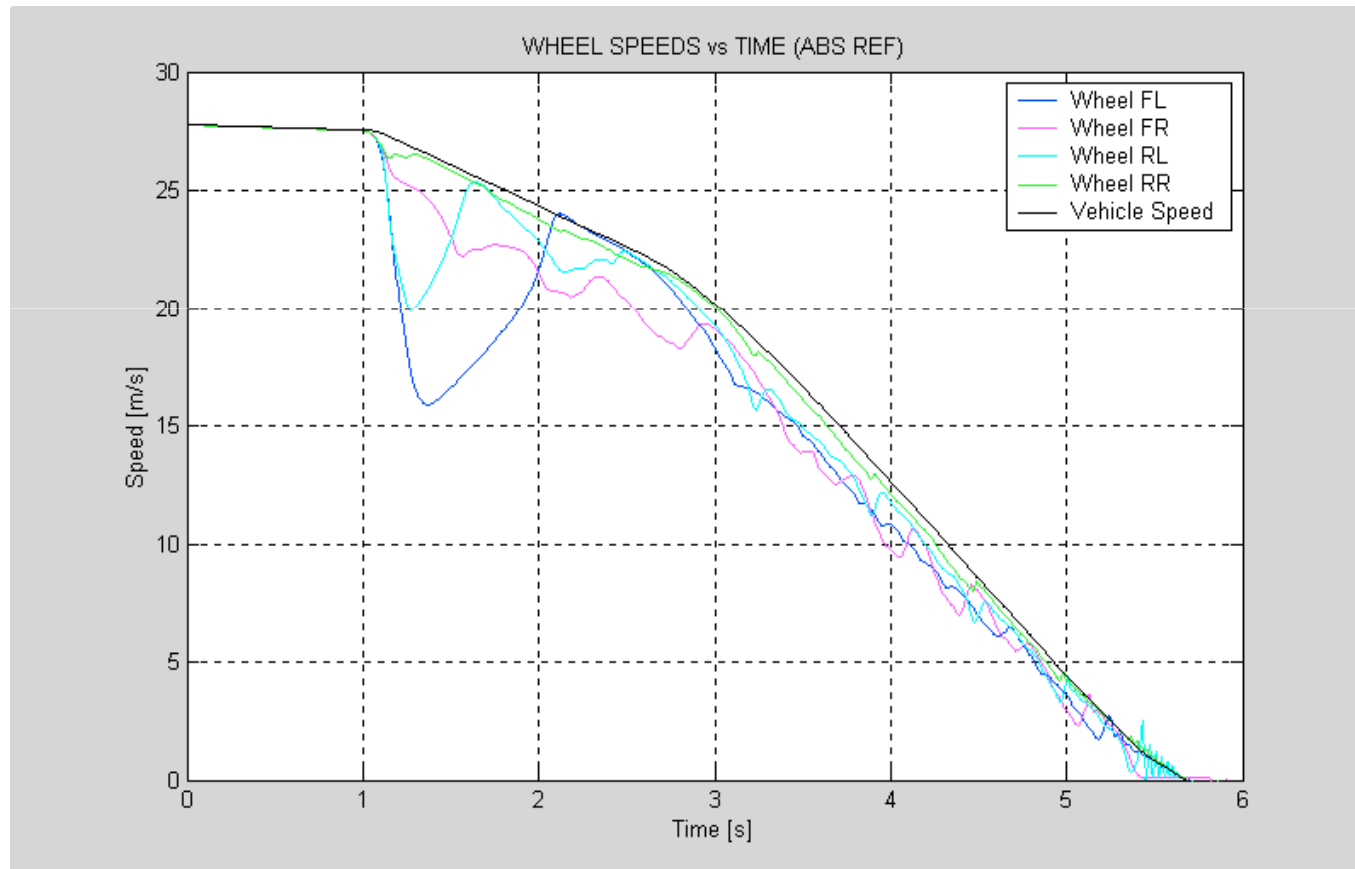
- In condizioni di aderenza differenziata, lo *slip* e il *Dump Time* della ruota in bassa aderenza sono mediamente maggiori dei corrispondenti valori della ruota in alta aderenza.



Logica di controllo mu-split

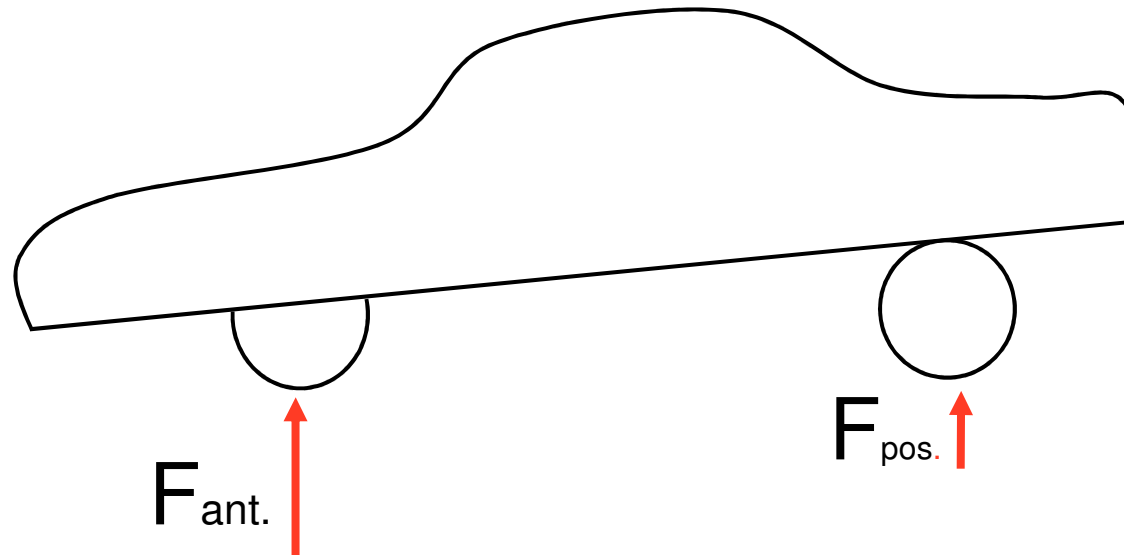
- La strategia interviene in frenate di emergenza in condizioni di μ -split, controllando opportunamente la pressione frenante agente sulla ruota anteriore in alta aderenza.
- L'effetto del controllo consiste in una riduzione del gradiente di crescita del momento imbardante che consente al guidatore di tenere più agevolmente il veicolo in traiettoria mediante una azione sul volante. [mu_split.avi](#)

Frenata in condizioni di mu-split 0.2L/0.9R



EBD: Electronic Brake force Distribution

- In frenata, a causa del trasferimento di carico, il retrotreno risulta essere meno caricato. Conseguentemente si ha una minore capacità frenante e una maggiore tendenza al bloccaggio



EBD: Electronic Brake force Distribution

- L'eventuale bloccaggio delle ruote posteriori può innescare pericolosi fenomeni d'instabilità (testa – coda)
- Al fine di evitare il bloccaggio delle ruote posteriori in frenata, tutte le vetture sono provviste del cosiddetto “correttore di frenata” il cui compito consiste nel ridurre la coppia frenante agente al retrotreno

EBD: Electronic Brake force Distribution

- Il correttore di frenata può essere sia meccanico che elettronico (EBD).
- A tale proposito, i più moderni sistemi anti-lock integrano, nel software di gestione, un opportuno algoritmo che consente la corretta ripartizione dello sforzo frenante tra avantreno e retrotreno. Quest'integrazione alle funzioni tipiche dell'ABS, nota come ripartizione elettronica della frenata o con il nome di **EBD** (*Electronic Brake force Distribution*), si distingue, innanzitutto, per l'importante caratteristica di sfruttare la medesima elettronica dell'impianto ABS, senza richiedere l'installazione di *hardware* supplementari.

EBD: Electronic Brake force Distribution

- La logica EBD, sfruttando le sole informazioni fornite dai sensori misuratori della velocità angolare delle ruote, risale agli scorrimenti con i quali marciano le ruote sui due assali. La frenatura ideale si ottiene quando il coefficiente di aderenza utilizzato al retrotreno uguaglia quello all'avantreno, e ciò si verifica (a meno degli effetti dovuti al trasferimento di carico) per valori uguali di scorrimento sui due assali. Il sistema EBD ravvisa, ogni volta che si presenta una disomogeneità fra gli scorrimenti dell'assale anteriore e posteriore durante una manovra di partial-braking, la condizione di intervento. In tal modo è possibile realizzare un sistema di controllo closed-loop: il software di gestione provvede, dopo ogni intervento, a valutarne l'effetto sul valore di scorrimento e quindi a stimare la bontà dell'intervento stesso.

Sistema di controllo elettronico della trazione (ASR o TCS)

- Dispositivo che interviene sulle ruote motrici quando queste ultime sono in condizioni di incipiente slittamento per effetto di una eccessiva coppia motrice applicata.
- In queste situazioni viene diminuita l'alimentazione al motore e viene eventualmente applicata un'opportuna coppia frenante per riportare gli scorrimenti longitudinali nel tratto stabile della caratteristica d'interazione.

Sistema di controllo elettronico della trazione

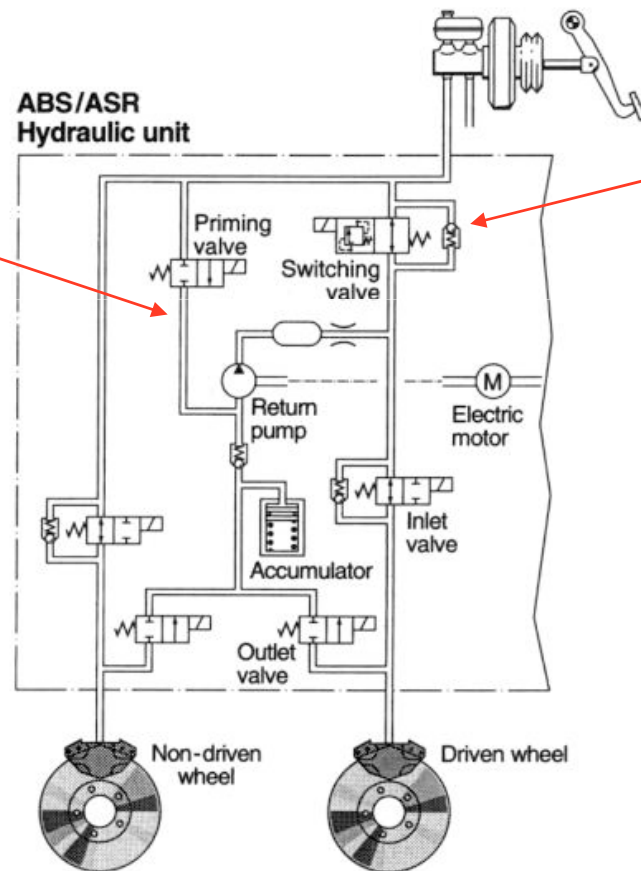
- Viene in tal modo resa possibile la trazione anche su fondi scivolosi e soprattutto si mantengono le forze laterali a valori generalmente tali da garantire la sterzabilità (per veicoli a *trazione anteriore*) o evitare pericolosi sovrasterzi (per veicoli a *trazione posteriore*) in curva.

Sistema di controllo elettronico della trazione

- L'unità idraulica impiegata è solo leggermente più complessa di quella relativa all'ABS: essenzialmente sono presenti quattro valvole a solenoide aggiuntive, due per ogni ruota motrice, per l'applicazione della pressione frenante, e una diversa pompa, auto-accendibile, per mettere in pressione il fluido prelevato dal Master Cylinder ed inviarlo ai due freni durante l'intervento del TCS.

Unità idraulica di un sistema ABS/ASR

Canale per prelevare fluido dal MC



Chiusa nel caso di intervento ASR